

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**



**ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**  
**EM AMBIENTE ESTUARINO**

**Susana Maria Pinto de Noronha**

Orientadora: Doutora Maria da Conceição Pombo de Freitas

Co-orientadores: Doutor Ramiro Joaquim de Jesus Neves

Doutora Lígia Laximi Machado de Amorim Pinto

Tese aprovada em provas públicas para aprovação do Grau de Doutor em

**Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável**  
**(Especialidade de Engenharia do Ambiente)**

Qualificação atribuída pelo Júri: Aprovada com Distinção

Obra entregue para apreciação da prova de Doutoramento em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável (especialidade de Engenharia do Ambiente) para obtenção do grau de Doutor concedido pela Universidade de Lisboa, no Instituto Superior Técnico, ao abrigo do D.L. 74/2006, de 24 de março.

Esta obra não poderá ser reproduzida sem expresse consentimento do autor, ressalvadas as disposições constantes do art.º 76.º do código do direito do autor (decreto-lei n.º 63/85, de 14 de março).

Lisboa, 9 de março de 2021

O presidente do júri  
Homologo



---

**UNIVERSIDADE DE LISBOA**  
**INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO**

**ADAPTAÇÃO ÀS ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS**  
**EM AMBIENTE ESTUARINO**

**Susana Maria Pinto de Noronha**

**Orientadora:** Doutora Maria da Conceição Pombo de Freitas

**Co-orientadores:** Doutor Ramiro Joaquim de Jesus Neves

Doutora Lígia Laximi Machado de Amorim Pinto

Tese aprovada em provas públicas para aprovação do Grau de Doutor em

**Alterações Climáticas e Políticas de**

**Desenvolvimento Sustentável (Especialidade de Engenharia do Ambiente)**

Qualificação atribuída pelo Júri: Aprovada com Distinção

**Júri**

**Presidente:** Doutor José Manuel de Saldanha Gonçalves Matos, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

**Vogais:**

Doutora Maria da Conceição Pombo de Freitas, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa

Doutor Carlos Manuel Prudente Pereira da Silva, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa

Doutora Filomena Maria Cardoso Pedrosa Ferreira Martins, Universidade de Aveiro

Doutor Rodrigo de Almada Cardoso Proença de Oliveira, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa

Doutora Paula Maria de Santos Freire, Laboratório Nacional de Engenharia Civil

## Resumo

Num cenário de Alterações Climáticas, a subida do Nível Médio do Mar (NMM) e o aumento do número e frequência dos eventos extremos, a erosão costeira e a perda das defesas naturais costeiras, são uma preocupação crescente, pois os seus efeitos já se fazem sentir e vão-se agravar. É, pois, necessário encontrar medidas de Adaptação (Ad).

Segundo o IPCC (2014a), enquanto existe uma elevada concordância nos princípios da Ad, existe até agora pouca revisão sistemática e, portanto, evidências limitadas sobre o porquê de um determinado princípio ou abordagem ser eficaz num determinado contexto e não em outro, o que enfatiza a necessidade de pesquisas para entender melhor esse contexto.

Esta aparente lacuna na sistematização das opções de Adaptação costeira (Ac), nomeadamente em ambientes estuarinos, será então desenvolvida neste trabalho, assim como a sua aplicação a um caso concreto, a Baía do Seixal, onde desenvolvo atualmente a minha atividade profissional de projeto, sendo a subida do NMM uma preocupação constante. A agravar a situação, segundo o projeto *Morfeed*, o sapal de Corroios está em risco de sobrevivência com a futura subida do NMM, investigando-se também as formas de contornar essa situação e torná-lo mais resiliente.

A presente Tese pretende assim estudar as diferentes formas de adaptação relativamente à subida do nível do mar, e dentro destas estudar, analisar e sistematizar as diferentes soluções técnicas de proteção costeira, em ambiente estuarino, que vão desde as mais pesadas e onerosas (tais como diques, comportas, etc.) às mais suaves (utilização de defesas naturais dos ecossistemas costeiros, tais como os sedimentos e o sapal), passando pelas soluções mistas que integram ambas.

A utilização e a potenciação desses mesmos recursos naturais é uma solução de baixo custo que tem sido cada vez mais apoiada, havendo boas experiências com bons resultados. Desta forma a tese focalizará nomeadamente o ecossistema de sapal, um sistema vivo, flexível e adaptável, que poderá acompanhar a subida do NMM, desde que tenha as condições para tal (elevação do sedimento de fundo), mantendo assim a sua função de proteção costeira e todas as outras funções e Serviços de Ecossistema, tais como o suporte de biodiversidade e o seu papel na Mitigação (Mi) como sequestrador do dióxido de carbono a longo prazo, entre outros. No entanto, como sistema vivo também é vulnerável e apresenta fragilidades que poderão ser contornadas.

Em relação ao caso de estudo, a Baía do Seixal, após uma fase de enquadramento é feita uma caracterização com base em estudos científicos já feitos, e projeções. Posteriormente é feito o estudo dos vários tipos de defesa costeira realizados ao longo dos tempos na Baía, e análise da sua eficácia na proteção costeira, sendo propostas outras soluções, tendo em conta a subida do NMM. Seguidamente é feito o estudo sobre a quantificação da perda de área de sapal (horizontal) e de sedimento (vertical), que irão validar os estudos e as projeções científicas, nomeadamente o recuo/desaparecimento do sapal com a subida do NMM, propondo-se outras soluções que aumentem a sua resiliência, fazendo-se também a sua experimentação através da modelação hidrodinâmica com sedimentos. Para tal é feita a modelação hidrodinâmica da baía utilizando o programa de modelação 3D *Mohid Water*, onde se consegue analisar e estudar a hidrodinâmica e a dinâmica de sedimentos da baía. É feita a simulação para daqui a 100 anos com o aumento previsto do NMM e é simulada uma proposta de acreção de sedimento no sapal, que aumentará a sua resiliência.

Podemos concluir com esta pesquisa que as conclusões e projeções de outros cientistas que têm feito estudos sobre as taxas de sedimentação por longos períodos do sapal de Corroios serão verificadas: “o sapal de Corroios corre o risco de desaparecer com o aumento do aumento do NMM”. Isso também corresponde às projeções e observações dos cientistas internacionais de perda de sapal no Reino Unido,

EUA, França, etc., se não houver taxa de sedimentação suficiente para acompanhar a taxa de subida do NMM. De facto, já se verifica o recuo acentuado das frentes de sapal mais expostas (frente de água) e o recuo para cotas mais elevadas sempre que lhe seja permitido (zonas naturais sem construção). Através da análise dos ortofotomapas, verificou-se uma perda efetiva de área de sapal na baía do Seixal entre 1998 e 2013 (15 anos), de 23,7 ha, equivalente a 18,7% da área que existia em 1998 (126,7 ha), correspondendo a uma velocidade média de perda de sapal de 1,58 ha.ano<sup>-1</sup>. As medições verticais de sedimentos *in situ* (com estacas de ferro), feitas entre 2015 e 2019, embora variem muito consoante as condições específicas do local onde se encontram, revelaram uma taxa de sedimentação média de 1,61 mm.ano<sup>-1</sup> e que foi de 0,25 mm.ano<sup>-1</sup> na estaca situada no sapal de Corroios, um valor muito inferior ao aumento do NMM em Portugal de 4,1 mm.ano<sup>-1</sup> (2005-2016). Embora o modelo hidrodinâmico preveja que em 100 anos haverá um aumento na taxa de sedimentação, devido ao aumento de caudal e à anulação da assimetria de maré (verificada atualmente), não sabemos exatamente quanto, e provavelmente será menor que a curva quase exponencial das previsões de elevação do nível do mar. Além disso, o recuo da duna de Alfeite (recuo de cerca de 4 m em 20 anos), e a análise comparativa das fotografias tiradas *in situ*, em diferentes anos, são alarmantes e revelam a rápida evolução das consequências do aumento do NMM, e da frequência dos eventos extremos, com o consequente aumento da ondulação e erosão, especialmente nas frentes mais baixas, como os sapais, as praias arenosas e nas defesas costeiras pesadas.

Usando e combinando defesas vivas (ou não) naturais como sapais e sedimentos com defesas costeiras construídas, poderemos ter estruturas de defesa costeira híbrida mais resilientes no tempo e acabando também por ser mais baratas, não precisando de manutenção. A extraordinária capacidade de adaptação do sapal pode ajudar-nos na defesa estuarina, mas para isso teremos também de dar o nosso contributo para o ajudar a superar a subida do NMM.

**Palavras chave:** Subida do nível do mar, mitigação, adaptação costeira, meio estuarino, sapal, soluções de defesa híbrida, funções e serviços de ecossistema, gestão baseada em ecossistema, gestão integrada da zona costeira, planeamento.

## Abstract

*This work analyzes and systematizes the different approaches and technical solutions to Adaptation (A) to Climate Changes, specifically the sea level rise. In fact, to protect a coastal area from the consequences of the Mean Sea Level (MSL) rise, soft engineering solutions can be applied, using natural living defenses like salt marshes; these intertidal ecosystems can be a natural, cheap and win win solution for Adaptation (and Mitigation) when compared to hard engineering structures. Also, the evaluation and comparison of existing and new mixed solutions will be performed, and applied to the case study: Seixal Bay.*

*After a characterization based on scientific studies and projections available in the literature, the various estuarine coastal defense types, made over time in the Bay will be identified and analyzed, as well as their effectiveness in coastal protection. Hybrid solutions that can mix hard and soft coastal defenses, with the use of salt marsh vegetation and sediments to protect and adapt to the MSL rising will be identified and others proposed. Then the results of salt marsh (horizontal) and sediment (vertical) losses will be presented, which may validate the studies and projections, namely the retreat / disappearance of the salt marshes with the increasing of relative sea level (RSL). Finally, with the 3D hydrodynamic model Mohid Water, the bay's hydrodynamics and sediments behavior will be studied and experimented. The sea level rise in 100 years and a solution to empower the salt marsh resilience to survive will be simulated.*

*We can conclude from this research that the conclusions and projections of other scientists that have made studies on the sedimentation rates for long periods of Corroios's salt marsh will be verified: "the Corroios salt marsh is in danger of disappearing with the increase of the MSL rising". That corresponds too to the international scientists' projections and observations of salt marsh loss in UK, USA, France, etc., if there's not enough sediment accretion. In fact, the sharp retreat of the most exposed salt marsh fronts, and the inland retreat in Seixal Bay are already verified. Through the analysis of orthophotomaps, there was an effective loss of the Seixal bay salt marsh between 1998 and 2013 (15 years), of 23.7ha, equivalent to 18.7% of the area that existed in 1998 (126.7ha), corresponding to a mean velocity loss of 1.58 ha.year<sup>-1</sup>.*

*The in situ sediment vertical measurements (with iron stakes), made between 2015 and 2019, although varying according to the specific conditions of the place where they were placed, revealed a mean sedimentation rate of 1,61 mm.year<sup>-1</sup> and of 0,25 mm.year<sup>-1</sup> in Corroios salt marsh loss front, a value that is much lower than the Portugal MSL rise rate of 4.1mm.year<sup>-1</sup> (2005-2016). Although the hydrodynamic model predicts that in 100 years there will be an increase in the sedimentation rate, due to the increase in flow, and the annulment of the tidal asymmetry (currently verified), we don't know how much, and probably it will be less than the almost exponential curve of sea level rise predictions.*

*In addition, the retreat of the Alfeite sand dune (retreat of about 4m in 20 years), and comparative analysis of photographs taken in situ, in different years, are alarming and reveal the rapid evolution of the consequences of the increasing MSL, such as increased rippling and erosion, especially in the lower fronts such as marshes, sandy beaches and in the coastal hard defenses.*

*Using and combining natural living (or not) defenses like salt marshes and sediments with constructed coastal defenses, a coastal solution can be more resilient in time, cheaper solution for Adaptation, comparing to a unique defense. The extraordinary capacity of salt marsh adaptation can help us in the estuarine defense, if we also help him too survive to the rising MSL.*

**Key words:** *Sea level rise, mitigation, coast adaptation, estuarine environment, salt marshes, hybrid defenses, Ecosystem Services (SE) and functions, ecosystem-based management (EBM), Integrated coastal zone management (ICZM), planning.*

## Agradecimentos

Gostaria de agradecer a todos os professores do Programa Doutoral, em especial ao Dr. Filipe Duarte Santos, que me deu a conhecer a ciência por detrás das Alterações Climáticas, que tornam tão evidentes os factos que muitos não acreditam, por desconhecimento, ou por interesse económico/político.

À minha Orientadora Professora Conceição Freitas que sempre me apoiou desde o início ao fim da Tese, foi comigo ao campo e me ensinou conhecimentos e técnicas novas e fora da minha área de formação em Arquitetura Paisagista e ao Professor Antunes que me indicou a Professora Conceição e que sem a sua intervenção/aula durante a parte curricular do Doutotamento não me tinha motivado tanto por este tema da sedimentologia e da importância dos sedimentos coesivos e areias na defesa estuarina e costeira.

Ao Professor Ramiro Neves, meu Co-orientador e entusiasta pela tese desde o início, por me ter apoiado e me ter envolvido na sua maravilhosa equipa do MARETEC cujos investigadores destaco a Professora Lígia, que foi o meu maior apoio até ao final da tese para a resolução dos problemas que se encontraram no modelo hidrodinâmico, tendo por isso lhe pedido para ser também minha Co-orientadora. Não quero esquecer também o apoio do investigador Guilherme Franz, que me prestou uma essencial ajuda no desenvolvimento inicial do modelo; o apoio da formação inicial da Isabela Ascione e de João Sobrinho, o qual destaco por estar também presente quando surgiam problemas.

À Professora Isabel Caçador, da Faculdade de Ciências (Oceanografia), que desde há muitos anos me incentiva no estudo do Sapal em diversas formações na CMSeixal, e pelo seu trabalho meritório na divulgação e estudo do Sapal.

Às Pessoas da Câmara Municipal do Seixal (CMS) com quem trabalho, nomeadamente a minha amiga e colega Alexandra Castro pelo apoio mútuo e sem a qual não tinha embarcado neste desafio, que por vezes se transformou em batalha por não haver apoio das chefias iniciais, pois somos trabalhadoras estudantes. À minha amiga e colega Margarida Sadio, Carlos Matias, Ana Toscano, Isabel Benito, Francisco Rosa, Rui Coelho e outros colegas e amigos como a Manuela Castanheira que me ajudaram e incentivaram a não desistir. Ao Ricardo Vieira que sempre me facilitou e alentou no processo de obtenção do protocolo. Ao Presidente da CMS Joaquim Santos que facultou o acesso aos dados da CMS. À minha então chefia, Dr.<sup>a</sup> Cláudia Pinto que também sempre me apoiou e incentivou a não desistir e ao Eng.<sup>o</sup> Francisco Figueiredo, na área do SIG. Ao Fotógrafo da CMS António Silva que me facultou algumas fotografias magníficas.

À Dr.<sup>a</sup> Júlia Oliveira do IST que conseguiu no último ano desbloquear o processo do protocolo.

Por último, mas de maior importância, gostaria de agradecer aos meus Pais, à minha querida Mãe (que faleceu durante a tese) e ao meu Pai que sempre me apoiou em tudo. Ao meu Namorado Sérgio, querendo dedicar a tese a ...

Ao meu Querido Filho Jaime

## Índice

Resumo.....	i
Agradecimentos .....	iv
Índice .....	vi
Índice de Imagens.....	viii
Índice de Tabelas.....	xxvii
1. Introdução.....	1
2. Fundamentos.....	3
3. Contexto .....	7
3.1 ACs e a subida do nível do mar .....	7
3.1.1 A nível Global.....	7
3.1.2 A nível Local e Regional .....	21
3.2 Atuação.....	28
3.2.1 Mitigação (Mi) .....	28
3.2.2 Adaptação (Ad).....	29
4. Metodologia .....	34
5. Resultados esperados.....	34
6. Corpo da tese .....	35
6.1 Sistematização das diferentes soluções de proteção costeira a nível estuarino .....	35
6.1.1 Defesa Costeira Suave .....	35
6.1.2 Defesa Costeira pesada .....	37
6.1.3 Soluções híbridas ou mistas .....	38
6.2 O sapal.....	42
6.3 Funções do Ecossistema de Sapal .....	43
6.3.1 Habitat de elevada biodiversidade.....	43
6.3.2 Retenção de Poluentes.....	44
6.3.3 Reciclador do Azoto (desnitrificante).....	45
6.3.4 Retenção de carbono, de sedimentos e proteção costeira.....	45
6.4 A degradação e a perda de sapal .....	47
6.5 Formas de recuperação do sapal .....	49
6.6 Serviços de ecossistema sapal.....	51
6.6.1 Serviços de ecossistema .....	51
6.6.2 Funções de ecossistema de sapal.....	52
6.6.3 Valoração de Serviços de Ecossistema de Sapal .....	55
6.6.2 Limitações da valoração dos Serviços de Ecossistemas .....	59

6.7	Processo de gestão baseada em Ecossistema (EBM) .....	60
6.8	Legislação, Planos de Ordenamento e Planos Estratégicos .....	62
7.	Caso de Estudo - A Baía do Seixal .....	72
7.1	Enquadramento, vulnerabilidades e previsões .....	72
7.2	Caracterização climática - Vento .....	89
7.3	Caracterização geológica .....	90
7.4	Caracterização pedológica .....	93
7.5	Origem , dinâmica e caracterização dos sedimentos da baía do Seixal .....	94
7.4	Caracterização biológica da Baía do Seixal .....	99
7.5	Caracterização do Sapal da Baía do Seixal .....	103
7.6	Estatutos e Proteção Legal .....	109
7.7	Diferentes tipos de proteção costeira na Baía do Seixal .....	112
7.8	Eventos extremos no Seixal e formas de Adaptação .....	140
7.9	Estudo planimétrico do avanço e recuo das formações de Sapal através da análise de Ortofotomapas .....	148
7.9.1	Metodologia .....	148
7.9.2	Resultados e sua interpretação .....	151
7.9.3	Velocidade de perda de Sapal .....	156
7.9.2	Valoração da perda de Serviços de Ecossistema de Sapal na Baía do Seixal .....	160
7.10	Estudo <i>in situ</i> da erosão/deposição de sedimentos .....	161
7.10.1	Metodologia .....	161
7.10.2	Recuo horizontal do sapal <i>in situ</i> .....	164
7.10.3	Variação vertical do sedimento .....	166
7.11	Modelo Hidrodinâmico da Baía do Seixal .....	176
7.11.1	Metodologia .....	176
7.11.2	Discussão dos resultados .....	182
7.11.3	Simulação das ondas para a Baía do Seixal .....	193
7.11.4	Simulação da subida do nível do mar a 100 anos .....	194
7.11.5	Simulação de uma proposta de Adaptação .....	201
7.12	Propostas futuras .....	204
8.	Conclusões .....	211
9.	Lista de Siglas .....	214
10.	Lista de Símbolos e Unidades .....	217
11.	Referências Bibliográficas .....	218

## Índice de Imagens

<b>Fig. 1:</b> Imagem de amostra de gelo ou <i>ice core</i> , recolhida na Antártida, <i>in</i> <a href="http://www.csa.com/discoveryguides/icecore/TMP8I5g0w6m0v.htm">http://www.csa.com/discoveryguides/icecore/TMP8I5g0w6m0v.htm</a> .....	3
<b>Fig. 2:</b> Vegetação de sapal na Baía do Seixal, neste caso predomina a pioneira <i>Sarcocornia perennis</i> ssp. <i>perennis</i> e <i>Sarcocornia fruticosa</i> . .....	6
<b>Fig. 3:</b> Processos sensíveis ao clima e componentes que podem influenciar o nível do mar a nível global e regional. Alterações em qualquer um dos componentes ou processos mostrados implica uma alteração do nível do mar. O termo " propriedades do Oceano " refere-se à temperatura, salinidade e densidade do oceano, que influenciam e são dependentes da circulação oceânica. Tanto o nível relativo do mar como o geocêntrico variam com a posição geográfica (retirado e traduzido do IPCC, 2013).....	7
<b>Fig. 4:</b> Representação esquemática traduzida das principais ligações entre os processos e componentes que contribuem para as modificações do nível do mar e que são consideradas em IPCC (2013) e neste trabalho. A coloração de caixas individuais indica os tipos de modelos e abordagens utilizados para projetar a contribuição de cada processo ou componente para a futura mudança do nível do mar. As numerações inferiores são relativas aos respetivos capítulos do IPCC 2013 que abordam as temáticas. ....	8
<b>Fig. 5:</b> Medições com batitermógrafo <i>in</i> <a href="http://www.oem.com.mx/elsudcaliforniano/notas/n2802112.htm">http://www.oem.com.mx/elsudcaliforniano/notas/n2802112.htm</a> .....	9
<b>Fig. 6 e 7:</b> Esquema traduzido da constituição de uma sonda do sistema Argo. O seu comprimento é de cerca de 2 m e fotografia de uma sonda a flutuar; <i>in</i> <a href="http://www.inctambtropic.org/grupos-de-trabalho/oceano/interacao-oceano-atmosfera.html">http://www.inctambtropic.org/grupos-de-trabalho/oceano/interacao-oceano-atmosfera.html</a> .....	10
<b>Fig. 8:</b> Mapa traduzido da distribuição das sondas em Fevereiro de 2014, onde a maioria, a verde são dos EUA <i>in</i> <a href="https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/2014-03-countries.png">https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/2014-03-countries.png</a> .....	10
<b>Fig. 9:</b> A missão TOPEX/ Poseidon, lançada em 10 de Agosto de 1992 (terminou em 2006 sucedida por outras sondas), foi uma missão conjunta da NASA e do CNES, para fazer mapas da topografia da superfície dos oceanos <i>in</i> <a href="http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:TOPEX;Poseidon.jpg">http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:TOPEX;Poseidon.jpg</a> .....	11
<b>Fig. 10:</b> Os dois satélites “GRACE” permitem detetar variações de massa dos glaciares a nível mundial, entre outros <i>in</i> <a href="http://www.csr.utexas.edu/grace/">http://www.csr.utexas.edu/grace/</a> .....	11
<b>Fig. 11:</b> Modelo de saída ( <i>output</i> ) mostrando a mudança do nível de mar relativo devido ao derretimento da camada de gelo da Gronelândia e do manto de Gelo da Antártida Ocidental a taxas de 0,5 mm.ano <sup>-1</sup> cada (dando um valor médio global de aumento do nível do mar de 1 mm, ano <sup>-1</sup> ). As mudanças do nível do mar modeladas são menores do que o valor médio global em áreas próximas ao derretimento do gelo, mas aumentando para longe deste. Traduzido de Milne <i>et al.</i> (2009) <i>in</i> (IPCC, 2013). ....	12

<b>Fig. 12:</b> O Marégrafo de Cascais analógico, cujo sistema foi construído em 1877 por A. Borrel, em Paris, e encontra-se ainda em pleno funcionamento. Ligado ao laboratório oceanográfico do rei D. Carlos I, o primeiro Marégrafo de Cascais foi instalado em 1882 na rocha, a Este da fortaleza, sobre a baía de Cascais, tendo mudado para o sítio atual (deslocação de ~30 m) em 1900 <i>in</i> <a href="http://www.cm-cascais.pt/equipamento/maregrafo-de-cascais">http://www.cm-cascais.pt/equipamento/maregrafo-de-cascais</a> .....	13
<b>Fig. 13:</b> Transgressão marinha do Terciário (Mesocretácico) <i>in</i> Santos, 2009). .....	14
<b>Fig. 14:</b> Localização e imagens da estação Russa Vostok , sobre a camada de gelo que fornece os <i>cores</i> e acede a uma lago a 3720 metros de profundidade, considerado um ecossistema virgem e isolado há cerca de 30 Ma. Traduzido e adaptado de <a href="https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Vostok">https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Vostok</a> & <a href="https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/o-misterio-do-lago-vostok.html">https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/o-misterio-do-lago-vostok.html</a> .....	16
<b>Fig. 15:</b> Esquema traduzido, de um modelo tridimensional de circulação geral da atmosfera-oceano (AOGCM) <i>in</i> <a href="http://en.wikipedia.org/wiki/File:AtmosphericModelSchematic.png">http://en.wikipedia.org/wiki/File:AtmosphericModelSchematic.png</a> .....	16
<b>Fig. 16:</b> Comparação dos componentes modelados e observados da alteração do NMMG desde 1900. Alterações em glaciares, mantos de gelo e armazenamento de água do solo são mostrados como aumentos positivos do nível do mar, uma vez que é adicionada massa ao oceano (traduzido do IPCC, 2013): .....	17
<b>Fig. 17:</b> Compilação de dados paleo do nível do mar, dados de marégrafos, dados de altímetro, e estimativas centrais e intervalos prováveis para projeções de NMMG para os cenários RCP2.6 (a azul) e RCP8.5 (a vermelho), todos relativos aos valores pré-industriais (Fig. 13.27 traduzida, do IPCC, 2013).....	18
<b>Fig. 18 e 19:</b> Gráficos traduzidos, com os dados de concentrações atmosféricas de CO <sub>2</sub> dados pelo Observatório de Mauna Loa, no Hawaii (a linha vermelha representa as oscilações de [CO <sub>2</sub> ] anuais e a curva preta representa os dados corrigidos sazonalmente). Os dados são reportados como uma fração molar seca definida como o número de moléculas de CO <sub>2</sub> dividido pelo número de moléculas de ar seco multiplicado por um milhão (ppm). Os gráficos foram obtidos em datas diferentes: no início deste estudo em Março de 2013 e no final, em Abril de 2019, tendo sido ultrapassados os 400 ppm em Maio de 2013. Esta curva é denominada de “Curva de Keeling”, uma vez que as medições foram iniciadas por C. David Keeling da Instituição Scripps de Oceanografia em 1958 e o NOAA iniciou suas próprias medições em Maio de 1974 funcionando paralelamente. <a href="https://www.ipma.pt/pt/oclima/gases.estufa/index-mauna.jsp?var=data&amp;print=true">https://www.ipma.pt/pt/oclima/gases.estufa/index-mauna.jsp?var=data&amp;print=true</a> .....	19
<b>Fig. 20:</b> Gráfico (traduzido e adaptado) com os dados de concentrações atmosféricas de CO <sub>2</sub> conseguidos através de vários métodos, desde os últimos 800 ma, dados pelo “Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories” <i>in</i> <a href="https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html">https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html</a> .....	19
<b>Fig. 21:</b> Máxima velocidade a que as espécies se podem deslocar (km/década), retirado e traduzido da apresentação do IPCC (2014). .....	20
<b>Fig. 22:</b> Fatores que afetam o nível médio do mar (NMM), a nível regional e local (adaptado de IPCC, 2013).....	21

<b>Fig. 23:</b> Mapa de taxas de variação de altura da superfície do mar (nível do mar geocêntrico) para o período de 1993-2012 de altimetria por satélite. Também são mostradas as mudanças de nível relativo do mar (linhas cinzentas) das estações maregráficas selecionados para o período 1950-2012. Para efeito de comparação, uma estimativa da variação do nível médio do mar global também é mostrada (linhas vermelhas), em cada série temporal de marégrafo. As relativamente grandes oscilações de curto prazo no nível do mar local (linhas cinzentas) são devidas à variabilidade natural do clima. Por exemplo, os desvios grandes e regulares em Pago Pago estão associados com o El Niño-Oscilação do Sul. Retirado e traduzido de IPCC (2013).....	22
<b>Fig. 24:</b> Dos eventos extremos aos prejuízos. (a) A análise dos níveis do mar em fenómenos extremos, fornece estimativas de parâmetros para o modelo estocástico. (b) A distribuição dos níveis do mar é influenciada pela subida do NMM. (c) Medidas para a defesa contra inundações, tais como os diques, estabelecem um limiar abaixo do qual os prejuízos são evitados. (d) A distribuição de níveis extremos do mar é combinada com o dano correspondente, através de uma função de dano, fornecendo o dano total na região em estudo, a um certo nível máximo de inundação. (e) Distribuição resultante dos prejuízos totais anuais, o prejuízo anual esperado e seu desvio padrão podem ser derivados <i>in</i> Boettle <i>et al.</i> (2016).....	24
<b>Fig. 25:</b> Diferentes taxas de subida do nível do mar (NMM) para Portugal e respetivo desvio padrão, para diferentes períodos desde 1992 até 2016, a partir dos registos do marégrafo de Cascais (Antunes, 2019).....	25
<b>Fig. 26:</b> Fatores que podem desencadear eventos extremos, quando conjugados, aumentando o risco de inundação e erosão estuarina, adaptado de Guerreiro <i>et al.</i> (2013).....	26
<b>Fig. 27:</b> Ilustração dos principais conceitos relacionados com as ACs, traduzido e retirado do IPCC (2014). .....	28
<b>Fig. 28:</b> Contribuintes para o sequestro natural do Carbono (g) (baseado em Mitsch & Gosselink, 2000).....	29
<b>Fig. 29:</b> Ilustração das respostas de adaptação possíveis à elevação do NMM (Parry <i>et al.</i> , 2009).....	30
<b>Fig. 30:</b> Estratégias de Ac (adaptado de Parry, 2009 e Pilkey, 2009). .....	31
<b>Fig. 31:</b> Corte transversal do Rio, “Lower Don Lands” em Toronto, “hibridização” de sistemas infraestruturais, para maximizar uma ampla variedade de condições de superfície, desde permeáveis a impermeáveis <i>in</i> Mostafavi <i>et al.</i> (2010), capítulo “Agência da Ecologia”.....	32
<b>Fig. 32:</b> Costa Este de Freiston, no Reino Unido (Circle-2, 2013).....	36
<b>Fig. 33 e 34:</b> Imagens das faixas de vime e plantação de estorno nas dunas da Praia de São João, no seguimento da alimentação artificial de areia ocorrida em 2014. O projeto “ReDuna” foi uma iniciativa da Câmara Municipal de Almada, realizada em colaboração com a Agência Portuguesa do Ambiente, ao abrigo do Programa Operacional Temático de Valorização do Território POVT 2007-2013, do QREN, co-financiado pelo Fundo de Coesão. A intervenção teve o valor de 230 mil Euros. <i>In</i> <a href="http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/DESTAQUES/DETALHE/?ambiente_destaque_detalle=328074351&amp;cboui=328074351">http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/DESTAQUES/DETALHE/?ambiente_destaque_detalle=328074351&amp;cboui=328074351</a> .....	37

<b>Fig. 35:</b> Vista aérea do Seixal. Note-se a muralha ao longo da “Curva da Timbre” e a pequena praia artificial, resultante da deposição de dragagens antigas e onde não existem problemas de inundação. In <a href="http://www.tvi24.iol.pt/foto/13402250">http://www.tvi24.iol.pt/foto/13402250</a> .....	37
<b>Fig. 36:</b> Esquema das estruturas de defesa costeira pesada, respetivamente: quebra-mar, dique, esporão e molhe (c. p.- compilação própria). .....	38
<b>Fig. 37 e 38:</b> Zona da “Curva da Timbre”, no Seixal, durante o temporal de 26/10/ 2011, em que o RSL atingiu os 4,3m (ZH) (maré viva equinocial+preia-mar+tempestade) galgou a muralha. In <a href="http://mediaserver2.rr.pt/newrr/seixalcheias21089297_400x225.jpg">http://mediaserver2.rr.pt/newrr/seixalcheias21089297_400x225.jpg</a> & <a href="http://www.cm-seixal.pt/seixaljazz/2009/conteudos/Seixal.html">http://www.cm-seixal.pt/seixaljazz/2009/conteudos/Seixal.html</a> .....	38
<b>Fig. 39:</b> Representações do “ <i>Dick in dune</i> ” em perspetiva e corte. In Circle-2 (2013). .....	39
<b>Fig. 40 e 41:</b> Crescimento espontâneo de sapal na Baía do Seixal por sedimentação natural, protegendo as estruturas construídas da erosão costeira (colchões <i>Reno</i> ), que mais a Norte, sem a proteção do sapal se encontram em mau estado de conservação (Maio de 2014 e 2015 respetivamente). .....	39
<b>Fig. 42:</b> deposição de barreira de pedras ao longo da linha de costa, na zona inter-tidal; note-se a deposição de alguns sacos com ostras (VEEWCS, 2011). .....	40
<b>Fig. 43:</b> Evolução bem sucedida da técnica de barreira de pedras, deposição de areia em rampa de 10:1 ou 10% de inclinação e plantação de <i>Spartina</i> sp. na costa Oeste da Virgínia (Hardaway <i>et al.</i> , 2010). .....	40
<b>Fig. 44:</b> Representação esquemática da proteção costeira com faixas de areia/enrocamento e plantação, ao longo da faixa costeira em rampa com aproximadamente 10% de inclinação, em zona supratidal (a), intertidal (b) e infratidal(c), respetivamente (c. p.). .....	41
<b>Fig. 45, 46 e 47:</b> Fotografias da estrutura de arame electroestimulado que propicia a existência de recifes artificiais com organismos que atenuam as ondas (Goreau & Prong, 2017). .....	41
<b>Fig. 48:</b> Elevada taxa de crescimento de <i>Spartina alternifolia</i> , numa zona intertidal que já não tinha vegetação devido à toxicidade de resíduos tóxicos, em Nova York, e através da biotecnologia da “Biorock”, conseguiu-se a sua restauração com elevada taxa de crescimento e foi diretamente proporcional à carga elétrica aplicada, vinda do painel solar que alimenta a malha, em segundo plano (Cervino <i>et al.</i> , 2012). .....	42
<b>Fig. 49:</b> Pormenor das folhas de <i>Halimione portulacoides</i> e <i>Atriplex halimus</i> , duas espécies de sapal esbranquiçadas devido à excreção de sal pelas glândulas exócrinas epidérmicas da folha (Abril de 2018, Baía do Seixal). .....	42
<b>Fig. 50:</b> Pormenor da parte aérea (sem folhas e com caules suculentos) das espécies pioneiras <i>Sarcocornia perennis</i> ssp. <i>perennis</i> e <i>Sarcocornia fruticosa</i> (Abril de 2018, Baía do Seixal). .....	43
<b>Fig. 51:</b> Fotografia do sapal de Corroios fornecendo habitat e alimento a um bando de flamingos (Dezembro de 2013). .....	43
<b>Fig. 52 :</b> Rizoconcreção em <i>Aster tripolium</i> do sapal de Corroios (Caçador, 2001). .....	44

<b>Fig. 53:</b> Percentagem de biomassa remanescente na parte subterrânea <i>versus</i> percentagem de mercúrio na biomassa não mineralizada das plantas de sapal da espécie <i>Juncus maritimus</i> (média ± erro padrão, N=5) (Marques, 2010). .....	45
<b>Fig. 54:</b> A elevada produtividade primária das espécies vegetais de sapal concentra-se no seu extenso raizame, neste caso da <i>Spartina maritima</i> (característica do sapal baixo) responsável pelo elevado sequestro de carbono, retenção de sedimentos e de resíduos (traduzido de Caçador <i>et al.</i> , 2005). ...	46
<b>Fig. 55:</b> Atenuação não linear da altura das ondas à medida que atravessam um mangal (Koch <i>et al.</i> , 2009).....	46
<b>Fig. 56:</b> Fatores antrópicos e climáticos (a azul) que poderão degradar e destruir o Ecosistemas de Sapal, c. p.....	47
<b>Fig. 57:</b> Erosão e perda de sapal, em <i>St. Lawrence Bay, Blackwater Estuary</i> , Inglaterra, (Março 2000) <i>in</i> Van der Wal & Pye (2004). .....	48
<b>Fig. 58:</b> Cultivo de <i>Salicornia sp.</i> em solos salinizados (e até aí improdutivos) no México. <i>In</i> <a href="http://seawaterfoundation.org">http://seawaterfoundation.org</a> .....	53
<b>Fig. 59:</b> Atividade de <i>Birdwatching</i> (observação de aves) no Sapal de Corroios (Dezembro de 2016), em abrigo colocado pela ONGA Grupo Flamingo, em parceria com a CMSeixal.....	53
<b>Fig. 60 :</b> Funções e SE de Sapal sob os três pilares da sustentabilidade. Compilação pp., utilizando o programa de desenho 3D <i>SketchUp</i> .....	54
<b>Fig. 61 e 62:</b> Apanha ilegal de bivalves na Baía do Seixal <sup>5</sup> por “profissionais” e por recreação, na restinga da PPonta dos Corvos <sup>6</sup> .....	57
<b>Fig. 63:</b> Atividade de <i>Birdwatching</i> no Sapal de Corroios, organizada pelas ONGAs FAPAS e Grupo Flamingo (2014).....	58
<b>Fig. 64:</b> Esquema de integração dos SE na EBM. As caixas indicam os passos do processo, contendo a informação coletada ou quantificada por variáveis. As setas grossas indicam os fluxos de informação através do processo e as setas pequenas os <i>inputs</i> de informação pelos vários participantes (adaptado de Granek, 2009). .....	61
<b>Fig. 65:</b> Instrumentos regulamentares para a proteção/gestão dos ecossistemas de sapal. ....	63
<b>Fig. 66:</b> ACs, vulnerabilidade territorial e estratégias de Ad (Ferrão, 2014). ....	64
<b>Fig. 67:</b> Objetivos dos POOCs, anos 90 (c. p.).....	65
<b>Fig. 68:</b> POs de Áreas Protegidas que abrangem ecossistemas de sapal, c. p. ....	67
<b>Fig. 69:</b> Objetivos estratégicos do PORNET, c. p. ....	68
<b>Fig. 70:</b> Fotografia do Pólo Industrial da Mitrena (Setúbal) (Fev. 2019). ....	68
<b>Fig. 71:</b> Três fases do modelo de pensamento estratégico em AAE (Partidário, 2012).....	69
<b>Fig. 72:</b> Esquema da Metodologia utilizada para a ESCL (2005). ....	70

