

**MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS  
TO CLIMATE CHANGE**

**Relatório Final**

**MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS  
TO CLIMATE CHANGE**

**Final Report**

**MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS  
TO CLIMATE CHANGE**

**Rapport Final**



# MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO CLIMATE CHANGE

## Relatório Final

### ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1. IDENTIFICAÇÃO.....	1
1.2. OBJETIVOS DO PROJETO E ZONA DE ESTUDO.....	1
1.3. EQUIPA DE TRABALHO .....	2
<b>2. TAREFA1 – ESTUARINE MARGINS TYPIFICATION.....</b>	<b>3</b>
2.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	3
2.2. DESCRIÇÃO DO TRABALHO REALIZADO.....	3
2.2.1. <i>Revisão bibliográfica e compilação de dados</i> .....	3
2.2.2. <i>Cartografia das margens</i> .....	3
<b>3. TAREFA 2 – PAST EVOLUTION MODEL.....</b>	<b>7</b>
3.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	7
3.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO .....	7
3.2.1. <i>Análise a médio prazo</i> .....	7
3.2.2. <i>Análise a longo prazo</i> .....	8
<b>4. TAREFA 3 – HYDRODYNAMIC FORCING FACTORS AND SEDIMENT BUDGETS .....</b>	<b>11</b>
4.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	11
4.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO .....	11
4.2.1. <i>Sub-tarefa 3.1 – Caracterização hidrodinâmica</i> .....	11
4.2.1.1. <i>Correntes e propagação da maré</i> .....	11
4.2.1.2. <i>Agitação marítima</i> .....	13
4.2.2. <i>Sub-tarefa 3.2 – Caudal sólido afluyente ao estuário</i> .....	14
4.2.2.1. <i>Caudais fluviais</i> .....	14
4.2.2.2. <i>Caudais sólidos</i> .....	15
4.2.2.2.1. <i>Transporte sólido total</i> .....	15
4.2.2.3. <i>Transporte por arrastamento</i> .....	16

<b>5. TAREFA 4 – PHYSICAL AND BIOLOGICAL IMPACTS OF REGIONAL-SCALE CLIMATE CHANGE AND SOCIO-ECONOMIC SCENARIOS.....</b>	<b>19</b>
5.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	19
5.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO .....	19
5.2.1. <i>Cenários de alterações climáticas e socioeconómicos</i> .....	19
5.2.2. <i>Impactos físicos e biológicos</i> .....	20
<b>6. TAREFA 5 – IMPACT OF CLIMATE CHANGE ON ESTUARINE MARGINS MORPHODYNAMICS .....</b>	<b>21</b>
6.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	21
6.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO .....	21
6.2.1. <i>Impacto nos mecanismos forçadores</i> .....	21
6.2.2. <i>Impacto na morfodinâmica</i> .....	23
<b>7. TAREFA 6 – CONCEPTUAL MODEL FOR LONG-TERM ESTUARINE MARGINS EVOLUTION .....</b>	<b>27</b>
7.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	27
7.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO .....	27
7.2.1. <i>Balanço sedimentar</i> .....	27
7.2.2. <i>Modelo conceptual</i> .....	27
<b>8. TAREFA 7 – MANAGEMENT AND DISSEMINATION.....</b>	<b>30</b>
8.1. RESULTADOS ESPERADOS .....	30
8.2. DESCRIÇÃO GERAL DO TRABALHO REALIZADO .....	30
8.2.1. <i>Gestão do projeto</i> .....	30
8.2.2. <i>Disseminação</i> .....	30
8.2.2.1. <i>Folheto e página web</i> .....	30
8.2.2.2. <i>Divulgação do projeto em diferentes fóruns</i> .....	30
8.2.2.3. <i>Publicações</i> .....	31
8.2.2.4. <i>Seminários de divulgação</i> .....	31
8.2.2.4.1. <i>Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira</i> .....	31
8.2.2.4.2. <i>Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed</i> .....	32
<b>9. PUBLICAÇÕES DO PROJETO.....</b>	<b>33</b>
9.1.1. <i>Artigos em revistas internacionais</i> .....	33
9.1.2. <i>Artigos em revistas nacionais</i> .....	33
9.1.3. <i>Artigos e resumos de conferências</i> .....	34

9.1.4. Teses.....	35
9.1.5. Relatórios técnico-científicos.....	35
<b>10.APRECIÇÃO CRÍTICA .....</b>	<b>37</b>
<b>11.COLABORAÇÕES .....</b>	<b>40</b>
<b>12.REFERÊNCIAS .....</b>	<b>41</b>

# MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO CLIMATE CHANGE

## Relatório Final

### Índice de Figuras

Figura 1. Cartografia da zona intertidal do estuário do Tejo (in Nogueira Mendes et al., 2012). ....	5
Figura 2 – Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina (in Freire et al., 2012). ....	6
Figura 3 – Aspetos de alterações na configuração da zona marginal estuarina decorrentes de ações humanas (adapt. Freire et al., 2013). ....	8
Figura 4– Variação vertical de parâmetros sedimentológicos do sapal de Pancas e unidades sedimentológicas estabelecidas. ....	9
Figura 5– Perfis de $^{210}\text{Pb}$ e $^{137}\text{CS}$ para o sapal de Pancas. ....	9
Figura 6– Levantamento topográfico efetuado no sapal de Corroios com DGPS. ....	10
Figura 7– Perfil topográfico e níveis de referência da maré para o sapal de Mouchão da Póvoa. ....	10
Figura 8– Resposta morfodinâmica dos sapais do estuário do Tejo até ao fim do séc. XXI. ....	10
Figura 9 – Malha de cálculo do modelo de circulação do estuário do Tejo e batimetria (in Guerreiro et al., 2013). ....	12
Figura 10 – Validação do modelo hidrodinâmico: a) localização das estações; b) erros. A linha a vermelho é utilizada mais à frente na análise de resultados (in Guerreiro et al., 2013). ....	13
Figura 11 – Mapas de inundação para nível médio do mar atual e um período de retorno de 10 anos (in Guerreiro et al., 2013). ....	13
Figura 12 – Malhas de cálculo do modelo de ondas: limites das malhas (esquerda); malha mais fina (direita). ....	14
Figura 13 – Caudais médios mensais afluentes ao estuário na situação atual. ....	15
Figura 14 – Caudal sólido ao longo do rio Tejo, para $Q_{liq}=800\text{m}^3/\text{s}$ . ....	16
Figura 15 – Volumes anuais de capacidade de transporte sólido. ....	17
Figura 16 – Diferença entre as durações da vazante e da enchente ao longo do eixo do estuário representado na Figura 10a, para vários cenários de subida do NMM e cenários de assoreamento: a) resultados para vários cenários de subida do NMM para a batimetria original; b) e c) resultados para diferentes batimetrias (A: batimetria original, B: batimetria para 50 anos e C: batimetria para 100 anos)	

para o cenário atual de NMM e para o cenário mais dramático previsto para a subida do NMM (3,71 m). In Guerreiro et al. (2013). .....	22
Figura 17 – Mapas de inundação para os vários cenários de subida do NMM e períodos de retorno: a) 2,21 m e 10 anos; b) 2,71 m e 10 anos; c) 3,71 m e 10 anos; d) 2,21 m e 100 anos; e) 2,71 m e 100 anos; g) 3,71 m e 100 anos. In Guerreiro et al. (2013). .....	23
Figura 18 – Zonas potencialmente inundadas para os cenários de subida do nível médio do mar de 2050 (a) e 2100 (b) (in Rilo et al., 2013). .....	24
Figura 19 – Esquema conceptual da modelação de erosão de dunas do modelo Duneforce (Guerreiro e Oliveira, 2013). .....	25
Figura 20 – a) Enquadramento e localização geográfica da restinga do Alfeite no contexto do estuário do Tejo; b) Pormenor da restinga do Alfeite (Ortofoto de 2007, Instituto Geográfico Português -IGP).....	25
Figura 21 – a) Amostra colhida no estuário do Tejo; b) Velocidades de sedimentação dessa amostra (Portela et al., 2013). .....	26
Figura 22 – Domínios altimétricos das unidades morfosedimentares consideradas no modelo conceptual. ....	28
Figura 23 – Aspeto da saída gráfica do modelo conceptual desenvolvido, para o Cenário A. ....	28
Figura 24 – Resultados do inquérito distribuído aos participantes no Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed (com base nos 73 inquéritos preenchidos). .....	33

# MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO CLIMATE CHANGE

## Relatório Final

### Índice de Quadros

Quadro 1. Equipa de trabalho. ....	2
Quadro 2 – Campanhas de campo realizadas para validação da cartografia do leito e orla estuarina. ....	4
Quadro 3 – Caudais sólidos totais (m <sup>3</sup> /s).....	16
Quadro 4 – Volumes anuais de capacidade de transporte sólido. ....	17
Quadro 5 – Volumes anuais em relação à taxa de variação. ....	18
Quadro 6 – Cenários de subida do NMM relativamente a 1990 (em cm) adotados no âmbito do projeto.	19
Quadro 7 - Indicadores de realização. ....	39

### Anexos

**Anexo 1:** Folheto do projeto MorFeed

**Anexo 2:** Página do projeto MorFeed em Português e Inglês

**Anexo 3:** Folheto do Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed

**Anexo 4:** Inquérito aos participantes do Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed



# MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO CLIMATE CHANGE

## Relatório Final

### 1. Introdução

#### 1.1. Identificação

O presente documento constitui o relatório final do projeto MorFeed, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia. Listam-se abaixo os principais elementos identificadores do projeto:

<b>Referência do Projeto:</b>	PTDC/AAC-AMB/100092/2008
<b>Área Científica:</b>	Ambiente e Alterações Climáticas
<b>Investigadora Responsável:</b>	Paula Maria de Santos Freire
<b>Instituição Proponente:</b>	Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC)
<b>Parceiro:</b>	Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FFCUL)
<b>Data de Início:</b>	01-04-2010
<b>Data de Fim:</b>	30-09-2013
<b>Financiamento Concedido:</b>	€199.836,00

#### 1.2. Objetivos do projeto e zona de estudo

De acordo com a proposta submetida, o projeto MorFeed teve como principais objetivos:

1. melhorar o conhecimento sobre o comportamento das margens estuarinas face às alterações climáticas e à ocupação do Homem;
2. desenvolver um modelo conceptual de evolução das margens estuarinas que pudesse ser usado como ferramenta de apoio ao seu planeamento e gestão.

O estuário do Tejo foi escolhido como zona de estudo devido à sua importância socioeconómica e ambiental, e características morfológicas e sedimentares particulares.

### 1.3. Equipa de trabalho

A equipa de trabalho foi constituída pelos investigadores listados no Quadro 1. Contou, ainda, com a colaboração do Professor Karl Nordstrom da Rutgers - the State University of New Jersey (EUA) como consultor do projeto.

Quadro 1. Equipa de trabalho.

<i>Investigador</i>	<i>Instituição</i>	<i>Notas</i>
<b>Paula Freire</b>	LNEC	Investigadora Responsável; responsável pelas Tarefas 1, 6 e 7
<b>Ana Maria Silva</b>	FFCUL	
<b>André Fortunato</b>	LNEC	Responsável pela Tarefa 3
<b>César de Andrade</b>	FFCUL	
<b>Elsa Alves</b>	LNEC	
<b>Filipa Oliveira</b>	LNEC	Responsável pela Tarefa 5
<b>João Catalão</b>	FFCUL	
<b>João Rocha</b>	LNEC	
<b>Luís Portela</b>	LNEC	
<b>Luís Simões Pedro</b>	LNEC	
<b>Maria da Conceição Freitas</b>	FFCUL	Responsável pela Tarefa 2
<b>Maria Isabel Caçador</b>	FFCUL	
<b>Ricardo Melo</b>	FFCUL	
<b>Ricardo Nogueira Mendes</b>	FFCUL	
<b>Rui Taborda</b>	FFCUL	Responsável pela Tarefa 4
<b>Xavier Bertin</b>	LNEC / Univ. La Rochelle	Fez parte da equipa até 22/02/2011, tendo passado a consultor do projeto após essa data
<b>Martha Guerreiro</b>	LNEC	Bolseira do projeto
<b>Ana Rilo</b>	LNEC	Bolseira do projeto
<b>Tiago Silva</b>	FFCUL	Bolseiro do projeto
<b>Rodrigo Ceia</b>	FFCUL	Bolseiro do projeto
<b>Alexandra Amorim</b>	FFCUL	Bolseira do projeto

## **2. Tarefa1 – Estuarine Margins Typification**

### **2.1. Resultados esperados**

1. Cartografia detalhada das unidades morfosedimentares e uso do solo;
2. Tipificação das margens;
3. Cartografia detalhada das comunidades biológicas da zona intertidal: macroalgas e vegetação halófitas.

### **2.2. Descrição do trabalho realizado**

Os objetivos desta tarefa foram proceder à compilação dos dados e informação disponível necessária ao projeto e produzir a cartografia das margens estuarinas. Os objetivos foram integralmente atingidos, tendo os resultados excedido o inicialmente programado devido à necessidade técnica da marcação da Linha da Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE) antes de proceder à cartografia das margens. De referir que a execução da tarefa sofreu um pequeno atraso relativamente ao inicialmente programado devido à demora na contratação de bolsiros, por desistência de candidatos selecionados (Bolsa Mestre 1 e Bolsa Lic. 1) implicando a abertura de novos concursos.

A Tarefa incluiu duas Sub-Tarefas: 1.1. Revisão bibliográfica e compilação de dados; 1.2. Cartografia das margens.

#### **2.2.1. Revisão bibliográfica e compilação de dados**

A Tarefa 1 iniciou-se pela revisão bibliográfica sobre os temas relevantes para o projeto e sobre o sistema de estudo, o estuário do Tejo. Procedeu-se à pesquisa e compilação da informação geográfica disponível, de várias datas, sobre o estuário do Tejo, designadamente dados topográficos, hidrográficos, fotografias aéreas, ortofotomapas e imagens de satélite (LANDSAT-TM, SAR do satélite TerraSAR-X). Esta informação foi devidamente georeferenciada, compilada e analisada em Sistema de Informação Geográfica (SIG), construindo-se uma base de dados informativa sobre o sistema em estudo.

#### **2.2.2. Cartografia das margens**

O conceito de margem estuarina considerado no projeto suportou-se nas definições de leito e margem que constam da Lei 54/2005 de 25 de Novembro que rege a Titularidade dos Recursos Hídricos. Foi, assim, necessário, proceder ao levantamento e síntese da legislação reguladora do Domínio Público Hídrico para posterior definição de critérios auxiliares na demarcação do limite entre o leito e a margem, a designada Linha da Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE). A

demarcação da LMPMAVE foi efetuada com base nos ortofotomapas de 2007 do Instituto Geográfico Português (IGP) e outras imagens, recorrendo a técnicas de deteção remota e validação de campo. Esta validação incluiu a observação visual e a aquisição de dados topográficos através de DGPS realizada em várias campanhas (Quadro 2). A execução desta tarefa foi acompanhada por discussões sobre aspetos metodológicos com as entidades com tutela sobre esta matéria, designadamente a ARH-Tejo e a Agência Portuguesa do Ambiente (APA).

**Quadro 2 – Campanhas de campo realizadas para validação da cartografia do leito e orla estuarina.**

<b>Designação</b>	<b>Data</b>	<b>Objetivo</b>
<b>Corroios /Seixal</b>	02/02/2011	- Cartografia do leito/LMPMAVE – validação no terreno
<b>Banco do Cavalo</b>	21/02/2011	- Cartografia do leito/LMPMAVE – validação no terreno
<b>Montijo</b>	02/03/2011	- Cartografia do leito/LMPMAVE – validação no terreno
<b>MORFEED IV</b>	03/08/2011	- Validação da posição da LMPMAVE - Validação da classificação de ocupação da margem
<b>MORFEED V</b>	01/09/2011	- Verificação da posição da LMPMAVE - Verificação da cartografia de ocupação da margem
<b>Ponta do Destrói/ Banco do Cavalo</b>	14/09/2011	- Cartografia do leito – validação no terreno
<b>Ponta do Destrói</b>	14/09/2011	- Cartografia do leito – validação no terreno
<b>MORFEED VI</b>	12/10/2011	- Verificação da posição da LMPMAVE - Verificação da cartografia de ocupação da margem
<b>Samouco</b>	27/01/2012	- Validação da Cartografia do leito
<b>Banco do Cavalo</b>	09/03/2012	- Validação da Cartografia do leito
<b>Samouco</b>	10/07/2012	- Validação da Cartografia do leito
<b>Banco do Cavalo</b>	03/08/2012	- Cartografia do leito/LMPMAVE - validação no terreno
<b>Banco do Cavalo</b>	04/08/2012	- Cartografia do leito - validação no terreno

A cartografia de habitats na zona intertidal foi realizada com recurso a técnicas de deteção remota, com base nos ortofotomapas de 2007 e em imagens LandSat 7 ETM +, e validação no terreno. Consideraram-se várias classes de uso do solo: sapal, praias estuarinas, ostreiras, ervas marinhas, raso de maré, zonas com ocupação antrópica. Os resultados evidenciam que 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 28%, 7% e 6% da área do leito respetivamente (Figura 1).