<b>Fig. 73:</b> Imagens do MDT para o SIG, sem escala, (data de aquisição: 2011/10/17; Projeção Geográfica; Sensor: Aster) mostrando a Península de Setúbal e localizando a Baía do Seixal, Fonte: <a href="http://earthexplorer.usgs.gov/">http://earthexplorer.usgs.gov/</a> , NASA LPDAAC Collections -> ASTER Collections -> ASTER Global DEM, Entidade ID: ASTGDENV2_ON38W010; Agência: NASA/METI.....	72
<b>Fig. 74:</b> Ampliação da fig. 73 de forma a pormenorizar as bacias hidrográficas das Ribeiras efluentes da Baía do Seixal (evidenciada pelo quadrado branco). .....	73
<b>Fig. 75:</b> Imagem retirada do SIG (Sistema de Informação Geográfica), feito a partir do MDT anterior, para cálculo do caudal de escoamento e sedimentos transportados pelas principais ribeiras, através do método “RUSLE” ( <i>Revised Universal Soil Loss Equation</i> ), aplicado em ambiente ArcGis. A lilás está representada a bacia hidrográfica das Ribeiras de Corroios e a roxo a bacia hidrográfica do Rio Judeu. ....	73
<b>Fig. 76:</b> Visualização em perspetiva, a 4,8 km de altitude, da Baía do Seixal, retirada através do <i>Google Earth</i> . A amarelo a localização do marégrafo que serviu de base ao modelo hidrodinâmico. 74	74
<b>Fig. 77:</b> Visualização da foz das duas ribeiras de Corroios evidenciada pelo círculo azul, em perspetiva a 521 m de altitude, retirada através do <i>Google Earth</i> .....	74
<b>Fig. 78:</b> Representação esquemática da baía com medições rigorosas, linha de água dos 2,5 m (ZT) digitalizada sobre ortofomapas de 2013 e base topográfica à escala 1/25 000 (c. p.).....	74
<b>Fig. 79:</b> Ortofotomapa adaptado e retirado do <i>Google Maps</i> . In <a href="https://www.google.pt/maps/@38.6382323,-9.1332932,4739m/data=!3m1!1e3">https://www.google.pt/maps/@38.6382323,-9.1332932,4739m/data=!3m1!1e3</a> .....	75
<b>Fig. 80 e 81:</b> Faixa N da restinga do Alfeite com uma duna primária muito pouco desenvolvida, e cuja proteção se resume a uma faixa muito estreita de vegetação ( <i>Puccinellia maritima</i> ), cujo raizame é essencial à fixação das areias e proteção eólica e marítima. Em alguns locais encontra-se pisoteada e destruída por rodados, assim como ameaçada pela rápida expansão de chorão-da-praia ( <i>Carpobrotus edulis</i> ), que não desempenha o mesmo papel de fixação (Foto tirada em Janeiro 2014, antes dos eventos extremos que ocorreram e note-se que não havia talude de erosão).....	76
<b>Fig. 82:</b> Faixa S da restinga, virada para a Baía, onde se observa a vegetação halófito de sapal (Janeiro de 2014).....	76
<b>Fig. 83:</b> Perfil tipo de praia estuarina do Tejo (nível médio = 2,2 m acima do ZH). Freire <i>et al.</i> (2006). .....	77
<b>Fig. 84:</b> Fotografia da Praia do Alfeite em Fevereiro de 2015, observando-se os efeitos dos dois episódios de baixas pressões e tempestade de 2014, que destruíram parte da proteção dunar e levaram à formação de uma pequena escarpa com mais de 1m de altura. ....	78
<b>Fig. 85:</b> Fotografia da praia do Alfeite em Dezembro de 2016, onde se repara num segundo perfil de erosão mais pequeno de 26 cm, demonstrando uma intensidade menor dos eventos extremos nesse ano (régua de 50 cm). ....	78
<b>Fig. 86:</b> A - Ortofotomapa de 1998 com traçado de linha vermelha correspondente ao talude de erosão e base da duna. B - Sobreposição do ortofotomapa de 2018 ao de 1998, permitindo ver o recuo de cerca de 4 m em 20 anos. ....	79

<b>Fig. 87:</b> Vista da zona central, de estacionamento, muito pisoteada pelo acesso de pessoas à praia e com proteção costeira feita com inertes, o talude de erosão é delimitado com uma linha vermelha na fig. 86 (Fevereiro de 2015). .....	79
<b>Fig. 88:</b> Resultados da perigosidade para um cenário correspondente ao período de retorno de eventos extremos de 100 anos e considerando uma subida do NMM mar de 1m: a) extensão e profundidade da inundação; b) índice de perigosidade (Freire <i>et al.</i> , 2015).....	80
<b>Fig. 89:</b> Excertos do mapa do Estuário do Tejo dos níveis extremos para o atual NMM (A) e considerando uma subida do NMM de 1,5 m (B), respetivamente. Cenário de probabilidade média, correspondendo a períodos de retorno 100 anos. Níveis em metros, relativos ao ZH (Guerreiro <i>et al.</i> , 2015).....	81
<b>Fig. 90:</b> Cenário de submersão em 2100 para o Estuário do Tejo (A) e ampliação da Baía do Seixal (B), simulação com aumento do NMM de 1,15 m.....	81
<b>Fig. 91:</b> Cenários de inundação com a subida do NMM sobreposta à classe de uso do solo existente no Alfeite (Almada), na Baía do Seixal, Ribeira de Coima e Barreiro, para 2050 (a) e 2100 (b) (traduzido de Rilo <i>et al.</i> , 2013).....	82
<b>Fig. 92:</b> Excerto da Carta de suscetibilidade à inundação por Tsunami, constituinte do conjunto de cartas de Riscos e Proteção Civil. Esc. 1:45 000 (2012). Excerto sem escala (CMS, 2012).....	83
<b>Fig. 93:</b> Excerto da Carta de suscetibilidade a cheias e a inundações, constituinte do conjunto de cartas de Riscos e Proteção Civil. Esc. 1:45 000 (2013). Excerto sem escala. (CMS, 2012).....	84
<b>Fig. 94:</b> Gráfico correspondente à tabela anterior, evidenciando a contabilização das áreas inundadas para a previsão da subida do NMM em 2050 e 2100, para os diferentes tipo de Ocupação de Solo, com base nos dados de Rilo <i>et al.</i> (2013).....	85
<b>Fig. 95:</b> Excerto da “Planta da Situação Existente”, que faz parte das peças .....	85
<b>Fig. 96:</b> Justaposição dos ortofotomapas de 2005 (A) e de 2009 (B), referentes à zona a nascente do Seixal, onde se repara facilmente no avanço recente das urbanizações (Quinta da Trindade) e do complexo desportivo do Benfica, este implantado a cotas muito baixas. Repare-se na vulnerabilidade das instalações do Instituto Hidrográfico (pequena restinga a E). .....	86
<b>Fig. 97:</b> Tradução do esquema de evolução da intrusão salina em condições de subida do NMM e de não exploração do aquífero. ....	87
<b>Fig. 98 e 99:</b> Captação de água do aquífero na Estação do Talaminho (fotografias tiradas a 01-09-2020).....	87
<b>Fig. 100:</b> Mapa do Concelho do Seixal com as várias estações de captação de água, a vermelho as desativadas. Imagem retirada do sistema de SIG da CMSeixal:.....	88
<b>Fig. 101:</b> Intrusão salina nos aquíferos na área metropolitana Fonte: Base de dados do PMAAC-AML (2018). (AML, 2019).....	88
<b>Fig. 102:</b> Ocorrência anual de vento (A), (frequência em %) e velocidade média no inverno e no verão (B) (km/h). ....	89

<b>Fig. 103:</b> Gráficos de direções dominantes nos dias em que ocorrem velocidades >10,8m/s (entre 2006 e2016), para as estações de Lisboa/Portela (A) e Montijo (B), respetivamente. ....	89
<b>Fig. 104:</b> Praia do Seixal existente junto à Caixa Geral de Depósitos, onde ainda existe o pequeno talude de erosão, que expõe a geologia da região com afloramentos do Pliocénico. ....	90
<b>Fig. 105:</b> Fotografia da muralha antiga da Arrentela, que se desenvolveu em encosta sobre a Baía (fotografia dos anos 70, existente na Junta de Freguesia da Arrentela, cortesia de Isabel Benito).	90
<b>Fig. 106:</b> Imagem de drone da Arriba do Seixal, tendo sido a maior parte transformada em talude em 2015 (cortesia de António Silva). ....	91
<b>Fig. 107:</b> Arriba ainda existente por detrás das casas do Seixal (fotografia de Março de 2019). ....	91
<b>Fig. 108:</b> Excerto da Escala Cronoestratigráfica Internacional. <i>In</i> <a href="https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2017-02PTPortuguese.jpg">https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2017-02PTPortuguese.jpg</a> .....	91
<b>Fig. 109:</b> Carta litológica simplificada, com base na Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, (Folha4, escala 1/50 000). ....	92
<b>Fig. 110 e 111:</b> Talude resultante da “estabilização” da arriba por detrás da povoação do Seixal, onde se avista a antiga arriba que não foi intervencionada, pormenorizada na segunda fotografia, em perfil (Outubro de 2018).....	93
<b>Fig. 112:</b> Reprodução do Cartograma de Erodibilidade dos solos do Concelho do Seixal (sem escala), CMS(2014). ....	94
<b>Fig. 113:</b> Excerto e ampliação da imagem sobre a localização das praias do estuário do Tejo <i>in</i> Freire <i>et al.</i> (2006). ....	95
<b>Fig. 114:</b> Resultados do modelo em que as frações de sedimento foram distribuídas de acordo com as condições hidrodinâmicas para o Estuário do Rio Tejo, evidenciando-se a Baía do Seixal com o círculo azul (Franz <i>et al.</i> , 2017). ....	96
<b>Fig. 115:</b> Posição das amostras verticais de sedimentos colhidas na Baía do Seixal durante a campanha de Maio de 2009 (cotas relativas ao ZH nos pontos de amostragem entre parênteses) <i>in</i> Silva <i>et al.</i> (2011). ....	96
<b>Fig. 116:</b> Diagrama de <i>Shepard</i> com a projeção das amostras verticais retiradas e analisadas do estudo na Baía do Seixal (Silva <i>et al.</i> , 2011). ....	97
<b>Fig. 117:</b> Distribuição granulométrica nas amostras de sedimento superficial (20cm) percentagem de finos (fração <63 µm) (Silva <i>et al.</i> , 2011).....	97
<b>Fig. 118:</b> Granulometria dos sedimentos para as várias estações de amostragem na Baía do Seixal, na Primavera, Verão e Outono de 2009 e no Inverno de 2010 (Caçador <i>et al.</i> , 2011). ....	98
<b>Fig. 119:</b> Percentagem de elementos finos nos sedimentos da Baía do Seixal, .....	99
<b>Fig. 120:</b> Arroçais do Estuário do Sado entre Comporta e Carrasqueira, com bandos de íbis-preta a alimentarem-se (Fev. de 2019). ....	101

<b>Fig. 121:</b> Concentração de metais vestigiais ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ de peso seco) em amostras de sedimento de Almada, ALM (n = 9) e na Baía de Seixal, SXL (n = 8) e no músculo de <i>Halobatrachus didactylus</i> (machos adultos) das mesmas áreas (ALM: n = 5; SXL: n = 8). * Diferenças significativas entre as áreas ( $p < 0,05$ ) in Pedro (2014).....	102
<b>Fig. 122:</b> Diferentes tipologias de sapal, ilustração científica executada por Nuno Farinha (2017), excerto da brochura sobre Estuário do Sado impressa pelo ICNF, Reserva Natural do Estuário do Sado e Tróia Natura.....	103
<b>Fig. 123 e 124:</b> Tal como no Estuário do Tejo, também no Estuário do Sado se dá a colonização do sedimento fino e arenoso, por <i>Spartina maritima</i> , junto a uma estrutura de proteção costeira (enrocamento, pneus com pedras e telas), para proteger da erosão os arrozais do Estuário do Sado, no “Matinho”, entre o Canal da Comporta e o Cais Palafítico da Carrasqueira. Campanha de sensibilização e recolha de lixo promovida pela ONGA “Ocean Alive” (em Fevereiro de 2019). .....	103
<b>Fig. 125 e 126:</b> Colonização por <i>Spartina maritima</i> (1) das ilhas de sedimentos junto à foz do Rio Judeu (Abril de 2017) e por <i>Sarcocornia perennis ssp. perennis</i> (2) numa zona mais abrigada, junto à estrutura de proteção costeira (Abril de 2019).....	104
<b>Fig. 127:</b> Na Baía do Seixal, junto à Foz do Rio Judeu, zona de crescimento do sapal, estão presentes as quatro espécies mais representativas do baixo Sapal, sendo as primeiras ilhas colonizadas pela <i>Spartina maritima</i> (1), depois por <i>Sarcocornia perennis ssp. perennis</i> (2) já junto à estrutura de proteção costeira (colchão <i>Reno</i> ) seguidas pela <i>Halimione portulacoides</i> (3) intercalada com a <i>Sarcocornia fruticosa</i> (4) (Abril de 2019). .....	105
<b>Fig. 128 e 129:</b> Plantas parasitas, <i>Cistanche phelypaea</i> , nas zonas mais secas de sapal alto (fotografias tiradas respetivamente em Abril e Maio de 2018), na zona com plantas de sapal da praia da Fidalga (fig. 133) em solo arenoso.....	106
<b>Fig. 130:</b> Excerto de dois dos vários transectos do Sapal de Corroios (efetuados por Tibério, A. S., 2004).....	106
<b>Fig. 131:</b> Fotografia do Sapal de Corroios em maré baixa (Maio de 2017).....	107
<b>Fig. 132:</b> Gráfico baseado nos dados de Caçador <i>et al.</i> (2011) para a cobertura relativa (%) do inventário florístico feito para o sapal da Baía do Seixal. ....	107
<b>Fig. 133:</b> Fotografia da solução de defesa costeira híbrida com areia+sapal+faixa de enrocamento+areia, executada em 2005, na obra da Quinta da Fidalga, passeio ribeirinho do Seixal. ....	108
<b>Fig. 134:</b> Pormenorização das 5 espécies de plantas vivazes registadas, por ordem: <i>Halimione portulacoides</i> , <i>Atriplex halimus</i> , <i>Sarcocornia perennis ssp. perennis</i> , <i>Sarcocornia fruticosa</i> e a mais abundante devido ao transplante efetuado, a <i>Salsola vermiculata</i> . ....	109
<b>Fig. 135:</b> Gráfico com os resultados da Biomassa ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) e Produtividade Primária ( $\text{Kg}/\text{m}^2$ ) aérea a) e subterrânea b) de <i>S. maritima</i> , <i>H. portulacoides</i> e <i>S. fruticosa</i> (Caçador <i>et al.</i> , 2011). ....	109
<b>Fig. 136:</b> Extrato da Carta da REN do Seixal (2014), com as áreas a incluir e a excluir.....	110
<b>Fig. 137:</b> Montagem do sapal de Corroios com fotografia elevada, cortesia de António Silva. ....	111

<b>Fig. 138:</b> Imagens dos ortofotomapas de 2001 (A) e de 2005 (B), a área da piscicultura (superior a 18ha), que não foi considerada para as medições de sapal - contorno a rosa (2013) e verde (1998). .....	112
<b>Fig. 139:</b> Representação esquemática do tipo de proteção costeira existente ao longo da Baía do Seixal (c. p.).....	113
<b>Fig. 140:</b> Modelação 3D da Baía do Seixal, em <i>AutoCAD</i> e <i>Sketch Up</i> , com base na cartografia 1/1000 e ortofotomapas de 2013. Vista de Sul para Norte, com a localização da restinga a amarelo e da pequena intervenção projetada por mim a vermelho, que se detalhará mais à frente (c. p.).....	114
<b>Fig. 141:</b> Fotografias atuais da pequena restinga e/ou praia de areia (A), cujo lado Este (B) mais protegido e menos arenoso, apresenta vegetação de sapal até à água.....	114
<b>Fig. 142:</b> Junto ao talude da estrada de acesso ao estaleiro do Talaminho, existem todas as fases de sapal e espécies características anteriormente identificadas:.....	114
<b>Fig. 143:</b> Fotografia da muralha do Núcleo antigo da Amora (anos 60), arquivo da CMS, cortesia de António Silva.....	115
<b>Fig. 144:</b> Núcleo Antigo do Seixal e muralha antiga (anos 60) arquivo da CMS, cortesia de António Silva. ....	115
<b>Fig. 145:</b> Muralha antiga do Seixal, na “Curva da Timbre”, mais junto à Igreja (retirada de vídeo de arquivo da RTP, de 1969). ....	116
<b>Fig. 146:</b> “Curva da Timbre”, após a nova muralha dos anos 80 (Anos 90, cortesia de Francisco Rosa). .....	116
<b>Fig. 147:</b> Fotografia atual do paredão da Arrentela.....	116
<b>Fig. 148:</b> Fotografia anterior à reparação da Muralha do Cais da Mundet, Seixal, (imagem de arquivo CMS, DEC 27/95). ....	117
<b>Fig. 149:</b> Fotografia da marginal do Seixal (2.4 m ZT), em dia de maré viva, praia-mar e temporal <i>in</i> <a href="http://www.cm-seixal.pt/noticia/alerta-de-mares-vivas-dias-28-e-29-de-setembro">http://www.cm-seixal.pt/noticia/alerta-de-mares-vivas-dias-28-e-29-de-setembro</a> .....	118
<b>Fig. 150:</b> Extratos das cartas de proposta (A) e de existente (B) com sobreposição da linha proposta para a Frente Ribeirinha da Amora, (DEC, 1991). ....	118
<b>Fig. 151:</b> Pormenor de Construção da muralha da Frente Ribeirinha da Arrentela, baseado no pormenor da Frente Ribeirinha da Amora, cortesia da Arquiteta Isabel Benito (CMS). ....	119
<b>Fig. 152:</b> Fotografia da estrutura de proteção costeira aderente em enrocamento da Frente Ribeirinha da Amora (foto de 2018).....	119
<b>Fig. 153:</b> Fotografia atual da Frente ribeirinha Arrentela-Seixal, onde se nota o espraiamento do enrocamento pela baía. ....	119
<b>Fig. 154:</b> Pormenor de construção em corte do Passeio Ribeirinho Seixal - Arrentela, autoria da Arq. Pais. Alexandra Castro, (DEC, 2004a). ....	120

<b>Fig. 155:</b> Fotografia da construção do paredão entre a Arrentela e Fidalga (1ª Fase), com as primeiras camadas de enrocamento e não se vendo o geotêxtil que vigora no projeto (Julho de 2005).....	120
<b>Fig. 156:</b> Fotografia da maré viva e preia-mar de 28-09-2015, junto ao paredão da Arrentela-Seixal. .....	120
<b>Fig. 157:</b> Fotografia de obra da construção da 2ª Fase do paredão, na zona da Fidalga (Fevereiro de 2009).....	121
<b>Fig. 158:</b> Fotografia do material de enrocamento colocado em fase de obra na Frente Ribeirinha da Arrentela-Seixal e Fidalga e que foi alvo de várias reclamações por parte da equipa de fiscalização. .....	121
<b>Fig. 159:</b> Secção transversal de uma estrutura de defesa costeira aderente em enrocamento, segundo Pereira (2015).....	122
<b>Fig. 160:</b> Situação antes e depois das ações técnicas sobre estruturas de defesa costeira longitudinais aderentes com manto exposto (Gomes, 2004).....	123
<b>Fig. 161:</b> Fotografia atual da muralha feita em 1993 com colchões <i>Reno</i> ; note-se a sedimentação existente na base.....	124
<b>Fig. 162:</b> Fotografia atual da “muralha” feita em 1993 com colchões <i>Reno</i> , com declive muito acentuado, na ligação ao paredão de calcário.....	124
<b>Fig. 163:</b> Fotografia da construção do paredão da Arrentela (14-10-93, fotografia do arquivo da CMS), note-se que foi posto um geotêxtil por debaixo dos colchões <i>Reno</i> e que estes reduzem a camada de enrocamento à espessura dos próprios colchões (cerca de 40 cm). .....	125
<b>Fig. 164:</b> Esquema de montagem dos colchões <i>Reno</i> (Brito, 1999).....	125
<b>Fig. 165:</b> Esquema de vários tipos de soluções em <i>gabions</i> [in Silva (2008), adaptado de Lagassete <i>et al.</i> (20017)]. .....	126
<b>Fig. 166:</b> Fotografias atuais (2018) da estrutura aderente em colchões <i>Reno</i> , mais a Sul, menos inclinada. Note-se a elevada taxa de sedimentação e de colonização com plantas, que têm preservado a muralha (vista para S (A) e para N (B), respetivamente). .....	126
<b>Fig. 167:</b> Fotografias do Estaleiro da Fidalga em 2004, no início das obras (A) e atualmente (B), após a obra de intervenção de 2005 (enrocamento de 1 m de espessura com geotêxtil + areia + transplante de sapal). .....	128
<b>Fig. 168:</b> Imagem do Seixal obtida no prospeto da CMS, para a divulgação do investimento em apoios a desportos náuticos co-financiados pelo FEDER (2011). .....	128
<b>Fig. 169:</b> Pormenor de construção em corte da solução mista com enrocamento e areia, na zona da rampa em deck, de acesso à praia (Pormenor de execução do Projeto de Execução do “Passeio Ribeirinho, Quinta da Fidalga”, (DEC, 2004b). .....	129
<b>Fig. 170:</b> imagens da frente ribeirinha na zona da Amora Norte em preia-mar de maré viva (14/11/2016) correspondente a Lua Nova (A e C), e fase de enchente (B e D).....	129

<b>Fig. 171:</b> Pequena praia a N da rampa existente, zona de intervenção da primeira fase já construída (14/11/2016). .....	130
<b>Fig. 172:</b> Fotografia da proteção existente em entulho dentro de tanques de lavar louça empilhados (14/11/2016). .....	130
<b>Fig. 173:</b> Fotografia da rampa e tubagem existentes (14/11/2016). .....	130
<b>Fig. 174:</b> Extrato da carta de Cadastro da Rede de Drenagem da Rua da Mundet, rede pluvial a azul e de esgotos a vermelho (DASU/DAS). .....	131
<b>Fig. 175:</b> Fotografia atual do efluente de pluviais com “capleta antirretorno de fim de linha” na Frente Ribeirinha da Amora, perto do <i>E. LeClerc</i> . .....	131
<b>Fig. 176:</b> Esquema simplificado de válvulas antirretorno de secção e de fim de linha (c. p.). .....	131
<b>Fig. 177 e 178:</b> Fotografias da frente ribeirinha junto à Associação Náutica Amorense, antes da intervenção (14/11/2016). .....	132
<b>Fig. 179:</b> Extratos de esquemas do Processo n.º 05.02.07/95, “Execução de Nova Muralha e Ampliação do Parque na Associação Naval Amorense”, faixa de ampliação (A) e placas de betão (B). .....	132
<b>Fig. 180 e 181:</b> Fotografias da frente ribeirinha junto à Associação Náutica Amorense. ....	132
<b>Fig. 182 e 183:</b> Fotografia junto à Associação Náutica Amorense e junto à rampa mais extensa a Sul, respetivamente (14/11/2016). .....	133
<b>Fig. 184:</b> Análise de Condicionantes das intervenções propostas (DEP, 2016). .....	133
<b>Fig. 185:</b> Análise de Condicionantes das intervenções propostas (Cont.) (DEP, 2016). .....	134
<b>Fig. 186:</b> Excerto do Plano geral sobre o passadiço em deck de compósito reciclado e estrutura metálica (DEP, 2016). .....	134
<b>Fig. 187:</b> Excerto do Plano Geral da Estrutura de defesa aderente (DEP, 2016). .....	135
<b>Fig. 188:</b> Pormenor de construção em corte, na zona das placas de betão existentes, que serão aterradas pela nova muralha, não necessitando de ser retiradas e ajudando no alívio de carga sobre a nova muralha (DEP, 2016). .....	136
<b>Fig. 189:</b> Fotografias da estrutura de defesa aderente, na zona mais vertical, em preia-mar de maré viva quase equinocial (2018/03/01) (A) e baixa-mar (2017/10/19) (B). .....	136
<b>Fig. 190:</b> Corte na zona de instalação da ponte oscilante, que liga ao passadiço flutuante e este por sua vez se liga ao cais de atracagem (DEP, 2016). .....	137
<b>Fig. 191:</b> Corte na zona de “abertura” dos cestos de gabion dos 40 cm para os 60 cm de cobertor, zona onde existiam os tanques de lavar a roupa que foram retirados e substituídos por material de enchimento/aterro (DEP, 2016). .....	137
<b>Fig. 192:</b> Caixa de <i>gabion</i> , em aço galvanizado, 600 x 50 x 100 cm, pormenor do fechamento com arame em hélice. Diâmetro do fio de 4 mm, malha de 10 x 5 cm, ponto de solda, <i>in</i>	

<a href="https://www.olx.pt/anuncio/muro-de-gabion-com-cobertura-600-x-50-x-100-cm-vidaxl-141626-IDzLprd.html">https://www.olx.pt/anuncio/muro-de-gabion-com-cobertura-600-x-50-x-100-cm-vidaxl-141626-IDzLprd.html</a> .....	137
<b>Fig. 193:</b> Fotografias da estrutura de defesa aderente, na zona de “abertura” dos cobertores para de 40 para 60 cm, em preia-mar de maré viva quase equinocial (2018/03/01) (A) e baixa-mar (2017/10/19) (B).....	138
<b>Fig. 194:</b> Corte na zona de deck, possibilitando usar a estrutura como anfiteatro de estada virado para a baía como zona de acesso a esta (DEP, 2016).....	138
<b>Fig. 195:</b> Fotografias da estrutura de defesa aderente, na zona de deck em compósito, cobertores de 40 para 60 cm, em baixa-mar (2017/10/19) (A) e preia-mar de maré viva quase equinocial (2018/03/01) (B).....	139
<b>Fig. 196:</b> Fotografias da estrutura de defesa aderente (A), que elevou a cota de coroamento, comparativamente à zona não intervencionada (D), em preia-mar de maré viva quase equinocial de 2018/03/01 (B, C, D).....	139
<b>Fig. 197:</b> Fotografia que tirada na maré viva de 30 de Setembro de 2015, local: “curva da Timbre” antes da remodelação dos pavimentos e rede pluvial (2017-18), note-se que está bom tempo (alta pressão). <i>In</i> <a href="http://ospescas.blogspot.com/2015/09/seixal-inundado.html">http://ospescas.blogspot.com/2015/09/seixal-inundado.html</a> .....	140
<b>Fig. 198 e 199 :</b> Fotografias tiradas em Outubro de 2018, também numa maré viva e preia-mar. Note-se que o pavimento está seco (não havia temporal/ondulação), e a entrada de água deu-se pelo sumidouro existente (círculo azul).....	141
<b>Fig. 200:</b> Fotografia retirada da internet, data desconhecida, local: Rua 1º de Dezembro, em frente à “curva da Timbre”). <i>In</i> <a href="http://www.cm-seixal.pt/noticia/prevenir-cheias-para-evitar-o-pior">http://www.cm-seixal.pt/noticia/prevenir-cheias-para-evitar-o-pior</a> .....	141
<b>Fig 201:</b> Imagem da Rua 1º de Dezembro, tirada do <i>Google Maps (Street View)</i> , num dia “calmo” de 2019.....	141
<b>Fig. 202 e 203:</b> Fotografias da entrada e água junto à rampa NW do Seixal, Março de 2018.....	142
<b>Fig. 204:</b> Fotografia do nível de água logo por debaixo da grelha do sumidouro, junto à Misericórdia do Seixal. Foto do mesmo dia em Março de 2018, que prova que a água que causou a pequena inundação só veio da ondulação que entrou pela rampa NW.....	142
<b>Fig. 205:</b> Fotografia da rampa NW, junto à “curva da Timbre” num dia calmo, onde se vê até onde cegou a preia-mar e que existe um ponto mais baixo da rampa junto ao murete, que não está de acordo com o projeto.....	143
<b>Fig. 206:</b> Excerto da carta de altimetria e drenagem do projeto para o passeio ribeirinho do Seixal ( <i>Atelier Risco</i> , 2016), onde se verificam que as cotas de coroamento não correspondem ao que foi construído. ....	143
<b>Fig. 207:</b> Excerto do Plano geral do Projeto para o Passeio Ribeirinho do Seixal ( <i>Atelier Risco</i> , 2016), onde se visualiza a outra rampa existente do lado oposto e que não apresenta estes problemas de galgamento.....	143

<b>Fig. 208:</b> Capleta antirretorno de fim-de-linha, colocada no final do pluvial do Seixal que vem da Mundet (a uma cota mais elevada) (2018). .....	144
<b>Fig. 209:</b> Foto de pluvial sem campânula de maré (5/8/2015) (A) e foto atual (2019) (B). .....	145
<b>Fig. 210:</b> Embocadura da Barrinha fechada (A) com o dique fusível e aberta (B) com a rotura deste (foto de António Mota Lopes, <i>in</i> <a href="http://discomap.eea.europa.eu/map/Data/Milieu/OURCOAST_159_PT/OURCOAST_159_PT_Doc_ProjectDocument.pdf">http://discomap.eea.europa.eu/map/Data/Milieu/OURCOAST_159_PT/OURCOAST_159_PT_Doc_ProjectDocument.pdf</a> ). .....	146
<b>Fig. 211:</b> Galgamento da muralha em dia de preia-mar de maré viva e equinócial, com vento forte (2018/03/01). .....	146
<b>Fig. 212:</b> Localização da Barreira do Rio Tamisa, perto da Foz, a jusante de Londres <i>in</i> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=fEom-yAVNEg">https://www.youtube.com/watch?v=fEom-yAVNEg</a> . .....	147
<b>Fig. 213 e 214:</b> Vistas da Barreira do Tamisa. <i>In</i> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=fEom-yAVNEg">https://www.youtube.com/watch?v=fEom-yAVNEg</a> .....	147
<b>Fig. 215:</b> Esquema de funcionamento do sistema de comportas da barreira de Veneza, colocada em 3 bocas da restinga. <i>In</i> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms">https://www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms</a> .....	147
<b>Fig. 216 e 217:</b> Prova de ensaio experimental de 4 comportas em 2014 e localização das 3 barreiras. <i>In</i> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms">https://www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms</a> <a href="https://www.youtube.com/watch?v=QdGerYoTz1s">https://www.youtube.com/watch?v=QdGerYoTz1s</a> .....	148
<b>Fig. 218:</b> Vista da Praça dos Mártires da Pátria, no Seixal, para a foz da Baía do Seixal, com a construção da ponte ferroviária, que não chegou a ser concluída devido à queda da “Ponte dos Ingleses”, o outro troço já concluído que ligava o Seixal ao Barreiro. As estruturas metálicas foram depois aproveitadas para a construção da atual ponte de Alcácer do Sal. Note-se que nesta fotografia ainda não tinha sido construído o esporão que estrangulou entrada e saída de água na baía, sendo a abertura original muito mais larga e com rastos de maré evidentes (foto de arquivo da CMSeixal)..	148
<b>Fig. 219:</b> Localização das diferentes zonas para subdividir as medições de sapal feitas para o ano de 1998 e de 2013 (base da imagem: ortofotomapa de 2009). .....	150
<b>Fig. 220:</b> Representação gráfica da área total de polígonos medida para cada ano, através do somatório das diferentes medições, e percentagem do respetivo erro padrão. ....	151
<b>Fig. 221:</b> Gráfico da média e respetivo erro padrão do universo das áreas de sapal de todos os polígonos medidos no ortofotomapas de 1998 e 2013. ....	152
<b>Fig. 222:</b> Área de sapal medida para 1998 e 2013, distribuídas pelas diferentes zonas identificadas (15), com a respetiva percentagem do erro padrão. ....	152
<b>Fig. 223:</b> Poligonização das manchas de sapal para as várias zonas identificadas no Sapal de Corroios e Restinga do Alfeite, com a área de sapal a verde (1998) sobreposta à área de sapal de 2013 (laranja escuro). .....	153
<b>Fig. 224:</b> Imagem das áreas de sapal delimitadas para a zona do Rio Judeu (n.º 13), para os anos de 1998 (verde) e 2013 (laranja escuro). .....	153

<b>Fig. 225:</b> Perfil do transecto feito com DGPS em Janeiro de 2017 desde o sapal junto à muralha Sul (cota 2,12 m ZT) para NNE, pelo raso de maré, passando por um pequeno canal, e terminando à cota 0,62 m (ZT). Representação do perfil total (1), perfil aumentado em partes (2) e planta com o transecto a azul claro e o limite do sapal a branco (3), (equidistância de 1m entre linhas horizontais do perfil).....	154
<b>Fig. 226:</b> Imagem com a delimitação por DGPS feita em 2017 (a preto) e comparação com a digitalização dos ortofotomapas de 1998 (a verde), 2013 (rosa) e 2018 (a amarelo), linha do transecto a azul.....	155
<b>Fig. 227:</b> Fotografias do levantamento (A) do limite do sapal junto à foz do Rio Judeu (Zona Sul da Baía do Seixal), feito por DGPS em modo RTK da <i>Leica Geosystems</i> (B) (2017/01/17).....	155
<b>Fig. 228:</b> Digitalização dos polígonos de sapal para 3 anos, a partir dos correspondentes Ortofotomapas de 1998, 2013 e 2018 (Zona 13, Foz do Rio Judeu).....	155
<b>Fig. 229:</b> Localização das ilhas de sapal medidas, para achar a velocidade de perda de sapal (frente do Sapal de Corroios da Zona 1), sobre o ortofotograma de 1998. ....	156
<b>Fig. 230:</b> Ilhas de sapal digitalizadas e medidas sobre os ortofotomapas de 1998 (A) e de 2018 (B), com recuos de 6 a 8 m. ....	157
<b>Fig. 231:</b> Gráfico da área medida por cada orto existente entre 1998 e 2018, para cada ilha (12 ilhas) para, de forma a visualizar a tendência de regressão de sapal. ....	158
<b>Fig. 232:</b> Gráfico da área medida por ilha (12 ilhas) para cada ortofotograma existente entre 1998 e 2018.....	158
<b>Fig. 233:</b> Gráfico revelando a área de sapal (m <sup>2</sup> ) medida para cada ano do ortofotograma, revelando o decréscimo das áreas das ilhas medidas (a diferentes cores). ....	158
<b>Fig. 234:</b> Gráfico representando o somatório da área de sapal medida num total das 12 ilhas, para os diferentes anos de medição, correspondentes aos anos dos ortofotogramas existentes e respetivo erro padrão.....	159
<b>Fig. 235:</b> Gráfico da média e respetivo erro padrão do universo das áreas de sapal medidas para os 6 anos. ....	160
<b>Fig. 236:</b> Estaca de bambu com marcações de 5 em 5 cm, colocada em Março de 2015, com pó de tijolo, junto à Ponte da Fraternidade (Foz do Rio Judeu).....	161
<b>Fig. 237:</b> Compilação sobre trabalho de campo inicial de deposição de camada de pó de tijolo assinalada com estacas fotografadas e numeradas, em Fevereiro de 2015.....	161
<b>Fig. 238 e 239:</b> Estaca de Ferro colocada a 2015-08-11 na estação da Ponte da Fraternidade que durou até ao final do estudo e estaca colocada a 2015-08-05 na Praia do Seixal que desapareceu a meio deste.....	162
<b>Fig. 240:</b> Estaca de ferro colocada na estação junto a um estaleiro naval do Seixal, na direção da “boca” da Baía a 3 cm da superfície do sedimento vasoso, a 2016-06-03. ....	162

<b>Fig. 241:</b> representação dos vários tipos de instrumentos para a medição da sedimentação em sapais intertidais, <i>in Nolte et al.</i> (2012). .....	162
<b>Fig. 242:</b> Medição do sedimento arenoso na praia do Seixal, por debaixo do antigo pontão da TransTejo (2015-08-05). .....	163
<b>Fig. 243:</b> Localização das diferentes estacas de ferro e outras estações de medição que foram consideradas para o estudo (a amarelo), esta será detalhada ao longo da discussão dos resultados. ....	163
<b>Fig. 244:</b> Trabalho de campo em 2015, na estação do Talaminho. ....	164
<b>Fig. 245:</b> Imagens da estação do sapal de Corroios, numa zona de sapal que desapareceu entre Agosto de 2015 (A) e Dezembro de 2016 (B) (cerca de um ano e meio de diferença). .....	164
<b>Fig. 246:</b> Recuo horizontal do sapal de 1,5m, na estaca de ferro do sapal de Corroios (2019-04-16). ....	165
<b>Fig. 247:</b> Testemunho do desaparecimento de uma ilha de sapal (fotografias de 2015-03-22 (A) e de 2019-04-16 (B)). .....	165
<b>Fig. 248:</b> No mesmo local, recuo de sapal horizontal de aproximadamente 0,90cm e perda de cerca de 1,5m na ponta (fotografias de 2015-03-22 (A) e de 2019-04-16 (B)). ....	165
<b>Fig. 249:</b> Perto do mesmo local, recuo de sapal horizontal de aproximadamente 1,5m (fotografia de 2015-03-22 (A) e de 2019-04-16 (B)). .....	166
<b>Fig. 250:</b> Vestígios de um passado de sedimentação, postos a descoberto com um presente de erosão (A), onde a altura do talude de sapal é de cerca de 30 cm (B), no local da estação do Sapal de Corroios (fotografias de 16-04-2019). .....	167
<b>Fig. 251:</b> Variação da altura do sedimento (cm) em função do tempo, para as 28 estações .....	168
<b>Fig. 252:</b> Variação da altura do sedimento (cm) em função do tempo, para as 22 estações. ....	168
<b>Fig. 253:</b> Variação da altura do sedimento (cm) em função do tempo, para as 9 estações de varetas de ferro na zona intertidal, no raso de maré. ....	169
<b>Fig. 254:</b> Estaca em frente à CGD do Seixal, perto do canal principal, e da embocadura da Baía, onde se registou a maior perda de sedimento. (fotos de 5/8/2015 (A) e 22/6/2018 (B)). .....	170
<b>Fig. 255:</b> Localização pormenorizada das estações consideradas na Tabela 12 para a zona do Seixal. ....	170
<b>Fig. 256:</b> Na estaca de ferro do sapal de Corroios houve muito baixa sedimentação, de 1 mm decorridos em 4 anos, o que pode ser devido à redistribuição dos sedimentos do talude em erosão (16-04-2019). .....	171
<b>Fig. 257:</b> Estaca 7.2 perto da Ponte da Fraternidade, onde se registou a perda de sedimento ao fim de 4 anos de 1,5 cm (01-04-2019). .....	171
<b>Fig. 258:</b> Localização das estações a Sul da Baía. ....	171