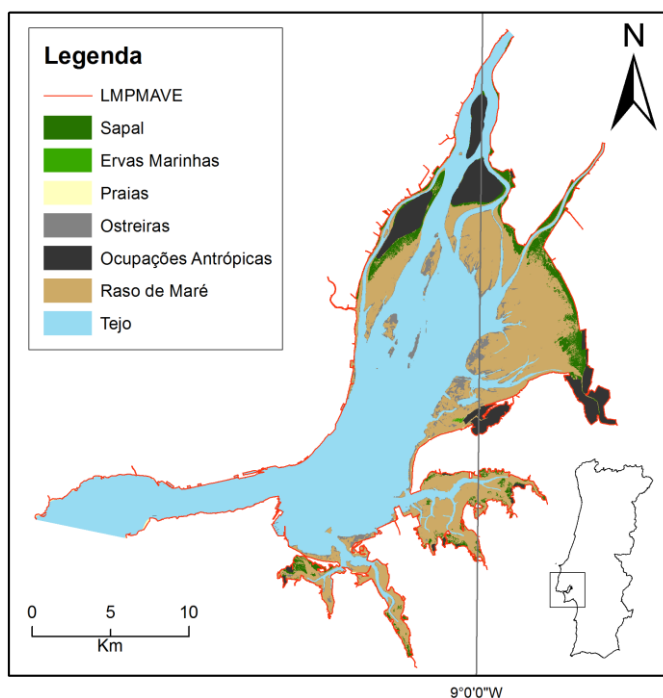
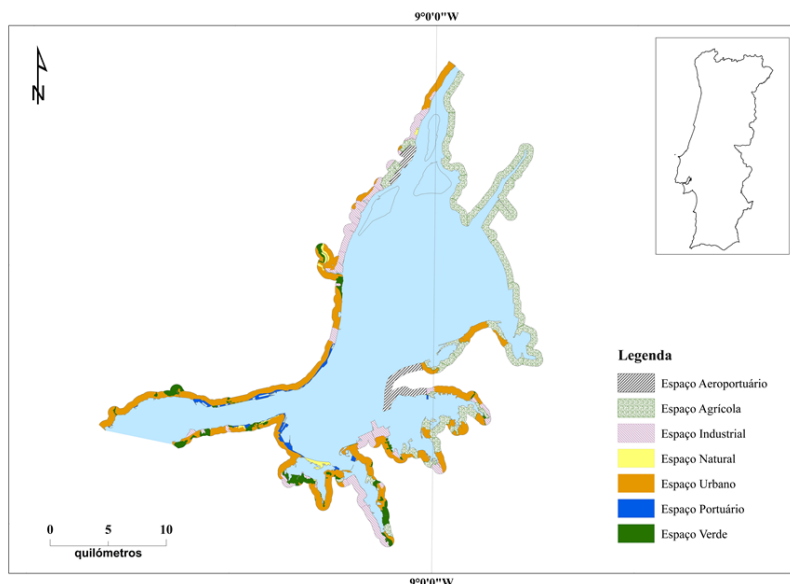


Figura 1. Cartografia da zona intertidal do estuário do Tejo (in Nogueira Mendes et al., 2012).

A cartografia da ocupação da orla estuarina (faixa de 550 m para o interior da LMPMAVE) realizou-se sobre os ortofotomapas de 2007 (IGP) em ArcGis, tendo sido concebido um sistema de classificação de uso simplificado e adaptado na nomenclatura do Corine Land Cover (CLC). A definição dos polígonos foi efetuada com base nas características físicas da orla estuarina capazes de serem detetadas à escala 1:10 000. A tarefa de vectorização apoiou-se na consulta das bases geográficas GoogleEarth e BingMaps. As classes de ocupação mais importantes da orla estuarina correspondem aos espaços agrícolas e urbanos (Figura 2). Os primeiros constituem cerca de 35% da orla e distribuem-se na zona NE do estuário e pela margem esquerda. As áreas urbanas representam 34% da orla, o que reflete a localização da mais importante área metropolitana do país.



**Figura 2 – Tipificação da ocupação antrópica na orla estuarina (in Freire et al., 2012).**

As imagens SAR do satélite TerraSAR-X com uma resolução de 3 m foram usadas na identificação e caracterização de zonas intertidais. Para o efeito foi usada uma abordagem de deteção de alterações decorrentes da variação do mecanismo de *scattering* em duas imagens com diferentes níveis de maré. Os resultados deste estudo demonstraram as potencialidades dos sensores SAR de elevada resolução na elaboração de cartografia intertidal e monitorização da linha de água em ambientes estuarinos (Soares et al., 2012).

Os resultados obtidos nesta Tarefa foram apresentados em 5 comunicações a conferências nacionais (Rilo et al., 2012; Nogueira Mendes et al., 2012, Freire et al., 2012; Freire et al., 2013, Nogueira Mendes et al., 2013) e 3 a conferências internacionais (Soares et al., 2011; Soares et al., 2012; Rilo et al., 2012a;), 1 relatório técnico (Ceia, 2011) e num artigo submetido a revista nacional (Rilo et al., 2013).

## **3. Tarefa 2 – Past Evolution Model**

### **3.1. Resultados esperados**

1. Evolução a médio prazo das margens estuarinas
2. Taxas de sedimentação a longo prazo
3. Avaliação da evolução dos sapais a médio prazo

### **3.2. Descrição geral do trabalho realizado**

Esta Tarefa visava a análise da evolução passada das margens estuarinas a duas escalas temporais distintas: médio prazo (decadal) e longo prazo (secular). Pretendia-se também avaliar a evolução das zonas de sapal à escala decadal. Os objetivos propostos nesta tarefa foram totalmente atingidos. Houve a necessidade por questões técnicas, ligadas a resultados inesperados de datações (análise a longo prazo), de estender o prazo de execução o que, no entanto, não comprometeu a programação das tarefas subsequentes.

A Tarefa foi organizada em duas Sub-Tarefas: 2.1. Análise a médio prazo; 2.2. Análise a longo prazo.

#### **3.2.1. Análise a médio prazo**

O estudo da evolução das zonas marginais a meio prazo baseou-se sobretudo na análise de documentação histórica, fotografias aéreas e cartografia antiga. Estes elementos permitiram avaliar o efeito da ação humana na evolução da linha de costa à escala decadal. A situação de referência foi considerada a dos ortofotos de 2007. Os resultados preliminares, apresentados em Rilo et al., 2012a, mostraram que as alterações na tipologia das margens do estuário do Tejo nas últimas 6 décadas devem-se sobretudo aos efeitos diretos ou indiretos de ações humanas. Posteriormente, desenvolveu-se a análise de pormenor das praias no interior do estuário, através da sua identificação e caracterização nos ortos de 2007, imagens Google Earth e em reconhecimentos de campo. Esta foi comparada com o observado nas fotografias aéreas de 1944-1958. Analisaram-se os estados evolutivos das diferentes praias e quais os fatores que influenciam a presença e evolução destas. A discussão sobre a origem e evolução das 75 praias identificadas foi apresentada em Freire et al., 2013. Os resultados mostram que o impacto humano pode originar perdas de zonas de praia, por exemplo por ocupação direta, mas também a criação de novas praias associadas a aterros, despejo de material dragado e estruturas que cortam o transporte sedimentar e favoreceram a acumulação de areias (Figura 3).

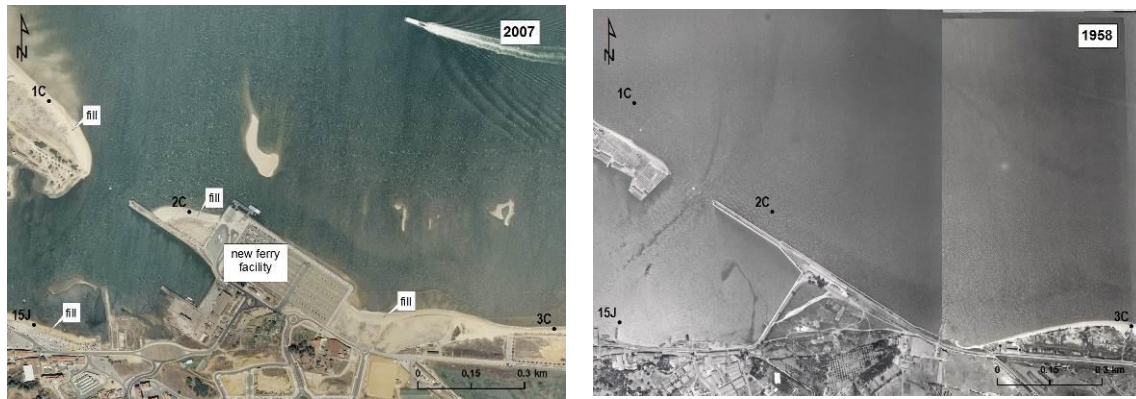


Figura 3 – Aspectos de alterações na configuração da zona marginal estuarina decorrentes de ações humanas (adapt. Freire et al., 2013).

Nesta Tarefa procedeu-se, ainda, à determinação de taxas de evolução do leito do estuário com base na comparação de levantamentos topo-hidrográficos de diferentes datas. Os resultados serviram de base a atividades desenvolvidas nas Tarefas 4 e 5.

### 3.2.2. Análise a longo prazo

A análise a longo prazo foi efetuada através do estudo de 4 sondagens obtidas em ambiente de sapal (Pancas, Corroios, Trancão e Mouchão da Póvoa) e uma sondagem realizada em ambiente de raso de maré (Mouchão da Póvoa). Nos sedimentos, procedeu-se a análises sedimentológicas texturais e composicionais (e.g. em Figura 4) e a datações isotópicas por  $^{14}\text{C}$  e por isótopos de vida curta naturais ( $^{210}\text{Pb}$ ) e artificiais ( $^{137}\text{Cs}$ ) (e.g. em Figura 5). Estes permitiram o estabelecimento de taxas de sedimentação para as áreas de estudo nos últimos 100 a 150 anos – 2,2 cm/ano para o sapal de Pancas, 1,4 cm/ano para o sapal do Mouchão da Póvoa, 0,7cm/ano para o sapal do Trancão, 0,6 cm/ano para o sapal de Corroios e 0,3 cm/ano no raso de maré do Mouchão da Póvoa.

As superfícies do sapal/raso de maré foram levantadas recorrendo a um DGPS-RTK, tendo-se obtido vários perfis topográficos, e as elevações determinadas no terreno foram comparadas com elementos de maré específicos de cada local, obtidos nas tabelas de maré do Instituto Hidrográfico ou determinados *in situ* com o auxílio de transdutores de pressão (e. g. em Figura 6 e Figura 7).

As taxas de sedimentação obtidas foram confrontadas com os valores de nível médio do mar (NMM) fornecidos pelo IPCC (2007) para os anos de 2050 e 2100 e ainda com as taxas de subida do NMM calculadas por Antunes e Taborda (2009) a partir de dados do marégrafo de Cascais. Esta análise permitiu definir a resposta comportamental e a evolução das áreas intertidais superiores do estuário do Tejo face às alterações climáticas projetadas até ao final deste século (Figura 8).

Os resultados serviram de base a atividades desenvolvidas nas Tarefas 4 e 5 e foram apresentados em 3 comunicações a conferências nacionais e internacionais (Freitas et al., 2012; Silva et al., 2013a, 2013b; e num artigo em revista internacional (Silva et al., 2013a).



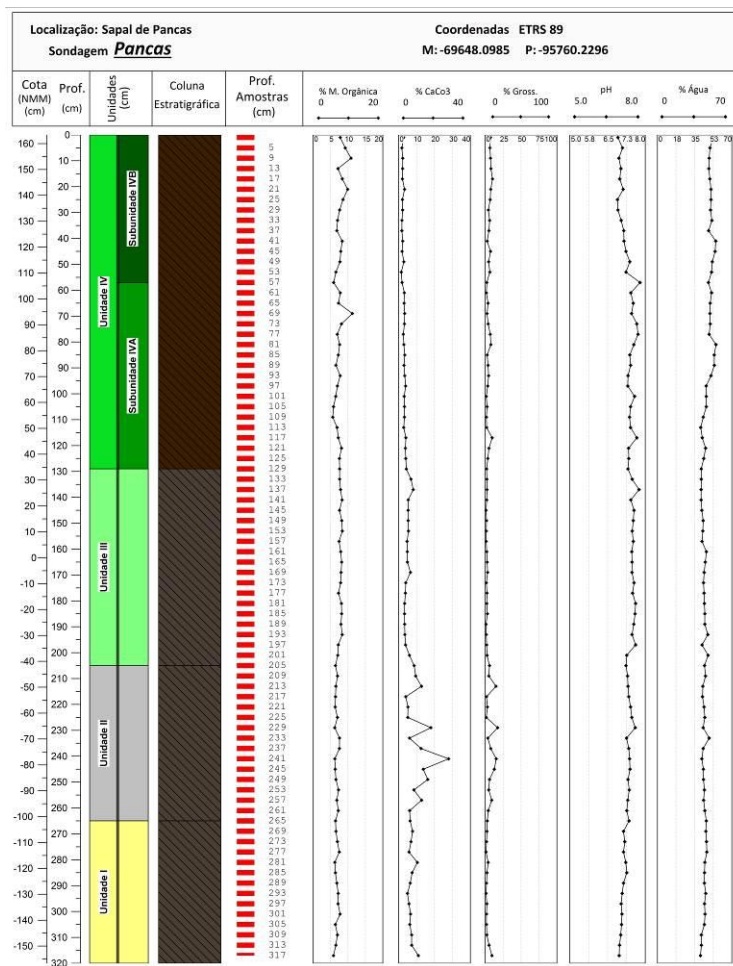


Figura 4– Variação vertical de parâmetros sedimentológicos do sapal de Pancas e unidades sedimentológicas estabelecidas.

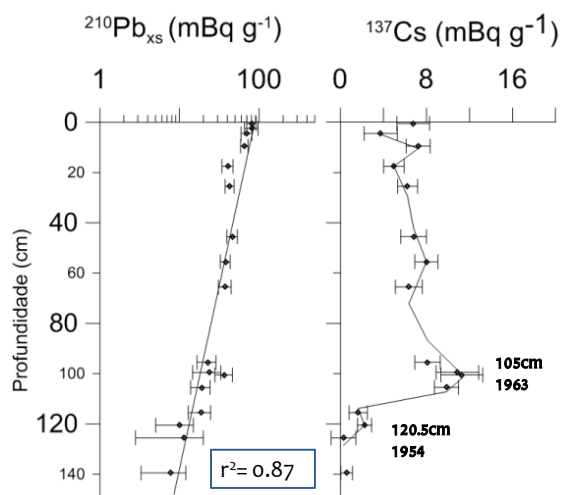


Figura 5– Perfis de  $^{210}\text{Pb}$  e  $^{137}\text{CS}$  para o sapal de Pancas.

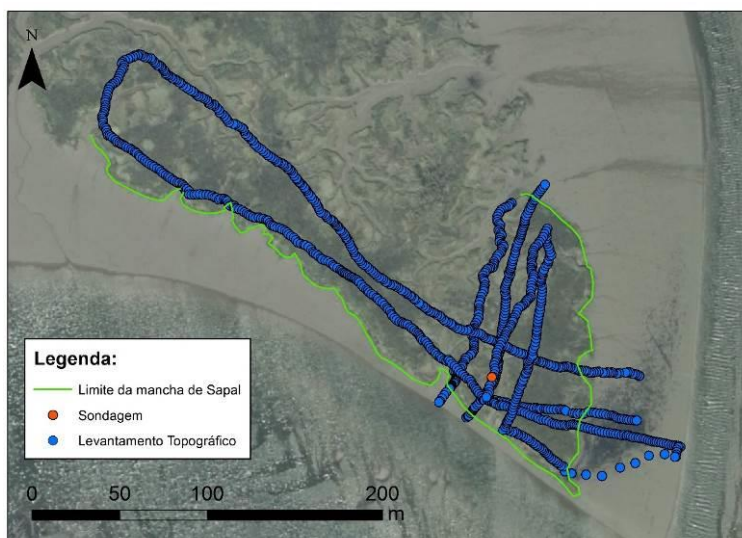


Figura 6– Levantamento topográfico efetuado no sapal de Corroios com DGPS.

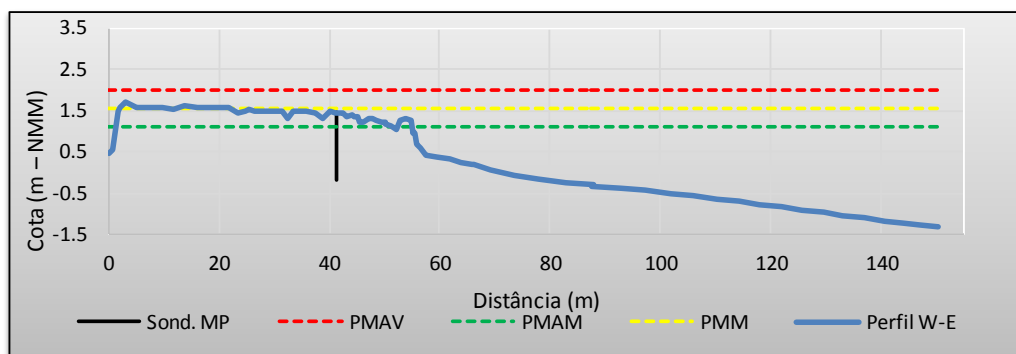


Figura 7– Perfil topográfico e níveis de referência da maré para o sapal de Mouchão da Póvoa.

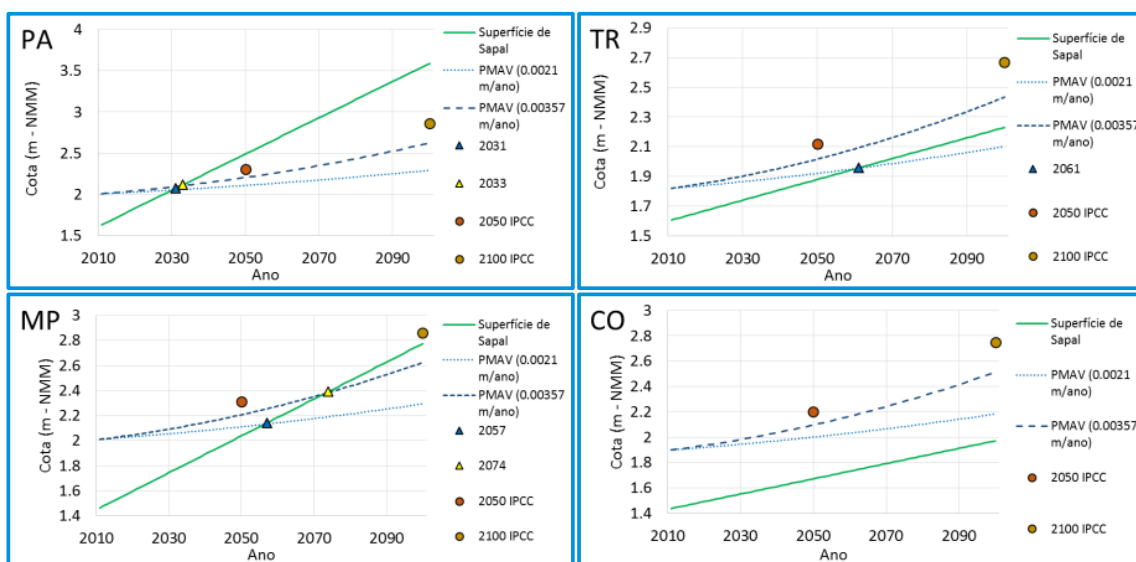


Figura 8– Resposta morfodinâmica dos sapais do estuário do Tejo até ao fim do séc. XXI.

## **4. Tarefa 3 – Hydrodynamic forcing factors and sediment budgets**

### **4.1. Resultados esperados**

1. Caracterização dos fatores forçadores hidrodinâmicos
2. Avaliação da entrada de sedimento proveniente da bacia hidrográfica do Tejo

### **4.2. Descrição geral do trabalho realizado**

Esta Tarefa teve como objetivo a caracterização dos fatores forçadores que maior impacto têm na evolução das margens estuarinas (correntes e propagação da maré, vento local e regime local de agitação e caudais fluviais líquidos e sólidos), para a presente situação climática e condições topo-hidrográficas (situação considerada de referência). Os objetivos desta Tarefa foram totalmente atingidos. Devido à dificuldade na contratação do bolsheiro de investigação envolvido na Sub-Tarefa 3.1 (Bolsa Mestre 2) verificou-se um atraso inicial da mesma, o que não teve, no entanto, implicações na sua execução.

A Tarefa incluiu duas Sub-Tarefas: 3.1. Caracterização hidrodinâmica; 3.2. Caudal sólido afluente ao estuário.

#### **4.2.1. Sub-tarefa 3.1 – Caracterização hidrodinâmica**

##### **4.2.1.1. Correntes e propagação da maré**

A hidrodinâmica do estuário foi caracterizada através da aplicação de um modelo de circulação (SELFE, Zhang e Baptista, 2008). Para tal foi desenvolvida uma malha de cálculo de alta resolução (Figura 9), cuja resolução junto às margens do estuário é particularmente elevada (da ordem de 50 m). O domínio foi delimitado pela Linha de Máxima Preia-Mar em Águas Vivas Equinociais (LMPMAVE), definida na Tarefa 1 deste projeto. O modelo desenvolvido apresentou uma excelente precisão (Figura 10).

O modelo desenvolvido foi utilizado para analisar a hidrodinâmica e a propagação de maré na situação atual, assim como para vários cenários futuros (de subida do nível médio do mar e de sedimentação). Relativamente à situação atual, o estudo permitiu tirar as seguintes conclusões:

- O modelo confirmou a forte dominância de vazante existente no estuário, já determinada em estudos anteriores (Fortunato et al., 1999). Mostrou ainda que essa dominância de vazante se estende apenas até à zona dos mouchões; a montante, o estuário do Tejo é dominado pela enchente, com enchentes mais curtas do que as vazantes.
- O modelo confirmou a existência de um modo de ressonância no estuário com cerca de 8 horas, que amplifica seletivamente as constituintes semi-diurnas e quarto-diurnas entre Cacilhas e Vila Franca de Xira.

- Desenvolveram-se mapas de inundação no estuário pelo efeito combinado de marés e sobrelevação meteorológica (*storm surges*) (Figura 11), seguindo o método proposto por Fortunato et al.. (2013).

A análise dos cenários futuros e a sua comparação com a situação presente é descrita na Tarefa 5.

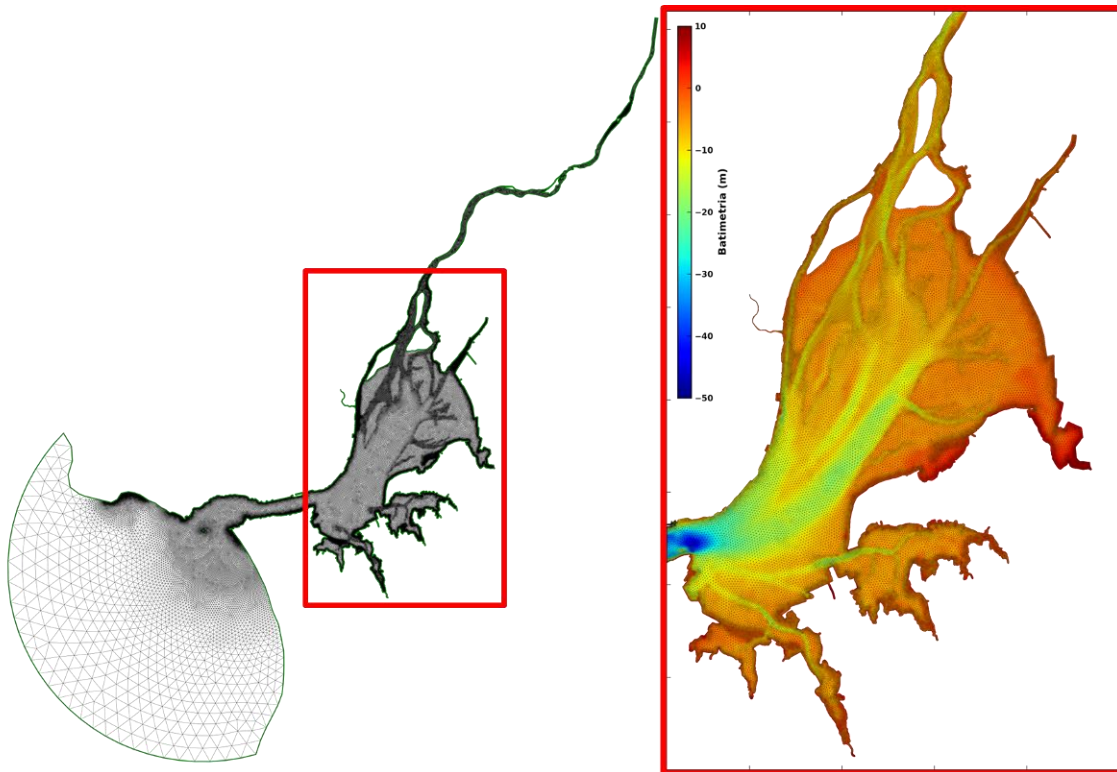


Figura 9 – Malha de cálculo do modelo de circulação do estuário do Tejo e batimetria (in Guerreiro et al., 2013).

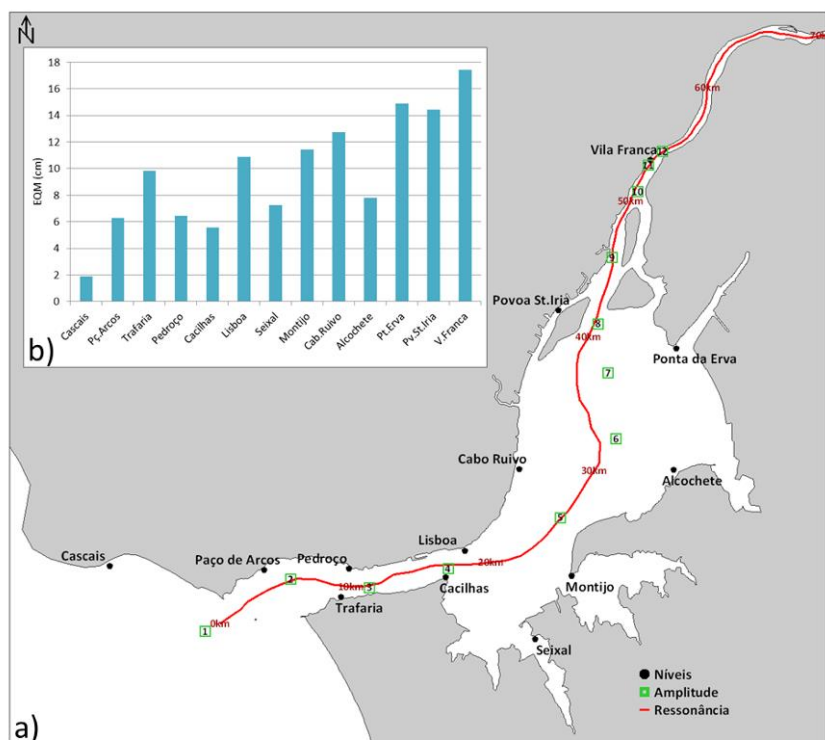


Figura 10 – Validação do modelo hidrodinâmico: a) localização das estações; b) erros. A linha a vermelho é utilizada mais à frente na análise de resultados (in Guerreiro et al., 2013).

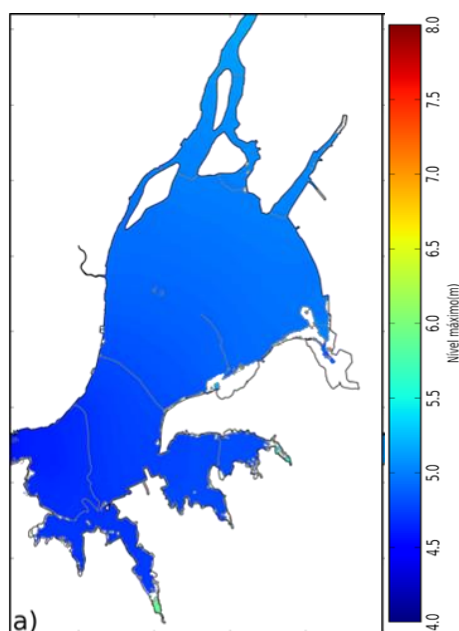


Figura 11 – Mapas de inundação para nível médio do mar atual e um período de retorno de 10 anos (in Guerreiro et al., 2013).

#### 4.2.1.2. Agitação marítima

Foi implementado um modelo de agitação marítima (SWAN) no estuário do Tejo, por forma a caracterizar a agitação gerada localmente. Foram usadas duas malhas encaixadas, por forma a ter maior resolução

na praia do Alfeite zona escolhida para estudos de pormenor (ver Tarefa 5) (Figura 12). O modelo foi calibrado e validado com dados de um projeto anterior, tendo-se obtido resultados satisfatórios.

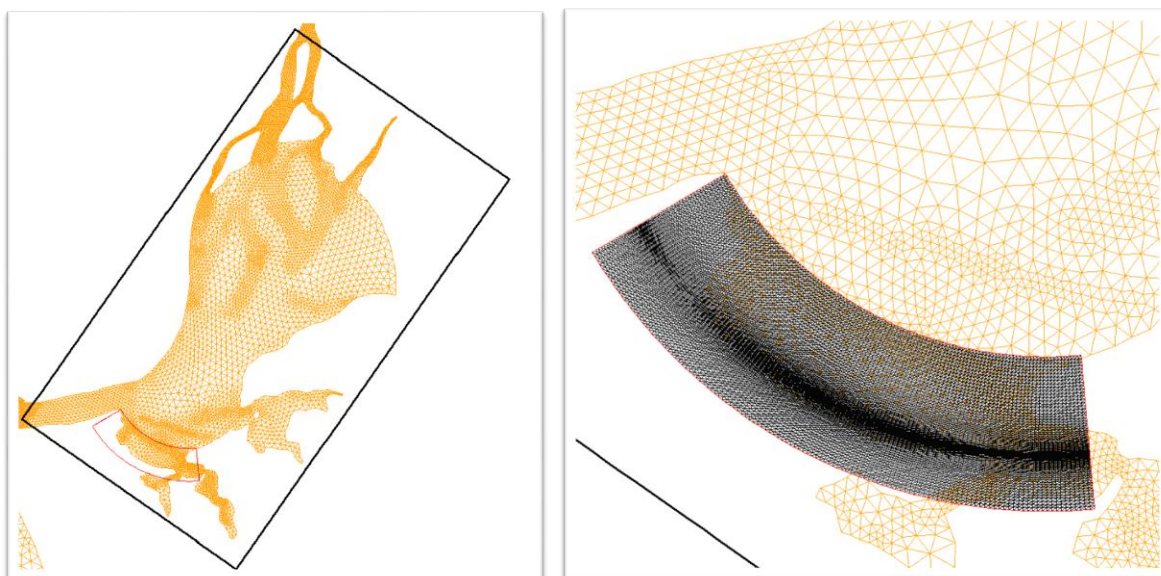


Figura 12 – Malhas de cálculo do modelo de ondas: limites das malhas (esquerda); malha mais fina (direita).

#### 4.2.2. Sub-tarefa 3.2 – Caudal sólido afluyente ao estuário

##### 4.2.2.1. Caudais fluviais

A quantificação das aflúncias de caudais líquidos ao estuário do rio Tejo baseou-se nos dados disponíveis nas estações hidrométricas e sedimentológicas existentes (Ómnias, Almourol e Tramagal). Atendendo a que a construção de aproveitamentos hidráulicos na bacia do Tejo incidiu fundamentalmente nas décadas de 1950 a 1970, selecionou-se o período posterior a 1970 para a caracterização da situação atual.