<b>Fig. 259:</b> Acentuação do canal, cada vez mais profundo, na estação do estaleiro do Talaminho (26-06-2016 (A) e 16-04-2019 (B)).	172
<b>Fig. 260:</b> Localização das estações 10 (perto de um pontão do Serrado), 11 (perto do canal do Talaminho) e 12 (Sapal de Corroios/Restinga).	172
<b>Fig. 261:</b> Estaca n.º 1.1 em enseada abrigada perto da foz, em sedimento profundo e limoso, a 3 cm, colocada a 3-6-2016 (A) e em 3-7-2018 (B) já estava ao nível do sedimento.	173
<b>Fig. 262:</b> Imagem da base altimétrica (m) do modelo (MDT), referenciada ao ZH (programa <i>Mohid Water</i> ). Indicação da localização das estacas para o estudo vertical da variação do sedimento de fundo, a azul escuro. Pormenorização da embocadura da Baía com visualização da quadrícula (20x20 m).	178
<b>Fig. 263:</b> Imagem do ortofotomapa (2009) na zona da embocadura (entrada/foz) da Baía do Seixal.	179
<b>Fig. 264:</b> Área de estudo do estuário do Tejo e localização das estações maregráficas utilizadas para verificar os resultados do modelo (A) e batimetria (m) relativa ao ZH (B). <i>In Franz et al.</i> (2014).	179
<b>Fig. 265:</b> Curva de maré obtida do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Hydrodynamic</i> , aproximadamente durante o mês de Fevereiro de 2010, obtido num ponto da embocadura da Baía do Seixal (A) e calendário lunar para o mesmo mês (B) ( <i>in</i> <a href="https://pt.tutempo.net/luafases-fevereiro-2010.htm">https://pt.tutempo.net/luafases-fevereiro-2010.htm</a> )	182
<b>Fig. 266:</b> Sucessão de imagens ilustrativas da posição dos astros relativamente às diferentes fases da Lua e respetivas marés vivas e mortas (Sol representado pelos raios amarelos à direita). 1 - <i>in</i> <a href="https://pt.wikipedia.org/wiki/Maré#Constituintes_harmónicas_da_maré">https://pt.wikipedia.org/wiki/Maré#Constituintes_harmónicas_da_maré</a>	183
<b>Fig. 267:</b> Gráficos do perfil de maré ou nível da água (m) e do módulo de velocidade da água num ponto da embocadura da baía, obtidos do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Hydrodynamic</i> .	184
<b>Fig. 268:</b> Imagens do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Hydrodynamic</i> (Hidrodinâmica), módulo de velocidade (m/s), em vários instantes da maré.	185
<b>Fig. 269:</b> A-Localização e Representação polar das observações correntométricas na "totalidade" da coluna de água no período 18 Fevereiro a 17 Maio de 2010. B - Representação polar da corrente nas camadas mais próxima (1 a 3 m) do fundo (à esquerda) e da superfície (4 a 6 m) (à direita), para a sucessão cronológica obtida entre Fevereiro de 2009 e Maio de 2010 (Silva <i>et al.</i> , 2011).	186
<b>Fig. 270:</b> Imagem do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Water Properties</i> (sedimento coesivo suspenso na coluna de água em mg/l). Num instante anterior à maré alta, (14:45:00, dia 2010/03/29).	186
<b>Fig. 271:</b> Diferente granulometria e distribuição dos sedimentos de fundo da Baía do Seixal e da zona próxima do Estuário do Tejo, tendo os canais principais sedimentos mais grosseiros e os sedimentos mais finos correspondem grosseiramente a rasos de maré (Freire, 2003).	187
<b>Fig. 272:</b> Imagens do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Water Properties</i> para diferentes dias da enchente e com escalas diferentes.	188

<b>Fig. 273:</b> Imagens do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Interface Sediment Water</i> (sedimento coesivo depositado no fundo em $\text{kg/m}^2$ ), na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A) e na vazante, ao instante 18:30:00 (B).....	188
<b>Fig. 274:</b> Imagens do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Interface Sediment Water</i> (sedimento coesivo depositado no fundo em $\text{kg/m}^2$ ), na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A) e na vazante, ao instante 18:30:00 (B).....	189
<b>Fig. 275:</b> Mapa dos sedimentos depositados no fundo obtidos com o modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Interface Sediment Water</i> , na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A), e na vazante, ao instante 18:30:00, com sobreposição da batimetria (B).....	189
<b>Fig. 276:</b> Imagens do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Water Properties</i> (sedimento coesivo suspenso na coluna de água em $\text{mg/l}$ ), na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A) e na vazante, ao instante 18:30:00 (B).....	190
<b>Fig. 277:</b> Imagem do módulo <i>Interface Sediment Water</i> : sedimento coesivo ( $\text{kg/m}^2$ ), com a vel. de sedimentação ( <i>Free vertical moovment</i> ) de 0,02m/s. ....	191
<b>Fig. 278:</b> Imagem do módulo <i>Interface Sediment Water</i> : sedimento coesivo ( $\text{kg/m}^2$ ), onde foi elevada a vel. de sedimentação ( <i>Free vertical moovment</i> ) para a de um sedimento mais grosseiro tipo arenoso 0,099m/s). ....	192
<b>Fig. 279:</b> Fotografia evidenciando a restinga de sedimentos grosseiros ao longo do limite do canal principal da embocadura da Baía do Seixal .....	192
<b>Fig. 280:</b> 1878, <i>Plano Hydrographico</i> do Porto de Lisboa (Biblioteca Nacional, levantado em 1845-1847) in Amorim (2017). ....	192
<b>Fig. 281:</b> Imagem do modelo <i>Mohid Water</i> , resultante da aplicação do modelo de geração e propagação de ondas <i>SWAN_1</i> .....	193
<b>Fig. 282:</b> Imagem da baía (escala 1:10 000) para o <i>terminus</i> da enchente, para o dia 2010/01/29, 13:00:00. Módulo Hidrodinâmica com a representação do módulo da velocidade (m/s), para subida de NMM +1,2 (A) m e NMM atual (B). A imagem C apresenta variação da escala da velocidade para o nível atual de NMM.....	194
<b>Fig. 283:</b> Gráficos do perfil de maré ou nível da água (m) e do módulo de velocidade da água (m/s), num ponto da embocadura da baía, obtidos do modelo <i>Mohid Water</i> , módulo <i>Hydrodynamic</i> , para uma subida do NMM de 1,2 m.....	195
<b>Fig. 284:</b> Imagens da baía (zoom 10 mil) para a enchente máxima, ao instante do dia 2010/01/29, 15:00:00. Módulo de Hidrodinâmica com a representação do módulo da velocidade (m/s), para subida de NMM +1,2 m (A) e NMM atual (B).....	196
<b>Fig. 285:</b> Imagens da hidrodinâmica (módulo da velocidade, m/s) para 100 anos (+1,2 m NMM) sobre batimetria (ZH). Ao instante 6:15:00 de 6/01/2010 (A), seguido da imagem da batimetria (B). ....	197
<b>Fig. 286:</b> Imagens da baía (zoom 10 mil) para a baixa-mar, ao instante 8:45:00 do dia 2010/01/29 (A). Módulo de Hidrodinâmica com a representação do módulo da velocidade (m/s), para subida de NMM +1.2 m (A e C) e NMM atual (B e D) sobre o MDT (A e B) e sem o MDT (C e D).....	198

<b>Fig. 287:</b> Imagens da baía (zoom 10 mil) para a maré alta (A), ao instante 14:00:00 do dia 2010/01/30 e maré baixa (B) às 20:45:00. Módulo de Interface <i>Sediment Water</i> , para subida de NMM +1,2m, sobre o MDT. ....	198
<b>Fig. 288:</b> Imagens da baía (zoom 10 mil) para a maré quase cheia, ao instante 14:00:00 do dia 2010/01/30 (A) e preia-mar plena às 16:00:00 (B). Maré baixa às 20:45:00 (C). Módulo de Interface <i>Sediment Water</i> , para o nível do mar atual, sobre o MDT.....	199
<b>Fig. 289:</b> Simulação da acreção de sedimentos, proposta em Loon-Steensma(2013) (11) num canal de sapal, indicado com a seta. Imagens do módulo Interface <i>Water properties</i> : sedimento coesivo (mg/l), num instante da enchente e da vazante, para o NMM atual.....	202
<b>Fig. 290:</b> Simulação da acreção de sedimentos num canal de sapal, indicado com a seta (em D). Sem (A e C) e com sedimento adicionado (B e D) (A e B zoom 1.8) e com sobreposição à batimetria (C e D zoom 1.5); imagens do módulo Interface <i>Sediment Water</i> : sedimento coesivo (kg/m <sup>2</sup> ), ao instante 22:30:00 do dia 14-02-2010. Cada quadrícula tem 20x20m.....	203
<b>Fig. 291:</b> Imagens 3D do projeto de “Requalificação da Ponta dos Corvos”, Programa Base, memória descritiva, passadiços sobre a praia da Ponta dos Corvos e reforço de plantação dunar, arbórea e de sapal(A), e organização e delimitação com pilaretes do estacionamento e via de acesso (B). (imagens feitas em <i>AtoCAD</i> e <i>Scetch Up</i> , elaboradas por mim e pelo e Arq. Rui Coelho enquanto Técnicos da CMSeixal, com base no trabalho em <i>AutoCAD</i> e <i>Scetch Up</i> feito por mim para esta tese (delimitação e representação 3D da baía, fig. 78 e 140). ....	205
<b>Fig. 292:</b> Fotografias do <i>Workshop</i> “Adaptação às ACs na AML”, promovido pelo Projeto BASE, CCIAM, FCT, FC(UL), AML, com técnicos das autarquias da AML (2 e 3 de Junho de 2014), onde participei (até aquela data, tinham sido realizadas experiências similares em Aveiro e Cascais). Atualmente a AML já realiza estas ações nas autarquias da Área Metropolitana de Lisboa. ....	207
<b>Fig. 293:</b> Imagens do voluntariado e workshops no caso da Costa Este da Virgínia (EUA), VEEWCS (2011). ....	208
<b>Fig. 294:</b> Sala de exposições do centro de Interpretação: Espaço de Visitação e Observação de Aves (EVOA) (A), sito na Reserva Natural do Estuário do Tejo, e vista de um dos seus observatórios para as lagoas naturais (B) (Jun. 2014). ....	208
<b>Fig. 295:</b> Saída de educação ambiental no âmbito da Ciência Viva no Verão, organizada por uma ONGA (Núcleo de Lisboa da FAPAS), na qual dou o meu apoio, com o Biólogo João Morais, para a divulgação do conhecimento do ecossistema lacustre, vegetação do sapal e observação de aves, respetivamente, na restinga do Alfeite e Sapal de Corroios (Set. de 2013). ....	209
<b>Fig. 296:</b> Imagem 3D do projeto de “Requalificação da Ponta dos Corvos”, Programa Base, nomeadamente a proposta de ligação pedonal do Seixal à Ponta dos Corvos, que poderia ser dotada de um sistema de comportas que fechava sempre que o nível da água fosse considerado perigoso para a inundação das povoações da Baía do Seixal (imagens feitas em <i>AtoCAD</i> e <i>Scetch Up</i> , elaboradas por mim e pelo e Arq. Rui Coelho enquanto Técnicos da CMSeixal, com base no trabalho em <i>AutoCAD</i> e <i>Scetch Up</i> feito por mim para esta tese (delimitação e representação 3D da baía, fig. 78 e 140).....	209

<b>Fig. 297:</b> Ruína da Ponte ferroviária “dos Ingleses” que ligava o Barreiro ao Seixal, a 1 de Maio de 1964, por uma colisão de uma embarcação. Foto de arquivo CMS.....	210
<b>Fig. 298:</b> Sobreposição de esquema de adaptação às Acs, sobre o cenário de submersão em 2100 para o Estuário do Tejo, simulação com aumento do NMM de 1,15m. <i>In</i> <a href="http://www.snmpportugal.pt/">http://www.snmpportugal.pt/</a> . 211	211
<b>Fig. 299:</b> A minha pequena contribuição para a Mi, deixei de beber leite, de comprar carne (↓ MH4 e CO2) e sempre que posso, desloco-me para o trabalho numa bicicleta elétrica (↓ CO2), tendo-me deslocado durante 3 anos numa bicicleta convencional (30 kms/dia ↓↓ CO2). .....	213

## Índice de Tabelas

<b>Tab. 1:</b> Fatores que contribuem para o aumento do NMMG de ~3,2 mm.ano <sup>-1</sup> e respetivas taxas de contribuição (1993-2010) (adaptado de IPCC, 2013). .....	18
<b>Tab. 2:</b> Listagem de Funções de Ecossistema de Sapal e os múltiplos serviços que uma função ou conjunto de funções pode proporcionar, adaptado de Granek (2009). .....	52
<b>Tab. 3:</b> Exemplos valoração económica de alguns SE de sapais. Adaptado de Barbier <i>et al</i> (2011). ...	56
<b>Tab. 4:</b> Valores monetários de SE de sapais e mangais (US\$/ha/ano), do ano de 2007. Adaptado de TEEB (2012). .....	59
<b>Tab. 5:</b> Propriedades e especificidades das imagens dos diferentes ortofotomapas por data (ano). 149	149
<b>Tab. 6:</b> Resultados obtidos pela medição das áreas de sapal dos ortofotomapas de 1998 e 2013. ..	151
<b>Tab. 7:</b> Análise estatística do universo de áreas medidas para os dois anos em análise. ....	152
<b>Tab. 8:</b> Contabilização da área de sapal para os diferentes anos. ....	156
<b>Tab. 9:</b> Medições e cálculos efetuados para a área de sapal de 12 ilhas, nos ortofotomapas existentes de 1998 a 2018. ....	157
<b>Tab. 10:</b> Análise estatística do universo de áreas medidas (12) para os 6 anos. ....	160
<b>Tab. 11:</b> Valoração dos Serviços de Ecossistema, relativamente à perda de Sapal na Baía do Seixal, segundo a valoração de TEEB (2011). .....	160
<b>Tab. 12:</b> Medições (em cm) da variação da altura do sedimento, para as diferentes estações consideradas para o estudo. ....	167
<b>Tab. 13:</b> Medições da variação da altura do sedimento para as estações com estacas de ferro.....	169
<b>Tab. 14:</b> Taxa de sedimentação/erosão verificada em cada estação para a leitua final de cada estaca. ....	174
<b>Tab. 15:</b> Taxa de sedimentação/erosão verificada em cada estação para a média das velocidades parciais dos diferentes períodos de leituras. ....	174

<b>Tab. 16:</b> Taxa de sedimentação/erosão verificada em cada estação para a média das velocidades parciais dos diferentes períodos de leituras. ....	175
<b>Tab. 17:</b> Valores de MPS retirados de Silva <i>et al.</i> (2011), para os pontos de amostragem mais próximos dos locais de descarga que se pretendem simular neste estudo. ....	181
<b>Tab. 18:</b> Dados considerados para o modelo <i>Mohid</i> com base na área e caudal das bacias e ribeira fornecidos pelo modelo RUSLE e com base nas amostras de Silva <i>et al.</i> (2011). ....	181
<b>Tab. 19:</b> Valoração de perda de SE de Sapal, segundo TEEB (2011), para a perda total da área de sapal da Baía do Seixal, medida em 2013. Note-se que à data do cálculo 1 Dolar = 0,89 Euro. ....	197
<b>Tab. 20:</b> Tabela exemplificativa para uma análise de custo/benefício simplificada sobre as possibilidades de Ac. ....	206

## 1. Introdução

De acordo com o IPCC (2013), as alterações no nível do mar ocorrem ao longo de uma ampla gama de escalas temporais e espaciais, com muitos fatores contribuindo, tornando-se uma medida integrante das Alterações Climáticas (ACs) (Milne *et al.*, 2009; Church *et al.*, 2010). Se continuarmos a emitir para a atmosfera elevadas quantidades de Dióxido de Carbono (CO<sub>2</sub>), sobretudo através da queima de combustíveis fósseis e alterações de uso do solo, o nível do mar continuará a subir e poderá chegar a níveis desastrosos. Daí que a Mitigação (Mi), ou seja, a redução das causas das ACs, isto é, a redução das emissões dos Gases e efeito estufa (GEE) e a Adaptação (Ad), ou seja, a atenuação dos impactos das ACs, nomeadamente a proteção costeira relativamente ao aumento do Nível Médio do Mar Global ou Mundial (NMMG), sejam medidas muito importantes.

Existem uma série de instrumentos (marégrafos, batitermógrafos), novas tecnologias (satélites, sondas Argo), modelos matemáticos e tridimensionais, que permitem fazer registos de dados e simulações do passado, presente e de prever o futuro das ACs e do aumento do NMMG.

A subida do NMMG atualmente já é uma realidade preocupante, a que se juntam as previsões do IPCC (2013) de subida de aproximadamente 1 m do NMMG em 2100. Em Portugal já está a ser registada uma taxa de subida do Nível Médio do Mar (NMM) de 4,1 mm.ano<sup>-1</sup> (2005-16) e sendo prevista para 2100 uma subida de 1,14 m acima do nível atual de acordo com os mais recentes estudos de Antunes (2019). A maior frequência e intensificação dos eventos extremos, que implicam a sobrelevação meteorológica regional do nível do mar é outra realidade, que juntamente com situações de maré alta e pluviosidade abundante poderá provocar situações de cheia e erosão costeira.

Os ecossistemas de sapal suportam uma elevada biodiversidade, são importantes sumidouros de CO<sub>2</sub> e armazéns de Carbono a longo prazo, tendo ainda muitas outras funções, tais como a reciclagem, depuração e indisponibilização de poluentes e a proteção costeira. Efetivamente, os sapais poderão assumir um papel muito importante na chamada defesa costeira suave face ao aumento do nível do mar, sem custos (ou muito reduzidos) para o homem, face às opções tradicionais de infraestruturas pesadas (diques e paredões) que nem sempre funcionam, como tem acontecido nas últimas décadas. Para tal, os sapais, deverão ser protegidos e recuperados, de forma a poderem coexistir e adaptar-se à subida do nível do mar. Para além disso, devem ser preservados da pressão das atividades humanas, que tem sido devastadora, tendo já sido destruídos ou degradados 50% da área de sapal a nível mundial (Barbier *et al.*, 2011). A análise das funções do ecossistema de sapal permite estabelecer os Serviços de Ecossistema (SE) que poderão ter um importante papel na sensibilização e envolvimento dos vários atores sociais e no estabelecimento de políticas públicas e estratégias que vão no sentido da sua preservação e ajuda na sua própria adaptação à subida do NMM. O sapal, poderá ser assim uma resposta natural e barata de Adaptação (Ad) e Mitigação (Mi) face às Alterações Climáticas (ACs), numa perspetiva de *win win* e sem os efeitos negativos e custos elevados que outras medidas de Ad (soluções construídas, etc.) e Mi (como a geoengenharia), poderão ter.

O relativo desconhecimento das possíveis soluções de Ad, leva a que muitos técnicos, engenheiros e projetistas, que trabalham em zonas ribeirinhas e estuarinas ou costeiras, não conheçam as medidas mais eficazes ou apropriadas de proteção costeira, assistindo-se na maioria dos casos à implementação de medidas pesadas e onerosas, sem o carácter flexível, adaptável e menos oneroso inerente às medidas mais suaves e híbridas (conjugação de

medidas pesadas com suaves), tal como veremos. É essa passagem de informação que esta tese tenta colmatar, daí também a opção de redação na língua materna.

Segundo o IPCC (2014a), enquanto existe uma elevada concordância nos princípios da *Ad*, existe até agora pouca revisão sistemática e, portanto, evidências limitadas sobre o porquê de um determinado princípio ou abordagem ser eficaz num determinado contexto (e não em outro), o que enfatiza a necessidade de estudo para entender melhor esse contexto e estudar as experiências já realizadas, analisando-as do ponto de vista da sua eficácia e propondo outras. Neste contexto, pretendemos responder às questões gerais:

Tendo em conta as diferentes estratégias de Adaptação costeira (*Ac*), para um ambiente estuarino de baixa energia, quais as diferentes soluções existentes, focalizando o sapal, como forma de proteção costeira suave?

Quais as medidas tecnológicas antropogénicas que poderão potenciar a sobrevivência do sapal e torná-lo mais resiliente à subida do nível do mar?

Quais as medidas políticas (regulamentares), e de planeamento (ordenamento do território) que poderão ajudar à *Ad* em meios estuarinos?

Neste trabalho, além da sistematização das opções de *Ac*, nomeadamente em ambientes estuarinos, será igualmente desenvolvida a sua aplicação a um caso concreto, a Baía do Seixal, local onde atualmente desempenho a minha atividade profissional de projeto, sendo que a subida do MSL é uma preocupação constante no meu dia-a-dia. A agravar a situação, segundo o projeto *Morfeed*, o sapal de Corroios, um dos maiores “aliados” na proteção costeira estuarina desta região, está em risco de sobrevivência com a futura subida do NMM.

Com o objetivo geral de perceber a evolução recente do ambiente de sapal no Conselho do Seixal e propor medidas de adaptação eficazes, esta tese pretende responder às seguintes questões locais:

- Existem evidências de que o Sapal está a diminuir na Baía do Seixal? Quais? Como? Quanto? A que ritmo?

- Quais as formas de combater a perda de área de sapal e tornar este ecossistema mais resiliente?

- Que tipo de medidas de proteção costeira se têm aplicado no Concelho do Seixal? Qual o seu resultado ao longo do tempo?

- Que outras soluções de adaptação costeira poderão ser aplicadas no Conselho do Seixal e qual o seu grau de eficácia?

Por fim, numa perspetiva de Ecologia Profunda (Naess, 1972), para além dos benefícios que poderemos obter do Ecossistema Sapal (ES), e do nosso contributo para a sua sobrevivência e adaptação à subida do NMM, o sapal deverá coexistir devido ao seu próprio valor intrínseco, sem uma perspetiva antropocêntrica de que há sempre um benefício que justifique (ou não) a ação humana (ética utilitarista). Não esqueçamos que a subida do Nível Médio do Mar Global (NMMG), a falta de espaço para recuar horizontalmente e a falta de sedimentos para subir verticalmente, têm também origens antropogénicas. Desta forma é nosso dever proporcionar as condições para que o sapal sobreviva e se adapte, e com ele todas as formas de vida, que dele dependem (incluindo a nossa).

## 2. Fundamentos

Neste item serão descritos alguns conceitos abordados ao longo da tese, sendo posteriormente melhor enquadrados: Segundo o IPCC, 2013), o **nível relativo do mar (NRM)**, (em Inglês *relative sea level*, RSL) é a altura da superfície do mar em qualquer local determinado, ou o nível do mar, medido relativamente à superfície da Terra sólida. É medido por:

- Para períodos de tempo passados mais longos é estimado por registos geológicos (a partir de dados *paleo*)

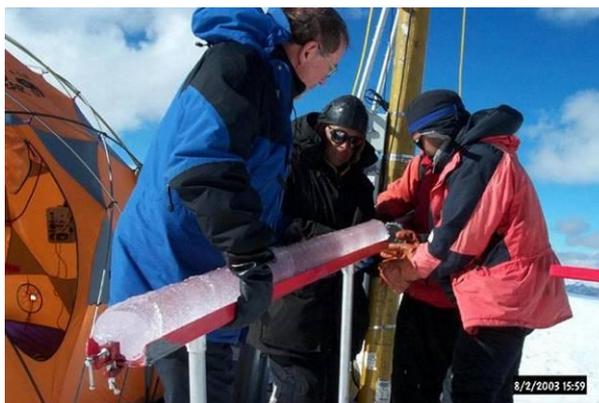
- desde há 800 ma, por medições em amostras das camadas de gelo acumuladas em certos locais (fig. 1)

- a partir de ~1700, por marégrafos

- desde 1993, é medido relativamente a uma referência geocêntrica, como o elipsoide de referência (nível do mar geocêntrico), medido ao longo das últimas duas décadas usando satélites que registam a altimetria.

A média temporal de um determinado local, conhecida como **nível**

**médio do mar (NMM)**, é aplicada para remover a variabilidade de períodos menores. É comum achar a média do NMM a nível mundial, especialmente para definir o **nível médio global do mar (NMMG)**, (IPCC 2013).



**Fig. 1:** Imagem de amostra de gelo ou *ice core*, recolhida na Antártida, in <http://www.csa.com/discoveryguides/icecore/TMP8I5g0w6m0v.htm>

O **Forçamento radiativo (FR)** é uma perturbação ou variação na irradiância vertical na tropopausa (Santos, 2012), isto é, uma alteração entre a radiação solar que entra no sistema e a radiação que sai, causada por fatores internos à atmosfera como a variação da concentração de gases de efeito estufa (GEE), ou por fatores externos como por exemplo oscilações na radiação solar.

Segundo o AR4 (IPCC 2007), o FR pode funcionar como um indicador para o possível mecanismo de mudança do clima, e a partir do AR5 (IPCC 2013 e IPCC 2007a) já se utilizou o FR para definir os diferentes cenários climáticos; é medido em  $Wm^{-2}$  (*Watt* por metro quadrado).

O conceito de FR não contabiliza as interações de nuvens e aerossóis de origem antropogénica. Assim, no AR5, surge o conceito de **forçamento radiativo efetivo**, definido como uma alteração na taxa de fluxo descendente no topo da atmosfera, após o ajustamento da temperatura atmosférica, vapor de água, nuvens e albedo, mas também com a inalteração das temperaturas de superfície do mar e da cobertura do gelo do mar, ou da inalteração da temperatura média global da superfície.

O **forçamento radiativo positivo (FRP)** é descendente (de cima para baixo) e tende a elevar a temperatura na troposfera. É provocado por GEE donde se destaca o **CO<sub>2</sub>**, seguido do Metano (CH<sub>4</sub>), do Ozono (O<sub>3</sub>) troposférico, entre outros. O CO<sub>2</sub> terá tendência a aumentar sobretudo devido às emissões provocadas pela queima de combustíveis fósseis; assim a

temperatura média da terra tem estado a aumentar e assim vai continuar, sendo o principal causador das **ACs** (aumentando-se alterações da precipitação, tempestades mais fortes e frequentes, degelo, a subida do nível médio do mar, etc. com todas as suas consequências). Daí que a principal medida de **Mi**, a nível internacional, seja a redução das emissões de CO<sub>2</sub>.

Existe alguma incerteza relativamente ao FRP causado por aumento da concentração de GEE, devido a não se saber, em vários casos, como se processa a remoção desses gases da atmosfera, não se sabendo exatamente o tempo de permanência na atmosfera e assim existe alguma incerteza nos valores do potencial aquecimento global desses gases. O **tempo de residência** do CO<sub>2</sub> na atmosfera depende do processo de remoção que pode ter diferentes escalas temporais, apresentando o tempo de residência mais elevado de todos os GEE. Segundo Archer *et al.* (2009), os modelos são concordantes em que, na biosfera terrestre, tem o seu maior impacto apenas nos primeiros séculos e 20 a 35% do CO<sub>2</sub> permanece na atmosfera após o equilíbrio com o mar (2 a 20 séculos). A restante neutralização do CO<sub>2</sub> é feita pela deposição de carbonato cálcio (CaCO<sub>3</sub>) a uma escala temporal de 3 a 7 milhares de anos. Assim, o CO<sub>2</sub> remanescente é abundante o suficiente para continuar a ter impacto substancial no clima durante milhares de anos. As próprias **ACs** amplificam o processo, uma vez que um oceano mais quente não absorve tanto (pode emitir) CO<sub>2</sub>. Desta forma, os efeitos climáticos das emissões de CO<sub>2</sub> na atmosfera persistirão por dezenas, se não centenas, de milhares de anos no futuro.

O **forçamento radiativo negativo (FRN)** é ascendente, deve-se a um aumento da reflexão da radiação solar para o espaço (albedo da terra), e tende a arrefecer a temperatura na troposfera. Exemplos são as partículas dos aerossóis, que têm um efeito direto pois aumentam a reflexão e, portanto, o FRN, e um efeito indireto ao poderem constituir núcleos de condensação de moléculas de água e formar nuvens, com períodos de vida mais longos, que por sua vez também aumentam o albedo e, portanto, o FRN. Os aerossóis também têm tendência a aumentar uma vez que uma grande parte tem origem antrópica.

Cerca de metade das emissões globais de aerossóis do tipo poeiras do deserto vêm do Deserto do Sahara. Estas partículas, são responsáveis por incertezas na avaliação do FRN. Os aerossóis vulcânicos contribuem com um forçamento natural adicional, mas não são incluídos dada a sua natureza episódica. A principal incerteza no FR refere-se aos aerossóis com origem antrópica. Assim existem incertezas não só nos sumidouros, como nas fontes, no entanto, tem havido uma evolução no melhor conhecimento dos processos, na existência de melhores medições *in situ*, medições feitas por satélites e na superfície e de uma modelação mais abrangente (IPCC 2007).

O **efeito estufa** é o aumento da temperatura na troposfera devido à existência de **GEE**, que podem ter origem natural como o vapor de água (H<sub>2</sub>O), o CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, o óxido nitroso (N<sub>2</sub>O) e o O<sub>3</sub>, ou antrópica (últimos quatro, entre outros de síntese química). Estes gases têm a propriedade de absorver e emitir a radiação infravermelha e têm vindo a aumentar a sua concentração atmosférica desde a revolução industrial, sobretudo o CO<sub>2</sub> por queima de combustíveis fósseis (menos pela desflorestação, entre outros).

Os GEE são os responsáveis pela maior parte do FRP, uma vez que quando em elevadas altitudes na atmosfera (perto da tropopausa) vão arrefecer e os corpos mais frios não emitem tanto. Assim, a radiação infravermelha emitida pela terra não é totalmente (absorvida e) reemitida por estes GEE “arrefecidos”, funcionando como uma “camada tampão”, e levando a um desequilíbrio que é restabelecido naturalmente pelo aumento da temperatura na troposfera.

O principal GEE decorrente de emissões antropogénicas é o CO<sub>2</sub>, não só devido à sua elevada e crescente concentração, mas ao seu muito elevado tempo de permanência na atmosfera. Seguem-se por ordem decrescente para o FRP, e portanto, para o efeito estufa, o CH<sub>4</sub>, o O<sub>3</sub> troposférico, o N<sub>2</sub>O e os GEE produzidos por síntese química como o Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), os Clorofluorcarbonetos (CFC), os Perfluorcarbonetos (PFC), os Hidrofluorcarbonetos (HFC), entre outros. Estes últimos podem ter um elevado poder de absorção da radiação infravermelha, mas devido às baixas concentrações na atmosfera e/ou um tempo de residência pequeno, não contribuem tão significativamente para o FRP como o CO<sub>2</sub>.

Dado o elevadíssimo tempo de residência o CO<sub>2</sub>, este foi o escolhido para o denominador na determinação do **Potencial de Aquecimento Global (GWP)** de um GEE, isto é, a razão entre o FRP resultante da emissão instantânea de 1kg desse GEE, e o FRP exercido pela emissão da mesma massa de CO<sub>2</sub>, para um mesmo intervalo de tempo. Assim, é possível comparar os diferentes GEE relativamente à sua contribuição para o FRP e, portanto, para o recente aumento do efeito estufa, relativamente ao CO<sub>2</sub>. Assim, o GWP do CO<sub>2</sub> é 1 e o GWP de outro GEE varia com o horizonte temporal que se escolher. Por ex., o **Metano** (CH<sub>4</sub>) é muito eficiente a absorver a radiação infravermelha, mas o tempo de residência é de apenas 12 anos. Assim, o seu GWP é de 25 para 100 anos e é de 72 para 20 anos (IPCC 2007).

Consegue-se provar efetivamente que o aumento da concentração do CO<sub>2</sub> na atmosfera provém principalmente da combustão dos combustíveis fósseis, devido ao Químico Hans Suess que se especializou em datações por meio do isótopo radioativo Carbono -14 (<sup>14</sup>C). O <sup>14</sup>C é continuamente produzido na atmosfera por meio da reação <sup>14</sup>N(n,p) <sup>14</sup>C provocada pela colisão de neutrões (produzidos nas colisões dos raios cósmicos com os constituintes da atmosfera) com núcleos de Azoto 14 (<sup>14</sup>N). O seu tempo de meia-vida é de 5730 anos, pelo que o Carbono do CO<sub>2</sub> proveniente da combustão dos combustíveis fósseis não contém praticamente <sup>14</sup>C. Assim, Suess provou que a atmosfera contém carbono antigo (com uma percentagem relativamente baixa de <sup>14</sup>C), proveniente, muito provavelmente, da combustão dos combustíveis fósseis (Santos, 2007).

A **Mitigação (Mi)** implica medidas com resultados a longo prazo, que reduzam as causas das **ACs** antropogénicas, nomeadamente a redução das emissões GEE (gerados sobretudo através da queima de combustíveis fósseis e alteração de uso do solo (desflorestação), entre outras), e o desenvolvimento de sumidouros potenciais desses gases.

A **Adaptação (Ad)** atua assim sobre as consequências das **ACs**, através de ações/medidas que reduzam os seus impactes negativos. Uma estratégia de **Ad** representa um conjunto de políticas e medidas criadas e planeadas para minimizar um determinado risco ou um conjunto de riscos resultantes dos impactos das **ACs** (Santos, 2012).

Os **Estuários** constituem a foz de um rio de água doce, em contacto com o mar salgado, sendo uma massa de água costeira salobra, com diferentes graus de salinidade, semi-fechada e em ligação livre com o mar (Pritchard, 1967), sujeita a marés, correntes, mas com mais baixo hidrodinamismo que o mar, nomeadamente na amplitude e altura das ondas, que propicia a existência de sapais. Podem diferir em forma, volume do fluxo de água, consoante a própria geologia e geomorfologia da região (Smith & Smith, 1998).

O **Sapal** é a designação dada às formações aluvionares periodicamente alagadas pela água salgada e ocupadas por vegetação herbáceo-arbustiva halófitas (que suporta e está adaptada à água salgada), instalados em ambiente de baixa e média energia, geralmente em estuários de rios (fig. 2). Os sapais fazem parte dos ecossistemas da biosfera mais produtivos do mundo, desempenhando funções essenciais nos sistemas estuarinos (Caçador *et al.*, 2004).



**Fig. 2:** Vegetação de sapal na Baía do Seixal, neste caso predomina a pioneira *Sarcocornia perenis* ssp. *perenis* e *Sarcocornia fruticosa*.

Os **Serviços de Ecossistema** são serviços com benefícios diretos e indiretos para as comunidades humanas a partir das próprias **funções dos ecossistemas** (TEEB, 2011), que no caso dos ecossistemas de sapal serão mais adiante detalhadas.

O **Zero Hidrográfico (ZH)**, é um plano de referência convencionado, situado abaixo do Nível da Maré Astronómica Mais Baixa, que para o Porto de Lisboa, é considerado 2,08m abaixo do nível médio do mar dado pelo marégrafo de Cascais (1938), atualmente este referencial tem sofrido alterações devido à subida do NMM (Antunes, 2014), no entanto o considerado para este estudo foi o de 1938.

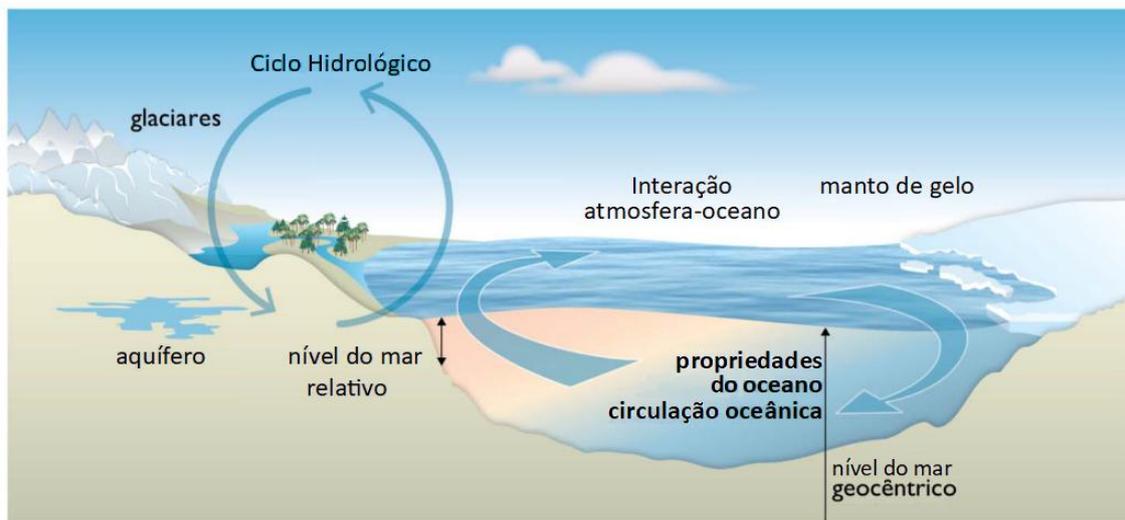
O **Zero Topográfico (ZT)** é o referencial para as cotas em terra, ou acima das águas e corresponde ao nível médio do mar dado pelo marégrafo de Cascais (1938).