Com base na série de caudais médios diários em Almourol, entre 1973 e 2011, a contribuição fluvial anual para o estuário é estimada em 9700 hm<sup>3</sup>, o que corresponde a um valor médio do caudal médio mensal de 310 m<sup>3</sup>/s (Figura 13).

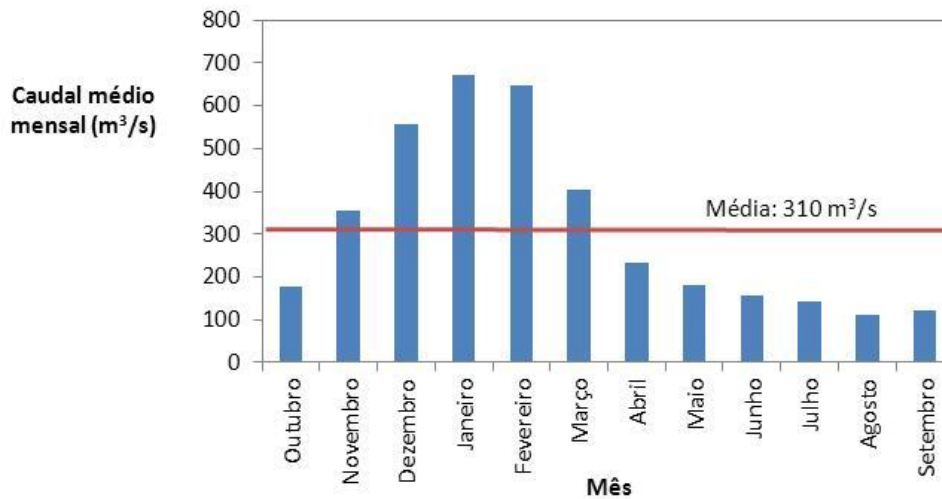


Figura 13 – Caudais médios mensais afluentes ao estuário na situação atual.

#### 4.2.2.2. Caudais sólidos

Os caudais sólidos afluentes ao estuário foram estimados com base em dois métodos alternativos, dada a enorme incerteza associada a estas estimativas. Primeiro, analisaram-se dados históricos de caudais sólidos, o que permitiu estimar as afluências de sedimentos em suspensão e por arrastamento. Segundo, fizeram-se cálculos de capacidades de transporte sólido por arrastamento, que, complementados por dados de caudais fluviais, permitiram estimar o transporte por arrastamento afluente ao estuário.

As duas abordagens seguidas conduziram a resultados com ordens de grandeza semelhantes para os sedimentos afluentes ao estuário por arrastamento, o que reforça a segurança nas estimativas produzidas.

##### 4.2.2.2.1. Transporte sólido total

Para a estimativa das afluências de sedimentos ao estuário consideraram-se as medições de caudal sólido em suspensão e por arrastamento efetuadas na estação de Almourol entre 1972 e 1978. Note-se que também foram analisadas as medições nas estações do Tramagal e de Ómnias. No entanto, por razões que se prendem com a reduzida dimensão da série em Tramagal e com a disparidade de valores em Ómnias resultantes de medições efetuadas com diferentes equipamentos, optou-se por considerar os dados de Almourol.

Com base nas medições em Almourol foram determinadas as relações entre caudais líquidos e sólidos, em suspensão e por arrastamento, que se assumem serem válidas atualmente. A partir destas relações e dos caudais médios diários no período de 1973/74 a 2010/11, procedeu-se à estimativa dos valores médios de caudal sólido por arrastamento e em suspensão no referido período.

As estimativas de afluências de sedimentos apontam para valores anuais de sedimentos transportados em suspensão entre 0,1 e  $0,5 \times 10^6$  t/ano, e sedimentos transportados por arrastamento entre 0,15 e

$0,5 \times 10^6$  t/ano. No entanto, dadas as incertezas associadas às medições de caudal sólido (séries curtas referentes a anos hidrológicos não significativos) os intervalos referidos poderão ser maiores, designadamente os seus valores máximos.

#### 4.2.2.3. Transporte por arrastamento

No Plano Específico de Extração de Inertes no rio Tejo foram efetuados cálculos de transporte sólido para o rio Tejo ( Rocha et al., 2007).

Para a obtenção dos caudais sólidos transportados pelo rio foram tidas em consideração as condições hidráulicas nas diversas secções do rio Tejo, entre Abrantes e a Vila Franca de Xira, para as quais estavam disponíveis batimetrias. Depois procedeu-se ao cálculo das curvas de regolfo através do programa HEC-RAS. O cálculo foi efetuado para as diversas secções de cálculo e para vários valores de caudais líquidos (200, 800, 2000, 5000, 8000, 18000 m<sup>3</sup>/s). Na Figura 14 apresenta-se a média dos resultados obtidos para o caudal sólido total ao longo do rio para  $Q_{liq} = 800$  m<sup>3</sup>/s.

Verifica-se que para este caudal não há capacidade de transporte sólido para inserir no estuário do rio Tejo sedimentos arenosos.

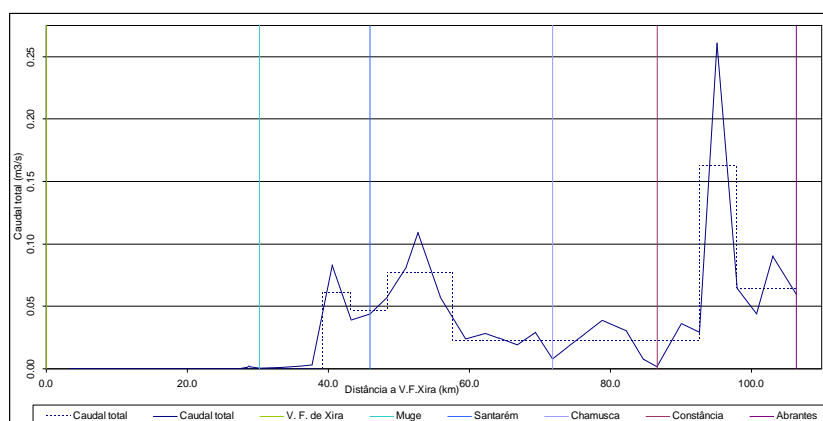


Figura 14 – Caudal sólido ao longo do rio Tejo, para  $Q_{liq}=800$  m<sup>3</sup>/s.

No Quadro 3 apresentam-se os caudais sólidos obtidos para os diversos valores de caudais líquidos.

Quadro 3 – Caudais sólidos totais (m <sup>3</sup> /s).								
Troço	Distância a Vila Franca de Xira (km)		Caudais líquidos (m <sup>3</sup> /s)					
	Início	Final	200	800	2000	5000	8000	18000
1	98,05	106,40	0,004	0,065	0,336	1,121	1,297	7,783
2	92,65	98,05	0,025	0,163	0,204	0,486	0,481	1,685
3	57,68	92,65	0,002	0,023	0,136	0,679	1,032	9,904
4	48,40	57,68	0,095	0,077	0,332	0,501	0,230	0,966
5	43,20	48,40	0,003	0,047	0,285	0,909	0,963	5,104
6	39,15	43,20	0,034	0,061	0,262	0,940	1,295	5,217
7	3,2	39,15	0,003	0,001	0,041	0,313	0,437	4,489



Adotando-se como base a curva de duração média anual do caudal médio diário para Vila Velha de Ródão, e efetuando a integração dessa curva ao longo dos 365 dias, foi efetuado o cálculo do volume anual da capacidade de transporte sólido para cada um dos troços do rio Tejo, cujos resultados apresentam-se na Figura 15 e no Quadro 4.

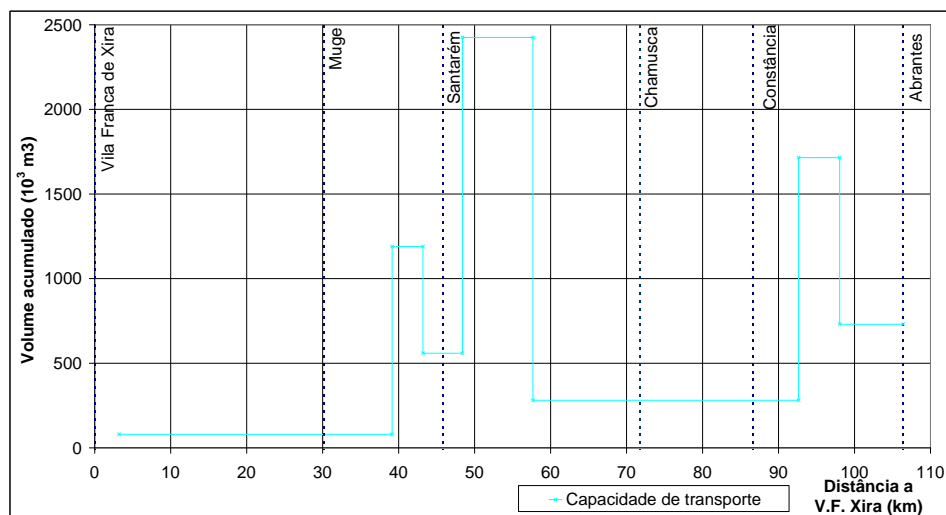


Figura 15 – Volumes anuais de capacidade de transporte sólido.

Quadro 4 – Volumes anuais de capacidade de transporte sólido.

Troço	Distância a Vila Franca de Xira (km)		Volume anual (m <sup>3</sup> )
	Início	Final	
1	98,05	106,40	730 271
2	92,65	98,05	1 714 881
3	57,68	92,65	281 241
4	48,40	57,68	2 425 060
5	43,20	48,40	558 808
6	39,15	43,20	1 189 232
7	3,2	39,15	79 940

A análise dos perfis transversais do rio Tejo, correspondentes aos levantamentos dos anos de 1970 e 1998 permitiu obter uma taxa média de erosão do fundo, resultante da extração de inertes, de 42 mm/ano. No Quadro 5 apresentam-se os volumes anuais para diversas taxas de variação da cota do fundo, que poderão corresponder a erosão ou assoreamento.

**Quadro 5 – Volumes anuais em relação à taxa de variação.**

Taxa de variação (mm/ano)	Volume anual (10 <sup>6</sup> m <sup>3</sup> )
25	0,90
42	1,52
50	1,81
100	3,62
150	5,43
200	7,23

Em síntese, a entrada de sedimentos arenosos no estuário do rio Tejo, a jusante de Vila Franca de Xira, só ocorre, com alguma expressão, para caudais de cheia superiores a 2000 m<sup>3</sup>/s. O volume anual médio estimado foi de cerca de 80000 m<sup>3</sup>, mas com uma grande variabilidade interanual, sendo praticamente nulo em anos secos, e muito mais elevado em anos com cheias de períodos de recorrência elevados.

Os resultados obtidos nesta Tarefa foram parcialmente publicados em comunicações a duas conferências nacionais (Guerreiro et al., 2012, Rilo et al., 2013) e outra internacional (Guerreiro et al., 2013), e ainda num artigo submetido à Revista Gestão Costeira Integrada / Integrated Coastal Zone Management (Rilo et al., submetido).

## 5. Tarefa 4 – Physical and biological impacts of regional-scale climate change and socio-economic scenarios

### 5.1. Resultados esperados

1. Cenários climáticos à escala regional
2. Cenários do desenvolvimento socioeconómico das margens
3. Avaliação das taxas de sedimentação em condições futuras
4. Cenários de resposta dos sapais

### 5.2. Descrição geral do trabalho realizado

A Tarefa visava a definição de cenários climáticos à escala regional e de cenários para a futura ocupação das margens estuarinas. Pretendia-se igualmente analisar o impacto desses cenários na entrada de sedimento no sistema estuarino e na resposta da vegetação de sapal e comunidades de algas. Os objetivos propostos foram cumpridos.

A Tarefa incluiu duas Sub-Tarefas: 4.1. Cenários de alterações climáticas e socioeconómicos; 4.2. Impactos físicos e biológicos.

#### 5.2.1. Cenários de alterações climáticas e socioeconómicos

No âmbito desta Tarefa, e com base na extensa revisão bibliográfica sobre o tema, foram definidos os cenários de subida do nível médio do mar para dois horizontes temporais (2050 e 2100). Para 2050 foi considerada uma subida de 0,3 m e para 2100 adotaram-se os valores de 0,5 e 1,5 m (Quadro 6).

Quadro 6 – Cenários de subida do NMM relativamente a 1990 (em cm) adotados no âmbito do projeto.

	2050	2100
IPCC (2007) – B1	20	40
IPCC (2007) – A1F1		60
Limite máximo	50	100-150

Para definir os cenários de vento a adotar foram comparadas estatísticas de vento no fim dos séculos 20 (1970-2000) e 21 (2070-2100), tendo-se identificado diferenças modestas em frente ao estuário do Tejo. No entanto, a análise foi efectuada com resultados de um modelo climático global que não consegue reproduzir completamente as tendências históricas (Pyor e Barthelmie, 2010). Ainda assim, de acordo com os mesmos autores, parece improvável que, durante o século 21 na Europa, a velocidade do vento e a densidade de energia se alterem mais do que a atual variabilidade inter-anual (i.e.  $\pm 15\%$ ). Assim, considerou-se o regime de ventos invariante.

A revisão bibliográfica sobre os cenários de alterações climáticas para as variáveis precipitação, temperatura, escoamento e caudais sólidos afluentes ao estuário do rio Tejo, não conduziu à obtenção de tendências definidas, pelos que estas variáveis foram consideradas invariantes.

Relativamente à ocupação antrópica, foi efectuado o levantamento dos principais projectos de desenvolvimento previstos para o estuário do Tejo com base na consulta de planos de ordenamento, às escalas local e regional. A evolução socioeconómica futura foi analisada com base na previsão que consta do Plano de Gestão da Região Hidrográfica do Tejo. Considerando a análise dos cenários de evolução socioeconómica e respetiva incerteza, em conjunto com a forte ocupação que as margens estuarinas já hoje apresentam, levou à consideração que, para efeitos da modelação hidrodinâmica do estuário, os limites da margem estuarina fossem considerados estáticos.

### **5.2.2. Impactos físicos e biológicos**

No âmbito desta Sub-Tarefa foi efetuada uma compilação bibliográfica e cartográfica das salinas abandonadas, de modo a selecionar os casos de estudo a caracterizar em termos da recuperação/renaturalização destas áreas antropizadas. Neste sentido foi efetuado um reconhecimento de campo para avaliar as condições de terreno destas áreas. Este estudo teve como objetivo comparar o coberto vegetal das áreas recuperadas com o das áreas naturais e avaliar o potencial para quantificar taxas de sedimentação (em relação com a Sub-Tarefa 2.2). Estes resultados serviram de base ao modelo conceptual de evolução do estuário elaborado na Tarefa 6.

No que diz respeito ao fornecimento sedimentar, depois de uma análise aos métodos de cálculo e considerando a representatividade e as enormes lacunas na informação de base existente, considerou-se que em cenários futuros o caudal sólido afluente ao estuário não irá apresentar diferenças significativas relativamente à situação de referência.

Face aos cenários selecionados em 4.1, foi analisada a capacidade de adaptação das comunidades biológicas do estuário, designadamente as comunidades de sapal, e suas tendências evolutivas.

Com base nas taxas de evolução do leito do estuário, obtidas na Tarefa 2, elaborou-se um modelo conceptual preliminar de evolução morfológica do estuário que serviu de base às simulações efetuadas na Tarefa 5.1. Este modelo será descrito em detalhe na Tarefa 6.

## **6. Tarefa 5 – Impact of climate change on estuarine margins morphodynamics**

### **6.1. Resultados esperados**

1. Avaliação dos fatores forçadores futuros
2. Estimativa de indicadores de resposta morfológica

### **6.2. Descrição geral do trabalho realizado**

Esta Tarefa consistiu na avaliação do impacto dos cenários de alterações climáticas e ocupação antrópica das margens, obtidos na Tarefa 4, na morfodinâmica das margens. Nesta Tarefa foram cumpridos os objetivos propostos. Devido à dificuldade na contratação do bolsheiro de investigação envolvido nesta Tarefa (Bolsa Mestre 2) houve um atraso no início da execução da mesma, no entanto sem consequências para o seu cumprimento.