### 3. Contexto

#### 3.1 ACs e a subida do nível do mar

##### 3.1.1 A nível Global

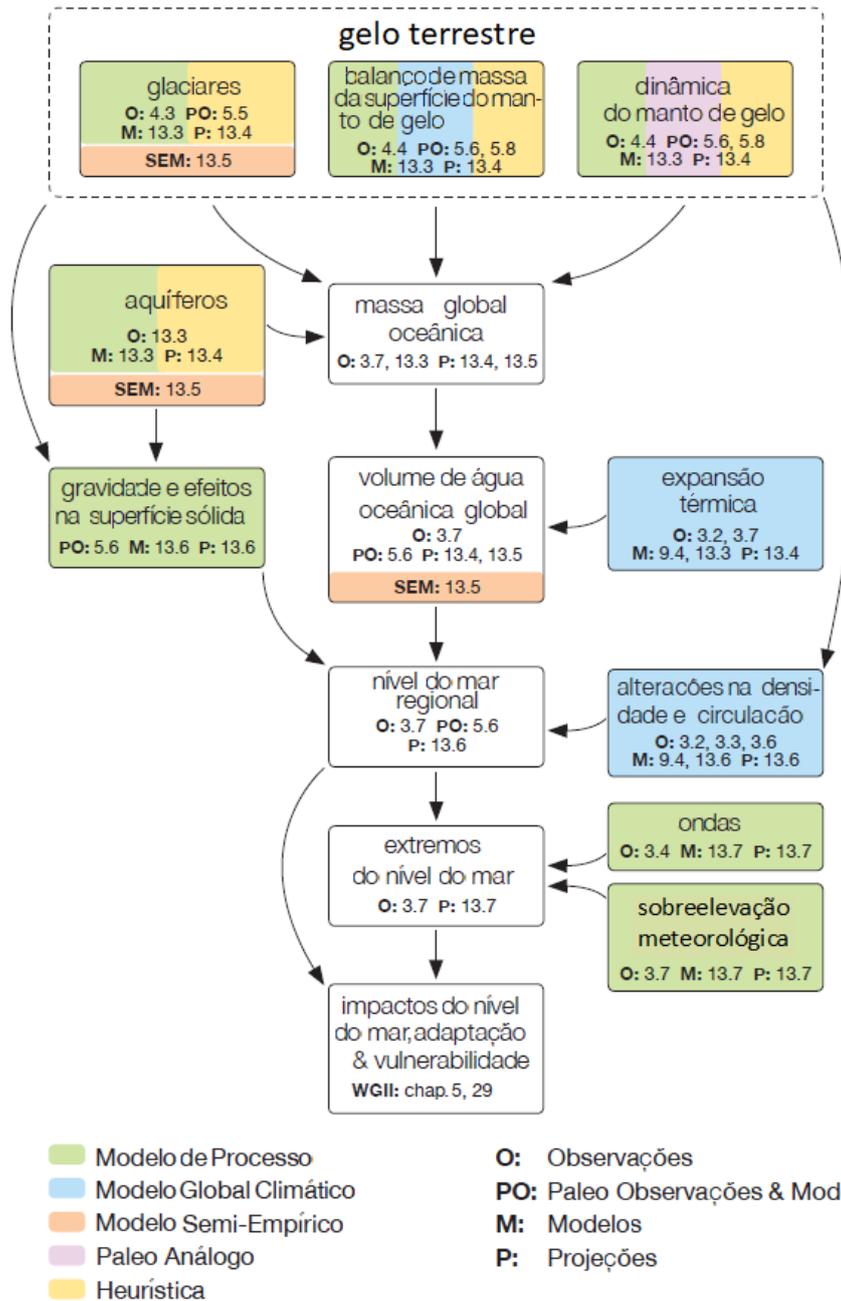
Os processos entre a Hidrosfera, criosfera, atmosfera e a própria litosfera são sensíveis ao clima e às alterações climáticas e suas consequências, podendo contribuir para a mudança do nível do mar a nível regional e global, nas próximas décadas e séculos. As figuras 3 e 4 resumem esquematicamente estes processos, indicando os modelos e abordagens utilizados para tal no IPCC (2013).



**Fig. 3:** Processos sensíveis ao clima e componentes que podem influenciar o nível do mar a nível global e regional. Alterações em qualquer um dos componentes ou processos mostrados implica uma alteração do nível do mar. O termo "propriedades do Oceano" refere-se à temperatura, salinidade e densidade do oceano, que influenciam e são dependentes da circulação oceânica. Tanto o nível relativo do mar como o geocêntrico variam com a posição geográfica (retirado e traduzido do IPCC, 2013).

Temos assim os fatores que afetam o nível médio do mar global (NMMG):

- Expansão térmica do oceano;
- Degelo dos glaciares;
- Degelo da Antártida e Gronelândia;
- Exploração de aquíferos.



**Fig. 4:** Representação esquemática traduzida das principais ligações entre os processos e componentes que contribuem para as modificações do nível do mar e que são consideradas em IPCC (2013) e neste trabalho. A coloração de caixas individuais indica os tipos de modelos e abordagens utilizados para projetar a contribuição de cada processo ou componente para a futura mudança do nível do mar. As numerações inferiores são relativas aos respectivos capítulos do IPCC 2013 que abordam as temáticas.

Nota: a gravidade e efeitos da terra sólida alteram a forma do fundo e da superfície do oceano, portanto, interferem com as mudanças no volume de água do oceano em ambas as observações do nível do mar, relativas e geocêntricas.

De forma distinta, na figura 4, os fatores que afetam o nível relativo do mar (NRM) (local ou regional) são:

- Variabilidade climática
- Eventos extremos
- Correntes, salinidade, densidade
- Tectónica
- Gravidade
- Exploração de aquíferos/reservas subterrâneas - subsidência
- Aporte de sedimentos

Embora ambas as mudanças de temperatura e de salinidade possam contribuir significativamente para as alterações do nível do mar regionais (Church *et al.*, 2010), apenas a primeira gera uma contribuição significativa para a mudança da média do volume global do oceano, devido à expansão/ contração térmica (Gregory & Lowe, 2000). Desta forma, o aumento da salinidade implica um aumento de densidade e um aumento do nível do mar, mas essa contribuição não é tão significativa como o aumento da temperatura, que implica um aumento do volume da massa de água (variação eustática) (Santos, 2012).

Entre 1971 e 2010, a taxa de contribuição da expansão térmica para o aumento do NMMG no intervalo de profundidade 0-700 m foi de 0,6 mm.ano<sup>-1</sup>, e juntando a dilatação do oceano profundo, o valor aumentou para ~0,8 mm.ano<sup>-1</sup>.

Entre 1993 e 2010, durante o período de medição da altimetria por satélites, a taxa no intervalo de profundidade 0-700 m aumentou para ~0,8 mm.ano<sup>-1</sup>, e para ~1,1 mm.ano<sup>-1</sup> juntando as contribuições das medições em oceano profundo. Assim, este é o fator que mais contribui para a subida do NMMG (1,1 mm.ano<sup>-1</sup>), sendo que nas regiões mais quentes é esperado que haja uma dilatação maior e o nível do mar seja mais elevado (fig. 11).



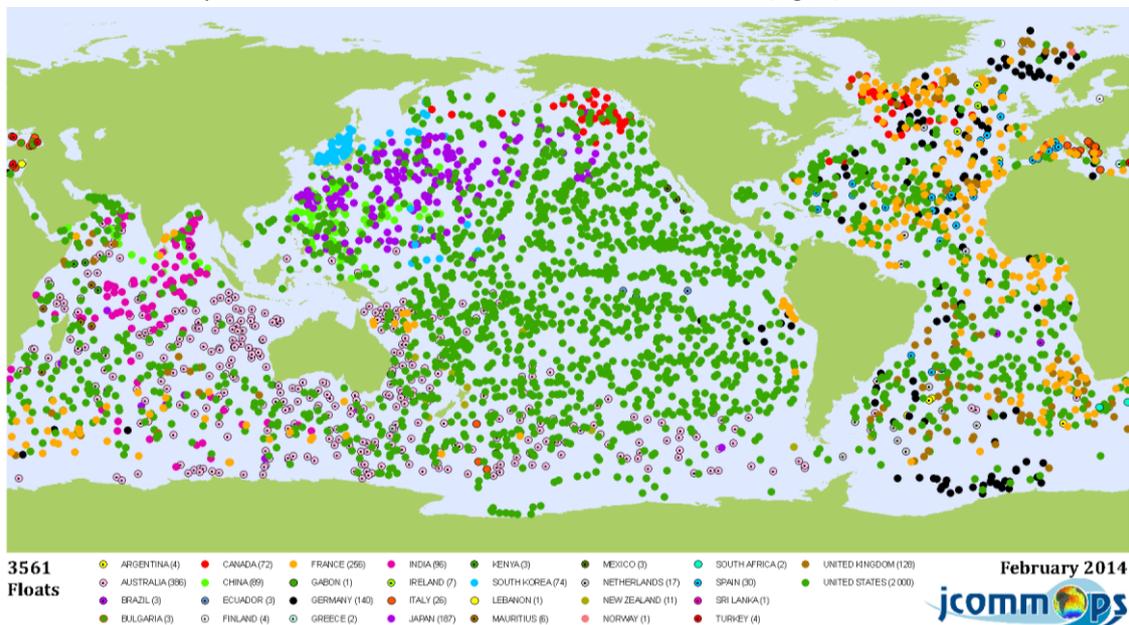
**Fig. 5:** Medições com batitermógrafo  
*in*  
<http://www.oem.com.mx/elsudcaliforniano/notas/n2802112.htm>

O Batitermógrafo (do grego: *bathýs*: "profundidade" + *thermós*: "temperatura" + *graphein*: "registrar"), é um instrumento que mede a temperatura do oceano consoante a profundidade (fig.5), através de um sensor de temperatura e de um transdutor capaz de detetar a pressão hidrostática (diretamente transformável em profundidade). Foram desenvolvidos nos finais da década de 1930 por Athelstan Spilhaus e utilizados na 2ª Guerra Mundial na luta anti-submarina.

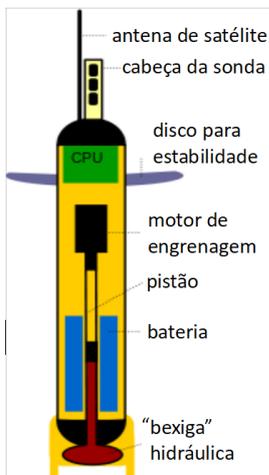
Mais recentemente, as sondas "Argo" medem a temperatura e a salinidade do Oceano a diferentes profundidades, mas também complementam medições da altimetria da superfície dos oceanos feitas por satélites (Fig. 7 e 8). "Argo", é a nomenclatura de um sistema de observação dos oceanos da Terra que disponibiliza dados em tempo real sobre pesquisas de clima, tempo, oceanografia e pesca. O sistema "Argo" consiste numa rede mundial de pequenas sondas robóticas, espalhadas pelos oceanos ao redor do Mundo, a uma distância entre si de aproximadamente 350 km (variável conforme as características de fluabilidade

tanto da sonda quanto da localização da mesma). As sondas ficam posicionadas e submersas a profundidades de até 2 km. De 10 em 10 dias as sondas emergem, medindo a condutividade, a temperatura e outros parâmetros até chegarem à superfície. A partir daí, podem ser calculadas a densidade e a salinidade. Os dados são transmitidos aos cientistas nos laboratórios via satélite. Os dados coletados estão disponíveis livremente para todos, sem restrições.

O projeto foi batizado em homenagem ao navio “Argo” da mitologia grega, o qual Jasão e os Argonautas usaram na sua busca pelo velo de ouro. O nome também foi escolhido para enfatizar a relação complementar com o satélite de altimetria “Jason 1” (Jasão). Apesar de algumas sondas terem sido posicionadas durante o *World Ocean Circulation Experiment* nos anos 90, as sondas do sistema Argo começaram a ser posicionadas no final dos anos 2000. O número de 3.000 sondas pretendido, foi atingido entre 2006 e 2007. Muitas sondas são perdidas ou simplesmente completam a sua vida útil (5 anos). Para manter o sistema a funcionar, são reposicionadas anualmente cerca de 750 sondas (fig. 6).



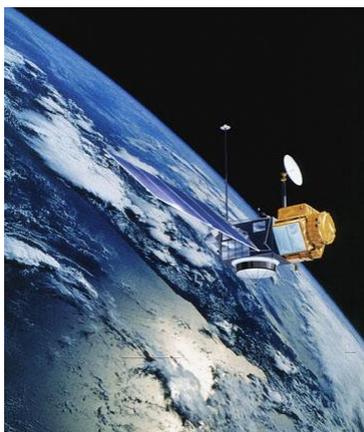
**Fig. 8:** Mapa traduzido da distribuição das sondas em Fevereiro de 2014, onde a maioria, a verde são dos EUA in <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/0/02/2014-03-countries.png>



**Fig. 6 e 7:** Esquema traduzido da constituição de uma sonda do sistema Argo. O seu comprimento é de cerca de 2 m e fotografia de uma sonda a flutuar; in <http://www.inctambtropic.org/grupos-de-trabalho/oceano/interacao-oceano-atmosfera.html>

As medições de temperatura e salinidade do sistema Argo estão a gerar informações valiosas sobre as propriedades dos oceanos em larga escala, incluindo variações dessas propriedades ao longo do tempo, tanto em relação às estações do ano quanto em

relação a décadas. Ultimamente algumas sondas também já medem a quantidade de oxigênio dissolvido na água.



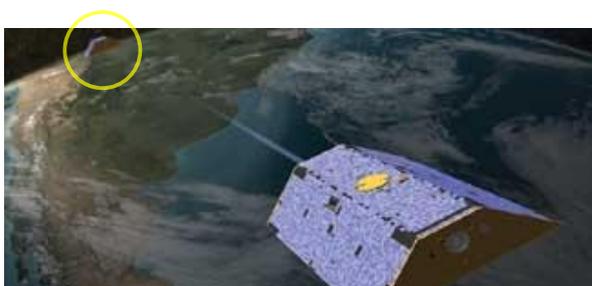
**Fig. 9:** A missão TOPEX/Poseidon, lançada em 10 de Agosto de 1992 (terminou em 2006 sucedida por outras sondas), foi uma missão conjunta da NASA e do CNES, para fazer mapas da topografia da superfície dos oceanos in <http://pt.wikipedia.org/wiki/Ficheiro:TOPEX;Poseidon.jpg>

Desde os anos 90, os satélites têm medido a altura da superfície do mar em relação ao centro da Terra (conhecido como nível do mar geocêntrico). Estas medições mostram diferentes taxas de elevação do nível do mar geocêntrico em todo o mundo, durante as últimas duas décadas. Grande parte da variação espacial mostrada é resultado da variabilidade natural do clima, tais como *El Niño*/Oscilação Sul (ENSO) e a Oscilação decadal do Pacífico durante escalas de tempo desde anos a várias décadas.

Para medir a altimetria dos Oceanos é feita uma medição de elevada precisão, iniciada em 1993 com o satélite *Topex* (fig. 9), e sucedida por outros, que fornecem medições do nível do mar quase globais em intervalos de 10 dias.

A taxa de subida do NMMG foi de  $\sim 3,2 \text{ mm.ano}^{-1}$  entre 1993 e 2012 (IPCC, 2013).

Mais recentemente (desde 2002) os satélites “gêmeos” GRACE (Gravity Recovery and Climate Experiment), colocados a 220 km de distância entre si, comunicam por micro-ondas e detetam alterações mínimas entre si, cujo processamento



**Fig. 10:** Os dois satélites “GRACE” permitem detetar variações de massa dos glaciares a nível mundial, entre outros in <http://www.csr.utexas.edu/grace/>

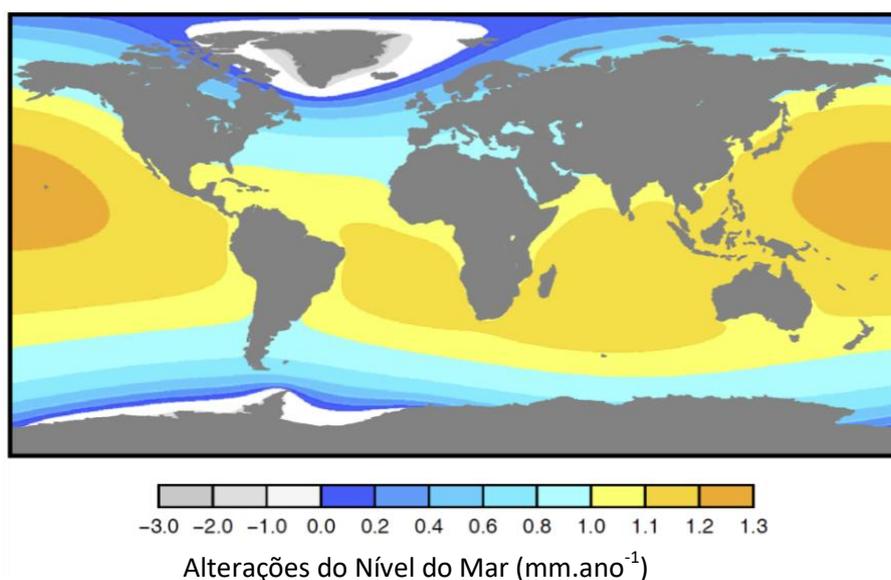
subsequente dos dados permite calcular pequenas variações locais de gravidade na Terra e criar mapas altamente detalhados do campo de gravidade da Terra (fig. 10). Essas medições, em conjunto com outros dados e modelos, proporcionaram observações de alterações de armazenamento de água terrestre, as variações das massas de gelo, mudanças de pressão no fundo dos oceanos e variações do nível do mar. Os resultados também

permitiram concluir que as camadas de gelo da Terra estão a derreter a uma taxa alarmante de 300 mil milhões de ton/ano (IPCC, 2013).

Segundo o IPCC (2013), as trocas de massa de água e gelo entre a terra e os oceanos levam a uma mudança no NMMG. Um sinal de massa adicionada para o oceano propaga-se rapidamente por todo o globo de tal forma que todas as regiões sofrem uma mudança do nível do mar dentro de dias (Lorbacher *et al.*, 2012). Uma descarga de água doce provoca alterações na temperatura e salinidade do oceano, podendo mudar as correntes oceânicas e o nível do mar local (Stammer, 2008; Yin *et al.*, 2009), com sinais que levam décadas para se propagar ao oceano global.

O sistema oceano-atmosfera também pode ajustar-se a anomalias de temperatura associadas a anomalias da superfície de água doce, através de *feedbacks* entre mar e ar, resultando em ajustes dinâmicos do nível do mar (Okumura *et al.*, 2009; Stammer *et al.*, 2011).

Poderá pensar-se que o derretimento do gelo dos glaciares, ou os mantos de gelo da Gronelândia e da Antártida, iria causar elevação uniforme e global do nível do mar, tal como o preenchimento de uma banheira com água. De fato, tais resultados de fusão em variações regionais no nível do mar, devem-se a uma variedade de processos, incluindo mudanças nas correntes oceânicas, ventos, campo gravitacional da Terra, e altimetria da Terra. Por exemplo, modelos de computador que simulam estes dois últimos processos preveem uma queda regional no nível relativo do mar (NRM) em torno das camadas de gelo que derretem, porque a atração gravitacional entre gelo e água do mar é reduzida, e a terra tende a elevar-se à medida que o gelo derrete. No entanto, mais longe da fusão camada de gelo, o aumento do nível do mar é maior, em comparação com o valor da média global, uma vez que nas regiões mais quentes é esperado então que haja uma dilatação maior do Oceano e o nível do mar é mais elevado (IPCC, 2013) (fig.11).



**Fig. 11:** Modelo de saída (*output*) mostrando a mudança do nível de mar relativo devido ao derretimento da camada de gelo da Gronelândia e do manto de Gelo da Antártida Ocidental a taxas de 0,5 mm.ano<sup>-1</sup> cada (dando um valor médio global de aumento do nível do mar de 1 mm, ano<sup>-1</sup>). As mudanças do nível do mar modeladas são menores do que o valor médio global em áreas próximas ao derretimento do gelo, mas aumentando para longe deste. Traduzido de Milne *et al.* (2009) in (IPCC, 2013).

Segundo o IPCC (2013), a troca de massa de água entre a terra e o oceano também resulta em padrões de mudança do nível do mar chamados "impressões digitais de nível do mar" (Clark & Lingle, 1977; Conrad & Hager, 1997; Mitrovica *et al.*, 2001) devidos à mudança no campo da gravidade e no movimento vertical do fundo do mar associado com a deformação visco-elástica da Terra (Farrell & Clark, 1976). Essas mudanças na distribuição de massa também afetam o tensor de inércia da Terra e, por conseguinte, a rotação, o que produz uma resposta do nível do mar adicional (Milne & Mitrovica, 1998).

Variações na distribuição de gelo sobre a Terra no passado e presente afetam a forma e o campo gravitacional da Terra, o que também causa flutuações regionais no nível do mar. As variações adicionais no nível do mar são causadas pela influência de processos mais localizados, como a compactação de sedimentos e tectônicos (IPCC, 2013). Alguns destes processos resultam em mudanças que são suficientemente grandes para influenciar a interpretação dos registos observacionais e projeções do nível do mar a escalas regionais e globais. Em particular, a transferência de massa da superfície de gelo da terra para os oceanos após a última glaciação, que terminou há aproximadamente 12 mil anos, contribuiu

significativamente para a mudança do nível do mar atual, devido à contínua deformação visco-elástica da Terra e as mudanças correspondentes da altura do fundo do oceano e da gravidade, referida como Ajustamento Glaciar Isostático, (AGI ou em Inglês GIA) (Lambeck & Nakiboglu, 1984; Peltier & Tushingham, 1991).

Desta forma, os mantos de gelo têm tempos de resposta longos e assim continuam e continuarão a responder a ACs do passado e do presente, sendo que a contribuição do degelo dos mantos de gelo da Gronelândia e Antártida (apenas sobre terra sólida) para uma subida do NMMG apresentam taxas variáveis e de maior contribuição desde os anos 90, de  $0,5 \text{ mm.ano}^{-1}$  para cada, num total de  $1 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Já o degelo dos glaciares contribui com  $0,75 \text{ mm.ano}^{-1}$  para o aumento do NMMG (IPCC, 2013). Processos antropogénicos que influenciam a quantidade de água armazenada no solo ou na sua superfície, em lagos e reservatórios, ou provocam mudanças nas características da superfície da terra que influenciam o escoamento ou as taxas de evapotranspiração, vão perturbar o ciclo hidrológico e causar a mudança do nível do mar (Sahagian, 2000; Wada *et al.*, 2010). Tais processos incluem o represamento de água (barragens, reservatórios), sistemas de irrigação, e a extração de água dos aquíferos apresentam uma contribuição para a subida do NMMG na ordem dos  $0,07 \text{ mm.ano}^{-1}$  (IPCC, 2013). A transferência de sedimentos e compactação (incluindo a proveniente do esgotamento da água do solo) na zona costeira são particularmente importantes em regiões de deltas (Blum & Roberts, 2009; Syvitski *et al.*, 2009). Enquanto estes processos podem dominar a mudança do nível do mar nestas áreas localizadas, são menos importantes como fonte de variação do nível do mar a nível regional e global. As estimativas de descarga de sedimentos para os oceanos (Syvitski & Kettner, 2011) sugerem uma contribuição para a subida do NMMG na ordem dos  $0,01 \text{ mm.ano}^{-1}$  (IPCC, 2013).

O registo instrumental de mudança do nível do mar, é composto principalmente por medições maregráficas ao longo dos últimos dois a três séculos e, só desde o início dos anos 90, é que é baseado em medições de altímetro por satélites. Os marégrafos são instrumentos que datam de 1700 e registam a variação do nível do mar de um local relativo (NRM) a um referencial. O registo era feito por um sistema de medição analógico, em que uma caneta escreve sobre papel num tambor rotativo, ligada a uma bóia que está colocada num poço onde entra e sai água, conforme as marés, uma vez que está ligado diretamente ao mar, retirando assim o efeito das ondas. Os marégrafos espalharam-se pelos portos de toda a Europa e só no final do séc. XIX foram instalados no hemisfério Sul.

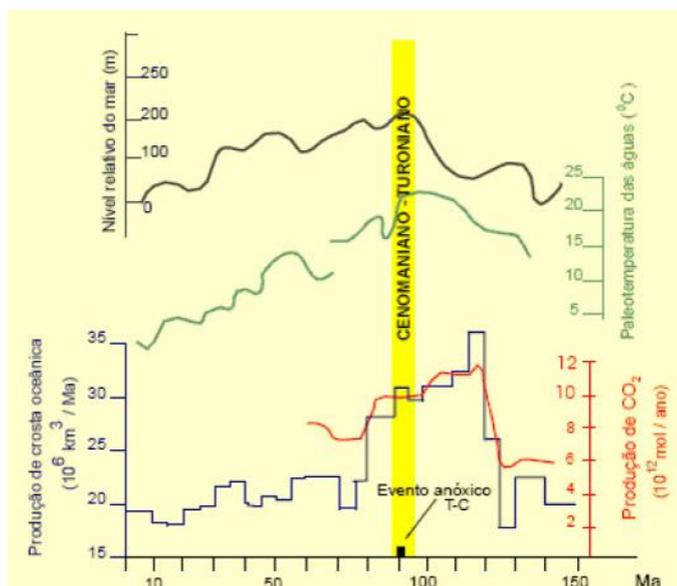
Em Portugal o marégrafo de Cascais (1882) foi um dos primeiros observatórios europeus dedicado ao estudo das correntes e marés (fig. 12). A sua instalação foi motivada pela necessidade de estabelecer e manter a referência nacional de altitudes para a elaboração da topografia (determinação do Zero Topográfico).



**Fig. 12:** O Marégrafo de Cascais analógico, cujo sistema foi construído em 1877 por A. Borrel, em Paris, e encontra-se ainda em pleno funcionamento. Ligado ao laboratório oceanográfico do rei D.ra-Carlos I, o primeiro Marégrafo de Cascais foi instalado em 1882 na rocha, a Este da fortaleza, sobre a baía de Cascais, tendo mudado para o sítio atual (deslocação de ~30 m) em 1900 *in* <http://www.cm-cascais.pt/equipamento/maregrafo-de-cascais>

Os registos da variação do NMMG mais antigos (à escala dos Milhões de Anos) são fornecidos pelas evidências e análises dos registos geológicos, tais como registos sedimentares, tipo e análise dos fósseis, medições de isótopos, etc. (*proxy*). Fornecem igualmente dados sobre as extensões das massas de gelo durante as glaciações. Registos da mudança do nível do mar no passado fornecem informações preciosas sobre a sensibilidade do nível do mar às mudanças climáticas do passado, assim como um contexto para entender as mudanças atuais e avaliar as mudanças projetadas (IPCC 2013).

No Mesocretácico (há cerca de 95 Ma) estima-se que houve uma das maiores transgressões marinhas em que o nível do mar atingiu os 300 m acima do atual (paradoxalmente a elevada inundação terrestre provocou elevada anóxia oceânica e deposição de sedimentos muito ricos em matéria orgânica que poderá ter justificado a formação de muitas das reservas de petróleo (fig. 13). Estima-se que foi devido a elevada atividade vulcânica e emissões de CO<sub>2</sub>, à separação dos continentes, tectónica de placas e elevada massa oceânica contínua (elevadas trocas de energia) (Santos, 2009).



**Fig. 13:** Transgressão marinha do Terciário (Mesocretácico) in Santos, 2009).

Segundo o IPCC (2013), através do estudo do geológico, os registos sedimentares sugerem desglaciações periódicas, em que durante os intervalos quentes do Pliocénico Médio (3,3 a 3,0 Ma), estima-se que a média global de temperaturas de superfície fossem 2°C a 3,5°C mais altas do que para o clima pré-industrial. Estima-se que o NMMG estava acima do presente, e que não deveria exceder os 20 m acima do presente, durante os períodos mais quentes do Pliocénico médio.

No período Inter-glaciário entre 401 e 411 mil anos atrás (Pleistocénico médio), as leituras de amostras (*ice cores*) do gelo antártico e as estimativas de paleotemperaturas do Pacífico tropical sugerem que a temperatura global foi de 1,5 ° C a 2,0 ° C mais elevada do que no período pré-industrial (Masson-Delmotte *et al.*, 2010). Estudos sobre a magnitude do nível do mar, geraram estimativas que o NMMG estava 6-15 m mais elevado do que presente, exigindo uma perda de maioria ou a totalidade dos mantos de gelo presente na Gronelândia e no Oeste da Antártida.

Durante o último período interglacial (LIG de 129 a 116 ma), a temperatura média anual global não estava mais do que 2 ° C acima dos níveis do período pré-industrial. Sínteses de dados sugerem que o pico de calor global foi de 1 ° C a 2 ° C acima da temperatura pré-industrial, com pico de temperaturas da superfície do mar anuais globais que foram 0,7 ° C ±

0,6 ° C mais elevadas. Pelas evidências robustas e alta concordância que, sob este clima mais quente, o nível do mar era mais elevado que o presente, concluiu-se com confiança muito elevada, que o máximo NMMG durante o LIG foi de pelo menos 5 m superior ao presente, e não excedeu os 10 m. A melhor estimativa é a de 6 m mais alto do que presente. Também se concluiu (a partir das simulações do modelo do manto de gelo e mudanças de elevação derivadas de um novo núcleo de gelo na Gronelândia), que a camada de gelo da Gronelândia contribuiu muito provavelmente entre 1,4 e 4,3 m do nível do mar equivalente. Isto implica uma contribuição do manto de gelo da Antártida para NMMG durante o último período interglacial.

Por fim, durante o Holocénico, desde há ~ 7 a 3 mil anos, os registos de NRM indicam que o NMMG provavelmente subiu 2 a 3 m para níveis perto do atual. O sinal mais robusto capturado em registos de sapais, em ambos os hemisférios norte e sul, apoia a conclusão de uma aceleração que marca a transição desde as taxas de variação relativamente baixas durante o Holocénico tardio (ordem das décimas de mm por ano) para as taxas modernas (ordem de mm por ano). No entanto, existe uma variabilidade na magnitude e no tempo (1840-1920) desta aceleração em ambos os registos paleo e instrumentais (marégrafos). Através da combinação dos registos paleo do nível do mar com os registos dos marégrafos nas mesmas localidades, Gehrels e Woodworth (2013) concluíram que o nível do mar começou a subir acima da taxa do Holocénico tardio, entre 1905 e 1945, também de acordo com as conclusões de Lambeck *et al.* (2004).

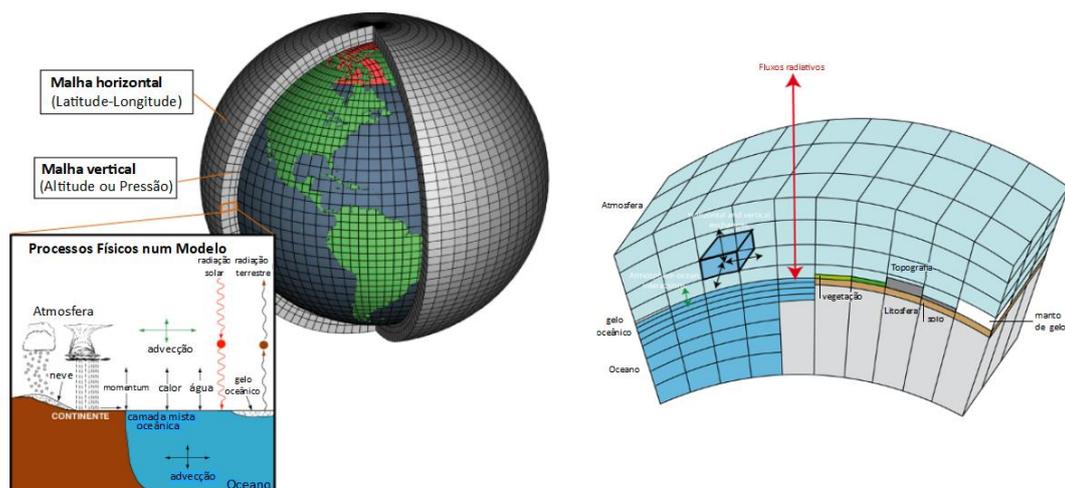
Conseguem-se então obter registos da composição da atmosfera a partir da análise dos núcleos/amostras de gelo (*ice cores*) das calotes polares e glaciares, em que as análises da quantidade de CO<sub>2</sub> retido nas minúsculas câmaras de ar retidas na neve que depois de acumulada em camadas se transformou em gelo e agora nos fornece informação, que pode ir até aos 420 mil anos. É uma informação importante, uma vez que, o nível de CO<sub>2</sub> está diretamente relacionado com o aumento da temperatura e esta com o NMMG. Actualmente existem várias estações de pesquisa na Antártida, destacando-se a estação russa Vostok (desde 1957), localizada no interior da Antártida (fig. 14), onde se conseguem obter amostras do gelo acumulado durante milhares de anos até uma profundidade de 3623 m.



**Fig. 14:** Localização e imagens da estação Russa Vostok , sobre a camada de gelo que fornece os *cores* e acede a uma lago a 3720 metros de profundidade, considerado um ecossistema virgem e isolado há cerca de 30 Ma. Traduzido e adaptado de [https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o\\_Vostok](https://pt.wikipedia.org/wiki/Esta%C3%A7%C3%A3o_Vostok) &<https://www.sitedecuriosidades.com/curiosidade/o-misterio-do-lago-vostok.html>

Todos estes processos, instrumentos e novas tecnologias permitem fazer o registo das alterações do NRM e do NMMG, mas para fazer simulações, utilizando todos estes dados, são os modelos matemáticos e tridimensionais, que permitem fazer as simulações do passado, presente e de prever o futuro das ACs e do aumento do NMMG.

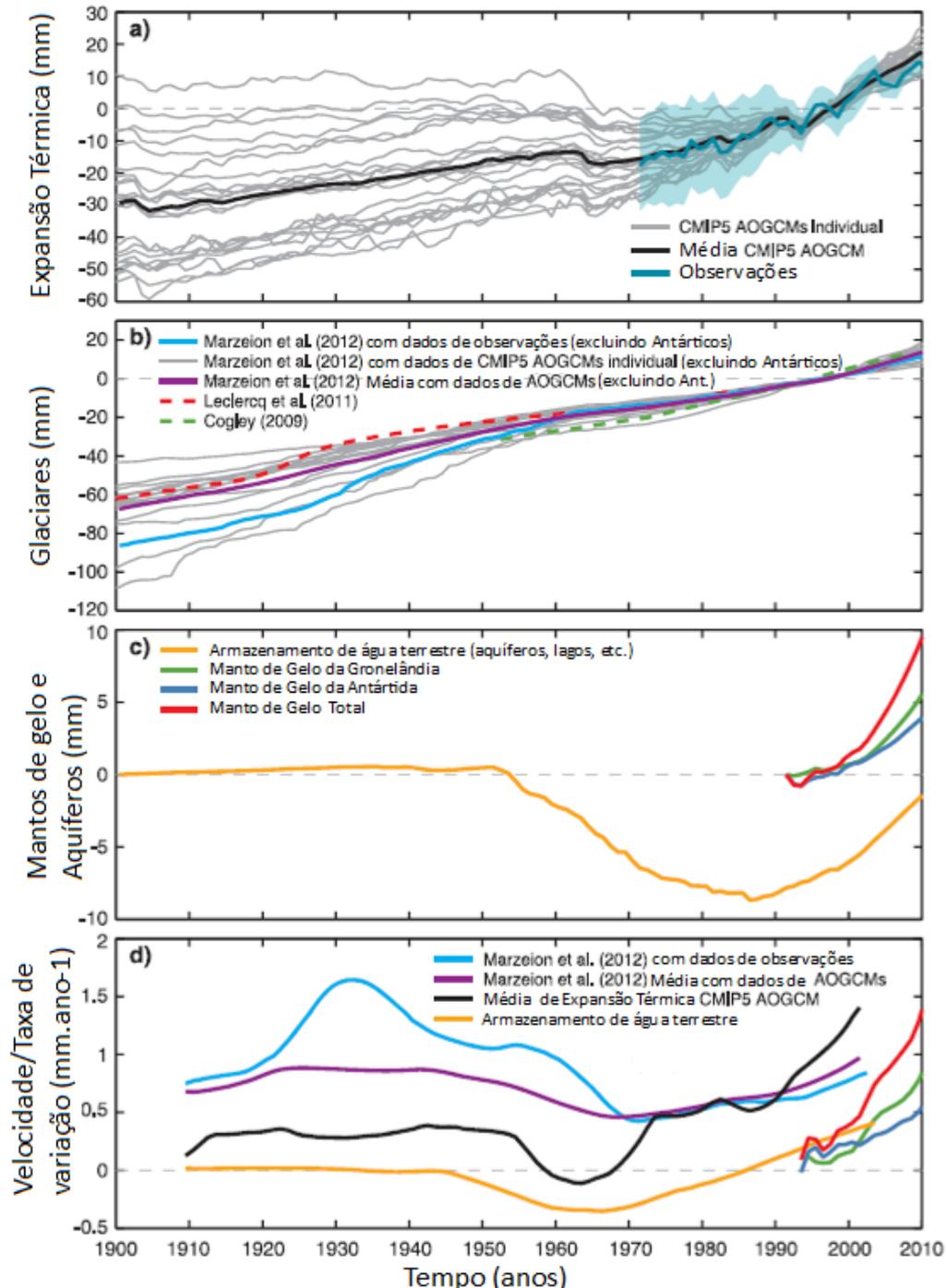
Os modelos tridimensionais de circulação geral da atmosfera-oceano (AOGCM) são modelos computacionais que tentam recriar o sistema climático e seus subsistemas e simulam a circulação geral da atmosfera-oceano com processos físicos não lineares (fig. 15). Utilizam uma malha tridimensional, geralmente com uma resolução horizontal de cerca de 300 km e com 10 a 40 níveis verticais (Harvey, L. D. Danny, 2000). Mais recentemente existem outros modelos com resolução horizontal que varia de 20 a 800 km e 9 a 96 níveis. Para cada célula, são calculadas variáveis meteorológicas como a temperatura, precipitação, humidade e nebulosidade, através de equações fundamentais que descrevem a conservação da energia, do momento linear, da massa, ou seja, a equação da continuidade e a equação dos gases perfeitos, como aproximação para a equação de estado da atmosfera (Santos, 2007).



**Fig. 15:** Esquema traduzido, de um modelo tridimensional de circulação geral da atmosfera-oceano (AOGCM) in <http://en.wikipedia.org/wiki/File:AtmosphericModelSchematic.png>

Os fenômenos que se processam em escalas mais pequenas que a dimensão da malha, tais como a formação de nuvens, são representados por meio de parametrizações (SIAM II, 2006). Mais recentemente os modelos incorporam as transferências de massa nos 3 estados físicos entre a atmosfera, litosfera e hidrosfera.

Com todos os registos observados e modelados consegue-se chegar aos gráficos do IPCC (2013), onde facilmente se visualizam as contribuições de cada processo para as alterações do NMMG desde 1900 (fig. 16).



**Fig. 16:** Comparação dos componentes modelados e observados da alteração do NMMG desde 1900. Alterações em glaciares, mantos de gelo e armazenamento de água do solo são mostrados como aumentos positivos do nível do mar, uma vez que é adicionada massa ao oceano (traduzido do IPCC, 2013):

(a) Expansão térmica do oceano. Simulações individuais dos modelos CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5) e AOGCMs a cinza, a média a preto, observações a azul muito claro com os 5-95 % de incerteza sombreada.

(b) Os glaciares (excluindo os glaciares antárticos periféricos). Simulações do modelo por Marzeion *et al.* (2012a) com a entrada de AOGCMs individuais são mostradas em cinza com a média de esses resultados em roxo brilhante. As simulações de modelos por Marzeion *et al.* (2012), forçados pelas observações climáticas são mostradas a azul claro. As estimativas de observação por Cogley (2009) são mostradas a verde (a tracejado) e por Leclercq *et al.* (2011) a vermelho (a tracejado).

(c) Alterações no armazenamento de água no solo (amarelo, a soma de esgotamento de águas subterrâneas e lençóis em reservatório (vermelho), começam em zero no início do registo em 1991.

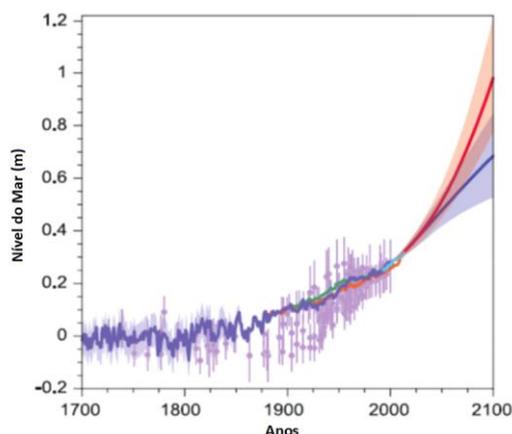
(d) A taxa de variação (tendências centradas em 19 anos) para os termos de (a) para (c), e por as camadas de gelo (tendências centradas em 5 anos). Todas as curvas em (a) e (b) são mostradas com média de tempo zero sobre o período de 1986 a 2005 e as cores em (d) são combinados com os painéis anteriores. Atualizado de Church *et al.* (2013).

Os modelos também permitem fazer simulações futuras e estabelecer cenários climáticos. No advento destes modelos, em 1970, o grupo de *Manabe*, através da duplicação do valor da concentração de CO<sub>2</sub> pré-industrial, obteve pela primeira vez um aumento na temperatura média global de cerca de 2° C, a que se veio a designar por sensibilidade climática (Santos, 2007).

Vários cenários são estabelecidos e para cada um, corresponde determinado forçamento radiativo (W/m<sup>2</sup>), causado por uma dada concentração de CO<sub>2</sub> ([CO<sub>2</sub>]) e outros gases de efeito estufa (GEE), que implicarão uma subida da temperatura média. A partir daqui uma intrincada e complexa rede de trocas de massa e energia geram as *ACs*. Este “excesso” de energia no sistema irá refletir-se de muitas maneiras, entre as quais a expansão térmica dos oceanos (pois estes conseguem absorver 90% dessa energia), e o degelo dos glaciares e dos mantos de gelo sobre terra (Antártida e Gronelândia). Estes são os principais fatores que contribuem para o aumento NMMG. Com uma contribuição muito menor temos o aporte de água vindo da exploração de aquíferos, que já supera o armazenamento causado pelo “boom” de barragens dos anos 40-60 e a menor contribuição do aporte/descarga de sedimentos para o mar (Tabela 1 e fig.17).

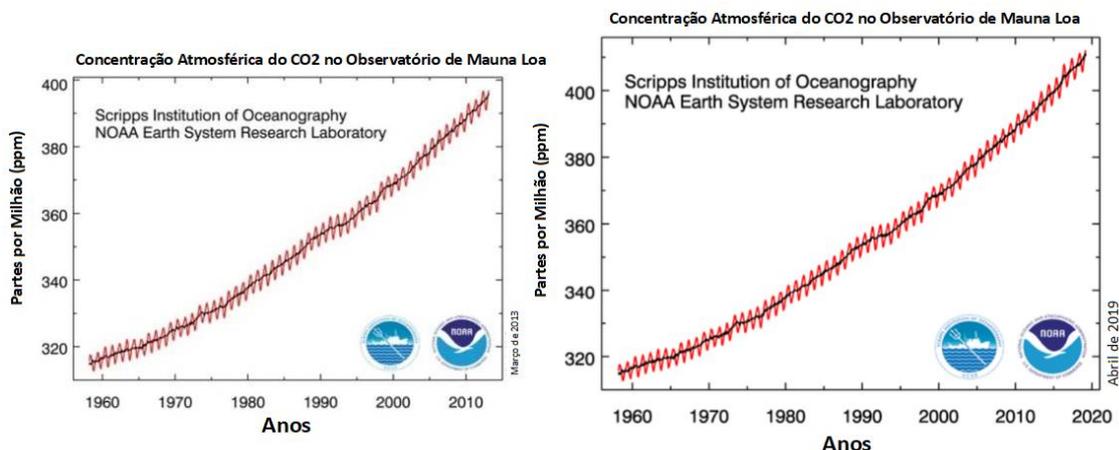
**Tab. 1:** Fatores que contribuem para o aumento do NMMG de ~3,2 mm.ano<sup>-1</sup> e respetivas taxas de contribuição (1993-2010) (adaptado de IPCC, 2013).

Fatores para o ↑ NMMG	(mm/ano)
Expansão térmica do oceano	1,1
Degelo dos glaciares	0,71
Degelo da Antártida e Gronelândia	1
Exploração de aquíferos	0,07
Descarga de sedimentos para o oceano	0,01



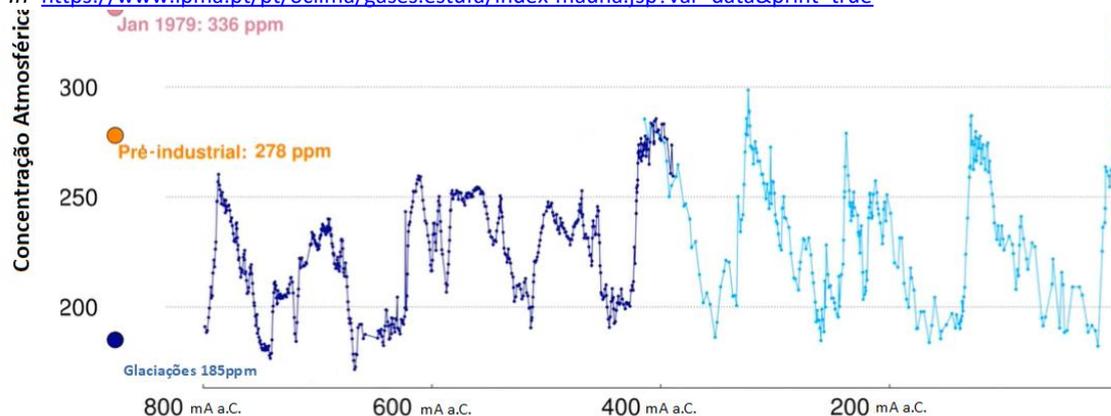
**Fig. 17:** Compilação de dados paleo do nível do mar, dados de marégrafos, dados de altímetro, e estimativas centrais e intervalos prováveis para projeções de NMMG para os cenários RCP2.6 (a azul) e RCP8.5 (a vermelho), todos relativos aos valores pré-industriais (Fig. 13.27 traduzida, do IPCC, 2013).

Segundo o IPCC (2013), desde a Revolução Industrial, o NMMG subiu ~19 cm e a taxa atual de subida do NMMG (1993 - 2012) é de ~3,2 mm.ano<sup>-1</sup>. Em 2100, para o cenário mais gravoso (8,5 W/m<sup>2</sup>), prevê-se uma subida da temperatura média entre 2,6 e 4,8 °C em relação à pré-industrial, e a subida do NMMG entre os 0.53 e os 0.97 m. Infelizmente este é o cenário que se tem verificado, com [CO<sub>2</sub>] > 420 ppm (em Abril de 2019), devido às emissões de GEE sobretudo desde a Revolução Industrial (280 ppm) (fig. 18 e 19).



**Fig. 18 e 19:** Gráficos traduzidos, com os dados de concentrações atmosféricas de CO<sub>2</sub> ([CO<sub>2</sub>]) dados pelo Observatório de Mauna Loa, no Hawaii (a linha vermelha representa as oscilações de [CO<sub>2</sub>] anuais e a curva preta representa os dados corrigidos sazonalmente). Os dados são reportados como uma fração molar seca definida como o número de moléculas de CO<sub>2</sub> dividido pelo número de moléculas de ar seco multiplicado por um milhão (ppm). Os gráficos foram obtidos em datas diferentes: no início deste estudo em Março de 2013 e no final, em Abril de 2019, tendo sido ultrapassados os 400 ppm em Maio de 2013. Esta curva é denominada de “Curva de Keeling”, uma vez que as medições foram iniciadas por C. David Keeling da Instituição Scripps de Oceanografia em 1958 e o NOAA iniciou suas próprias medições em Maio de 1974 funcionando paralelamente.

In <https://www.ipma.pt/pt/oclima/gases.estufa/index-mauna.jsp?var=data&print=true>



**Fig. 20:** Gráfico (traduzido e adaptado) com os dados de [CO<sub>2</sub>] conseguidos através de vários métodos, desde os últimos 800 ma, dados pelo “Global Monitoring Laboratory, Earth System Research Laboratories” in <https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/history.html>

A resposta da Terra a este aumento de emissões, a uma taxa nunca antes vista, não é imediata. No entanto, essa inércia que agora nos é benéfica poderá não o ser no futuro, pois o reequilíbrio processa-se a uma escala “geológica”, de milhares de anos.

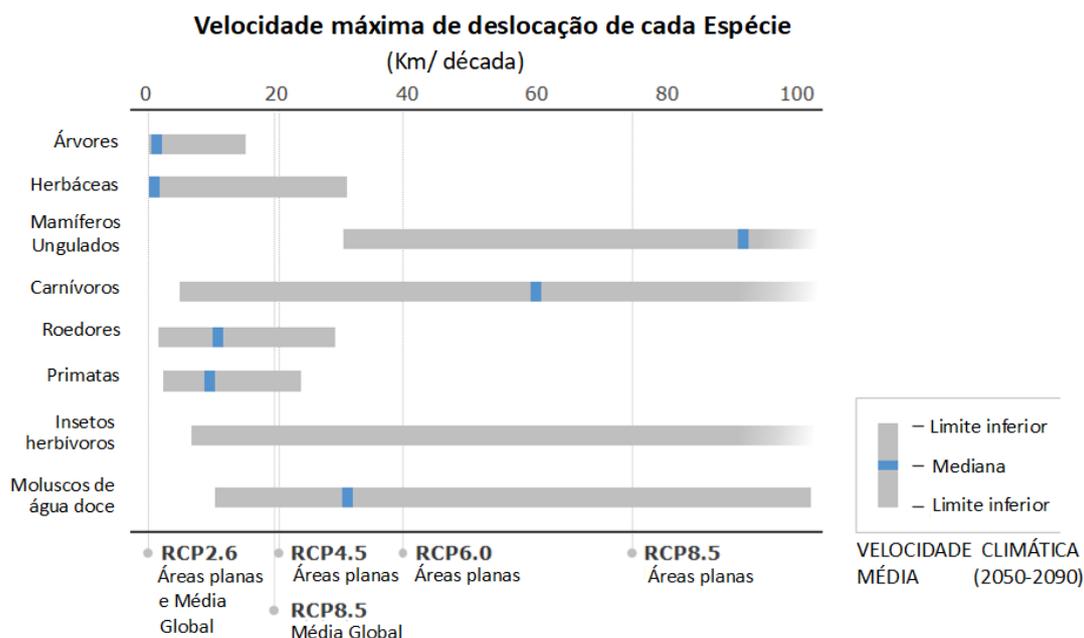
Se olharmos para os registo climáticos dos últimos 800 mil anos conseguido a partir dos núcleos de gelo da Antártida, a azul escuro e claro, verificamos que estamos numa fase de

deglaciação e que no anterior pico da última fase interglaciar a [CO<sub>2</sub>] < 290 ppm e o NMMG subiu 6m em relação ao atual. Então quais serão as consequências de uma [CO<sub>2</sub>] > 420 ppm?

Quais as possíveis interações e desequilíbrios que poderão acontecer (“tipping points”, O’Riordan, 2011)?

O colapso potencial de plataformas de gelo, como observado na Península Antártica (Rignot *et al.*, 2004; Scambos *et al.*, 2004; Rott *et al.*, 2011), pode conduzir no séc. XXI, a um aumento do NMMG até várias dezenas de metros (IPCC, 2013). O NMMG continuará a subir por séculos, mesmo que as concentrações de gases de efeito estufa (GEE) estabilizem, mais a quantidade de aumento do NMMG dependente de futuras emissões. A redução dessas emissões será então uma importante medida (Mitigação).

As possíveis consequências trariam enormes e gravosos custos para a humanidade e corresponderiam de certeza a extinções, pois o aumento do NMMG é apenas uma das consequências das ACs (aumento da temperatura média, alteração da pluviosidade, secas, cheias, tempestades, desertificação, etc.). As plantas são a base dos ecossistemas terrestres e apresentam a taxa mais baixa de “deslocação” (fig. 21). Os organismos, as comunidades, os ecossistemas, os biomas poderão não se adaptar.



**Fig. 21:** Máxima velocidade a que as espécies se podem deslocar (km/década), retirado e traduzido da apresentação do IPCC (2014).

As ACs afetarão assim o abastecimento alimentar, a qualidade e escassez da água, a saúde, a indústria e a integridade dos ecossistemas, bem como induzirão impactos económicos e sociais importantes em determinadas regiões e setores, com efeitos adversos muito significativos. Em particular, as ACs tenderão a reduzir os meios de subsistência das pessoas mais vulneráveis, nomeadamente aquelas que são dependentes da biodiversidade e dos serviços dos ecossistemas (TEEB, 2010). Tais consequências das ACs já se fazem sentir e serão cada vez mais graves.

### 3.1.2 A nível Local e Regional

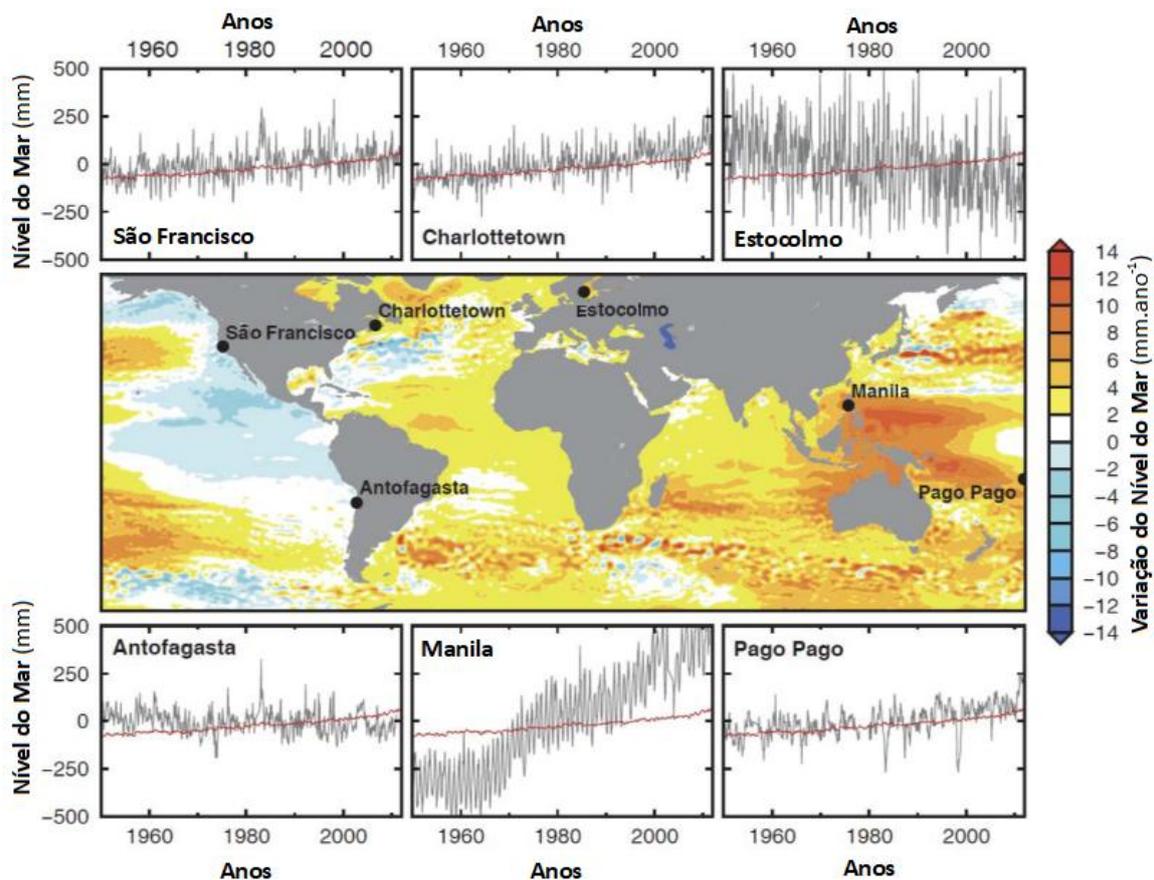
#### 3.1.2.1 Factores que afetam o NMM

Tal como anteriormente referido, como principais fatores responsáveis pelas alterações do NMM, temos as alterações nas correntes termoalinas, a variabilidade climática, os eventos climáticos extremos, os movimentos verticais da terra provocados pela tectónica de placas, a gravidade (sobreelevação pós glaciár), a exploração de aquíferos/reservas subterrâneas (subsidiência) e as alterações no aporte de sedimentos dos rios, que tem diminuído devido à construção de barragens (fig. 22).



**Fig. 22:** Fatores que afetam o nível médio do mar (NMM), a nível regional e local (adaptado de IPCC, 2013).

Desta forma, a nível **regional e local**, as variações do nível relativo do mar (NRM) poderão ser muito diferentes da média global, exemplificados e sintetizados na seguinte imagem do IPCC (2013), que será posteriormete detalhada (fig. 23).



**Fig. 23:** Mapa de taxas de variação de altura da superfície do mar (nível do mar geocêntrico) para o período de 1993-2012 de altimetria por satélite. Também são mostradas as mudanças de nível relativo do mar (linhas cinzentas) das estações maregráficas selecionados para o período 1950-2012 . Para efeito de comparação, uma estimativa da variação do nível médio do mar global também é mostrada (linhas vermelhas), em cada série temporal de marégrafo. As relativamente grandes oscilações de curto prazo no nível do mar local (linhas cinzentas) são devidas à variabilidade natural do clima. Por exemplo, os desvios grandes e regulares em Pago Pago estão associados com o El Niño-Oscilação do Sul. Retirado e traduzido de IPCC (2013).

Na tese de mestrado de Mira (2011), são apresentadas novas estimativas para as velocidades dos movimentos verticais da crosta (epirogênese) baseadas na análise de séries temporais GPS, com um máximo de 11 anos de observação. As incertezas associadas a estas estimativas foram determinadas de modo a refletirem um valor realista, sendo possível obter as velocidades verticais com incertezas inferiores a  $1 \text{ mm.ano}^{-1}$ . Foi feita a comparação com as velocidades propostas por outras técnicas de observação geodésica, nomeadamente com as velocidades verticais resultantes de observações de marégrafos, de observações gravimétricas, de estimativas do satélite GRACE e das previsões dadas pelo modelo ICE-5G. Foram observados os padrões das velocidades verticais na crosta na Fennoscandia, na região do Canadá, verificando-se que a região de maior velocidade vertical da crosta é a região Oeste da Baía de Hudson. Na Antártica, a região Oeste apresenta uma clara tendência de soerguimento, enquanto a região Este apresenta tendência de subsidência.

A corroborar esta tendência, em Estocolmo regista-se a descida constante do nível do mar, causada pela elevação da região após o derretimento de uma grande ( $> 1 \text{ km}$  de espessura) camada de gelo continental, no final da última Glaciação. Tal deformação da terra, em curso, como resposta ao derretimento das camadas de gelo antigas, é um contributo significativo

para as mudanças do nível do mar regionais na América do Norte e noroeste da Eurásia, que estavam cobertas por grandes camadas de gelo continentais durante o pico da última Idade do Gelo (IPCC, 2013).

Em outras regiões, este processo também pode levar à subsidência da terra, que eleva os níveis relativos do mar, como aconteceu em Charlottetown, onde um aumento relativamente grande tem sido observado, em comparação com a taxa média global.

O movimento vertical da terra devido ao movimento das placas tectónicas (epirogénese), também pode causar afastamentos à tendência do nível médio do mar global em algumas áreas, mais significativamente, as localizadas perto zonas de subducção ativas, onde uma placa tectónica desliza sob outra. Exemplo bem conhecido e estudado é o caso da subducção da Placa de Nazca sob a cordilheira dos Andes. Na figura 23, temos o caso de Antofagasta, onde ocorre uma elevação constante da terra e, portanto, a descida relativa do nível do mar.

Em oposição, ao longo de muitas regiões costeiras, o movimento vertical da terra é pequeno, e por isso, a taxa de variação do nível do mar a longo prazo, registada por marégrafos costeiros e insulares, é semelhante ao valor médio global (ver registos em São Francisco e em Pago Pago (fig. 23).

Segundo Woodruff (2013) e Santos (2012), a subsidência conjugada com a subida do nível do mar é mais agravante para certas regiões, principalmente os deltas dos rios onde há sobre-exploração dos aquíferos (muitas vezes para irrigação para a agricultura o que aumenta a intrusão salina), mas também por exploração de reservas costeiras de petróleo e gás que implicam a descida vertical da terra, e também devido à diminuição do aporte de sedimentos fluviais, devido à construção de barragens. No Delta do Nilo a subsidência é de 5 a 9 mm, se juntarmos a subida de 3 mm do nível do mar temos uma subida total resultante de 8 a 12 mm. E as projeções são preocupantes, segundo Woodruff (2013) projeta-se para 2100 uma subida do NMM de 4,3 m para o delta do Rio Yangtze, o que implicará a inundação de metade da megacidade de Shangai; destacam-se ainda o delta do mar Vermelho no Vietnã e o Delta do Mississipi. Em Manila (fig. 23), a subsidência é causada pela bombagem intensiva de água subterrânea.

Durante períodos de tempo relativamente curtos (horas a anos), a influência das marés, tempestades e variabilidade climática, tais como *El Niño* – dominam as variações do nível do mar. Sismos e deslizamentos de terra também podem ter um efeito, causando alterações na altura da terra e, por vezes, tsunamis.

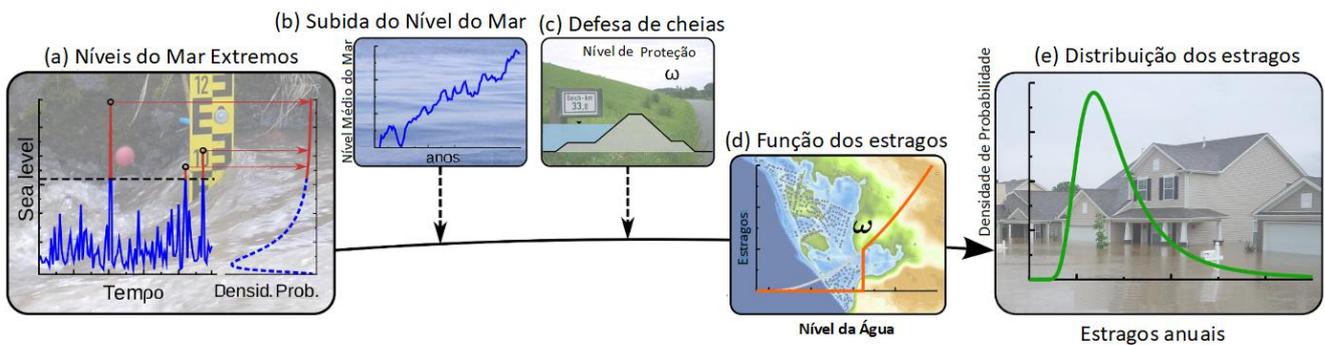
As pressões atmosféricas muito baixas (ciclones) podem provocar movimentos ascensionais da água, que juntamente com ventos fortes sobre-elevação provocam ondas que podem provocar a inundação costeira, denominando-se de meteorológica do nível do mar (*storm surges*). É uma perturbação temporária, mas pode ser devastadora, como no Ciclone *Yolanda* que assolou as Filipinas em 2013 (sobre-elevação de 4 m), ou no furacão *Sandy* (2012) em que a sobre-elevação de 3,5 m inundou *New York* em altura de maré cheia (Woodruff, 2013). No primeiro exemplo verificou-se que as zonas onde havia vegetação natural, a devastação foi muito menor, face às zonas construídas.

### 3.1.2.2 Impactes da subida do NMM

Simulações para o Bangladesh indicam que o NRM projetado para 2050, com o aumento da ocorrência e intensidade das tempestades, poderá inundar 15% da área total do país, e as mega-cidades como Osatapo no Japão e Manila nas Filipinas, também estão fortemente ameaçadas (Woodruff, 2013).

**A nível Europeu**, segundo o IPCC (2014b) o risco de inundação costeira continuará, no futuro, a ser elevado. Em 2080 projeta-se que sejam afetadas 5,5 milhões de pessoas/ano (Ciscar *et al.*, 2011). As zonas mais afetadas serão as expostas ao Oceano Atlântico. Os custos diretos da não Ac, poderão chegar aos 17 bilhões de euros/ano até 2100 (Hinkel *et al.*, 2010).

Boettle *et al.* (2016) estabelecem um modelo matemático para estimar o impacto económico da elevação do nível do mar, de forma a completar o IPCC e ajudar a estabelecer políticas de **Mi** e **Ad** Como os prejuízos são causados principalmente por eventos extremos, que ocorrem de forma aleatória, é proposta uma estrutura probabilística estocástica para estimar as perdas monetárias das inundações costeiras em uma dada região. Considerando o efeito do aumento do nível do mar, bem como possíveis cenários de **Ad** nos parâmetros envolvidos, conseguem estudar o desenvolvimento do prejuízo anual (fig. 24). Para o caso de estudo da Cidade de Copenhaga, demonstraram que se pode esperar uma duplicação dos prejuízos devido a um aumento médio do nível do mar de apenas 11 cm. Os prejuízos esperados para parâmetros variáveis, podem ser aproximados por uma de três expressões analíticas, dependendo dos parâmetros de valores extremos. Essas descobertas revelaram a interação complexa dos parâmetros envolvidos e permitiram retirar conclusões importantes, tais como que o prejuízo, geralmente, aumenta mais rapidamente que o próprio aumento do nível do mar. Isto, por sua vez, pode ser de grande importância para a avaliação dos impactos do aumento do nível do mar na escala global. Os resultados são acompanhados por um grau de incerteza, que reflete a natureza estocástica de eventos extremos. Enquanto o valor absoluto da incerteza sobre os danos causados pelas inundações aumenta com a subida do NMM, descobriram que o valor da incerteza diminui em relação aos danos esperados.



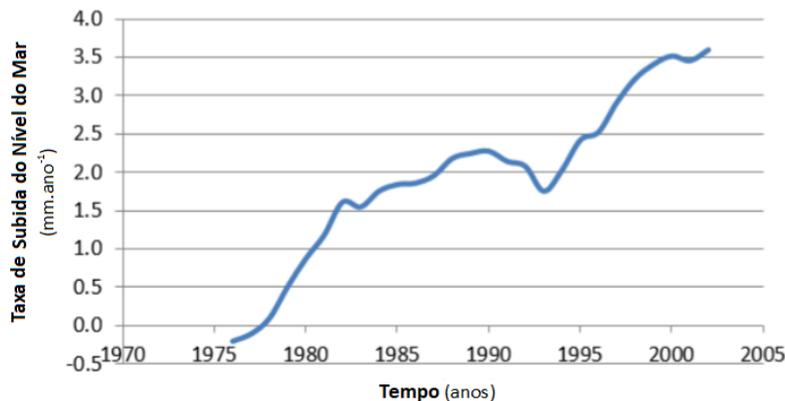
**Fig. 24:** Dos eventos extremos aos prejuízos. (a) A análise dos níveis do mar em fenómenos extremos, fornece estimativas de parâmetros para o modelo estocástico. (b) A distribuição dos níveis do mar é influenciada pela subida do NMM. (c) Medidas para a defesa contra inundações, tais como os diques, estabelecem um limiar abaixo do qual os prejuízos são evitados. (d) A distribuição de níveis extremos do mar é combinada com o dano correspondente, através de uma função de dano, fornecendo o dano total na região em estudo, a um certo nível máximo de inundação. (e) Distribuição resultante dos prejuízos totais anuais, o prejuízo anual esperado e seu desvio padrão podem ser derivados *in* Boettle *et al.* (2016)

### 3.1.2.3 A nível nacional e estuarino

**Em Portugal**, os efeitos da subida do NMM a uma taxa de  $3,6 \text{ mm.ano}^{-1}$  (Antunes e Taborda, 2009) fizeram-se sentir no Inverno de 2014, onde ocorreram dois episódios de sobreelevação meteorológica ( $\sim 1 \text{ m}$ ) que tiveram consequências visíveis no litoral Português. Este tem vindo a recuar, principalmente nas zonas arenosas, causadas também pela mudança da direção das correntes mais paralela à costa e com maior poder de acarrear; pelos pontões construídos ao longo da costa que agravam os problemas a Sul; e pela falta de sedimentos devido às barragens (SIAM II, 2006). Algumas zonas estão fortemente ameaçadas e já se investiram milhões de Euros em proteção costeira pesada, tais como em Vagueira (Aveiro), Costa da Caparica e Quarteira. Segundo Schmidt *et al.* (2012) “O litoral português, onde se concentra mais de 80% da população e da produção de riqueza do país, é um dos mais vulneráveis da Europa no que respeita à erosão costeira”.

No seu mais recente estudo, Carlos Antunes (2019) corrobora a tendência de aceleração da subida do Nível do Mar prevista há vários anos pelo IPCC (fig. 25).

Período	1992–2004	2000–2016	2001–2016	2003–2016	2005–2016
Taxa de Subida do Nível do Mar	2.2	3.0	3.2	3.4	4.1
Desvio Padrão	0.07	0.09	0.10	0.11	0.14



**Fig. 25:** Diferentes taxas de subida do nível do mar (NMM) para Portugal e respetivo desvio padrão, para diferentes períodos desde 1992 até 2016, a partir dos registos do marégrafo de Cascais (Antunes, 2019).

A taxa atual de subida do NMM para Portugal é de  $4,1 \text{ mm.ano}^{-1}$  e para 2100 está prevista uma subida do NMM de aproximadamente  $1,14 \text{ m}$ , havendo 95% de confiança para uma variação entre  $0,39$  e  $1,89 \text{ m}$  (Antunes, C., 2019).

Segundo Antunes (2019), nesta previsão foi considerada uma velocidade média de *uplift* que se verifica em Portugal de  $0,24 \text{ mm.ano}^{-1}$ , obtida por anomalias de altimetria entre as medições do Marégrafo de Cascais e as medições de altimetria dadas por satélite (NASA, CNES e CSIRO) do NMMG para o período entre 1993 e 2016. Este valor de sobreelevação tectónica aproxima-se dos estudos de neo-tectónica no SW de Portugal de Cabral (1995) e Figueiredo *et al.* (2013).

A nível estuarino, segundo Guerreiro *et al.* (2013), investigadores do projeto Português “Morfeed”, que estuda o impacto da subida do NMM na inundação marginal no estuário do Tejo, os níveis extremos em estuários dependem de vários fatores com origens distintas e das suas interações não-lineares (fig. 26).



**Fig. 26:** Fatores que podem desencadear eventos extremos, quando conjugados, aumentando o risco de inundação e erosão estuarina, adaptado de Guerreiro *et al.* (2013).

Segundo CNA (2012), em ambientes estuarinos, na transição entre o rio e a costa exposta ao oceano, ocorre a combinação de fenómenos hidrodinâmicos extremos típicos de ambientes fluviais e costeiros. Assim, as cotas extremas de inundação nas margens de estuários são função de:

- agitação marítima de origem oceânica, deformada pelos fenómenos locais de refração, empolamento, difração, reflexão que poderá rebentar e espriar-se;
- agitação gerada pelo vento local (*vagas*) atuando sobre os *Fetchs* mais desfavoráveis, sendo *Fetch* a extensão de uma porção de água marítima sobre a qual um determinado vento sopra;
- estado de maré astronómica e da sua propagação;
- sobreelevação meteorológica e da sua propagação;
- ondas de esteira (causadas por embarcações);
- caudais fluviais;
- evolução morfológica de leitos e margens móveis afetados pela combinação de situações extremas (por exemplo uma tempestade numa situação de maré viva e praia-mar).

Aos tipos de risco referidos, acresce um conjunto de incertezas que no contexto dos estuários podem assumir particular relevância. Entre estes destacam-se as cheias, a artificialização das bacias hidrográficas, o estado da maré astronómica, da sobre elevação e da agitação, a fisiografia das restingas e estado fisiográfico das embocaduras, a subida generalizada do nível médio das águas do mar e aumento da influência oceânica, as consequências da artificialização das barras ou a capacidade de modelação da interação entre o escoamento fluvial e as ações marítimas com leitos e restinga móveis (CNA, 2012).

O projeto *Morfeed*, desenvolveu uma metodologia para construir mapas de inundação em zonas estuarinas, concluindo que em 2100 a subida do NMM afetará o estuário do Tejo nas seguintes vertentes (Guerreiro *et al.*, 2013):

- Redução da assimetria da maré, que provocará um aumento das taxas de assoreamento, isto é, o estuário atualmente dominado pela vazante será dominado pela enchente, que por sua vez é favorável ao assoreamento e será benéfico para a resiliência dos sapais e praias estuarinas.

- Aumento da ressonância, que amplificará as marés, exacerbando ligeiramente as inundações marginais.

- Os sapais localizados na zona montante do estuário, onde as taxas de sedimentação são mais elevadas, conseguirão crescer a ritmos superiores ao da subida do NMM. Os Sapais a jusante como o da foz do Trancão e sobretudo o de Corroios (caso de estudo) não conseguirão acompanhar a subida do NMM e ficarão submersos, o que conduzirá à sua transformação em baixo sapal, raso de maré ou mesmo fundo subtidal.

Segundo Guerreiro *et al.* (2013), as inundações marginais no estuário do Tejo podem ter efeitos nefastos. Algumas zonas marginais urbanas, como o Seixal, são baixas, pelo que os potenciais custos materiais e humanos, de uma inundação, são elevados. Na zona superior do estuário, com extensas zonas agrícolas, a inundação pode causar a salinização de terrenos férteis. Este estudo relativo a uma área estuarina específica, poderá ter semelhanças com outras áreas estuarinas, alertando-nos para um futuro não muito distante.

Segundo o IPCC (2014b), o aumento da temperatura poderá ter impactes não só a nível da subida do NMM, mas também a nível dos biótopos. Os impactes poderão ser negativos mas também positivos, tais como o maior número e diversidade de espécies piscícolas para Portugal (no entanto outras irão desaparecer e deslocar-se para Norte), alteração das cadeias tróficas e o fenómeno de *upwelling*, responsável pela elevada quantidade de nutrientes e consequentemente de fitoplâncton e de peixe na nossa costa, poderá ser alterado, mas ainda não existe nenhum modelo que o tenha provado (Vinagre *et al.*, 2008). Com o aumento do CO<sub>2</sub> e da temperatura, poderão haver maiores taxas de crescimento do sapal e algas, no entanto estas poderão ter crescimento excessivos que serão negativos e até tóxicos (caso das cianobactérias nos bivalves, em França). Também poderá haver a transmissão de vetores vindos de latitudes mais baixas, com implicações na saúde humana, pragas e doenças.

### 3.2 Atuação

Mediante um cenário de ACs, o aumento do risco de impactos, que resultam da interação de: perigos relacionados com o clima, vulnerabilidade e exposição de sistemas humanos e naturais, existem duas medidas de atuação no processo sócio-económico de resposta, a Mi e a Ad que detalharemos de seguida (fig. 27).