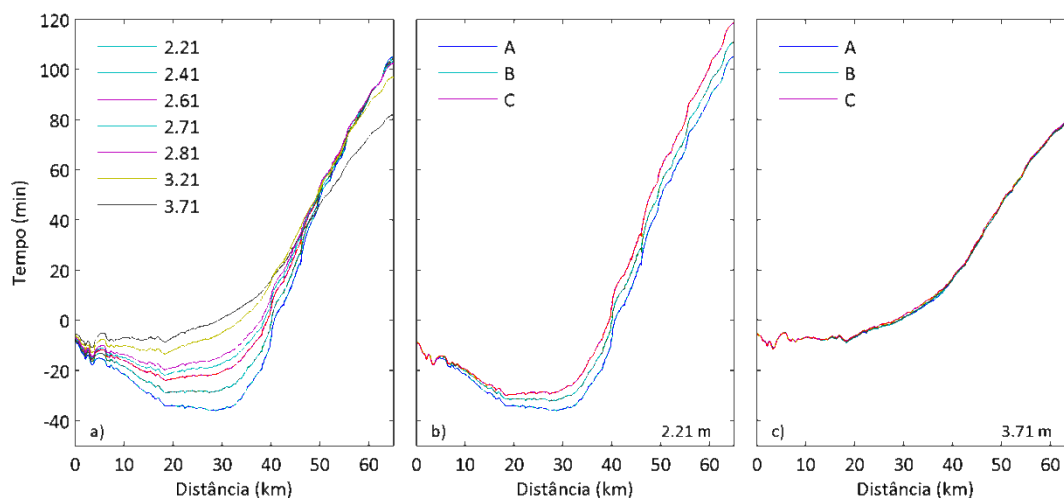
A Tarefa foi dividida em duas Sub-Tarefas: 5.1. Impacto nos mecanismos forçadores; 5.2. Impacto na morfodinâmica.

#### **6.2.1. Impacto nos mecanismos forçadores**

O modelo hidrodinâmico desenvolvido na Sub-Tarefa 3.1 foi utilizado para determinar o efeito da subida do nível médio do mar e da sedimentação expectável nas características da maré no estuário do Tejo. Tiraram-se as seguintes conclusões (Guerreiro et al., 2013):

- A subida do NMM vai afetar significativamente a assimetria de maré, em particular porque as constituintes quarto-diurnas são mais amplificadas do que as semi-diurnas (Figura 16). A principal consequência direta será a redução da dominância de vazante. Esta redução irá, por sua vez, acelerar o ritmo de assoreamento do estuário.

- A subida do NMM reforçará a ressonância no estuário do Tejo, aumentando a amplificação da maré. Em resultado deste aumento, os níveis máximos no estuário terão um aumento superior, ainda que de forma modesta, àquele que ocorrerá no mar (Figura 17).



**Figura 16 – Diferença entre as durações da vazante e da enchente ao longo do eixo do estuário representado na Figura 10a, para vários cenários de subida do NMM e cenários de assoreamento: a) resultados para vários cenários de subida do NMM para a batimetria original; b) e c) resultados para diferentes batimetrias (A: batimetria original, B: batimetria para 50 anos e C: batimetria para 100 anos) para o cenário atual de NMM e para o cenário mais dramático previsto para a subida do NMM (3,71 m). In Guerreiro et al. (2013).**

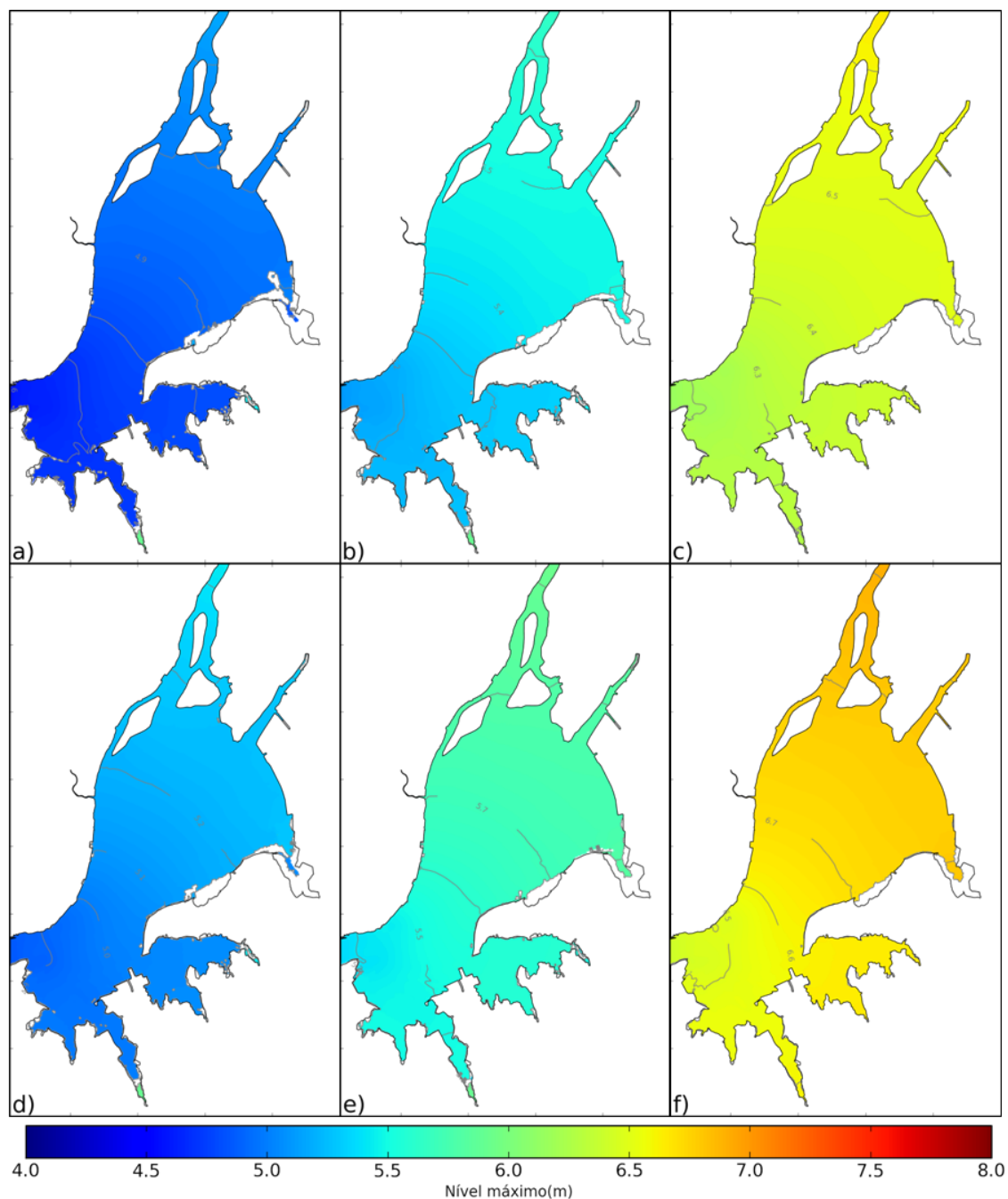
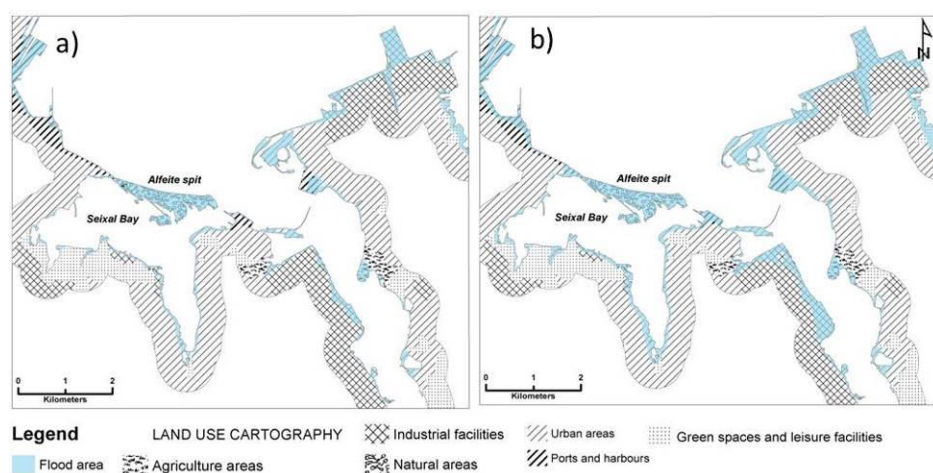


Figura 17 – Mapas de inundação para os vários cenários de subida do NMM e períodos de retorno: a) 2,21 m e 10 anos; b) 2,71 m e 10 anos; c) 3,71 m e 10 anos; d) 2,21 m e 100 anos; e) 2,71 m e 100 anos; g) 3,71 m e 100 anos. In Guerreiro et al. (2013).

### 6.2.2. Impacto na morfodinâmica

Com base nos resultados obtidos na Sub-Tarefa 5.1 e na cartografia da ocupação da orla estuarina efetuada na Sub-Tarefa 1.1, analisou-se a **vulnerabilidade das margens à inundação** tendo em conta diferentes cenários de subida do nível médio do mar e de ocupação humana. Esta análise foi efetuada na zona do Seixal uma vez de que se dispunha de dados topográficos e hidrográficos que permitiram a análise a uma escala de detalhe (Figura 18). Os resultados, apresentados na coferência internacional ICS2013 (Rilo et al., 2013), mostram que cerca de 16% da orla estuarina será potencialmente inundada

no cenário de 2050, havendo um incremento de 8% de área inundada em 2100; as zonas industriais e urbanas serão das mais afetadas (Figura 18).



**Figura 18 – Zonas potencialmente inundadas para os cenários de subida do nível médio do mar de 2050 (a) e 2100 (b) (in Rilo et al., 2013).**

Relativamente ao impacto das alterações climáticas nas **margens arenosas**, realizou-se:

- trabalho de campo para aquisição de dados topo-hidrográficos e sedimentológicos (Guerreiro *et al.*, 2011; Rilo e Oliveira, 2011; Rilo et al., 2012a; Rilo et al., 2012b).
- trabalho teórico de desenvolvimento de um modelo de previsão de erosão de dunas devido ao impacto de ondas, o modelo Duneforce (Guerreiro e Oliveira, 2013). Trata-se de um modelo empírico baseado no princípio de equilíbrio de forças, entre a resultante da força que atua na face da duna e o peso do volume de sedimento erodido, proposto por Larson et al., (2004), conforme esquema da Figura 19.
- trabalho numérico de melhoria, teste, avaliação e comparação dos modelos morfodinâmicos Duner (Oliveira, 2013), XBeach, (Oliveira, 2013), Litprof (Contente e Oliveira, 2012; Oliveira e Contente, 2013; Oliveira et al., 2013a; Oliveira et al., 2013b), Unibest-TC (Oliveira et al., 2013a; Oliveira et al., 2013b), e Delft3D (Oliveira, 2013), para previsão da erosão de sistemas praia-duna devido à ação de eventos extremos de estado do mar (agitação marítima e sobrelevação).

Utilizaram-se dois casos de estudo desenvolvidos em modelo reduzido de laboratório e dois casos de protótipo, a praia de Carcavelos e a praia do Alfeite, para validar, testar, avaliar e comparar os diversos modelos de morfodinâmica desenvolvidos e aplicados. O objetivo final dos trabalhos desenvolvidos foi avaliar o efeito das alterações climáticas, especificamente da subida do nível médio do mar e de eventuais alterações do regime de agitação marítima média e de extremos, na praia do Alfeite do estuário do Tejo (Figura 20), para os horizontes temporais de 2050 e 2100. Escolheu-se a praia do Alfeite como caso piloto, pelo facto de ser a praia estuarina que está submetida à zona de maior *fetch* (zona de geração-propagação das ondas) do estuário (25 km com alinhamento aproximado NE) e devido à existência de um grande número de dados (Guerreiro et al., 2013). Concluiu-se que para as condições de hidrodinâmica para os horizontes temporais de 2050 e 2100 o nível do mar dentro do estuário em



frente à praia do Alfeite já se encontrará acima do topo da duna primária (frontal), ou seja, a restinga do Alfeite já terá sido completamente inundada (Guerreiro e Oliveira, 2013).

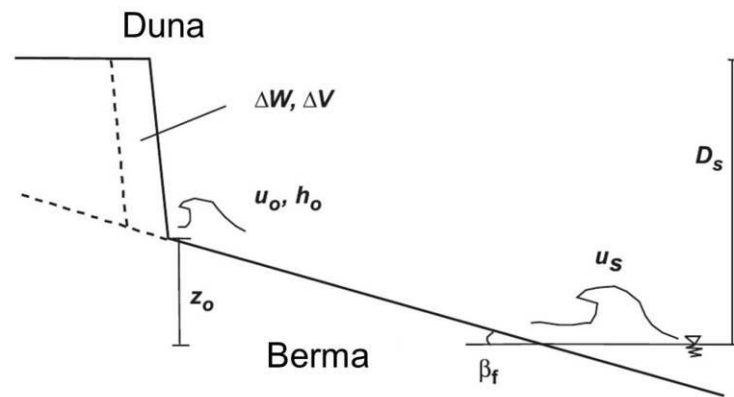


Figura 19 – Esquema conceptual da modelação de erosão de dunas do modelo Duneforce (Guerreiro e Oliveira, 2013).



Figura 20 – a) Enquadramento e localização geográfica da restinga do Alfeite no contexto do estuário do Tejo; b) Pormenor da restinga do Alfeite (Ortofoto de 2007, Instituto Geográfico Português -IGP).

Relativamente às **margens coesivas**, destaca-se ter sido realizado um conjunto de ensaios para a determinação de velocidades de sedimentação de material fino, silto-argiloso, colhido no estuário do Tejo. Foi analisada, com particular atenção, a influência da salinidade sobre essas velocidades. Os resultados obtidos sugerem que a velocidade de sedimentação desse material fino sofre efetivamente um aumento muito significativo entre o sector fluvial, de água doce, e os sectores inferior e médio do estuário, normalmente euhalinos (salinidade > 30‰; Figura 21). Este efeito poderá ser relevante na análise da resposta das margens coesivas a alterações dos fatores forçadores.

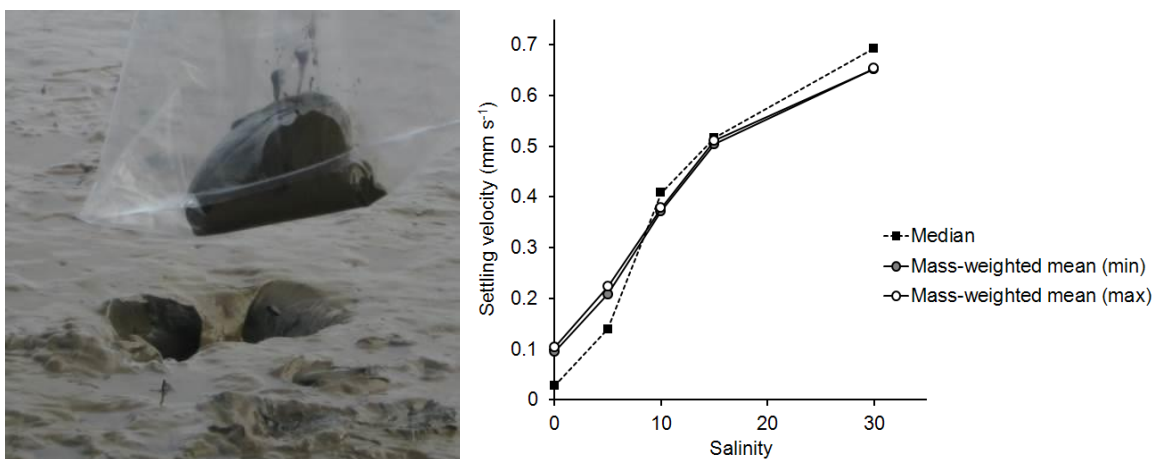


Figura 21 – a) Amostra colhida no estuário do Tejo; b) Velocidades de sedimentação dessa amostra (Portela et al., 2013).

## **7. Tarefa 6 – Conceptual model for long-term estuarine margins evolution**

### **7.1. Resultados esperados**

Modelo conceptual de evolução das margens estuarinas às alterações climáticas e impactos antrópicos.

### **7.2. Descrição geral do trabalho realizado**

O objetivo desta Tarefa consistiu na integração dos resultados obtidos nas Tarefas 4 e 5 no desenvolvimento de um modelo conceptual de evolução a longo prazo das margens estuarinas, aplicado ao estuário do Tejo. Este objetivo foi cumprido, encontrando-se o modelo conceptual desenvolvido em fase de validação.