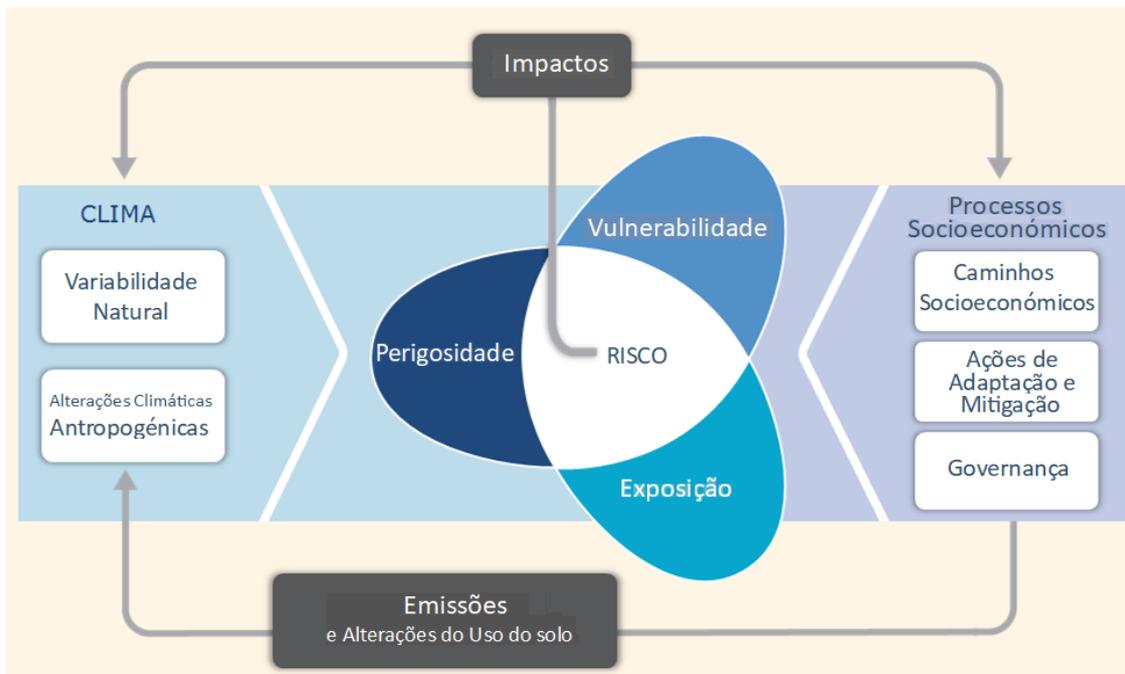


Fig. 27: Ilustração dos principais conceitos relacionados com as ACs, traduzido e retirado do IPCC (2014).

#### 3.2.1 Mitigação (Mi)

A nível da Mi, os sapais assumem um importante papel no sequestro natural do CO<sub>2</sub> atmosférico, através da captação de CO<sub>2</sub> pela fotossíntese e sua retenção, principalmente no sedimento.

Note-se que desde o aparecimento da fotossíntese a atmosfera tem sido lentamente despoluída de dióxido de carbono. A fotossíntese foi a “invenção” que permitiu a vida aeróbia na terra e o clima que hoje temos. Foi graças ao sequestro natural de carbono, que juntamente com outros fenómenos e processos, se formaram as reservas de carbono e combustíveis fósseis que hoje consumimos e voltamos a libertar para a atmosfera, sem pensar nas consequências desastrosas deste ato.

Muitas destas reservas de petróleo tiveram origem em zonas húmidas, tais como os sapais, os mangais, os pântanos que cobrem atualmente 6% da superfície da Terra (TEEB, 2011) e que contribuem fortemente para a Mi (fig. 28).

O sapal é um importante sumidouro e armazém de carbono, uma vez que é um dos ecossistemas mais produtivos do mundo, isto é, apresenta elevada produtividade primária (quantidade de matéria orgânica produzida pela planta) e o encharcamento não permite a decomposição total da biomassa das raízes e da parte aérea, permanecendo algum carbono na matéria orgânica do sedimento devido à anóxia (falta de oxigénio) e ambiente redutor. Assim, o carbono sequestrado enterrado passa do ciclo curto do carbono (10 a 100 anos) para o ciclo

longo (1000 anos), onde é lentamente decomposto sob a forma de turfa (Mitsch & Gosselink, 2008). Esta capacidade de mudança do ciclo do carbono (“*cycleshifting*”) é rara entre muitos dos ecossistemas mundiais. Daí que estes ecossistemas devam ser protegidos e mantidos, pois juntamente com os oceanos (sedimentação de carbonatos), são dos poucos ecossistemas na biosfera capazes de fazer o sequestro do carbono a longo prazo contribuindo para a “purificação” da atmosfera.



**Fig. 28:** Contribuintes para o sequestro natural do Carbono (g) (baseado em Mitsch & Gosselink, 2000).

Relativamente à redução das emissões de CO<sub>2</sub>, a **Mi** não é uma resposta imediata às **ACs** e está dependente de acordos e concertações a nível internacional via *Top-down*, tais como o Protocolo de Quioto e os subsequentes acordos, cujas metas e abrangência não se têm conseguido atingir, à exceção de alguns exemplos de países desenvolvidos (como a UE) que apostaram em tecnologias mais limpas, mas também transferiram grande parte da sua produção/poluição para outros países como a China. Desta forma, perante esta dependência dos combustíveis fósseis que está longe de terminar, relutância de certos países em mitigar e a ineficácia dos acordos internacionais, e sobretudo perante as consequências das **ACs** que já se manifestam, muitos países começaram a voltar-se para a “agenda” da Adaptação.

### 3.2.2 Adaptação (Ad)

As respostas de **Ad** para as sociedades humanas podem ser agrupadas em (IPCC, 2007):

- Tecnológicas (construção de infraestruturas de resiliência às alterações climáticas);
- De gestão (alteração das práticas e criação de seguros para gestão do risco social e gestão da pobreza);
- Políticas (criação de regulamentação para gestão do risco de desastres);
- Comportamentais (informação para um planeamento eficaz).

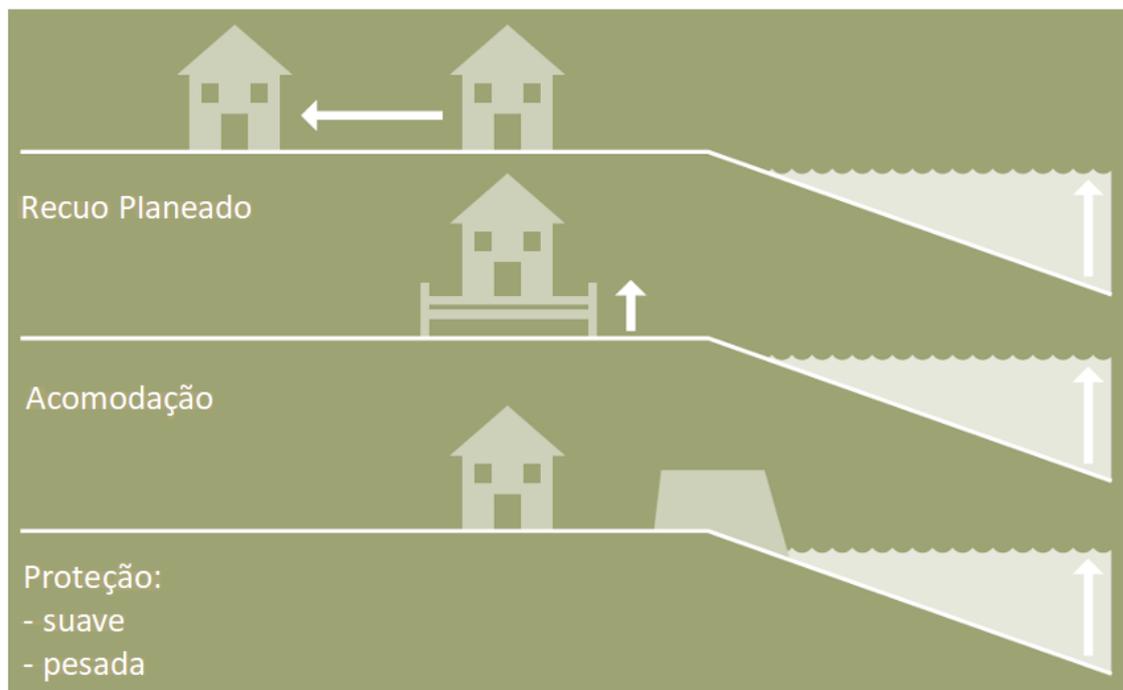
Nas medidas de curto e médio prazo, relacionadas com o aumento do NMM, e as suas consequências (tais como a erosão costeira, inundações e a intrusão salina), as “frentes de batalha” serão sempre as zonas litorais. Podemos então definir várias estratégias de **Ad** à sibi da do NMM (IPCC CZMS, 1990; Bijlsma *et al.*, 1996; Klein *et al.*, 2001; Parry *et al.*, 2009) (fig. 29):

- **O retiro (planeado)** - os impactos do aumento do nível do mar são permitidos ocorrer e os impactos humanos são minimizados recuando a partir da costa para cotas mais elevadas, através do correto ordenamento do território e controlo do desenvolvimento, mas também

através da processos de reconversão urbanística, tais como densificar as zonas urbanas a cotas mais elevadas e diminuir as densidades residenciais nas cotas baixas (Casrboneel *In* Mostafavi, *et al.*, 2010), se possível livres de construção, através de processos de renaturalização de zonas urbanas densas, recreação dos contínuos verdes permeáveis e de drenagem e infiltração, e das fronteiras naturais e graduais com sistemas de proteção suave ou mista.

- **A acomodação** - os impactos referidos são permitidos e os impactos humanos são minimizada através do ajustamento do uso humano na zona costeira para o perigo, através da resiliência ao aumento das inundações (por ex., casas em estacaria ou palafita, casas flutuantes), sistemas de alerta e de seguros.

- **A proteção ou Estratégia defensiva** - os impactos do aumento do nível do mar são controlados através de soluções defensivas naturais de engenharia suave (por exemplo alimentação artificial de praias, reforço e proteção das dunas, mangais e sapais (Loon-Steensma, 2013), ou artificiais com estruturas pesadas de engenharia (diques, paredões, sistemas de comportas, etc.), reduzindo os impactos humanos na zona que seriam impactados sem proteção. Acrescem ainda as soluções híbridas ou mistas que resultam da conjugação das duas anteriores (ex. Proteção costeira estuarina com colchões Reno (*gabions*) colmatados com sedimentos e vegetação de sapal; utilização de areia com enrocamento, etc.).



**Fig. 29:** Ilustração das respostas de adaptação possíveis à elevação do NMM (Parry *et al.*, 2009).

Pilkey (2009) define ainda a **Estratégia de ataque**, em que se avança sobre a frente de água através de estruturas seminaturais empurrando as praias para o mar através da alimentação artificial contínua e dispendiosa; e artificiais conquistando terras ao mar e defendendo-as com paredões ou mesmo construindo estruturas flutuantes (fig. 30).



Fig. 30: Estratégias de Ac (adaptado de Parry, 2009 e Pilkey, 2009).

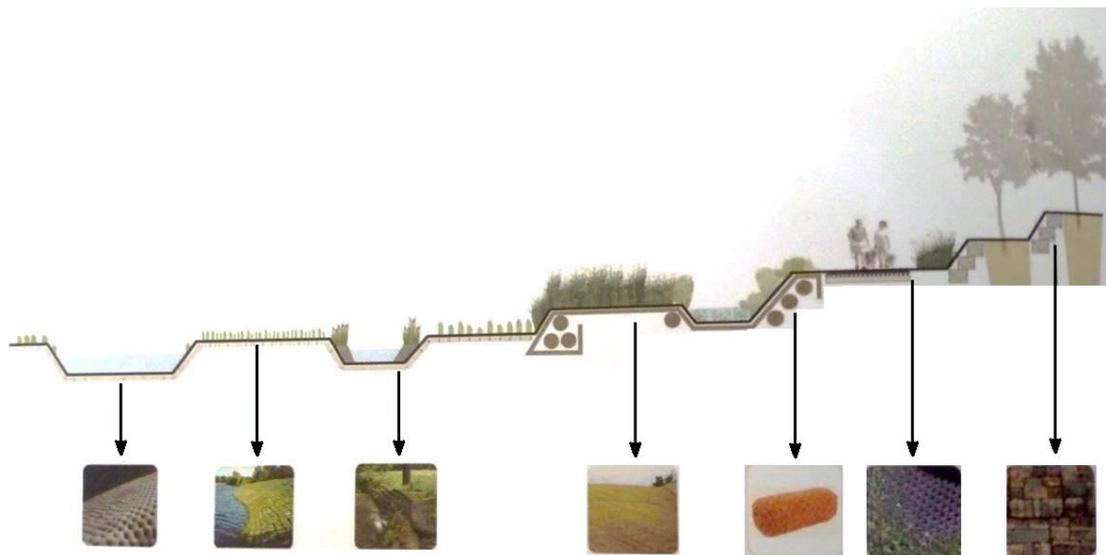
A terceira, mas principalmente a quarta estratégia são muito dispendiosas e poderão ser temporárias ou levar a um esforço ainda maior a longo prazo, uma vez que incentivam a uma ainda maior ocupação do litoral (Pilkey, 2009; Costa, 2013).

Segundo Santos (2012), as medidas de Ad podem tentar moderar os efeitos das ACs e podem explorar os seus benefícios. Podem ser medidas incrementais (mantêm a integridade do sistema) ou transformacionais (alterando as características do sistema). Nas primeiras incluem-se as medidas de acomodação e defesa suave tais como o aumento da resiliência e recuperação de dunas, sapais e mangais; nas transformacionais incluem-se as medidas de defesa e ataque com infraestruturas pesadas.

Com o surgimento do “Urbanismo Ecológico” (Mostafavi *et al.*, 2010), muito bem retratado no caso da China por Kongjian Yu, em “A revolução do pé grande”, com o desenvolvimento urbano baseado na infraestrutura ecológica a diversas escalas, os urbanistas, arquitetos, projetistas e paisagistas olham para o território como um sistema vivo e respeitam os seus sistemas naturais, adaptáveis, flexíveis e resilientes e em equilíbrio dinâmico e ao mesmo tempo beneficiam dos seus Serviços de Ecossistema (SE), combatendo o “artificialismo do meio urbano que tanto afeta a saúde psicossomática das populações” (Caldeira Cabral e Ribeiro Telles, 1999).

Estes princípios, que estão há muito difundidos nos fundamentos da Arquitetura Paisagista (Caldeira Cabral, 1993), mais sistematizados e exemplificados em Magalhães (2001), começam a ter uma aceitação e comprovação cada vez mais abrangente, dados os seus bons resultados e lógica subjacente. Por exemplo, ter uma visão mais integrada do conjunto, em tentar resolver não só os problemas a jusante, mas também a montante, como o caso das inundações: se se resolverem os problemas a montante que ajudam a amplificar a inundação a jusante, em picos de pluviosidade intensa e continuada. Uma das formas é reforçar a área de infiltração da bacia hidrográfica, reduzindo as áreas impermeáveis (aumentar as zonas verdes permeáveis mas também utilizar materiais que usualmente são impermeáveis em permeáveis (pavimentos em betão poroso, inertes de revestimentos e sub-bases drenantes), renaturalizando grandes e densas áreas urbanas, com sistemas contínuos de espaços verdes

com projetos complexos de drenagem e infiltração, poços drenantes, bacias de retenção, tudo o que contribua para fomentar a infiltração e a conseqüente alimentação do aquífero, diminuindo o caudal nos coletores pluviais em picos de chuva intensos e duradouros. A renaturalização de leitos de rios e ribeiras em meio urbano (eliminação dos canais e diques de betão, um pouco por toda a Europa e China, a substituição da defesa costeira pesada nas linhas costeiras por sistemas dunares (Holanda). Este “regresso” aos processos naturais, o seu estudo, mecanismos e projetar com eles, está a expandir-se por todo o Mundo. Vão surgindo assim as **soluções mistas ou híbridas** (fig. 31), que combinam soluções suaves com pesadas, retirando o melhor de cada uma e trabalhando em conjunto, numa recreação crescente e infinita, de que é exemplo o manual técnico de Bryars *et al.* (2016) que será posteriormente mais detalhado.



**Fig. 31:** Corte transversal do Rio, “Lower Don Lands” em Toronto, “hibridização” de sistemas de infraestrutura, para maximizar uma ampla variedade de condições de superfície, desde permeáveis a impermeáveis in Mostafavi *et al.* (2010), capítulo “Agência da Ecologia”.

No entanto, permanece sempre um risco residual, e a proteção completa não pode ser alcançada. Gerir o risco residual é um elemento-chave de uma estratégia de proteção que tem sido muitas vezes negligenciada no passado (Parry, 2009).

Ao longo da história, a inovação tecnológica tem aumentado o leque de opções de [Ad](#), face aos riscos costeiros, e tem havido uma tendência de passar da retirada e acomodação para a proteção pesada, e mesmo o avançar em direção ao mar, reivindicando mais terras (ataque), como aconteceu inicialmente na Holanda (Van Koningsveld *et al.*, 2008).

No entanto, quanto maior for o dique, se este falha, maior é a catástrofe. Foi o que aconteceu em *New Orleans* à passagem do furacão *Katrina*. Assim, desde 2005 agravou-se a desconfiança na infraestrutura pesada, notando-se cada vez mais uma viragem para os sistemas naturais que se revelam mais flexíveis e adaptáveis, desde que tenham as condições para tal (King & Lester, 1995; Loon-Steensma, 2013). As formas de defesa suave estão a ter uma adesão crescente a nível mundial e nacional, como veremos mais adiante.

O planeamento/ordenamento costeiro é uma estratégia preventiva muito importante. Na medida em que é essencial para proteger as zonas costeiras (através de leis e reservas),

evitando o pisoteio (dunas) e a invasão urbanística destas áreas sensíveis. É muito importante a existência de um *buffer* costeiro *non aedificandi*, para áreas baixas e possivelmente inundáveis. O ordenamento também poderá ter um papel importante na criação de futuras bolsas para a criação de bacias de atenuação de cheias em zonas estuarinas (Circle 2, 2013) e em caso da opção de retirada.

Planos de Gestão e Proteção Costeira que integrem medidas de *Ad* estão a ser implementados, suportados por estudos científicos e análise de custos (IPCC, 2014b). O plano Holandês para a proteção à inundação (Delta Committee, 2008), a *Ad* ao aumento do NMM e inundação pelos rios, inclui sinergias com a conserva o da natureza e o armazenamento de água doce (Kabat *et al.*, 2009), ligados   renova o urbana como lema de viver “com” e não “contra” a  gua. O Governo Inglês tem desenvolvido planos extensivos para ajustar e melhorar as defesas de inunda o para Londres devidas a tempestades e cheias (Environmental Agency, 2009).

Assim, ao nível do governo local, estão a ser desenvolvidos vários planos de *Ad* (EEA, 2013), incluindo Londres, Madrid, Manchester, Copenhaga, Helsínquia e Roterdão. No entanto, para muitas cidades europeias a *Ad* tem uma prioridade baixa e muito planos ainda não têm em considera o (Carter, 2011).

Desde o IPCC (2007) começaram a ser implementados programas de medidas nacionais e internacionais tal como a implementa o da Estratégia da União Europeia para a *Ad* (AP7), desde 2009. Em Portugal, a Estratégia Nacional de *Ad*  s *ACs* (ENAAC)   desempenhada pela Agência Portuguesa de Ambiente, apoiada em equipas universitárias pioneiras como o SIAM (SIAM II, 2006). A partir de 2013, o programa AdaPT (Adaptar Portugal  s Altera es Climáticas) visa promover a es de adapta o a nível local, de sensibiliza o e educa o, bem como projetos-piloto nos sectores prioritários da ENAAC, tendo sido envolvidos vários Municípios, e havendo já resultados positivos de a es de *Ad*.

Desde 2018 que a AML também já está em aço com o Plano Metropolitano de Adapta o  s Altera es Climáticas da AML (PMAAC-AML) que envolve os diferentes Municípios da  rea Metropolitana de Lisboa (AML).

A nível dos Planos de Ordenamento (POOCs, PDMs, POEs, etc.) existentes e futuros deverão ser revistos de forma a salvaguardar ainda mais eficazmente os sistemas costeiros e estuarinos perante as *ACs* e implementar medidas de *Ad*. Infelizmente apesar da prote o legal, continuam a ocorrer desafeta es que originam a perda de sapal e de zonas húmidas ou baixas estuarinas e costeiras (como o caso dos PINs).

Destaca-se ainda o projeto pioneiro SIAM I (2002) e SIAM II (2006), e mais recentemente, o Grupo de Trabalho do Litoral, que foi constituído em 2014 com o objetivo de desenvolver uma reflexão aprofundada sobre as zonas costeiras, que conduza   defini o de um conjunto de medidas de *Ad* que permitam, no médio prazo, alterar a exposi o ao risco da nossa costa, muito centrada nas medidas de *Ac* suaves, tais como a reposi o/alimenta o atempada dos sedimentos costeiros (Santos *et al.*, 2017).

A sensibiliza o mais próxima, de quem decide e interv m sobre o terreno, quer a nível das institui es centrais, quer a nível das autarquias,   importantíssima, pois são através do conhecimento, os sapais poderão ser melhor salvaguardados e reforçados, desempenhando o seu importante papel na defesa costeira, e em todas as suas outras fun es e benefícios. Este   então um dos principais objetivos desta tese.

## 4. Metodologia

A tese é feita com base em pesquisa bibliográfica apoiando as suas premissas relativamente ao aumento do NMMG, no quinto Relatório do IPCC (2013), e com base em trabalho de campo e de gabinete.

Quanto às zonas costeiras e formas de *Ad*, recorre-se ao último relatório do IPCC (2014a) e uma vasta informação que ao longo da tese foi surgindo, já com experiências feitas a nível Mundial. Também se compilou informação de outras fontes bibliográficas, mais específicas de sapais e de Serviços de Ecossistemas de sapais, de forma a podermos compreender as suas funções no campo da *Ad* e *Mi*, entre outras funções e benefícios. Foram feitas análises comparativas de soluções de adaptação em meio estuarino testadas a nível internacional e nacional. Foram estudadas e desenhadas novas soluções adaptadas à realidade concreta do caso de estudo. Será feito um estudo retrospectivo das soluções encontradas no passado, atuais e futuras, tendo sido uma executada no passado (Quinta da Fidalga), outra projetada e executada durante a tese (Amora Norte), e outras propostas para futuro (Restinga do Alfeite), a nível do meu trabalho profissional.

Dada a impossibilidade de execução de propostas *in situ*, estas foram testadas a nível virtual. Foi efetuado no âmbito deste doutoramento um SIG, com um Modelo Digital de Terreno, e um modelo Hidrodinâmico com o Programa *Mohid Water* desenvolvido pela equipa do Maretec do Instituto Superior Técnico, onde foram simuladas as marés, estudada a dinâmica dos sedimentos, e as ondas. Foi simulado igualmente o cenário de inundação para 2100 com a subida do NMM. Por fim foi simulada uma solução de adição de sedimento.

Também com base em SIG, foi efetuado o estudo das bacias hidrográficas das principais ribeiras efluentes da Baía do Seixal (programa *ArcMAP* 2010), que forneceu dados para introduzir no modelo Hidrodinâmico.

Foi feito um estudo da evolução das zonas de sapal nos últimos anos, através da análise da informação dada pela deteção remota (ortofotomapas) e a digitalização das áreas de sapal (com *AutoCAD*2010). Os resultados obtidos foram trabalhados, mesmo a nível estatístico e de valoração de SE (*Excell* 2010).

*In situ* foi feito o estudo, durante a execução da tese, da sedimentação *versus* erosão em várias estações na baía, com estacas/varetas metálicas. As medições foram feitas *in situ* e documentadas com fotografias e posterior confirmação da medição feita em *AutoCAD*2010, eliminando erros que poderiam ocorrer *in situ*.

A análise comparativa de fotografias tiradas durante a tese, em anos diferentes, por vezes com medições e elementos de escala *in situ*.

A metodologia será melhor especificada nos diversos sub-capítulos da Discussão.

## 5. Resultados esperados

Com a pesquisa bibliográfica e a investigação de experiências de *Ac* pretende-se estudar, analisar, sistematizar e divulgar as diferentes possibilidades de *Ac* em ambiente estuarino.

Com o trabalho de campo e simulações de modelos, espera-se identificar e projetar as primeiras consequências diretas da subida do NMM, em ambientes estuarinos (mais concretamente na baía do Seixal), sendo que os ecossistemas de sapal e os sistemas de praias estuarinas/dunas, são os primeiros a ser afetados. Através da simulação da hidrodinâmica na

baía e da dinâmica dos sedimentos, pretende-se fazer simulações e analisar a dinâmica presente e futura (daqui a 100 anos) assim como simular uma proposta de atuação:

- Através de uma simples solução (a acreção sedimentar), os sapais poderão adaptar-se à subida do nível do mar e proteger-nos dessa consequência das ACs. Desta forma os sapais poderão continuar a ser uma solução *win win* no que respeita à Ad e Mi.

Os SE de sapais poderão ser muito úteis para os gerir, valorizar, proteger e recuperar, no curto, médio e longo prazo, motivando planos de ação que poderão ser antropogénicos e que os ajudem a superar a erosão e a submersão provocada pela subida do NMM e conjugação de eventos extremos.

A opção de escrever a dissertação em português, tem como objetivo contribuir com um documento acessível a uma comunidade de diferentes atores que intervêm no terreno (*stakolders*) e que poderão não ser especialistas, trazendo um conhecimento que de modo geral está muito inacessível, geralmente em Inglês (*papers* científicos). É fundamental que cada vez mais se divulgue o conhecimento científico e se passe da teoria à *praxis*, de um forma informada e consciente, evitando-se a perda de sapal e que se tomem medidas de Ac pesadas (tais como a construção de paredões de betão), que apesar de aparentemente mais eficazes, poderão não o ser a longo prazo, assim como outras medidas com impactos negativos muito significativos (tal como o fecho da baía de forma permanente, com comportas).

## 6. Corpo da tese

### 6.1 Sistematização das diferentes soluções de proteção costeira a nível estuarino

Tal como vimos anteriormente, a Ac apresenta vários tipos de possibilidades e soluções. Dentro das soluções de engenharia suave e mista iremos focalizar as soluções através da utilização do ecossistema de sapal:

#### 6.1.1 Defesa Costeira Suave

A defesa costeira “suave” também apelidada de defesa “baseada na natureza”, de que são exemplos a restauração de zonas de sapal para proteção natural, através da regeneração deste, ou a constituição de lagoas artificiais que permitem o aumento da biodiversidade, são já aplicadas com muito sucesso no Sul de França, há mais de 60 anos, e na costa Este do Reino Unido (King & Lester, 1995).

##### 6.1.1.1 Adaptação costeira com sapais

De acordo com os exemplos de Ac com a utilização do ecossistema sapal, vemos dois tipos principais de atuação:

1. Utilização do sapal como barreira (dique horizontal).
2. Utilização do sapal como bacia de retenção para eventuais inundações.

Já em 1995, estudos comparativos e de valoração entre a proteção costeira por sapais *versus* diques (verticais), indicavam os sapais como a defesa mais económica e eficaz para a costa de *Essex* em *East Anglia* (Inglaterra) (King & Lester, 1995).

Em relação ao segundo caso, foram utilizados alguns terrenos agrícolas anteriormente conquistados ao sapal, para fazer uma bacia de retenção em caso de inundação, na Costa Este de Freiston, no Reino Unido (Circle-2, 2013) (fig. 32).



**Fig. 32:** Costa Este de Freiston, no Reino Unido (Circle-2, 2013)

A sobrevivência do sapal implica, no entanto, a manutenção das cotas altimétricas em que ele se desenvolve, que geralmente implicam a alternância de períodos de submersão e/ou alagamento parcial e períodos de emersão. Assim, a deposição de sedimentos é essencial para garantir a adaptação com sapal, tal como aconteceu com a deposição de terras provenientes da abertura de novos túneis do metropolitano de Londres, que detalharemos no ponto 6.5.

#### 6.1.1.2 Adaptação costeira com areia

As faixas arenosas em ambientes estuarinos ocorrem geralmente em ambientes de maior energia relativamente às faixas de sapal, e de acordo com o contexto geomorfológico da zona. Existem várias formas de manter estas importantes faixas de proteção, que também são feitas em contextos de costa/frente de mar:

1. Deposição de areia, em zona subtidal (exemplo do “*Sand Motor*” ao longo da Costa da Holanda (Circle-2, 2013)), em costa de mar mas também no lago IJssel; em Portugal o Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos que implicará uma segunda fase de dragagens, na zona superior da Lagoa, onde os sedimentos provenientes serão depositados em praia imersa, a Sul da embocadura (frente de mar), de forma a alimentar as praias a Sul (Fortunato, 2005);
2. Alimentação artificial de praias, em que a areia é posta diretamente na faixa de praia sem vegetação ( ex. a nível estuarino, a criação de duas zonas de praia artificial na Baía do Seixal com sedimentos provenientes das dragagens dos canais de navegação, feitas nos anos 90, assim como se tem vindo a fazer (2012-13) no desassorimento da zona inferior da Lagoa de Óbidos, deposição direta das areias não contaminadas nas praias adjacentes; em frente de mar, na praia da Costa da Caparica, dragando os sedimento do próprio fundo de mar e com o objetivo primário não do desassoreamento mas do reforço das praias, em recuo/erosão).
3. Alimentação, modelação, proteção e manutenção das dunas, potenciando o revestimento com vegetação e colocação de paliçadas, interdição do pisoteio através da construção de passadiços, e proibindo a passagem de veículos motorizados, etc. (ex: ações feitas ao longo do litoral Português, tais como nas dunas da Crismina, Guincho e mais recentemente nas Dunas da Praia de São João da Caparica (fig. 33 e 34), da Lagoa de Albufeira, etc. sendo exemplos que poderão ser reproduzidos e adaptados a ambientes estuarinos, tais como no caso da Praia do Alfeite, na restinga da Ponta dos Corvos que delimita e separa a Baía do Seixal do Estuário do Tejo).



**Fig. 33 e 34:** Imagens das faixas de vime e plantação de estorno nas dunas da Praia de São João, no seguimento da alimentação artificial de areia ocorrida em 2014. O projeto “ReDuna” foi uma iniciativa da Câmara Municipal de Almada, realizada em colaboração com a Agência Portuguesa do Ambiente, ao abrigo do Programa Operacional Temático de Valorização do Território POVT 2007-2013, do QREN, co-financiado pelo Fundo de Coesão. A intervenção teve o valor de 230 mil Euros. In [http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/DESTAQUES/DETALHE/?ambiente\\_destaque\\_detalle=328074351&cboui=328074351](http://www.m-almada.pt/portal/page/portal/AMBIENTE/DESTAQUES/DETALHE/?ambiente_destaque_detalle=328074351&cboui=328074351)

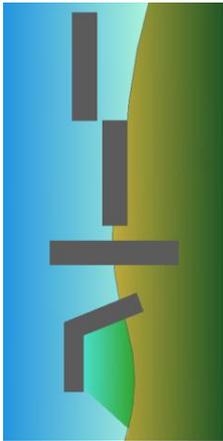
A espécie pioneira *Ammophila arenaria* (estorno) é a geralmente escolhida para colonizar estas dunas em recuperação/estabilização, devido ao seu elevado raizame, com grande capacidade de retenção e fixação da areia e ao facto de o crescimento do estorno ser estimulado sempre que este fica enterrado, ajudando assim a reter e a fixar cada vez mais areia. Outras espécies psamófitas (adaptadas ao substrato arenoso, com falta de água, grandes amplitudes térmicas, instável e dinâmico), foram introduzidas na recuperação das dunas Praia de São João da Caparica, com o objetivo de aumentar a biodiversidade e povoar as clareiras e caminhos mais deteriorados, tais como o cardo-rolador, o cravo-das-areias, a camarinha, o cornichão-das-areias, entre outras.

### 6.1.2 Defesa Costeira pesada

O homem tem progressivamente invadido a faixa litoral, com aterros, vias, construções, etc., tendo posteriormente construído estruturas para tentar proteger essas mesmas construções, tais como diques, esporões, sistemas de comportas, entre outros. Os diques verticais não permitem a atenuação da onda durante o seu deslocamento (tal como o efeito dos “diques horizontais” de um sapal), mas apenas o seu bloqueamento no final junto ao paredão (fig. 35), que em situações extremas poderá originar o seu galgamento, tendo muitas vezes a água dificuldade em retornar ao estuário.



**Fig. 35:** Vista aérea do Seixal. Note-se a muralha ao longo da “Curva da Timbre” e a pequena praia artificial, resultante da deposição de dragagens antigas e onde não existem problemas de inundação. In <http://www.tvi24.iol.pt/foto/13402250>



Um dique, também chamado em engenharia por estrutura costeira aderente, é uma barreira em muro de betão (perfil vertical I, oblíquo /, ou convexo ), ou muro de pedra (muralha) ou enrocamento, muros de *gabions* e /ou colchões *Reno*, ou outro material, e possui sempre as duas pontas em terra; um quebra-mar possui as duas extremidades dentro de água; um molhe ou um esporão, possui uma extremidade em terra e outra no mar (Pereira, 2015; Gomes, 2004) (fig. 36).

**Fig. 36:** Esquema das estruturas de defesa costeira pesada, respetivamente: quebra-mar, dique, esporão e molhe (c. p.- compilação própria).

São estruturas expostas à ação das ondas e devem ser concebidas para a maior intensidade destas. As características locais das ondas são definidas pelas condições meteorológicas e podem ser obtidas pelos modelos de cálculo que definem as características dos fenómenos hidrodinâmicos resultantes da propagação das ondas para as áreas envolventes à zona de localização das estruturas costeiras. A cota de coroamento da estrutura deve prever essa ondulação para eventos extremos (ciclones com ventos fortes e sobre-elevação meteorológica), para a preia-mar de marés vivas equinóciais e/ou a maior cheia dos 100 anos, mas também deverá prever a subida do NMM (fig. 37 e 38).

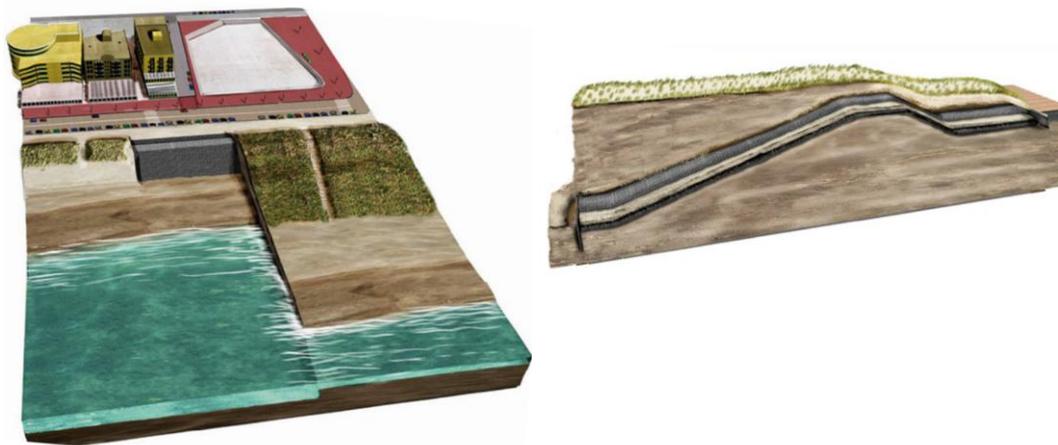


**Fig. 37 e 38:** Zona da “Curva da Timbre”, no Seixal, durante o temporal de 26/10/ 2011, em que o RSL atingiu os 4,3m (ZH) (maré viva equinocial+preia-mar+tempestade) galgou a muralha. *In* [http://mediaserver2.rr.pt/newrr/seixalcheias21089297\\_400x225.jpg](http://mediaserver2.rr.pt/newrr/seixalcheias21089297_400x225.jpg) & <http://www.cm-seixal.pt/seixaljazz/2009/conteudos/Seixal.html>

### 6.1.3 Soluções híbridas ou mistas

A utilização combinada de estruturas pesadas e estruturas suaves, isto é a combinação das soluções construídas em conjunto com as soluções naturais (flexíveis, dinâmicas), tem-se revelado uma boa resposta de Ac, havendo já algumas experiências:

1. A nível da defesa costeira em frente de mar, temos ao o exemplo a nível de defesa de mar do “*Dick in dune*” em Noordwijk, na Holanda (fig. 39), uma duna de areia a revestir um dique construído inclinado que perfaz duas inclinações diferentes, seguido de estabilizada por vegetação (Circle-2, 2013). Experiências similares poderão ser feitas a nível estuarino e mesmo com outro tipo de sedimento e vegetação de sapal.



**Fig. 39:** Representações do “Dick in dune” em perspectiva e corte. In Circle-2 (2013).

A nível de defesa costeira estuarina, na Baía do Seixal, foi implementada uma estrutura costeira de defesa aderente inclinada com colchões Reno (*gabions*) que foi posteriormente colmatada por sedimentos (neste caso naturalmente devido às condições hidrodinâmicas e sedimentares da baía, que veremos mais adiante) e que permitiu o crescimento das plantas de sapal que ajudam na manutenção da estrutura. Desta forma, esta estrutura, embora não tenha sido inicialmente feita com esse intuito, neste momento é considerada uma estrutura de proteção costeira mista (fig. 40).

Mais a Norte, numa zona que apresenta maior hidrodinamismo e menor aporte de sedimentos do Rio Judeu, e onde se fez um declive mais acentuado do colchão de *gabions*, já não se depositam sedimentos e não houve colonização por plantas halófitas, não havendo proteção e estando em mau estado de conservação (já se considera uma estrutura costeira aderente de defesa pesada, fig. 41).



**Fig. 40 e 41:** Crescimento espontâneo de sapal na Baía do Seixal por sedimentação natural, protegendo as estruturas construídas da erosão costeira (colchões *Reno*), que mais a Norte, sem a proteção do sapal se encontram em mau estado de conservação (Maio de 2014 e 2015 respetivamente).

2. Outra solução de proteção costeira mista, é através de uma pequena barreira de pedras, paralela à linha de costa e na zona inter-tidal, tal como foi feito na Costa Oeste da Virgínia (VEEWCS, 2011), conseguindo-se atenuar a energia das ondas e criando condições para a deposição natural de sedimento, protegendo a faixa costeira (na fig. 42 algo arenosa) e possibilitando posteriormente a implementação da vegetação de sapal.



**Fig. 42:** deposição de barreira de pedras ao longo da linha de costa, na zona inter-tidal; note-se a deposição de alguns sacos com ostras (VEEWCS, 2011).

Em outras zonas o barranco que geralmente existe nestas zonas foi suavizado e foi colocada terra e areia entre este e a barreira de pedras e procedeu-se à plantação de vegetação de sapal (Hardaway *et al.* (2010), fig. 43).

Hardaway *et al.* (2010), NOAA (2015) e Bryars *et al.* (2016) apresentam guias práticos e técnicos em que sistematizam, demonstram e enfatizam a utilização de uma série de técnicas de controlo de erosão para faixas costeiras de estuários, baías e

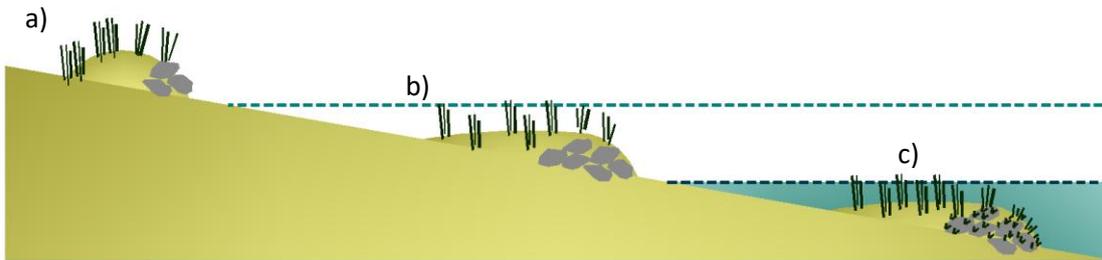
zonas de mar abrigadas, através da utilização de material nativo vivo sozinho ou combinando com material inerte, permitindo a manutenção e resiliência dessas faixas e a existência de vida

(*Living Shorelines*).

Desde os trabalhos pioneiros na Virgínia (Hardaway *et al.*, 2010), cada vez mais surgem estudos e experiências em que não só se utilizam os inertes, mas em que ocorre o uso destes juntamente com plantas, essenciais à estabilização e proteção dos sedimentos (Gracia *et al.*, 2018) e estes, por sua vez essenciais à fixação das plantas. Assim, quando as barreiras/elevações de substrato são colocadas em ambientes sempre submersos, são geralmente plantadas plantas aquáticas (pradarias aquáticas), tais como a *Zostera* sp. em substrato arenoso e as algas como a *Cystoseira* sp., em substrato rochoso. Nas zonas intertidais, são geralmente utilizadas plantas pioneiras de sapal como a *Spartina* sp. Quando a duna/barreira fica sempre emersa, nas zonas costeiras arenosas de dunas, é utilizada a *Ammophila arenaria* e nas zonas estuarinas mais terrígenas e sobretudo abrigadas do vento e ondulação forte, as plantas de sapal superior (fig. 44). Nas zonas tropicais são utilizados os mangais.



**Fig. 43:** Evolução bem sucedida da técnica de barreira de pedras, deposição de areia em rampa de 10:1 ou 10% de inclinação e plantação de *Spartina* sp. na costa Oeste da Virgínia (Hardaway *et al.*, 2010)



**Fig. 44:** Representação esquemática da proteção costeira com faixas de areia/enrocamento e plantação, ao longo da faixa costeira em rampa com aproximadamente 10% de inclinação, em zona supratidal (a), intertidal (b) e infratidal(c), respetivamente (c. p.).

3. Proteção costeira com recifes artificiais de corais, ostras e mexilhões. Efetivamente já não são só utilizadas plantas como também podem ser utilizados animais, tais como a proteção com recifes artificiais de ostras (fig. 42) e sapal, experimentada e estudada por Sharma (2016) no Golfo do México. No entanto, uma vez que as ostras estão vivas, o tempo de emersão deverá ser relativamente curto, ou são utilizadas em zonas que fiquem sempre com algum alagamento. Gracia *et al.* (2018) também referem a utilização de barreiras com mexilhões e barreiras de corais (estes sempre submersos), que funcionam como barreiras atenuadoras da energia cinética das ondas e correntes.

Estas soluções são baseadas nos próprios ecossistemas costeiros que têm alguma capacidade de recuperação e regeneração por serem organismos vivos, e podem fornecer vantagens significativas em relação às abordagens tradicionais de engenharia pesada, que têm de ser recuperadas pelo homem, implicando grandes investimentos. Além disso, eles desempenham um papel vital na redução da suscetibilidade das comunidades costeiras aos perigos através dos seus múltiplos papéis nos processos, incluindo a captura de sedimentos, o aumento do atrito e da rugosidade do sistema e, portanto, a atenuação da energia das ondas (Gracia *et al.*, 2018).

4. Em 1976 foi descoberta uma biotecnologia para a criação de biocalcário no mar, que foi denominada por “Biorock”. Verificou-se que esta era propícia à fixação e ao crescimento de bivalves como as ostras e os mexilhões. Consiste numa rede ou armação em aço (tipo arame) electroestimulada dentro de água ou em solo submerso e/ou intertidal, (através de alimentação por painéis solares), que propicia a fixação e o crescimento dos organismos anteriormente falados, tais como as ostras, os mexilhões, os corais (fig. 45 a 47) e até plantas aquáticas e de baixo sapal como a *Spartina sp.* (fig. 48). Estas experiências têm tido excelentes resultados, nomeadamente a nível da proteção costeira e até a criação de sedimentos de bioclastos que alimentam as praias (Goreau & Prong, 2017).



**Fig. 45, 46 e 47:** Fotografias da estrutura de arame electroestimulado que propicia a existência de recifes artificiais com organismos que atenuam as ondas (Goreau & Prong, 2017).

Uma vez que o foco desta tese é a proteção costeira em ambiente estuarino será dado principal destaque ao ecossistema de sapal.



**Fig. 48:** Elevada taxa de crescimento de *Spartina alternifolia*, numa zona intertidal que já não tinha vegetação devido à toxicidade de resíduos tóxicos, em Nova York, e através da biotecnologia da “Biorock”, conseguiu-se a sua restauração com elevada taxa de crescimento e foi diretamente proporcional à carga elétrica aplicada, vinda do painel solar que alimenta a malha, em segundo plano (Cervino *et al.*, 2012).

## 6.2 O sapal

O sapal é um ambiente intertidal que se desenvolve entre o preia-mar de águas mortas e o preia-mar de águas vivas/máximo. É formado por um ecossistema onde existem plantas halófitas capazes de resistir a níveis variáveis de salinidade, que podem ser muito elevados, por vezes mais elevados que no mar (Almeida, 2009), grandes diferenças de temperatura, ao encharcamento e à falta de oxigénio no sedimento e até mesmo a submersão completa durante a preia-mar e/ou maré viva. Para tal possuem uma série de adaptações físicas que lhes permitem viver em tais ambientes (Lousã, 1986):

- Para evitar a perda de água doce: redução área foliar, caules suculentos, raízes complexas;
- Para conseguir excretar o sal em excesso, possuem glândulas epidérmicas exócrinas. Efetivamente, segundo Caçador (1986), quando a planta absorve água pelas raízes, vai



absorver também sais, e o principal mecanismo para o expelir é a eliminação de iões através de glândulas epidérmicas, que por vezes se deposita na parte externa da planta conferindo-lhe um sabor salgado ou um aspeto esbranquiçado, como no caso do *Halimione portulacoides* e *Atriplex halimus*, respetivamente (fig. 49).

**Fig. 49:** Pormenor das folhas de *Halimione portulacoides* e *Atriplex halimus*, duas espécies de sapal esbranquiçadas devido à excreção de sal pelas glândulas exócrinas epidérmicas da folha (Abril de 2018, Baía do Seixal).



**Fig. 50:** Pormenor da parte aérea (sem folhas e com caules suculentos) das espécies pioneiras *Sarcocornia perennis* ssp. *perennis* e *Sarcocornia fruticosa* (Abril de 2018, Baía do Seixal).

- Desenvolvimento da suculência nos caules e folhas modificadas, que resulta no aumento da relação volume/área externa, tal como acontece nos géneros *Salicornia* (fig. 50) e *Salsola*. Na presença de grande concentração de sódio no meio externo, há absorção de alguns iões, como o potássio e sódio, ao contrário das glicófitas, que tendem à exclusão destes. As halófitas são únicas na sua capacidade de acumular sais nas suas folhas e caules, em concentrações iguais ou superiores às da água do mar, sem prejuízo para a planta. Essa acumulação iónica permite a manutenção do elevado conteúdo hídrico na célula, mesmo na presença de baixo potencial hídrico externo em salinidades elevadas (Flowers *et al.*, 1977).

- Desenvolvimento de estruturas denominadas de aerênquimas, que permitem levar o oxigénio desde a parte aérea à subterrânea, em condições de encharcamento.

### 6.3 Funções do Ecosistema de Sapal

Como vimos, o Sapal poderá ser uma importante medida de **Mi** (sequestro natural do carbono) mas também de **Ad**, como a defesa costeira natural perante a subida do GSML. No entanto, existem outras funções que serão também abordadas.

#### 6.3.1 Habitat de elevada biodiversidade

O sapal é um ecossistema grande importância ecológica. Para além da diversidade vegetal (Ferreira *et al.*, 2005), serve de abrigo e alimento a uma enorme diversidade, principalmente como habitat de aves aquáticas, migratórias ou não (fig. 51). É também um importante berço e fonte de alimento para muitos organismos aquáticos e bentónicos (peixes, crustáceos, etc.), e mesmo micro-organismos que vivem no sedimento (Costa, 2007).



**Fig. 51:** Fotografia do sapal de Corroios fornecendo habitat e alimento a um bando de flamingos (Dezembro de 2013).

### 6.3.2 Retenção de Poluentes

As plantas halófitas de sapal possuem adaptações que lhes permitem viver em ambientes com concentrações que podem ser elevadas de metais pesados, presentes no sedimento e na coluna de água, devido à ação antrópica (poluição industrial e doméstica histórica e atual). Desta forma, as plantas de sapal conseguem armazenar e imobilizar poluentes e metais pesados tais como o Zn, Pb, Cu, Cd, Cr, Ni e Co através do sistema radicular em rizoconcreções de óxidos de Fe e Mn, ou mesmo absorvê-los e imobilizá-los em compostos orgânicos ou em bolsas especiais nos seus tecidos na parte aérea da planta (Caçador, 2001).



As plantas de sapal têm assim a capacidade de imobilizar e armazenar metais, por acumulação na biomassa (subterrânea e/ou aérea), ou no rizosedimento (sedimento circundante à parte subterrânea) através da modificação de características físico-químicas destes últimos, que afetam a mobilidade dos metais que aí ocorrem (Pedro, S. (2014).

Devido a esta capacidade, os sapais apresentam um papel muito importante a nível ecológico, uma vez que muitos sistemas estuarinos apresentam contaminação antropogénica histórica. As plantas podem imobilizar as espécies químicas ao nível da rizosfera (fig. 52), e por esta razão, têm sido cada vez mais utilizadas em processos de fito-remediação (para reduzir a contaminação) e de fito-estabilização (diminuir a mobilidade dos contaminantes) (Caçador *et al.*, 2009).

Fig. 52 : Rizoconcreção em *Aster tripolium* do sapal de Corroios (Caçador, 2001).

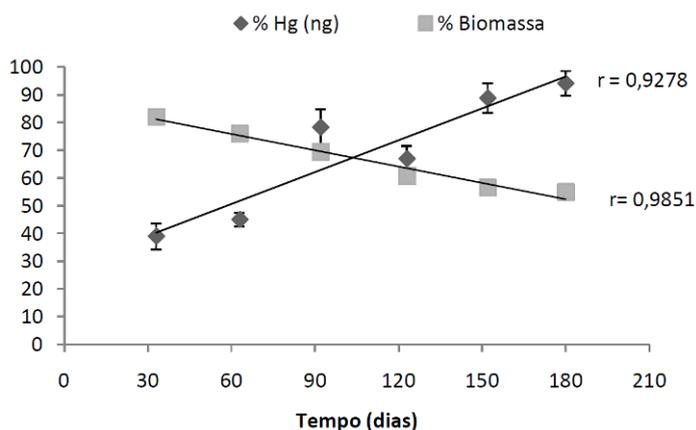
Esta função, embora geralmente desconhecida é das mais importantes, pois vai permitir a depuração e a indisponibilização destes poluentes para os outros animais do ecossistema, a melhoria da qualidade da água e do sedimento, essenciais às atividades sócio-económicas que se desenvolvem nos meios estuarinos (orizicultura, salinicultura, aquacultura, apanha de bivalves e iscos para a pesca, pesca, etc).

Os sapais representam assim valiosas zonas de “descontaminação natural” dos ecossistemas estuarinos (Caçador *et al.*, 1995).

Segundo Marques (2010), estas plantas conseguem armazenar na parte subterrânea e na parte aérea um dos mais perigosos contaminantes aquáticos: o Mercúrio (Hg). Nos ecossistemas, o mercúrio inorgânico, pode converter-se em formas ainda mais tóxicas, como por exemplo o metilmercúrio (MeHg). A toxicidade dos compostos orgânicos do mercúrio é elevada uma vez que é em grande parte solúvel em lípidos, o que aumenta o potencial de absorção biológico e a sua bio-concentração (Válega *et al.*, 2008), passando pela cadeia alimentar até nós, através do consumo de peixe, por exemplo, tal como acontece com outros metais pesados como o Chumbo (Pb).

Na figura 53, pode ver-se que ao longo dos 6 meses de decomposição da parte subterrânea da planta, a percentagem de concentração de mercúrio na biomassa remanescente da parte subterrânea da planta aumenta com a diminuição da biomassa. Portanto, verifica-se que ao fim de 180 dias de decomposição, a percentagem de mercúrio que retorna ao rizosedimento, proporcionalmente à biomassa perdida, é maior. Mais especificamente 6% da concentração inicial de mercúrio volta para o rizosedimento. Tendo em conta a mediana da concentração

anual de mercúrio ( $0,9 \text{ ng Hg mg}^{-1}$ ), aproximadamente  $0,05 \text{ ng}$  de mercúrio por cada  $\text{mg}$  de biomassa subterrânea da planta volta para o sedimento. Considerando que a média anual de biomassa subterrânea, à profundidade de  $15 \text{ cm}$ , é de  $219 \text{ g m}^{-2}$  e que  $45\%$  é decomposta após  $180$  dias, pode concluir-se que ao final de  $6$  meses aproximadamente  $5 \text{ mg}$  de mercúrio por  $\text{m}^{-2}$  passam para o rizosedimento. Ora a destruição do sapal vai provocar a mobilização do sedimento e com ele todos os poluentes que até aí estavam retidos e/ou indisponíveis.



**Fig. 53:** Percentagem de biomassa remanescente na parte subterrânea versus percentagem de mercúrio na biomassa não mineralizada das plantas de sapal da espécie *Juncus maritimus* (média  $\pm$  erro padrão,  $N=5$ ) (Marques, 2010).

### 6.3.3 Reciclador do Azoto (desnitrificante)

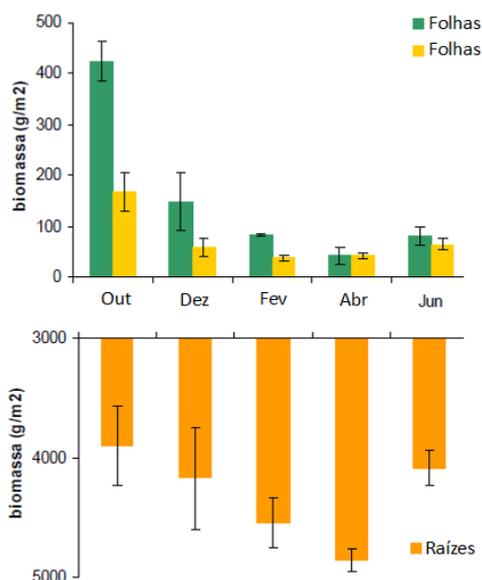
Piehlert e Smyth (2011) demonstraram que os sapais de água temperada têm um papel importante no ciclo do Azoto, pois apresentam taxas significativas de desnitrificação naturais, devido à presença de bactérias que reduzem os nitratos ( $\text{NO}_3$ ) em azoto gasoso ( $\text{N}_2$ ) que volta à atmosfera e despolui a água de uma possível eutrofização devido ao excesso de nutrientes (de origem em fertilizantes inorgânicos, adubos e detergentes).

A eutrofização é um grave problema que afeta muitos sistemas estuarinos e os sapais são muito importantes, diminuindo o aporte de excesso de nutrientes e melhorando a qualidade da água, mas também da água que vai para o mar, e assim irá beneficiar também a qualidade da água das pradarias marinhas, evitando o excesso de nutrientes e a proliferação das algas e fitoplâncton em quantidades nocivas aos ecossistemas, Ferreira *et al.* (2005). Sousa *et al.* (2008) demonstraram a importância da dinâmica de nutrientes, nomeadamente o azoto, entre os detritos da parte subterrânea da *Spartina maritima* e o rizosedimento.

### 6.3.4 Retenção de carbono, de sedimentos e proteção costeira

O grande hidrodinamismo das marés nos estuários são os responsáveis pelo acarreio dos sedimentos, que promovem pequenas elevações de substrato, que permitem a fixação das plantas halófitas. Estas por sua vez são cruciais no processo de sedimentação, pois por um lado têm a capacidade de criar ambientes de baixa energia e reter os resíduos transportados pelas marés (funcionando como filtros), e por outro lado constituem uma importante fonte de detritos vegetais que permite o sequestro de carbono (em condições de anóxia) e a elevação gradual do substrato.

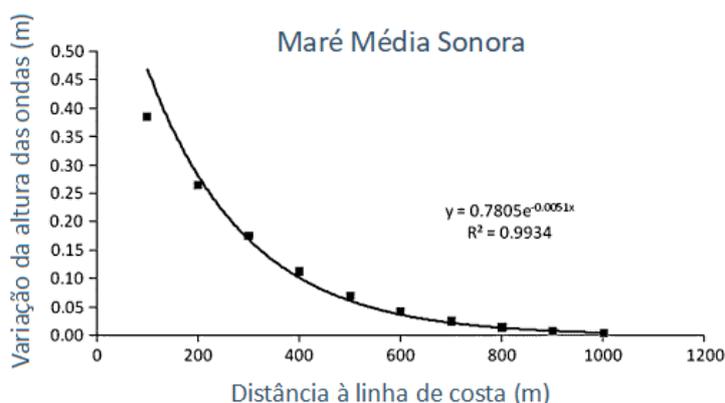
A produtividade primária dos sapais (fig. 54) e consequente sequestro de carbono, é afetada por vários parâmetros que se encontram correlacionados, tais como: a salinidade, o pH, a temperatura, o hidrodinamismo, a composição e dimensão do sedimento, a duração da imersão devido às marés (Sousa *et al.*, 2008).



**Fig. 54:** A elevada produtividade primária das espécies vegetais de sapal concentra-se no seu extenso raizame, neste caso da *Spartina maritima* (característica do sapal baixo) responsável pelo elevado sequestro de carbono, retenção de sedimentos e de resíduos (traduzido de Caçador *et al.*, 2005).

As diferentes espécies evoluem em sucessões vegetais desde o baixo sapal (que se desenvolve até ao preia-mar médio) ao alto sapal, à medida que a cota vai subindo e o período de submersão diminui, até darem lugar às plantas não halófitas. Assim, os sapais são um importante meio de transição para terra não salina e constituem uma proteção uma vez que defendem das correntes de maré, pequena ondulação e erosão costeira a que estes ambientes estão sujeitos na maré cheia.

Através do efeito de atrito e obstáculo imposto pela vegetação do sapal, dá-se uma diminuição substancial da velocidade, altura e duração das ondas (fig. 55, para o caso do mangal).



**Fig. 55:** Atenuação não linear da altura das ondas à medida que atravessam um mangal (Koch *et al.*, 2009).

Simas *et al.* (2001), entre outros estudos e modelos, confirma a capacidade dos sapais como atenuadoras dos efeitos das ACs, nomeadamente quanto aos eventos extremos. Este atributo advém da extensão, exposição e orientação do sapal face à costa, e do nível de consolidação das comunidades vegetais, pois permite a diminuição da energia da onda no caso de um *tsunami* ou tempestade, diminuindo também possíveis impactos devastadores para as atividades humanas.

A proteção costeira dos sapais deve-se à redução da altura, duração e velocidade das ondas, assim como servem para a atenuação em eventos extremos, como bolsas de retenção e armazenamento de água.

Os sapais por serem sistemas vivos, apresentam uma natureza dinâmica, com capacidade de se adaptar à subida do nível do mar, o que os torna muito importantes para a proteção costeira. Em áreas em subsidência (descida vertical devido a extração de aquíferos, etc.) e com fornecimento abundante de sedimentos foi reportado um acréscimo em altura nos sapais a uma taxa superior a 20 mm.ano<sup>-1</sup>. Efetivamente, segundo a experiência com um dispositivo que simula em laboratório os processos de sedimentação para ausência e diferentes densidades de sapal, Graham & Manning (2005), provaram que a vegetação do sapal propicia os processos de floculação e de sedimentação dos sedimentos coesivos no fundo, ao diminuir a velocidade da corrente com o atrito que provoca com o seu emaranhado de ramos.

No entanto, se o sapal não tiver condições para se adaptar (acrécimo de sedimentos ou espaço para recuar para cotas mais elevadas), poderá deteriorar-se e desaparecer (Loon-Steensma, 2013).

#### 6.4 A degradação e a perda de sapal

Existem fatores antrópicos, tais como a poluição, o pisoteio, a conquista de terras e alteração de usos para caminhos, estradas, indústria, urbanismo, turismo, agricultura, que afetam o ecossistema a um nível superior, a um nível médio (presença de atividades sócio-económicas como a aquacultura a rizicultura e a salinicultura) e a um nível inferior (dragagens para a manutenção da navegabilidade de canais ou para a construção civil, ou pela diminuição do aporte de sedimentos devido à construção de barragens a montante). Temos ainda a introdução de espécies não nativas que se passa a todos os níveis, mesmo ao nível das espécies animais do sedimento como os bivalves, que podem causar desequilíbrios ecológicos e a diminuição da biodiversidade, a construção de estaleiros navais e estruturas de defesa costeira, etc. (fig. 56).



**Fig. 56:** Fatores antrópicos e climáticos (a azul) que poderão degradar e destruir o Ecossistemas de Sapal, c. p.

Desde 1900 foram destruídas 50% das zonas húmidas mundiais (UNWWAP, 2003; TEEB 2011). Alguns países perderam mais de 80% para a aquacultura, sobre-exploração e devido ao efeito tempestades. A taxa de perda de zonas húmidas em alguns locais foi de 20% ao ano.

Com o crescimento da população, o aumento da pressão sobre os sapais cresceu. Mas há ainda uma ameaça mais vasta que afetará todos os ecossistemas de sapal, a nível mundial, as ACs, nomeadamente o aumento de temperatura, a alteração da pluviosidade, a subida do nível do mar, e o aumento da frequência e intensidade das tempestades. Estes dois últimos têm sido os principais motivos pela complexa rede de fatores que têm vindo a diminuir a existência

do sapal em algumas zonas da costa, tal como a Inglesa, uma vez que os fatores antrópicos estão estabilizados (fig. 57).



**Fig. 57:** Erosão e perda de sapal, em *St. Lawrence Bay, Blackwater Estuary*, Inglaterra, (Março 2000) in Van der Wal & Pye (2004).

Pye & French (1992), estimaram que a que a subida relativa do nível do mar resultaria na perda de  $8-10 \times 10^3$  ha de sapais e salinas em Inglaterra entre 1993 e 2013. A estimativa de UKBAP (1999) para a perda de sapal é de  $100 \text{ ha ano}^{-1}$ . Daí que os ingleses tenham já larga experiência na recuperação de sapais, como iremos ver.

O aumento do NMM (levando em conta mudanças isostáticas), tempestades e mudanças na disponibilidade e no movimento de sedimentos já estão a ter consequências e efeitos sobre os sapais, e as projeções das alterações climáticas indicam que esses fenómenos climáticos irão agravar-se (NE & RSPB, 2014). Os impactos de um aumento do nível do mar na comunidade de sapal, sobre a redução da área e a alteração da sua composição vegetal, são provavelmente maiores que os impactes do aumento de temperatura e da diminuição da precipitação previstos. Os sapais estão habituados à mudança, pois vivem num ambiente de transição, onde haja sedimentos conseguem subir verticalmente (Hughes, 2004; Graham & Manning, 2005) ou conseguem migrar para o interior para cotas mais elevadas (Mossman *et al.*, 2013), portanto, existe algum potencial para medidas de *Ad* para reduzir os riscos da sua perda (NE & RSPB, 2014).

A viabilidade dos sapais garantirem a sua importante função de defesa costeira, depende fortemente sobre sua capacidade de manter a elevação relativa dentro do quadro da maré. Isso depende, em parte, da acumulação das partículas suspensas na coluna de água a uma taxa de sedimentação suficiente para acompanhar o ritmo da subida do NMM (Allen, 2000). Ou seja, se o sapal não tiver uma taxa de sedimentação dos sedimentos coesivos suspensos na coluna de água igual ou superior à taxa de subida do nível do mar, não poderá compensar esse aumento e desaparecerá ou recuará para cotas mais elevadas de terra. No entanto, se esse recuo não for possível devido à ocupação com infraestruturas, como estruturas de proteção costeira pesada (muralhas, enrocamento, etc.), o sapal acabará por desaparecer.

Com a subida do NMM, um aumento nos padrões de defesa contra inundações pode resultar num aumento da construção dessas defesas costeiras pesadas, ou mesmo um aumento em estratégias de ataque, em que o paredão existente pode ser ampliado e invadir ainda mais as zonas intertidais, assim como a construção de novas defesas poderão resultar em mudanças na dinâmica dos sedimentos e a destruição acumulada dos sapais. Por sua vez a perda de sapal levará à perda desta proteção natural e a um aumento da energia das ondas atingindo as mesmas estruturas de defesa, com maiores impactos em custos de manutenção (NE & RSPB, 2014).

Em Portugal, no Estuário do Tejo, segundo o projeto *Morfeed*, baseado no trabalho de Silva (2013), alguns sapais como o de Corroios poderão estar em risco, uma vez que haverá

uma altura no tempo em que a taxa de sedimentação será inferior à taxa de aumento do nível do mar.

Esta projeção baseia-se em datações radiométricas (com os isótopos  $^{210}\text{Pb}$ ,  $^{137}\text{Cs}$  e  $^{14}\text{C}$ ) em amostras de 4 sapais do Estuário do Tejo (Pancas, Mouchão da Póvoa, Corroios e Trancão) para determinar as respetivas taxas de sedimentação.

Assumiui-se uma amplitude de marés invariante e fez-se a extrapolação linear das taxas de sedimentação obtidas, e determinou-se que os sapais de Pancas e do Mouchão da Póvoa (com acreções de  $22 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $14 \text{ mm.ano}^{-1}$ , respetivamente) conseguirão manter-se a par da subida do NMM expectável até 2100. Os sapais de Corroios e do Trancão (com acreções de  $6 \text{ mm.ano}^{-1}$  e  $7 \text{ mm.ano}^{-1}$ , respetivamente) enfrentam uma situação mais delicada face aos cenários de subida do NMM mais gravosos. Desta forma, os sapais do sector superior do estuário conseguirão evoluir e a expandir-se em cenários de subida do NMM, podendo vir a sofrer processos de terrestrialização quando atingirem o preia-mar de águas-vivas (PMAV). Os sapais do sector médio/inferior, onde se inclui o sapal de Corroios, serão também capazes de fazer face a alguns cenários de subida do NMM, mas face a cenários mais extremos podem vir a “sofrer uma evolução para ambientes intertidais mais baixos.” (Silva, 2013).

Tal como referido, se as plantas de sapal tiverem espaço para ocupar cotas mais elevadas, elas vão progressivamente fazê-lo à medida que o NMM sobe (Psuty *et al.*, 1982; Moreira, 1992; Cahoon *et al.*, 2002). No entanto, quando existem diques e taludes elevados, a sua progressão para o interior não é possível (Moreira, 1992), havendo uma compressão do sapal ou o seu desaparecimento (Mossman *et al.*, 2013).

Segundo o relatório da AML (2019) “o desaparecimento das áreas de sapal e de intermareal tem sido constatado nas últimas décadas, podendo determinar uma redução das populações de aves aquáticas, se a tendência atual se mantiver. A ultrapassagem desta situação, permitindo que os sapais e as zonas de intermareal se restabeleçam em pontos de cota mais alta, obrigaria à remoção dos diques, opção que em muitos locais levaria à inundação de campos agrícolas e das áreas urbanas adjacentes e levando a prejuízos económicos”.

Como mais à frente vamos verificar, no caso de estudo desta tese, para a Baía do Seixal, tem-se verificado e demonstra-se através da análise da fotografia aérea (desde 1998), uma perda de sapal, com recuos acentuados da sua área até ao desaparecimento de pequenas ilhas, especialmente no Sapal de Corroios. Perguntamos então o que poderemos fazer para evitar a perda deste ecossistema tão importante e necessário?

## 6.5 Formas de recuperação do sapal

Uma das soluções menos dispendiosas de ajudar o sapal a acompanhar a subida do nível do mar, é a deposição intencional de sedimentos finos (materiais franco-argilosos a argilosos, lamas), não poluídos, nomeadamente em canais, que serão posteriormente carreados pelas marés e acabarão por ficar retidos no sapal e gradualmente elevar a cota sedimentar deste (Loon-Steensma, 2013), mesmo em sapais sem a possibilidade de recuo horizontal (por infraestruturas construídas pré-existent).

Como foi referido, a presença, sobrevivência e resiliência do sapal está interdependente da presença de substrato e a cota a que este se encontra, pois as plantas não conseguem sobreviver muitas horas em submersão total, e outras precisam de conservar algumas partes de fora de água. Assim, a adição de sedimento em zonas de risco e de desaparecimento do

sapal perante a subida do nível do mar e a possibilidade do seu avanço planimétrico (recoo do sapal), é essencial.

Existem outras formas de recuperação e proteção do sapal, tais como a eliminação de espécies vegetais invasivas, a construção de estruturas de proteção, tais como passagens elevadas para evitar o pisoteio e algumas das estruturas de proteção costeira suave que vimos anteriormente, sendo estas as mais dispendiosas juntamente com a plantação direta de plantas de sapal e a recriação de bancos de sedimento, plantados.

Na Costa Este do Reino Unido, começam a surgir os primeiros exemplos de *Ac* em que da pesquisa e do estudo já se passou à ação. É o caso do Projeto Europeu de Restauração de Zonas Húmidas (*Wallasea Island Wild Coast Project to the European Rewilding Network<sup>1</sup>*). Através da deposição estratégica e planeada de 3 milhões de toneladas de terras geradas pela escavação de dois túneis ferroviários com 20 quilómetros de extensão do metropolitano de Londres (*Crossrail*), conseguiu-se fazer a recriação de ilhas, lagoas e canais, numa área total de 850 ha, que possibilitaram a existência de rasos de maré, de sapal, de lagoas salobras, pastagens, pântanos de água doce e terras aráveis. É um projeto de engenharia, aliada à conservação da natureza, que representa a maior área de zonas húmidas marinhas do Reino Unido com intervenção antrópica.

Embora o desenvolvimento da ilha de Wallasea - agora uma reserva gerida pela Sociedade Real para a Proteção das Aves (RSPB) - continue até cerca de 2021, o número crescente de visitantes pode testemunhar os progressos, à medida que cada fase ganha vida e o sapal vai crescendo naturalmente.

Trata-se de um projeto diferente de muitos outros, dada a sua escala a nível da paisagem. Para além de proporcionar novas possibilidades de recriação e reconexão com a natureza selvagem, deverá reduzir a ameaça de inundações locais, ao criar uma habitat de baixa altitude, tendo-se removido as anteriores secções de defesa costeira, “de baixa qualidade”, que poderiam falhar, danificando um sítio vizinho pertencente à Rede Natura 2000.

Com o aumento do ecossistema de sapal e rasos de maré, aumentar-se-á a disponibilidade de alimentos para as aves limícolas e zonas de habitat (solução *win win*), tendo sido já registadas novas zonas de reprodução para muitas espécies.

O cuidadoso projeto de paisagismo e a instalação de estruturas de controle de água permitirão que o local desenvolva uma elevada biodiversidade. Este projeto faz parte de um movimento florescente de *Ad* a nível Europeu, com projetos a decorrer em várias frentes. O objetivo da ERN (European Rewilding Network) é conectar, apoiar e fortalecer os diferentes projetos em curso. A ERN apresentou um crescimento impressionante desde o seu lançamento no WILD10, o *World Wilderness Congress* em Salamanca em Outubro de 2013. Ela opera com a filosofia de que “juntos somos mais fortes”, promovendo o *rewilding* como uma abordagem de conservação. Os membros reúnem-se regularmente, geralmente por meio da *web*, para partilhar os conhecimentos adquiridos, impressões e exemplos das melhores práticas.

1 - <https://rewildingeurope.com/news/the-european-rewilding-network-welcomes-the-uks-largest-coastal-wetland-creation-project/>

## 6.6 Serviços de ecossistema sapal

### 6.6.1 Serviços de ecossistema

Os serviços de ecossistema (SE) são os benefícios que a natureza, ou determinado(s) ecossistema(s), nos proporciona e fornece (TEEB, 2011, 2013; Millennium Ecosystem Assessment, 2005a). Estes podem incluir:

- Serviços de provisão: os bens e produtos extraídos dos ecossistemas, por exemplo, alimentos, água, fibras, combustíveis;
- Serviços de regulação: os benefícios obtidos a partir de processos de ecossistemas que regulam por exemplo o clima, erosão, cheias, propagação de doenças, qualidade da água, poluição, resíduos;
- Serviços culturais, os benefícios não materiais obtidos através dos ecossistemas, por exemplo, o conhecimento científico, recreação, turismo, estética e paisagem, benefícios espirituais, de ética e valores;
- Serviços de suporte ou de apoio, necessários para a produção de todos os outros serviços do ecossistema, por exemplo, a formação de solo, a fotossíntese, a reciclagem de nutrientes.

Os beneficiários destes serviços podem ser à escala local, regional e/ou global e podem incluir gerações futuras.

Segundo TEEB (2011), a degradação dos ecossistemas traz custos para as empresas e sociedade: o número de setores que beneficiam de capital natural representa uma parte muito maior da economia do que muitos decisores políticos creem. Os Incentivos não estão a chegar para incentivar práticas sustentáveis ou para distribuir os custos e os benefícios de forma eficiente e justa.

O desequilíbrio entre o ganho privado e perda do bem público percorre a maior parte das políticas atuais. Compreender o valor dos ecossistemas é fundamental para informar as “trade-offs”, ou contra-partidas, na tomada de decisão sobre a alteração de uso e gestão dos ecossistemas. Quando o verdadeiro valor dos serviços dos ecossistemas é considerado, as tradicionais contra-partidas e compensações podem ser consideradas como inaceitáveis.

Os SE podem servir como um modo de facilitar uma avaliação transparente de “trade-offs” através da utilização de um conjunto comum de medidas, o que pode fomentar e favorecer o diálogo entre os grupos com diferentes interesses e convicções e aumentar a probabilidade de eles poderem projetar e implementar planos de gestão que sejam mutuamente aceitáveis. Consegue-se assim uma inter-relação entre os diferentes grupos/interesses/fatores ecológicos, sociais, económicos e institucionais (políticos). Uma linguagem comum facilmente entendível, onde os diferentes grupos possam expressar as suas preferências, fazer comparações e avaliar as contra-partidas e as compensações, de forma a minimizar o desentendimento e a competição de interesses, conseguindo-se chegar a soluções e por vezes até encontrar sinergias, que podem ser importantes num processo participativo, descrito mais à frente. Os SE conseguem assim transpor o conhecimento científico para quem decide de uma forma credível, acessível, entendível e expedita (Granek, 2009).

Segundo TEEB (2011), o custo de agir para manter os ecossistemas e os serviços ambientais pode ser significativamente menor do que o custo da falta de ação. Entender o potencial de substituição limitada dos SE e da escala dos impactos sócio-económicos causados pela perda ou degradação do capital natural, é fundamental para as políticas que visam a integração das preocupações ambientais, económicas e sociais.

Encontrar substitutos para os SE como a provisão de alimentos, a purificação da água, etc., pode levar a custos socio-económicos muito mais elevados e fora do alcance de alguns grupos sociais, e pode levar à perda potencial de outros SE, que não se poderão mitigar ou substituir (por exemplo, a extinção de espécies).

Investir na “infraestrutura” ecológica pode oferecer um retorno maior do que as alternativas criadas pelo homem e, portanto, tem sentido do ponto de vista económico. Desta forma, a proteção dos ecossistemas, a manutenção dos seus SE, a sua valorização e proteção, poderá ser a resposta mais eficaz.