#### **7.2.1. Balanço sedimentar**

Com vista à elaboração do modelo conceptual de evolução das margens estuarinas foi efetuada previamente a análise do balanço sedimentar da fração fina no interior do estuário. Para tal, recorreu-se à informação obtida de taxas de sedimentação (Tarefa 2), dados relativos aos caudais sólidos em suspensão afluentes ao estuário (Tarefa 3) e dados bibliográficos referentes às taxas de sedimentação do prodelta do Tejo. Os resultados evidenciaram as incertezas associadas à entrada de sedimento através da bacia hidrográfica, enquanto o balanço sedimentar baseado nas taxas de sedimentação obtidas para as zonas de sapal e raso de maré foi concordante com o apresentado por outros autores (Portela, 2004) apontando para uma retenção no interior do estuário de cerca de  $0,56 \times 10^6$  t/ano. Os resultados foram apresentados na conferência nacional MEC2013 (Rilo et al., 2013).

#### **7.2.2. Modelo conceptual**

O modelo conceptual de evolução a longo prazo foi desenvolvido integrando os resultados obtidos ao longo do projeto, designadamente: cartografia do intertidal (Tarefa 1); distribuição espacial das taxas de sedimentação nos rasos de maré e sapais (Tarefa 2); cenários de subida do nível médio do mar (Tarefa 4).

O modelo foi operacionalizado em Matlab, onde a batimetria do estuário do Tejo (considerando o ano 2000 como a situação de referência) foi classificada em intervalos de cotas correspondentes às diferentes unidades morfosedimentares (sapais, rasos intertidais, rasos subtidais e canais) (Figura 22).

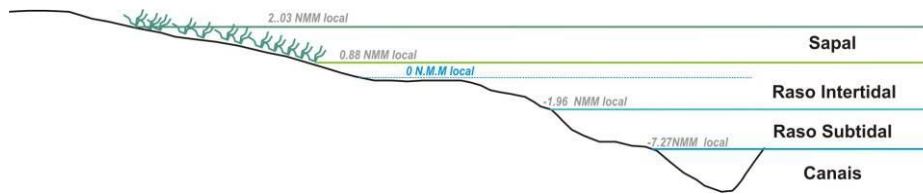


Figura 22 – Domínios altimétricos das unidades morfosedimentares consideradas no modelo conceptual.

Para cada classe foi construída uma função representativa da variação temporal (entre 2000 e 2100) da cota com a taxa de sedimentação, tendo em consideração os seguintes cenários de variação do nível médio do mar:

- Cenário A: sem subida do nível médio do mar;
- Cenário B: o nível médio do mar sobe a uma taxa constante semelhante à atual (-/+0.2cm/ano);
- Cenário C: o nível médio do mar sobe com aceleração.

Os resultados, traduzidos em variação de área ocupada por cada classe morfosedimentar (Figura 23), mostram o claro crescimento da área de sapal no caso dos cenários A e B, resultante da taxa de sedimentação ser superior à taxa de subida do nível médio do mar. No caso do cenário C, verificou-se a diminuição significativa das áreas de sapal e do raso intertidal acompanhada pelo aumento das áreas de raso subtidal e canais mostrando a adaptação morfológica do sistema à aceleração da subida do NMM.

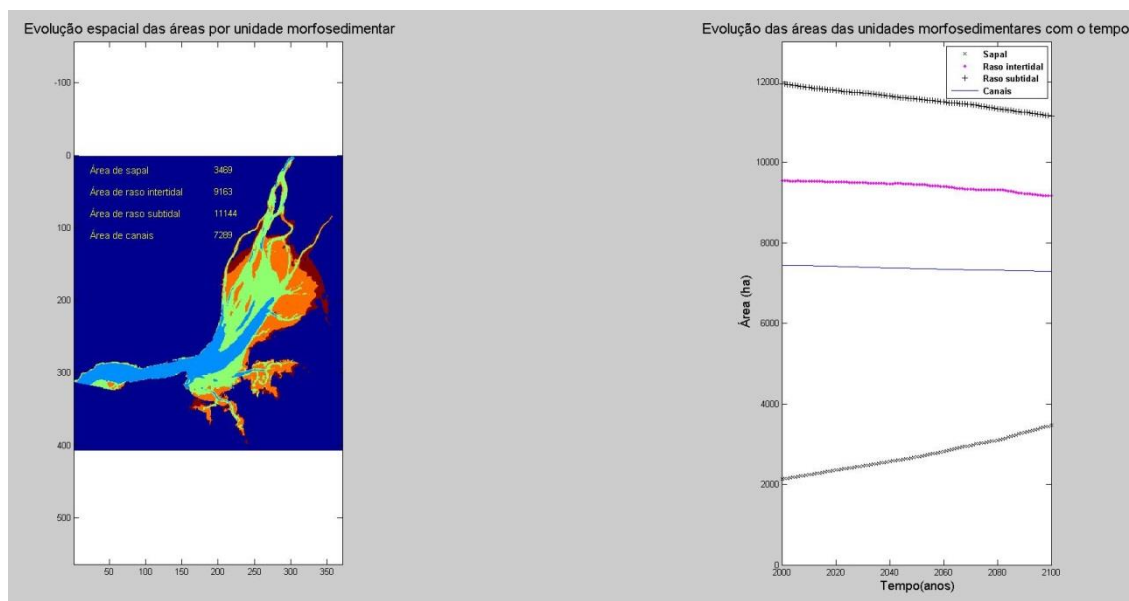


Figura 23 – Aspecto da saída gráfica do modelo conceptual desenvolvido, para o Cenário A.

Os resultados preliminares do modelo conceptual de evolução a longo prazo são coerentes com o conhecimento do funcionamento morfosedimentar dos sistemas estuarinos em geral e do estuário do Tejo em particular. Embora seja ainda necessário proceder à validação de alguns dos parâmetros considerados e à verificação da aplicabilidade a outros sistemas, este modelo representa um avanço

importante na capacidade de previsão do comportamento morfosedimentar dos estuários ao impacto de alterações climáticas, designadamente à subida do nível médio do mar. É uma ferramenta simples, com grande potencial para ser usada no apoio ao planeamento e gestão dos sistemas estuarinos.

Os resultados preliminares deste modelo foram apresentados no Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed.

## **8. Tarefa 7 – Management and dissemination**

### **8.1. Resultados esperados**

1. Artigos em revistas, participação em conferências e relatórios
2. Seminário final
3. Reuniões de equipa bianuais
4. Página web de acesso público

### **8.2. Descrição geral do trabalho realizado**

#### **8.2.1. Gestão do projeto**

Garantiu-se o funcionamento e articulação da equipa através de reuniões gerais e setoriais, das quais foram elaboradas atas. Efetuaram-se 3 reuniões gerais da equipa (reunião de arranque em 23/3/2010, reuniões anuais em 5/5/2011 e 22/5/2012) e 4 setoriais (Tarefas 1 e 2 em 27/4/2010, Tarefa 4 em 19/10/2011, Tarefa 5 em 22/11/2011 e Tarefa 6 em 19/4/2013). Foram também efetuadas várias reuniões por skype com o consultor Karl Nordstrom.

Foram elaborados e enviados à FCT os relatórios científicos anuais (relatórios de progresso ano 1, ano 2 e ano 3).

Assinou-se um Protocolo de colaboração entre o Consórcio do projeto MorFeed e a ARH do Tejo, I.P, com vista à cedência de informação e colaboração entre equipas durante o projeto.

Criou-se uma biblioteca de informação digital com vista à partilha e informação e resultados entre os investigadores envolvidos no projeto, que será alargada à comunidade científica e end-users.

#### **8.2.2. Disseminação**

##### **8.2.2.1. Folheto e página web**

Preparou-se um folheto de divulgação do projeto (Anexo 1) e desenvolveu-se e atualizou-se uma página *web* do projeto em português e inglês (Anexo 2):

PT: [http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nec/estudos\\_id/morfeed](http://www.lnec.pt/organizacao/dha/nec/estudos_id/morfeed)

EN: [http://www.lnec.pt/organization/dha/nec/estudos\\_id/morfeed](http://www.lnec.pt/organization/dha/nec/estudos_id/morfeed)

##### **8.2.2.2. Divulgação do projeto em diferentes fóruns**

Para além das conferências e seminários onde os resultados do projeto foram apresentados, fez-se a divulgação do projeto em diferentes fóruns, designadamente:

- *Workshop on Remote Sensing of Intertidal Flats*, organizado pelo *Project Monitoring of Intertidal Flats running under the ESA Value Adding Element*, Lisboa, 02-03/11/ 2010 (participação de Paula Freire e Ricardo Nogueira Mendes);
- ARH-Tejo. *Reunião de apresentação do Projeto MorFeed* (Paula Freire) em 24/03/2011;
- *II Colóquio Detecção Remota: Observação da Terra. Sociedade de Geografia de Lisboa. 5 e 6 de Dezembro de 2011. Lisboa.* Comunicação Oral por convite; Nogueira Mendes, R., R. Ceia, J. Catalão, R. Melo (2011). Pode a deteção remota ser uma ferramenta para a cartografia de plataformas de intertidal em Sistemas Estuarinos?
- Jornadas de Investigação e Inovação LNEC, sob o tema “*Recursos Naturais e Energia*”, que decorreram de 21 a 26 e 29 de Março 2012, no Laboratório Nacional de Engenharia Civil;
- *Conferência Baía do Seixal, Estuário do Tejo. A importância dos Ecossistemas Aquáticos*, Câmara Municipal do Seixal (09/11/2012), com a apresentação oral por convite *Projecto MorFeed - Morphodynamic Feedback of estuarine margins to climate change* (Paula Freire);
- 5.<sup>as</sup> de Mar. *CO-FCUL Auditório da Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. 29 de Março de 2012. Lisboa.* Comunicação Oral por convite: Nogueira Mendes, R., R. Ceia, J. Catalão, R. Melo (2012). Pode a detecção remota ser uma ferramenta para a cartografia de plataformas de intertidal em Sistemas Estuarinos?

### **8.2.2.3. Publicações**

A lista das publicações é apresentada na Secção 9, estando estas disponíveis em <http://www-ext.lnec.pt/projects2012/MorFeed/>.

Foram publicados 5 artigos em revistas internacionais indexadas no *Science Citation Index*, tendo sido submetido um artigo em revista nacional. Foram publicados 8 artigos ou resumos de conferência científica internacional, 11 artigos ou resumos de conferência nacional, 13 relatório técnicos e foi preparada uma tese de mestrado a ser defendida na Universidade de Lisboa em dezembro de 2013.

### **8.2.2.4. Seminários de divulgação**

#### **8.2.2.4.1. Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira**

Foi organizada em colaboração com os responsáveis de outros projetos de investigação FCT sobre a mesma temática uma conferência especializada na área da morfodinâmica estuarina e costeira, Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira - MEC2013 (<http://mec2013.lnec.pt/>). Esta conferência realizou-se na Universidade de Aveiro, de 9 a 10 de maio de 2013, e contou com 28 apresentações orais, 11 pósteres e 2 palestras convidadas (Prof. Magnus Larsen (Lundt University) e Doutor Giovanni Coco (IH Cantabria). Nesta conferência foram divulgados os resultados do projeto, não só à comunidade científica mas também a gestores da zona costeira.

#### 8.2.2.4.2. Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed

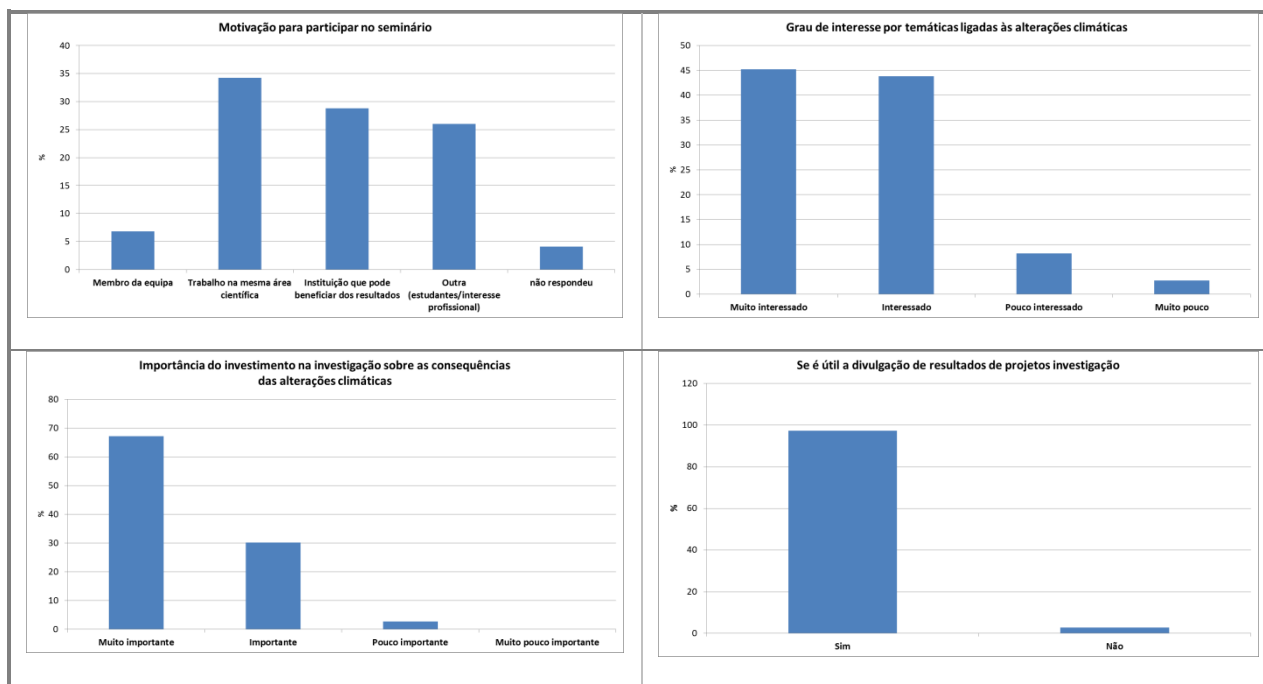
Foi organizado o Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed que decorreu no LNEC em 30 de setembro de 2013 (folheto do Seminário no Anexo 3). Este seminário incluiu 6 apresentações orais de divulgação dos principais resultados do projeto segundo o seguinte programa:

09h30 – 09h40	<i>Abertura e boas vindas (Rafaela Matos, LNEC)</i>
09h40 – 10h40	<i>Apresentação geral do projeto (Paula Freire, LNEC)</i>
	<i>Domínio de estudo: mapeamento e análise evolutiva através de técnicas de deteção remota e critérios biofísicos (Ricardo Nogueira Mendes, FFCUL)</i>
	<i>Cenários de alterações climáticas e de ocupação antrópica (Rui Taborda, FFCUL)</i>
10h40 – 11h00	<i>Debate</i>
	<i>Intervalo</i>
11h15 - 12h15	<i>Impacto da subida do nível médio do mar na circulação estuarina e inundação marginal no estuário do Tejo (André Fortunato, LNEC)</i>
	<i>Evolução morfológica dos sapais do estuário do Tejo face à subida do nível médio do mar (Maria da Conceição Freitas, FFCUL)</i>
	<i>Modelo concetual de evolução do estuário do Tejo. Resultados preliminares (Ana Rilo, LNEC)</i>
12h15 – 12h45	<i>Debate</i>
12h45 – 13h00	<i>Encerramento (César Andrade, FFCUL)</i>

O Seminário contou com a presença de 123 participantes aos quais for distribuído um inquérito para apurar a sua proveniência, motivação da sua participação, interesse na temática e na sua divulgação.

Os resultados do inquérito, baseados em 73 respostas (Figura 24) mostram que os participantes foram sobretudo pessoas que trabalham na mesma área científica do projeto (34%) ou em instituições que podem beneficiar dos resultados do projeto (29%). As outras proveniências (26%) correspondem principalmente a estudantes de cursos profissionais, mestrado e doutoramento. Praticamente 90% dos inquiridos afirmaram ter ficado, após o Seminário, muito interessados ou interessados em temáticas ligadas às consequências das alterações climáticas. A importância do investimento na investigação desta área temática foi expressa em 97% das respostas, sendo igual a percentagem das respostas que consideraram útil a divulgação deste tipo de projetos.





**Figura 24 – Resultados do inquérito distribuído aos participantes no Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed (com base nos 73 inquéritos preenchidos).**

## 9. Publicações do projeto

### 9.1.1. Artigos em revistas internacionais

Publicado - Freire, P., Jackson, N.L. and Nordstrom, K.F., 2013. Defining beaches and their evolutionary states in estuaries, *Journal of Coastal Research*, SI 65: 482-487.

Publicado - Rilo, A., Freire, P., Guerreiro, M., Fortunato, A.B., Taborda, R. 2013. Estuarine margins vulnerability to floods for different sea level rise and human occupation scenarios, *Journal of Coastal Research*, SI 65: 820-825.

Publicado - Silva, T.A., Freitas, M.C., Andrade, C., Taborda, R., Freire, P., Schmidt, S., Antunes, C., 2013. Geomorphological response of the salt-marshes in the Tagus estuary to sea level rise, *Journal of Coastal Research*, SI 65: 582-587.

Publicado – Oliveira, F.S.B.F. and Contente, J., 2013, Scale effects in numerical modelling of beach profile erosion. *Journal of Coastal Research*, SI 65:1815-1820.

Publicado – Portela, L.I., Ramos, S., Trigo-Teixeira, A., 2013. Effect of salinity on the settling velocity of fine sediments of a harbour basin. *Journal of Coastal Research*, SI 65: 1188-1193.

### 9.1.2. Artigos em revistas nacionais

Submetido – Rilo, A.R., Freire, P., Nogueira-Mendes, R., Ceia, R., Catalão, J., Taborda, R., Melo, R., Caçador, M., Freitas, M.C., Fortunato, A., e Alves, E., 2013. Metodologia para o traçado da Linha de Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais em ambientes de transição: aplicação ao estuário do Tejo. *Revista de Gestão Costeira Integrada*.

### 9.1.3. Artigos e resumos de conferências

Apresentado e Publicado - Soares, F, Catalão, J, Nico, G., 2011. Inter-Tidal Flats Segmentation of SAR images using a waterfall hierarchical algorithm. Proc. "Fringe 2011 Workshop", Frascati, Italy, 19-23 September 2011. ESA SP-697, January 2012, 4 p.

Apresentado e Publicado - Contente, J. e Oliveira, F.S.B.F., 2012, Efeitos de escala em modelação numérica da erosão de um perfil de praia. VII Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica (MIA 2012), Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, Portugal, pp 177-182.

Apresentado e Publicado - Freire, P., Rilo, A. R., Ceia, R., Mendes, R. N., Catalão, J., Taborda, R., Melo, R., 2012. Tipificação das zonas marginais estuarinas. O caso do estuário do Tejo., 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 20-22 de junho de 2012, 319-322.

Apresentado e Publicado - Freitas, M.C., Andrade, C., Silva, T., Freire, P., Schimdt, S., 2012 - Evolução secular da superfície de sapais e do nível do mar no estuário do Tejo (Portugal). Resumos, 46º Congresso Brasileiro de Geologia, 30 de Setembro a 5 de Outubro, Santos, Brasil, 1p.

Apresentado e Publicado - Freitas, M. C.; Amorim, A.; Andrade, C.; Silva, T. & Pinto, C., 2012 - Evolução recente da restinga da Ponta da Passadeira: um exemplo de retrogradação em ambiente estuarino. Actas, VII Simpósio sobre a Margem Ibérica Atlântica, MIA 2012. Lisboa, 16-20 Dezembro, pp. 55.

Apresentado e Publicado - Guerreiro, M., A.B. Fortunato, P. Freire, A. Rilo, R. Taborda, M.C. Freitas, C. Andrade, T. Silva (2012). Consequências da subida do nível médio do mar na hidrodinâmica do estuário do Tejo, 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 20-22 de junho de 2012, 143-146.

Apresentado e Publicado - Mendes, R.N., R. Ceia, T. Silva, A. Rilo, M. Guerreiro, J. Catalão, R. Taborda, M.C. Freitas, C. Andrade, R. Melo, A.B. Fortunato, P. Freire, 2012. Detecção remota e cartografia do intertidal. O contributo do projeto MORFEED, 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, Lisboa, 20-22 de junho de 2012, 341-344.

Apresentado e Publicado - 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. 11º Congresso da Água, 6-8 de Fevereiro 2012. APRH, Porto, Portugal, CD-ROM, 11 pp.

Apresentado e Publicado - Rilo, A., Freire, P., Ceia, R., Mendes, R.N., Catalão, J., Taborda, R., 2012a. Human effects on estuarine shoreline decadal evolution. Geophysical Research Abstracts, Vol. 14, EGU2012-10863, 2012, EGU General Assembly 2012.

Apresentado e Publicado - Soares, F., Catalão, J., Nico, G., 2012. Using k-means and morphological segmentation for intertidal flats recognition. Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2012, Munich, July 2012, pp 764 – 767.

Apresentado e Publicado - Freire, P., Freitas, C., Fortunato, A. B., Taborda, R., Oliveira, F.S.B.F, 2013. Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. The morfeed project. MEC 2013: 2ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, 9-10 de Maio de 2013. CDROM, 2p.

Apresentado e Publicado - Guerreiro, M., Fortunato, AB., Freire, P., Rilo, A., Taborda, R., Freitas, MC., Andrade, C., Silva, T. and Rodrigues, M., 2013. Effect of sea level rise on the hydrodynamics of the Tagus estuary. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Book of Abstracts, pp. 405.

Publicado - Guerreiro, M., Fortunato, A.B. Freire, P., Rilo, A.R, Taborda, R., Freitas, M.C., Andrade, C., Silva, T. & Rodrigues, M., 2013. Impacte da subida do nível médio do mar na inundação marginal no estuário do Tejo. 11º Simpósio de Hidráulica e Recursos Hídricos dos Países de Expressão Portuguesa e VII Congresso sobre Planeamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa., 27-30 de maio. Maputo. Moçambique, 19 pp.

Apresentado e Publicado - Nogueira Mendes, R., Ceia, R., Catalão, J., Melo, R., Taborda, R., Freire, P., 2013. Cartografia e Monitorização Cartográfica do Intertidal do Estuário do Tejo através de Detecção

Remota e imagens de Landsat7 ETM. MEC 2013: 2ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, 9-10 de Maio de 2013. CDROM, 2p.

Apresentado e Publicado - Oliveira, F.S.B.F., Guerreiro, M., Freire, P. and Rilo, A., 2013a, Prediction of Carcavelos beach morphological evolution at a storm time scale using two process-based profile models. In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Book of Abstracts, pp. 187.

Apresentado e Publicado - Oliveira, F.S.B.F., Guerreiro, M., Cavalinhos, R., Freire, P. e Rilo, Ab., 2013, Estudo de sensibilidade de dois modelos de morfodinâmica de perfil de praia aplicados à praia de Carcavelos, Portugal. MEC 2013: 2ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, 9-10 de Maio de 2013. CDROM, 2p.

Apresentado e Publicado - Oliveira, F.S.B.F., 2013, Erosão de dunas durante tempestades: aplicação de diferentes modelos numéricos. Congress on Numerical Methods in Engineering – CNM 2013, Bilbao, Spain, (<http://congress.cimne.com/metnum2013/Proceedings/>), 20 pp.

Apresentado e Publicado - Rilo, A.R., Freire, P., Taborda, R., Alves, E., Portela, L., e Freitas, C. 2013. Balanço sedimentar do estuário do Tejo: dos dados à discussão das incertezas. MEC 2013: 2ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, 9-10 de Maio de 2013. CDROM, 2p.

Apresentado e Publicado - Silva, T.A., Freitas, M.C., Andrade, C., Taborda, R., Freire, P., Schmidt, S., 2013. Resposta morfológica dos sapais do estuário do Tejo aos cenários de subida do Nível Médio do Mar. MEC 2013: 2ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, 9-10 de Maio de 2013. CDROM, 2p.

#### **9.1.4. Teses**

Silva, T. A. A., 2013 – Sedimentologia e morfodinâmica de sapais do estuário do Tejo em cenários de alteração climática. Dissertação de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, a apresentar à Universidade de Lisboa.

#### **9.1.5. Relatórios técnico-científicos**

Publicado - Ceia, R., 2011. Demarcação e caracterização da linha máxima de preia-mar de águas vivas equinociais. (LMPMAVE) no estuário do Tejo. Relatório de actividades da bolsa de investigação no âmbito do projecto MorFeed, financiada pela FCT, 17p.

Publicado - Rilo, A., Freire, P., Guerreiro, M., 2011. Relatório Técnico da Campanha MORFEED IV – 03/08/2011. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Agosto de 2011, 7p.

Publicado - Rilo, A., 2011. Relatório Técnico Campanha MorFeed V – 01/09/2011. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Setembro de 2011, 6p.

Publicado - Rilo, A., Simões Pedro, L., 2011. Relatório Técnico Campanha MorFeed VI – 12/10/2011. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Outubro 2011, 5p.

Publicado - Guerreiro, M., Rilo, et a., Oliveira, F., Freire, P., 2011. Relatório Técnico da Campanha MORFEED VII – 27/08/2011 e 28/08/2011. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Novembro de 2011, 7p.

Publicado - Rilo, A., Oliveira, F., 2011. Relatório Técnico da Campanha MORFEED VIII – 28/11/2011. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Novembro de 2011, 6p.

Publicado - Rilo, A.R. Freire, P e Caçador, I 2012. Relatório Técnico da Campanha MORFEED IX – 23/07/2012. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Lisboa, 8p.

Publicado - Rilo, A.R. Simões Pedro, L., Caçador, I. Freitas, J. 2012. Relatório Técnico da Campanha MORFEED X- 14/09/2012. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Lisboa, 8p.

Publicado - Rilo, A.R. Guerreiro, M., Oliveira, F.S.B.F. 2012a. Relatório Técnico da Campanha MORFEED XI - 18/09/2012. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Lisboa, 8p.

Publicado - Rilo, A.R., Guerreiro, M., Brito, F. 2012b. Relatório Técnico da Campanha MORFEED XII- 28/09/2012. Relatório do Projeto MorFeed: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. LNEC, Lisboa, 6p.

Publicado - Guerreiro, M., Oliveira, F.S.B.F., Freire, P. e Rilo, A., 2013, Evolução recente da praia do Alfeite do estuário do Tejo. MorFeed -Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. Relatório. Lisboa, Portugal, 16 p.

Publicado - Guerreiro, M. e Oliveira, F.S.B.F., 2013, Aplicação de um modelo analítico de previsão da erosão de dunas devido ao impacto de ondas. MorFeed -Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. Relatório. Lisboa, Portugal, 21 p.

Publicado - Rilo, A.R. (2013). Relatório das atividades desenvolvidas no âmbito do projeto Morfeed pela bolsista de investigação Ana Rodrigues Rilo. LNEC, Lisboa, 40p.

## 10. Apreciação Crítica

Considera-se que os objetivos do projeto, apresentados na Secção 1.2, foram atingidos.

Os resultados do projeto MorFeed contribuíram claramente para:

- a **melhoria do conhecimento sobre o impacto de alterações climáticas**, designadamente da subida do nível médio do mar, na hidrodinâmica estuarina, na vulnerabilidade das margens à inundação, na resposta de sapais e de margens arenosas;
- avanço muito relevante **na caracterização do estuário do Tejo**, no que diz respeito ao seu funcionamento morfosedimentar, impacto da ação do homem na evolução das margens, e resposta à subida do nível médio do mar;
- **aumento da capacidade de previsão** do impacto de alterações climáticas, com o desenvolvimento e otimização de metodologias e estratégias aplicáveis noutros sistemas;
- **contribuição para o apoio ao planeamento e gestão de zonas estuarinas** através do incremento de conhecimento e a disponibilização de metodologias de previsão da evolução dos sistemas;
- contribuição para a criação de uma **plataforma de conhecimento sobre o estuário do Tejo**, através da integração em ambiente SIG da informação resultante do projeto e de outros anteriores.

Elencam-se os principais resultados do projeto:

- critérios para a demarcação da Linha da Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais em estuários;
- cartografia de habitats na zona intertidal e da ocupação da orla estuarina do estuário do Tejo;
- avaliação do efeito da ação humana na evolução da linha de costa à escala decadal;
- identificação e caracterização das praias estuarinas e análise dos seus estados evolutivos e fatores que influenciam a sua génese e evolução;
- levantamentos topo-hidrográficos de perfis transversais em trechos de margens arenosas;
- taxas de sedimentação dos sapais e rasos do estuário do Tejo de maré para os últimos 100 a 150 anos;
- quantificação das aflúncias de caudais líquidos e sólidos ao estuário do rio Tejo;
- análise dos cenários de alterações climáticas para diferentes variáveis (nível médio do mar, vento, precipitação, temperatura e escoamento);
- avaliação do efeito da subida do nível médio do mar e da sedimentação expectável nas características da maré no estuário do Tejo;
- levantamento dos principais projetos de desenvolvimento previstos para o estuário do Tejo;

- análise da capacidade de adaptação aos agentes forçadores das comunidades biológicas (comunidades de macroalgas, sapal, e ervas marinhas);
- avaliação da vulnerabilidade das margens à inundação (zona do Seixal) tendo em conta diferentes cenários de subida do nível médio do mar e de ocupação humana;
- desenvolvimento de um modelo de previsão de erosão de dunas devido ao impacto de ondas (modelo Duneforce);
- melhoria da capacidade de previsão da erosão de sistemas praia-duna devido à ação de eventos extremos de estado do mar com base na aplicação de modelos numéricos morfodinâmicos;
- avaliação do efeito das alterações climáticas (subida do nível médio do mar e de eventuais alterações do regime de agitação marítima média e de extremos) na praia do Alfeite;
- determinação de velocidades de sedimentação de material silto-argiloso com vista à análise da resposta das margens coesivas a alterações dos agentes forçadores;
- balanço sedimentar da fração fina no interior do estuário;
- modelo conceptual de evolução morfológica a longo prazo do estuário do Tejo.

Relativamente aos indicadores de realização (Quadro 7), destaca-se a publicação de 5 artigos em revistas internacionais indexadas no *Science Citation Index*, a submissão de um artigo na Revista Gestão Costeira Integrada, 19 artigos ou resumos de conferências, e a preparação de uma tese de mestrado. Embora o número de artigos tenha ficado um pouco abaixo do previsto, os outros indicadores foram largamente excedidos realçando o número de artigos de conferência e de relatórios técnicos e uma tese de mestrado não prevista. Salienta-se a vasta disseminação dos resultados do projeto, não só na comunidade científica mas também ao nível de gestores, decisores e utilizadores finais, o que se justificou pela importância da temática e foi expresso na relevante e variada assistência ao Seminário de Divulgação do Projeto.

Quadro 7 - Indicadores de realização.

<i>Indicador</i>	<i>Previsto</i>	<i>Realizado</i>
<b>A - Publicações</b>		
Livros	0	0
Artigos em revistas internacionais	7	5
Artigos em revistas nacionais	3	1
<b>B - Comunicações</b>		
Comunicações em encontros científicos internacionais	8	8
Comunicações em encontros científicos nacionais	4	11
<b>C - Relatórios</b>	3	13
<b>D - Organização de seminários e conferências</b>	1	2
<b>E - Formação avançada</b>		
Teses de Doutoramento	0	0
Teses de Mestrado	0	1 <sup>1)</sup>
Outras (Website)	1	2
<b>F - Modelos</b>	0	2
<b>G - Aplicações computacionais</b>	4	9
<b>H - Instalações piloto</b>	0	0
<b>I - Protótipos laboratoriais</b>	0	0
<b>J - Patentes</b>	0	0
<b>L - Outros</b>	0	0

<sup>1)</sup> a ser discutida na Universidade de Lisboa em dezembro 2013

## 11. Colaborações

Listam-se as entidades e pessoas que colaboraram com o projeto MorFeed, através da disponibilização de informação e dados, e proporcionando troca de ideias em diversos âmbitos, às quais se deve um agradecimento especial.

- Agência Portuguesa do Ambiente
- ARH –Tejo
- Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
- Câmara Municipal do Seixal
- Câmara Municipal de Vila Franca de Xira
- Grupo Solvay – Portugal
- Projeto EEMA (INAG/APA, QREN, POVT-12-0233-FCOES-000017)
- Projeto WesTLog (FCT: PTDC/CTE-GIX/105370/2008)
- Núcleo do Sal, Câmara Municipal de Alcochete
- Instituto Geográfico Português
- Universidade de Évora
- Associação Humanitária dos Bombeiros Voluntários do Montijo
- Sr. Joaquim Pedro Quintela
- Técnicos do LNEC: Luís Simões Pedro, Fernando Brito, Lourival Trovisco



## 12. REFERÊNCIAS

Antunes, C. e Taborda, R., 2009. Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56, 218 – 222.

Fortunato, A.B.; Oliveira, A., Baptista, A.M., 1999. On the effect of tidal flats on the hydrodynamics of the Tagus estuary, *Oceanologica Acta*, 22/1, 31-44.

Fortunato, A. B., Rodrigues, M., Dias, J. M., Lopes, C., Oliveira, A. 2013. Generating inundation maps for a coastal lagoon: A case study in the Ria de Aveiro (Portugal). *Ocean Engineering*, v. 64, n. 1, p. 60-71, 2013.

IPCC. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis* (eds Solomon, S. et al.) (Cambridge Univ. Press, Cambridge, UK, and New York, 2007).

Larson, M., Erikson, L. & Hanson, H., 2004. An analytical model to predict dune erosion due to wave impact. *Coastal Engineering*, 51, 675-696.

Portela, 2004. An approximate sediment budget for the Tagus estuary. In: *3rd International SedNet Conference: The future of sediment management in Europe*, 3 pp. European Sediment Research Network.

Pyor and Barthelmie, 2010. Climate Change impacts on wind energy: a review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14 (1): 430-437.

Rocha, J.S., Fernandes, J.N., Ferreira, G. e Ferreira, T., 2007. *Plano Específico de Gestão de Inertes no Domínio Hídrico do Rio Tejo*, Relatório LNEC 302/2007.

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.

Lisboa, 31 outubro de 2013

**Autorias:**

**Laboratório Nacional de Engenharia Civil**

Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Paula Freire

André Fortunato

Filipa Oliveira

Luís Portela

Ana Rilo

Martha Guerreiro

Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas

Hidráulicas

Elsa Alves

João Rocha

**Fundação da Faculdade de Ciências da  
Universidade de Lisboa**

Departamento de Geologia

Maria da Conceição Freitas

César Andrade

Tiago Silva

Alexandra Amorim

Ana Silva

Instituto D. Luís

Rui Taborda

João Catalão

Rodrigo Ceia

Instituto de Oceanografia

Ricardo Melo

Maria Isabel Caçador

Ricardo Nogueira Mendes

Rodrigo Ceia

**MORFEED – MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO  
CLIMATE CHANGE**

**Anexos**



## Anexo 1: Folheto do projeto MorFeed

### Goals

- 1) to determine the past evolution of estuarine margins at different time scales (secular and decennial), concerning morphology, sediment content, vegetation communities and human occupation;
- 2) to characterise the physical and biological environmental controlling factors and the sediment budget for present day conditions;
- 3) to determine the morphodynamic response of various types of estuarine margins to climate change and anthropogenic scenarios;
- 4) to develop methodological orientations for future research, namely in predictive models development.

### Team

**LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL**  
Departamento de Hidráulica e Ambiente  
Paula Freire (Project leader)  
André Fortunato  
Filipa Oliveira  
Luís Portela  
João Rocha  
Elsa Alves

**FUNDAÇÃO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS DA UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
Centro de Geologia  
César Andrade  
Maria da Conceição Freitas

**Instituto D. Luis**  
Rui Taborda  
João Catalão  
Ana Maria Silva

**Centro de Oceanografia**  
Isabel Caçador  
Ricardo Melo  
Ricardo Mendes

**SCIENTIFIC CONSULTANT**  
Karl Nordstrom (Rutgers - the State University of New Jersey, USA)

### Contacts

Paula Freire  
Laboratório Nacional de Engenharia Civil  
Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras  
Av. do Brasil, 101. 1700-066 Lisboa  
Phone: 21 8443637 Fax: 21 8443016  
E-mail: pfreire@nec.pt

### MORFEED

#### MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO CLIMATE CHANGE



### Funded

PTDC/AAC-AMB/100092/2008  
**FCT** Fundação para a Ciência e a Tecnologia  
MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA E ENSINO SUPERIOR




[http://www.lnec.pt/organization/dha/nec/estudos\\_id/morfeed](http://www.lnec.pt/organization/dha/nec/estudos_id/morfeed)

### Abstract

The project MorFeed aims at contributing to answer the question: how will estuarine margins respond to expected climate change?

Considering that each morpho-sedimentary unit has a different dynamical response to controlling environmental factors, the final goal of the project is the development of a conceptual model for morphological response to different climate change and anthropogenic intervention scenarios.

The Tagus estuary socio-economic relevance and its morphological and sedimentary characteristics make this system an excellent testbed for the proposed methodology.



### Methodology

**Estuarine margins typification**, based on remote sensing techniques supported by field surveys, will give a picture of the present day natural margins organisation (including intertidal and shallow subtidal plant and algal cover) and human imposed alterations.

**Present day hydrodynamic processes and sediment budget** will be characterised through the application of numerical models and empirical formulations, complemented with field data.

The long- (secular) and medium-term (decennial) **morphological evolutionary trends and rates** of intertidal and subtidal areas will be assessed through different approaches, as short coring and dating for sedimentation rates assessment, and image processing techniques to determine shoreline evolution.

### Regional-scale scenarios of climate changes

supported by previous studies for Portugal (SIAM project) and IPCC projections, will be constructed, as well as socio-economic scenarios for estuarine margins development.

The impact of these scenarios in the hydrodynamic controlling factors, sediment budget and, ultimately, in the morphodynamics of estuarine margins will also be analysed with numerical and empirical tools.


### Expected Results

Integration of the results will enable the development of a simple conceptual model of estuarine margins dynamical response to changes in environmental controlling factors and anthropogenic intervention.

The results of this project are expected to constitute a valuable tool for integrated management of estuaries, in future predictions and in the definition of mitigation or adaptation strategies.



## Anexo 2: Página do projeto MorFeed em Português e Inglês



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

- INÍCIO
- NOTÍCIAS
- ORGANIZAÇÃO
- ATIVIDADES
- ENSAIOS E METODOLOGIA
- SERVIÇOS
- CONGRESSOS E CURSOS
- LIVRARIA
- BIBLIOTECA
- INSTRUMENTOS DE GESTÃO
- COOPERAÇÃO
- QUALIDADE DE PRODUTOS E EMPREENDIMIENTOS
- RECRUTAMENTO
- APONTADORES
- HORÁRIOS E CONTACTOS
- ACESSIBILIDADE E PRIVACIDADE
- MAPA DO SÍTIO

ORGANIZAÇÃO → DHA → REC → Estudos de R&D → MorFeed - resposta morfológica das margens estuarinas ao impacto das alterações climáticas

### > MorFeed - Resposta morfológica das margens estuarinas ao impacto das alterações climáticas

**Financiamento**  
FCT (PTDC/AAC-AMB/100092/2008)

**Equipa de trabalho**  
**LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC)**  
Paula Freire (Investigadora Responsável), André Fortunato, Filipa Oliveira, Luís Portela, Ana Rilo, Martha Rodrigues (DHA/NEC)  
João Rocha, Elsa Alves (DHA/NRE)




**FUNDAÇÃO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS (FFC/FC/UL)**  
César Andrade, Maria da Conceição Freitas, Tiago Silva (C&GUL)  
Rui Taborda, João Catalão, Ana Maria Silva, Rodrigo Ceia (IDL)  
Isabel Caçador, Ricardo Melo, Ricardo Nogueira Mendes (CO)

**CONSULTOR CIENTÍFICO:**  
Karl Nordstrom (Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers - the State University of New Jersey, USA)  
Xavier Bertin (Universidade de La Rochelle)


**Data de início**  
Abril de 2010

**Duração**  
36 meses

**Resumo**  
O projeto MorFeed visa melhorar o conhecimento sobre a resposta morfodinâmica das margens estuarinas ao possível impacto das alterações climáticas. Considerando que há uma resposta dinâmica dos diversos elementos morfodinâmicos que constituem as margens aos fatores ambientais, o objetivo final do projeto será desenvolver um modelo conceptual que traduza a resposta morfológica das margens a diferentes cenários de alterações climáticas. Para tal, será aplicada uma metodologia integrada e multidisciplinar baseada em vários pressupostos: a morfologia e distribuição sedimentar atual resulta da história geológica recente, que inclui variações climáticas; as margens estuarinas são sistemas dinâmicos onde processos físicos, químicos e biológicos interagem; atualmente, a intervenção humana é um dos principais fatores que afetam estes sistemas.

- INVESTIGAÇÃO PROGRAMADA
- INVESTIGAÇÃO POR CONTRATO
- MORFEED - RESPOSTA MORFOLOGICA DAS MARGENS ESTUARINAS AO IMPACTO DAS ALTERACOES CLIMATICAS



LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

- HOME
- NEWS
- INTRODUCTION
- ORGANIZATION
- ACTIVITY
- LABORATORIES
- SERVICES
- CONGRESSOS & COURSES
- RESEARCH
- LIBRARY
- COOPERATION
- RECRUITMENT
- LINKS
- SCHEDULE AND CONTACTS
- ACCESSIBILITY AND PRIVACY
- SITE MAP

ORGANIZATION → DHA → REC → R&D projects → MorFeed - Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change

### > MorFeed - Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change

**Funded**  
FCT (PTDC/AAC-AMB/100092/2008)

**Team**  
**LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL (LNEC)**  
Paula Freire (Project leader), André Fortunato, Filipa Oliveira, Luís Portela, Ana Rilo, Martha Rodrigues (DHA/NEC)  
João Rocha, Elsa Alves (DHA/NRE)




**FUNDAÇÃO DA FACULDADE DE CIÊNCIAS (FFC/FC/UL)**  
César Andrade, Maria da Conceição Freitas, Tiago Silva (C&GUL)  
Rui Taborda, João Catalão, Ana Maria Silva, Rodrigo Ceia (IDL)  
Isabel Caçador, Ricardo Melo, Ricardo Nogueira Mendes (CO)

**Scientific consultant**  
Karl Nordstrom (Institute of Marine and Coastal Sciences, Rutgers - the State University of New Jersey, USA)  
Xavier Bertin (University of La Rochelle)

**Starting date**  
April 2010

**Duration**  
36 months

**Abstract**  
MorFeed Project aims at contributing to answer the question: how will estuarine margins respond to possible climate change impacts? Considering that each morpho sedimentary unit has a different dynamical response to controlling environmental factors, the final goal is the development of a conceptual model for morphological response to different climate change and anthropogenic intervention scenarios. To pursue this objective a multidisciplinary and integrative approach, based on the following hypotheses, will be applied: 1) present day estuarine morphology and sediment distribution resulted of recent geologic evolution including climatic variations; 2) estuarine margins are dynamic systems where physical, chemical and biologic processes interact; 3) nowadays, human intervention are one of prime factors that affects these margins.

- RESEARCH AND DEVELOPMENT
- APPLIED AND CONSULTANCY PROJECTS
- MORFEED - MORPHODYNAMIC FEEDBACK OF ESTUARINE MARGINS TO CLIMATE CHANGE





## Anexo 3: Folheto do Seminário de Divulgação do Projeto MorFeed



**MORFEED**  
FCT  
Fundação para a Ciência e a Tecnologia

**LNEC** LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL

**fundação** Faculdade Ciências Universidade Lisboa

# MORFEED

Resposta morfológica das margens estuarinas ao impacto das alterações climáticas

## Seminário de Divulgação

LISBOA • LNEC  
30 de setembro de 2013

**Informações**  
Correspondência e pedidos de esclarecimento devem ser dirigidos a:  
LNEC | Apoio à Organização de Reuniões  
Av. de Brasil 101 | 1700-066 LISBOA  
tel.: 21 844 34 83 | fax: 21 844 30 14 | cursos@lneec.pt

### Síntese temática

As zonas marginais estuarinas têm uma importância ecológica e ambiental largamente reconhecida, sendo cada vez mais procuradas como espaços privilegiados para diversas atividades de lazer. A intensa pressão humana sobre estas zonas tem aumentado a sua vulnerabilidade às variações e alterações dos agentes naturais, com consequências ainda pouco compreendidas num contexto de alterações climáticas.

O projeto MorFeed visou melhorar o conhecimento sobre a resposta morfodinâmica das margens estuarinas ao possível impacto das alterações climáticas e contribuir com estratégias de apoio ao planeamento e gestão destas zonas. O estudo seguiu uma abordagem integrada e multidisciplinar, aplicada ao estuário do Tejo.

O projeto, financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, envolveu uma vasta equipa do Laboratório Nacional de Engenharia Civil (Núcleo de Estuários e Zonas Costeira e Núcleo de Recursos Hídricos e Estruturas Hidráulicas) e da Fundação da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (Departamento de Geologia, Instituto D. Luís e Centro de Oceanografia).

Mais informações sobre o projeto MorFeed:  
[http://www.lneec.pt/organizacao/dha/nec/estudos\\_id/morfeed](http://www.lneec.pt/organizacao/dha/nec/estudos_id/morfeed)

### Destinatários

O presente Seminário visa divulgar e debater os principais resultados do projeto junto aos diversos intervenientes nas zonas marginais estuarinas, decisores e técnicos, e contribuir para abrir novas possibilidades de parcerias e colaborações futuras.

### Programa

09h30 – 09h40  
Abertura e boas vindas  
*Rafaela Matos, LNEC*

09h40 – 10h40  
Apresentação geral do projeto  
*Paula Freire, LNEC*

Domínio de estudo: mapeamento e análise evolutiva através de técnicas de deteção remota e critérios biofísicos  
*Ricardo Nogueira Mendes, FFCUL*

Cenários de alterações climáticas e de ocupação antrópica  
*Rui Taborda, FFCUL*

10h40 – 11h00  
Debate

Intervalo

11h15 – 12h15

Impacto da subida do nível médio do mar na circulação estuarina e inundação marginal no estuário do Tejo  
*André Fortunato, LNEC*

Evolução morfológica dos sapais do estuário do Tejo face à subida do nível médio do mar  
*Maria da Conceição Freitas, FFCUL*

Modelo concetual de evolução do estuário do Tejo  
*Ana Rilo, LNEC*

12h15 – 12h45

Debate

12h45 – 13h00

Encerramento  
*César Andrade, FFCUL*

### Organização

O Seminário é promovido pelo consórcio do Projeto MorFeed e organizado pelo Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

### Local, data e horário

O Seminário realizar-se-á a 30 de setembro de 2013, no Centro de Congressos do Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa, com o seguinte horário: 9h30 às 13h00.

### Apoio

O projeto MorFeed foi financiado pela Fundação para a Ciência e a Tecnologia, no âmbito do contrato PTDC/AAC-AMB/100092/2008.

### Inscrições

As inscrições são **gratuitas** e limitadas, sendo apenas necessário enviar um e-mail para [cursos@lneec.pt](mailto: cursos@lneec.pt) com o nome completo e contacto.

**Data limite de inscrições:** 26 de setembro de 2013.





**INQUÉRITO AOS PARTICIPANTES DO  
SEMINÁRIO DE DIVULGAÇÃO DO PROJETO MORFEED**

*LNEC, 30 setembro de 2013*

Pedimos-lhe que responda rapidamente a estas questões, que nos ajudarão a melhorar o nosso trabalho. Assinale com um X a resposta que considera adequada.

**O que é que o motivou a participar nesta sessão?**

- A. Sou membro da equipa
- B. Trabalho na mesma área científica /ou similar do projeto
- C. Trabalho numa instituição que pode beneficiar dos resultados do projeto
- D. Outra razão - por favor especifique: \_\_\_\_\_

**Após este seminário, ficou?**

- A. Muito interessado
- B. Interessado
- C. Pouco interessado
- D. Muito pouco interessado por temáticas ligadas às consequências das alterações climáticas

**O que pensa do investimento na investigação destas temáticas ?**

- A. Muito importante
- B. Importante
- C. Pouco importante
- D. Muito pouco importante

**Acha que a divulgação deste tipo de projetos é útil?**

Sim

Não

Se sim, indique porquê \_\_\_\_\_

**Na sua opinião, quais foram os dois pontos fortes e os dois pontos fracos do seminário?**

Pontos Fortes: \_\_\_\_\_

Pontos Fracos: \_\_\_\_\_

**Muito obrigada pela sua participação!**