### 6.6.2 Funções de ecossistema de sapal

Segundo Granek (2009) embora os SE dependam das funções do ecossistema, os dois não são sinónimos. Um serviço de ecossistema é algo que beneficia as pessoas. Sem a procura humana para dada função de ecossistema, o serviço deste não existe. Passar de funções do ecossistema para serviços normalmente exige alteração de unidades de medida. Por exemplo, os sapais fornecem habitat e alimento para os peixes juvenis (função do ecossistema), que pode contribuir para o aumento da pesca comercial e recreativa (serviço do ecossistema), e atenuação das ondas (função do ecossistema), que pode proteger a propriedade e fazer a defesa costeira (serviço do ecossistema). Assim, uma função do ecossistema pode suportar múltiplos SE. Similarmente, múltiplas funções de ecossistema de um ou mais habitats podem contribuir para um único SE (Tabela 2).

**Tab. 2:** Listagem de Funções de Ecossistema de Sapal e os múltiplos serviços que uma função ou conjunto de funções pode proporcionar, adaptado de Granek (2009).

<u>Serviços Ecos.</u> <u>Função E</u>	Proteção costeira	Sequestro poluentes	Sequestro de Car.	Regulação Climática	Controlo erosão	Produção peixe/bival.	Produção Aquacultura	Qualidade água	Uso culinário	Farma-cêuticos	Recreação	Turismo
Biodiversidade						X			X	X	X	X
Ciclo do Carbono			X	X								
Evapotranspiração			X	X					X	X		
Habitat						X	X					
Áreas de berçário						X						X
Dinâmica População						X					X	X
Ciclo nutrientes		X				X	X	X				
Ciclo poluentes		X				X	X	X				
Retenção sedimento	X	X			X		X	X	X	X		
Aten. das ondas	X				X		X					

Existem espécies vegetais de sapal como a *Sarcocornia perennis* que são muito apreciadas devido ao seu sabor salgado suave, e cada vez se usam mais na culinária, atingindo preços muito elevados. Pereira (2012) estuda esta halófito para cultivo, uma vez que possui diversas utilidades, sendo elas principalmente a produção de biodiesel a partir das sementes, consumo humano e animais zootécnicos, fabricação de sal e de conservas, benefícios ambientais, entre outros. Nos solos salinizados e não produtivos, esta halófito poderá ser plantada, a partir do método de reprodução vegetativa por estaca, que se mostrou viável, sendo bastante superior à produção a partir de sementes (fig. 58). Os métodos de cultivo foram testados com objetivo de produção de brotos/rebentos para saladas, e foi constatado que a salinidade do solo influencia diretamente na qualidade dos brotos. A irrigação com água do mar foi eficiente para fornecer iões de sais aos brotos, e a utilização de efluentes de aquicultura com fertilizantes foi

eficaz. Zonas áridas com solos salinizados e improdutivos, esta poderá ser uma solução, regada com água do mar ou de aquicultura, pois a água não precisa de tratamentos nem de dessalinização. Esta é também uma solução *win win*, dada a elevada produtividade destas plantas e o contributo a nível da diminuição do CO<sub>2</sub> atmosférico (Mi).



**Fig. 58:** Cultivo de *Salicornia sp.* em solos salinizados (e até aí improdutivos) no México. In <http://seawaterfoundation.org>.

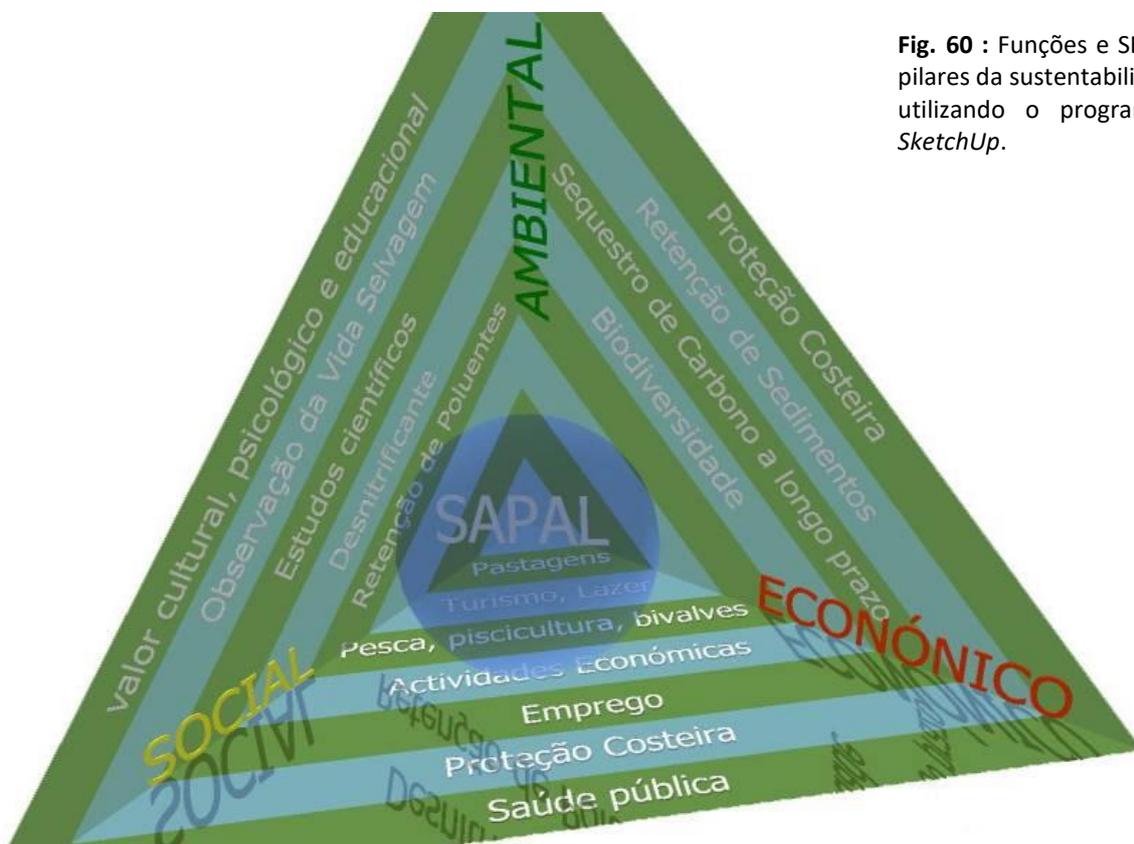
Para além das funções de sapal anteriormente descritas, segundo Bardier (2012) e TEEB (2013), os sapais apresentam ainda as funções de providenciarem uma paisagem única favorável ao habitat para uma fauna e flora muito diversificadas, proporcionando SE tais como o turismo, a recreação, a educação ambiental e a pesquisa científica. São ambientes de rara beleza, onde a natureza ainda se consegue observar, muitas vezes no seu esplendor. Veja-se o potencial do crescente turismo de natureza que é compatível com a preservação destas áreas (caminhadas e “*Bird Watching*”, ligadas à educação ambiental, fig. 59).



**Fig. 59:** Atividade de *Birdwatching* (observação de aves) no Sapal de Corroios (Dezembro de 2016), em abrigo colocado pela ONGA Grupo Flamingo, em parceria com a CMSeixal.

Os sapais, apresentam ainda a função de constituírem uma paisagem cultural, histórica, pois apresentam por vezes vestígios arqueológicos, geralmente Romanos, tais como a Olaria Romana do Seixal (Corroios), salgadeiras de peixe e fabrico do patê de peixe que alimentava as legiões e os mais ricos, e construções mais recentes como os moinhos de maré, antigas indústrias da seca do bacalhau, etc.). O sapal pode apresentar também um significado espiritual e até religioso, o que implica SE tais como a cultura, o legado de valores, a identidade do lugar, e não menos importante os benefícios de bem-estar e de saúde mental.

Podemos sintetizar os vários serviços e funções do ecossistema Sapal, relacionando-os com os três pilares da sustentabilidade sugeridos pelo Relatório de Brundtland, WCED (1987), fala-se mais recentemente na dimensão política que não está expressa na figura 60 (como a regulamentação e ocupação do território).



**Fig. 60** : Funções e SE de Sapal sob os três pilares da sustentabilidade. Compilação pp., utilizando o programa de desenho 3D SketchUp.

Desta forma, os SE podem servir como mais uma ferramenta e uma janela (“Framework”) para inclusão dos benefícios dos ecossistemas na linguagem económica e nas decisões que os afetam. Quanto custa uma vista para a baía? E quanto é que se está disposto a pagar para ver flamingos, ou comer bivalves frescos? A Iniciativa Gulbenkian Oceanos (GOI)<sup>1</sup> pretende ajudar a responder a este tipo de questões, melhorar os conhecimentos científicos, incluindo a perceção do público e político dos benefícios dos ecossistemas marinhos e costeiros, como ativos estratégicos para o desenvolvimento económico sustentável e para o bem-estar humano. GOI também promove a integração do valor económico dos serviços dos ecossistemas marinhos nos processos de tomada de decisão, bem como a adoção de métodos de avaliação monetária para apoiá-los. Já conta com várias publicações e conferências, num trabalho continuado desde 2013.

Na Europa estão também a ser feitas várias iniciativas (Nunes, 2013). A nível mundial destaca-se *The Economics of Ecosystems and Biodiversity* (TEEB), uma iniciativa para realçar os benefícios económicos da biodiversidade. O seu objetivo é destacar o custo crescente da perda da biodiversidade e a degradação dos ecossistemas. TEEB apresenta uma abordagem através dos SE, que pode ajudar quem decide a reconhecer, demonstrar e capturar os valores dos ecossistemas e da biodiversidade, incluindo a forma de incorporar esses valores em tomadas de decisão. As várias publicações e programas são o reflexo desse esforço de divulgação dos SE de vários tipos de ecossistemas, tais como o recente relatório de 2013 sobre zonas húmidas, onde estão incluídos os sapais (TEEB, 2013).

1 - <https://gulbenkian.pt/programas/gulbenkian-oceanos/>

O *Millennium Ecosystem Assessment* (2005), faculta uma avançada auditoria científica sobre o estado e as tendências nos ecossistemas e nos serviços dos ecossistemas mundiais, bem como um estudo das forças motrizes da alteração dos ecossistemas, onde se baseiam posteriormente estudos de diretrizes para a identificação de riscos e oportunidades empresariais e industriais (AESE, 2009).

### 6.6.3 Valoração de Serviços de Ecossistema de Sapal

A valoração de um SE pode funcionar como uma ferramenta para auto-reflexão que nos ajude a repensar a nossa relação para com o ecossistema e nos alerta para as consequências das nossas ações. A valoração também reconhece os custos da conservação e pode promover práticas mais equitativas, efetivas e eficientes (TEBB, 2011).

A valoração poderá ser uma importante ferramenta para a análise de custo-benefício, permitindo incluir os benefícios que obtemos de ecossistemas que geralmente não são tomados em consideração, por não serem tão “óbvios” e facilmente mensuráveis, mas que estão subjacentes, existem e são muito importantes.

O primeiro passo é identificar e compreender todo o conjunto de serviços prestados pelo ecossistema: quais são, o que os ajuda a criar (conhecimento científico credível e acessível/entendível), como se ligam a outras atividades locais (sócio-económicas), quem beneficia e a relação espacial entre a prestação de serviço e o beneficiário.

A segunda etapa é a de expressar as alterações nos serviços de ecossistema em termos monetários. O seu valor por ha depende da natureza do solo, a sua utilização, a proximidade com os grupos populacionais que fazem uso do serviço e a riqueza/prosperidade desses grupos. Os valores reais, obviamente, variam de lugar para lugar e conforme os tipos de usos da terra.

Os SE podem ser traduzidos de diferentes maneiras e métodos, podendo ser apresentados de forma (TEEB, 2013):

- qualitativa (por exemplo, quais as cidades que beneficiam de quais áreas húmidas para a purificação de água ou controle de enchentes);
- quantitativa (por ex. o número de pessoas que beneficiam de água potável);
- em termos monetários (por ex. o valor monetário de defesa costeira, evitou custos de potencial dano por inundação, disposição a pagar por determinado benefício).

Segundo Granek (2009) a avaliação de contra-partidas e compensações entre os interesses dos vários grupos podem ser facilitadas pela avaliação monetária dos SE. Com estimativas monetárias do valor dos serviços ecossistémicos, os benefícios e os prejuízos/perdas para os vários grupos, podem ser avaliados e quantificados com uma métrica comum. Os economistas quantificam os benefícios de um serviço de ecossistema para com um indivíduo em termos de quanto a pessoa está disposta a pagar para obter um aumento no nível de prestação de serviços, ou seja, a vontade/disposição para pagar por determinado bem/serviço (“*wilness to pay*”) que reflete a procura por determinado bem/serviço.

Barbier *et al.* (2011) apresentam um quadro com estimativas feitas por vários estudos para a valoração de diferentes SE, utilizando diferentes métodos e indicadores (Tabela 3).

**Tab. 3:** Exemplos valoração económica de alguns SE de sapais. Adaptado de Barbier *et al* (2011).

Serviços de Ecossistema	Matérias primas e alimentação	Proteção costeira	Purificação da água	Pesca	Sequestro de C	Turismo, recreação, educação e pesquisa
Valor	£15,27 ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	US\$8236 ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	US\$785 a 15000 acre <sup>-1</sup>	US\$6471 acre <sup>-1</sup>	US\$30.50 acre <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup>	£1.20 pessoa <sup>-1</sup>
Motivo	Taxa de rendimento de pastagem para gado	Redução de estragos por furacões	Redução de custos face ao tratamento	Valor ganho na pesca recreativa	Preço de reduções de carbono no mercado Europeu de emissões	Proteção de aves
País/local	Reino Unido	EUA	EUA	Florida EUA		Reino Unido
Estudo/fonte	King & Lester, 1995	Constanza <i>et al.</i> , 2008	Breaux <i>et al.</i> , 1995	Bell, 1997	Chumra <i>et al.</i> , 2003	Birol & Cox, 2007

Segundo Barbier *et al.* (2011), desde há 8000 anos, os humanos têm contado com os sapais para matérias primas e para alimentação (Davy *et al.*, 2009). Os sapais foram e ainda são, embora com menor frequência, usados para colheitas de ervas para o gado e até como pastagens, em países em desenvolvimento como a Índia e desenvolvidos tal como em certas zonas da Inglaterra. No estuário do Rio Ribble (na costa Oeste de Inglaterra) a taxa anual de pastoreio numa reserva é de £15,27ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (King e Lester, 1995) (1ª coluna da Tabela 3).

Para a valoração do SE de proteção costeira dos sapais, existe um estudo na costa Atlântica do Estados Unidos sobre a proteção das zonas húmidas contra furacões, através de modelos (Constanza *et al.*, 2008) que poderá aproximar-nos de uma estimativa real: uma perda de 1 ha de área húmida no modelo, corresponde a uma média de US\$ 33 000 (mediana = US\$ 5000) aumento danos causados por tempestades. Usando esta relação, e tendo em conta a probabilidade anual de furacões de intensidades variadas, mapeou-se o valor anual das zonas húmidas costeiras por pixeis de 1 km × 1 km e por estado. Assim chegou-se a uma média de US \$ 8.236 ha<sup>-1</sup>ano<sup>-1</sup> (mediana = US\$ 3230 ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>). As zonas húmidas costeiras nos EUA foram estimadas para fornecer atualmente US\$23,2 bilhões ano<sup>-1</sup> em serviços de proteção de tempestades. As zonas húmidas costeiras funcionam como um valioso, “*selfmaintaining*” de “diques horizontais” para a proteção contra tempestades, e também fornecer uma série de outros serviços do ecossistema que os diques verticais (construídos) não fornecem, sendo a sua restauração e preservação uma estratégia extremamente rentável para a sociedade (Constanza *et al.*, 2008).

Tal como referido, os sapais são importantes purificadores da água ao reterem os seus poluentes e reciclarem o excesso de nutrientes. Evitam os fenómenos de bioacumulação nos peixes ao purificar a água e nos bivalves ao purificar também o sedimento (rizoconcreções) torna assim os poluentes indisponíveis para os seres vivos do ecossistema e dos outros ecossistemas, não esqueçamos que esta água corre para o mar e assim irá beneficiar também a qualidade da água das pradarias marinhas, evitando o excesso de nutrientes e a proliferação das algas e fitoplâncton em quantidades nocivas aos ecossistemas. No Sudeste do estado de Luisiana (EUA), o tratamento natural das águas de desperdício por sapais economizou US\$785 a 15 000/acre (1acre=0,4 ha), em comparação com o tratamento tradicional destas águas Breaux *et al.* (1995).

Os ecossistemas de sapais também servem para manter a pesca, aumentando a produção de espécies económica e ecologicamente importantes, tais como o camarão, as ostras, os

bivalves, os iscos para a pesca e os próprios peixes (Boesch e Turner 1984, MacKenzie e Dionne 2008).

Em Portugal a ostra lusa (*Crassostrea angulata*), teve grande importância comercial até ao início da década de 70. Os estuários dos rios Tejo e Sado eram então os maiores bancos naturais desta espécie na Europa. Ambos os estuários produziam anualmente dezenas de toneladas de ostra portuguesa, destinadas maioritariamente à exportação, sobretudo para França. Desde os finais de 1866, começou a devastação das ostreiras do Tejo pelos negociantes franceses, e até meados de 1868, época em que uma concessão do governo começou a impedi-la, avaliava-se em 12 milhões de ostras as cifras que os seus navios mercantes levavam para os parques de ostras franceses. Só no Sado, esta atividade chegou a envolver mais de quatro mil pessoas, sendo então uma atividade relevante para a economia local<sup>1</sup>. A concha da ostra também servia como fertilizante, em virtude da grande quantidade de fosfato de cal que contém, e para a indústria cosmética pela composição única em iões e outros componentes. A poluição industrial e doméstica do estuário do Tejo levou em 1925 à proibição da apanha de ostras. Em 1954 foi inaugurado um posto de depuração para salubridade das ostras destinadas a consumo interno (na Moita), mas com o agravamento da poluição a atividade foi mesmo proibida e em 1972 o posto foi extinto<sup>2</sup>. Com a construção naval e a aplicação de um produto para a decapagem dos cascos dos barcos, levou à quase extinção desta espécie cuja concha crescia de forma tortuosa e aprisionava a próprio ser vivo que acabava por morrer, havendo muitas conchas de ostra tortuosas pelas praias, que confirmam este passado.

Atualmente deu-se a invasão/introdução da ostra japonesa (espécie exótica invasora) em estuários franceses, Algarvios, e do Tejo, que apresenta uma elevada produtividade, e por isso pode ter sido introduzida e tem sido explorada ilegalmente e é exportada. O estuário do Sado ainda apresenta bancos de ostra lusa cujos planos de recuperação e exploração estão a ser desenvolvidos pelo IPIMAR e Reserva Natural do Estuário do Sado, de forma a recuperar este património biológico, histórico e cultural. Com a melhoria da qualidade das águas no Estuário do Tejo o Secretário de Estado do Ambiente anunciou em Fevereiro de 2012 a retoma da ostreicultura, numa zona monitorizada da Moita<sup>3</sup>.

As atividades como a apanha de bivalves (embora interditas devido à sua toxicidade), e de apanha de isco para a pesca, são o sustento de muitas pessoas, muitos deles desempregados, que tentam obter algum rendimento, sendo também uma fonte de rendimento extra para pessoas idosas (fig. 61 e 62).



**Fig. 61 e 62:** Apanha ilegal de bivalves na Baía do Seixal<sup>5</sup> por “profissionais” e por recreação, na restinga da PPonta dos Corvos<sup>6</sup>.

1 - [http://www.monumentos.pt/Site/APP\\_PagesUser/SIPA.aspx?id=10468](http://www.monumentos.pt/Site/APP_PagesUser/SIPA.aspx?id=10468)

2 - <http://www.cidades.vidaimobiliaria.com/noticia/ostreicultura-%C3%A9-retomada-no-rio-tejo>

3 - <http://photoscriptos.blogspot.pt/2010/05/pesca-e-apanha-de-bivalves-baia-do-2583.html>

4 - <http://photoscriptos.blogspot.pt/2010/05/pesca-e-apanha-de-bivalves-baia-do-2583.htm>

5 - <http://photos1.blogger.com/blogger/5483/387/1600/Seixal%2C%20apanha%20de%20bivalves.jpg>

No Golfo do México os sapais podem ser responsáveis por 66% do camarão e de 25% da produção de caranguejo azul (Zimmerman *et al.*, 2000). Devido à sua estrutura complexa, os sapais fornecem um habitat que é na maior parte inacessível para peixes grandes, proporcionando assim proteção e abrigo para o aumento do crescimento e sobrevivência dos peixes jovens, camarão, crustáceos e moluscos (Boesch & Turner, 1984). Por exemplo, o valor capitalizado em um acre de sapal em termos de pesca desportiva é estimado em US\$6.471 e US\$981 para o leste e oeste da costa da Flórida (EUA), respectivamente (Bell, 1997). A contribuição de um ha adicional de sapal para o valor da pesca do caranguejo azul na costa do Golfo varia de US\$0.19 para US\$1.89/acre (Freeman, 1991).

Tal como referido anteriormente e segundo Mitsch and Gosselink (2008), os sapais são dos ecossistemas mais produtivos no mundo e sequestram anualmente milhões de toneladas de carbono (mais de  $3900 \text{ g m}^{-2}\text{ano}^{-1}$ ). Segundo Bardier *et al.* (2011), não existe valoração deste serviço de sequestro de carbono para ecossistemas de sapais (de extrema importância uma vez que aprisiona o C a longo prazo, por mais de 1000 anos. Assim, com base em uma estimativa de Chmura *et al.* (2003), de sequestro de carbono permanente por salinas globais, (de  $2,1 \text{ Mg ha}^{-1}$ ) e utilizando o preço de Redução das Emissões de Carbono (CER) (de 23/9/2009) do “European Emission Trading System” (ETS) de € 12.38/Mg convertido para US\$2000, calculou-se um valor de US\$30,50  $\text{ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ , como um indicador aproximado desse benefício, mas é provável que varie muito, dependendo da latitude, pois o aumento de temperatura implica uma maior taxa de decomposição da matéria orgânica.

Os sapais constituem habitats para muitas espécies que são importantes para o turismo, recreação, educação ambiental (fig. 63) e pesquisa científica. Em Inglaterra estimativas de vendas de terras e arrendamentos para sapais sugerem preços na faixa de £ 150-493/acre para caçar aves, como atividade cinegética (“wildfowling”) (King & Lester, 1995). Infelizmente esta é uma prática legal no Reino Unido: caça às aves aquáticas é a prática de caçar patos, gansos ou outras aves aquáticas para alimentação e lazer. Muitos tipos de patos e gansos compartilham o mesmo habitat, têm épocas de caça sobrepostas ou idênticas e são caçados.) Os entrevistados estavam dispostos a pagar £ 31.60 por pessoa para criar habitat para lontras e £ 1,20 por pessoa para proteger as aves no estuário do rio Severn (Birol & Cox, 2007).



**Fig. 63:** Atividade de *Birdwatching* no Sapal de Corroios, organizada pelas ONGAs FAPAS e Grupo Flamingo (2014).

Por fim, TEEB (2013) apresenta uma estimativa baseada em vários estudos dando um valor mínimo e máximo para cada categoria de SE, providenciados pelos sapais e mangais (Tabela 4).

**Tab. 4:** Valores monetários de SE de sapais e mangais (US\$/ha/ano), do ano de 2007. Adaptado de TEEB (2012).

<b>Categoria de Serviços Ecos.</b>	n.º de estudos e estimativas	Valor mínimo (US\$.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )	Valor máximo (US\$.ha <sup>-1</sup> ano <sup>-1</sup> )
Aprovisionamento	35	44	8289
Regulação	26	1914	135361
Habitat	38	27	68795
Culturais	13	10	2904
<b>Total</b>	<b>112</b>	<b>1995</b>	<b>215349</b>

Em ambas as tabelas, verificamos que a maior valoração dos SE de sapal está nos serviços de regulação, efetivamente a proteção costeira e a melhoria da qualidade da água, através da redução de poluentes e reciclagem de excesso de nutrientes, são os SE mais valorosos, incluindo ainda o elevado poder de sequestro de carbono. No entanto, se considerarmos que este sequestro de carbono é de longo termo, as estimativas aumentariam o valor, uma vez que são baseadas no valor do carbono no sistema de “*Cap and Trade*” que considera o carbono de curto ciclo (armazenado nas florestas, etc.).

Neste trabalho será interessante fazer uma estimativa de custos baseada na valoração dos SE de Sapal por TEEB (2012), para o caso de Estudo do Ecossistema de Sapal da Baía do Seixal.

#### 6.6.2 Limitações da valoração dos Serviços de Ecossistemas

Segundo Granek (2009), os SE na sua aproximação económica apresenta algumas limitações devido a:

- Não existirem muitos dados sobre os benefícios dos SE para grupos específicos (*versus* a sociedade como um todo).
- Muitos dos SE podem não ser facilmente reduzidos a valores monetários (por exemplo, valores espirituais e culturais).

As diferenças de pontos de vista entre diferentes grupos podem necessitar de um amplo diálogo e discussão explícita de contra-partidas que provavelmente serão bastante multifacetadas em vez de serem medidas numa moeda comum. Assim, os indicadores não monetários dos benefícios dos ecossistemas poderão ser úteis em algumas situações e podem ser menos dispendiosos e levam menos tempo a aplicar. Estas abordagens podem ser mais adequadas para tratar os valores espirituais, culturais ou estéticos que são muito difíceis de traduzir em termos monetários. Entrevistas pessoais, pesquisas quantitativas e outras análises de investigadores sociais podem gerar evidências sobre as crenças dos indivíduos e grupos e os benefícios que eles tiram dos ecossistemas. A análise da votação de padrões em referendos públicos também podem lançar luz sobre o que é importante para os vários intervenientes.

No entanto, nenhum destes métodos é perfeito. Quando as pessoas estão desinformadas sobre as funções de ecossistemas mais importantes ou outras informações científicas (ou não conseguem entender a relação entre as funções e os serviços com que eles se preocupam), os dados recolhidos através de entrevistas, pesquisas ou valoração económica podem deixar de refletir as crenças e valores subjacentes. A informação qualitativa de entrevistas pode ser vista como com pouco mérito científico (Hall-Arber & Pederson, 1999), e as respostas podem não ser verdadeiras se houver falta de confiança (por exemplo, os pescadores terem medo de

identificar áreas de apanha de bivalves por poderem ficar designadas como áreas de reserva). Além disso, a recolha de informações sobre os benefícios pode ser demorada e dispendiosa.

Um perigo especial na tentativa de incorporar informações sobre o valor monetário dos serviços dos ecossistemas na gestão baseada nos ecossistemas (EBM “Ecosystem-based management”) é que podem ser perdidos detalhes importantes sobre como a gestão ou alternativas políticas possam afetar os ecossistemas e como estas mudanças afetam a prestação de serviços e benefícios para a saúde e bem-estar humano.

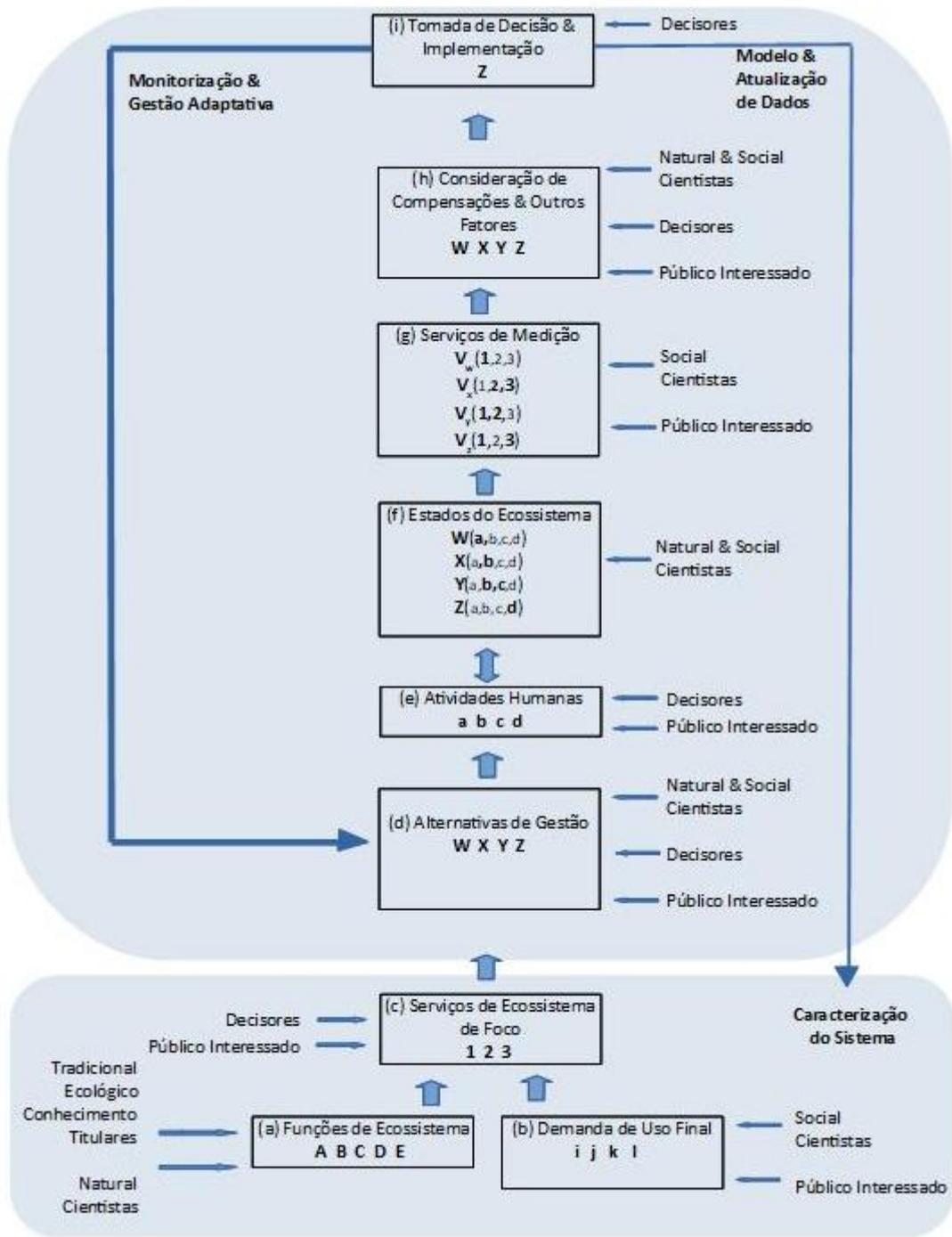
Segundo Andrade & Romeiro (2009), vários estudos têm vindo a por em causa a valoração monetária dos SE, que se considera necessária, embora não suficiente, como meio de avaliação da sua contribuição para o bem-estar humano. Não é suficiente na medida em que nem todas as dimensões ecossistémicas envolvidas são passíveis de atribuição de um preço. Nesse sentido, um grande desafio é aquele do desenvolvimento de um sistema de valoração multi-critério, onde o valor monetário é ponderado com os valores não monetários. As abordagens da valoração monetária podem ser consideradas antropocêntricas e reducionistas, uma vez que o fulcro são as preferências individuais dos consumidores dos SE, apresentando como alternativas a abordagem ecológica e a abordagem de valores, associados a dimensões sócio-culturais. Existe ainda a proposta de valoração dinâmico- integrada, onde os aspetos das abordagens anteriormente apresentadas são salientados e combinados, a fim de fornecer uma visão mais holística dos ecossistemas e aumentar o escopo de análise da valoração dos SE. O objetivo último é, como salienta Sukhdev (2008), aperfeiçoar a “bússola económica” utilizada até então para guiar as sociedades nos caminhos do desenvolvimento (sustentável).

Apesar dos diferentes métodos de valoração, o que importa é compreender como as alterações nas funções dos ecossistemas afetam o fornecimento de serviços ecossistémicos e os benefícios para diversos grupos, só assim se poderá informar as decisões políticas, especialmente no contexto de “trade-offs” entre os diferentes serviços e grupos (Barbier *et al.*, 2008).

## 6.7 Processo de gestão baseada em Ecossistema (EBM)

Segundo Granek (2009) os SE podem ser a base para a gestão do ecossistema que envolve os vários grupos interessados e implica decisões políticas e medidas de gestão. O objetivo central da EBM é o fornecimento sustentável dos SE. Podemos assim esquematizar os passos possíveis para se conseguir um processo de EBM, em que se parte da informação dos SE para as decisões sobre estes. Cada processo de EBM será único, dados os diversos problemas, oportunidades e atores associados, com um lugar específico para ser gerido. É um processo participativo, incluindo o público interessado, os cientistas e os decisores políticos:

- Os conhecimentos tradicionais e o conhecimento científico fornecem as bases científicas para as funções de ecossistemas. O público e os cientistas sociais caracterizam os benefícios destes serviços que os tornam relevantes para o bem-estar humano. Os decisores políticos e o público interessado (ou seja, partes interessadas intervenientes no processo), determinam quais os serviços dos ecossistemas que são importantes o suficiente para incluir no exercício de planeamento (fig. 64).



**Fig. 64:** Esquema de integração dos SE na EBM. As caixas indicam os passos do processo, contendo a informação coletada ou quantificada por variáveis. As setas grossas indicam os fluxos de informação através do processo e as setas pequenas os *inputs* de informação pelos vários participantes (adaptado de Granek, 2009).

Como os ecossistemas e os sistemas sociais são dinâmicos, as decisões deverão ser revistas e monitorizadas regularmente. A informação de base e os modelos representativos do sistema podem ser atualizados menos frequentemente, como indicado pela seta à direita. Estas revisões podem acontecer com base em novas informações, descobertas, dados científicos, no contínuo *input* dos participantes e no sucesso (ou não) dos resultados das próprias medidas tendo em vista a sustentabilidade do ecossistema.

Estes processos participativos não são fáceis de realizar, devem ter uma estrutura, uma equipa destacada para o processo que se insere dentro da análise estratégica, que requer um investimento em informação, divulgação, educação, participação, pesquisa, monitorização, etc. Mesmo assim este processo pode ter falhas, na previsão das alterações que realiza, e pode não garantir voz a todas as partes interessadas. Assim, deverá ter-se especial cuidado na criação de canais de comunicação eficazes para todos os grupos interessados. Apesar destes processos poderem diminuir a manipulação de certos interesses privados, não se pode eliminar a possibilidade, de participação e o envolvimento no processo.

Um conjunto comum de objetivos e, em alguns casos, as novas estruturas de governança, será necessário para apoiar estes processos participativos e constituir um incentivo para diferentes grupos governamentais trabalharem juntos.

Os sapais são ecossistemas de interface entre a terra e o mar/estuários sujeitos a leis de jurisdição e a grande pressão de grupos económicos sendo a sua gestão um desafio. A avaliação com base nos SE para uma EBM inserida num processo participativo será sem dúvida um paço necessário (Granek, 2009).

Na Costa Oeste da Virgínia VEEWCS (2011), foi de notar o esforço de envolvimento com os diferentes agentes num processo integrado de gestão baseada em ecossistemas costeiros, denominado de gestão Integrada da Zona Costeira (Integrated coastal zone management, ICZM). A ICZM enfatiza a integração, sendo provável que se mantenha uma janela (“Framework”) para a Ac. A ICZM é um processo interativo e institucional de longo prazo, que promove a integração das atividades costeiras, os diferentes atores, os legisladores, práticos e teóricos (cientistas), através dos sectores costeiros, espaços e organizações com o objetivo de utilizar os recursos costeiros, de forma sustentável (IPCC, 2014a). Considerando as ACs nesta janela não implicam grandes alterações à ICZM, uma vez que esta já enfatiza a integração das questões costeiras em todos os sectores e domínios políticos, bem como a perspetiva de longo prazo, a principal diferença entre a Ac e ICZM, é que a primeira lida com uma maior incerteza, prazos mais longos no planeamento (além de 30 anos), e compromissos de longo prazo inerentes à mudança climática (Tobey *et al.*, 2010).

Em Portugal, a Estratégia Nacional para a Gestão Integrada da Zona Costeira (ENGIZC), foi aprovada no final de 2009, e defende, por exemplo, a criação de um “espaço-tampão naturalizado” para requalificar as paisagens costeiras, bem como o princípio de zona *non aedificandi* a repercutir nos diversos instrumentos de gestão territorial, assumindo o princípio de precaução em termos de não ocupação ou densificação de áreas de risco ou vulneráveis, prevendo a eventual retirada de algumas construções (Schmidt, 2012).

## 6.8 Legislação, Planos de Ordenamento e Planos Estratégicos

A nível internacional, desde os anos 60 que as preocupações com a degradação das zonas húmidas levaram à Convenção de Ramsar em 1971 que considera “essencial que os SE vitais e, especialmente os relacionados com a água e com o que as zonas húmidas providenciam à pessoas e à natureza através da sua infraestrutura natural, sejam plenamente reconhecidos, mantidos, restaurados e sabiamente usados”. A partir daqui nasceram outras convenções, e algumas diretivas e leis de proteção, tais como a nível da CEE a Rede Natura 2000 e as ZPEs (Zonas Especiais de Proteção) (fig. 65).

A nível nacional os sapais apresentam restrições e servidões de utilidade pública a que se aplicam regimes territoriais especiais, especialmente a Reserva Ecológica Nacional, mas também o Domínio Público Marítimo, e sistemas estruturantes (Estrutura Ecológica). Muitos estão incluídos em Reservas Naturais Estuarinas da Rede de Áreas Protegidas do ICNF.



**Fig. 65:** Instrumentos regulamentares para a proteção/gestão dos ecossistemas de sapal.

Os POEs (DLn.º129/2008, 21/7) ainda estão em fase de execução, sendo o primeiro o do estuário do Tejo, seguido do Douro, Vouga e Mondego (CNA, 2012). Segundo ARH do Tejo & GOT (2009), o POET “*constitui uma figura nova no regime jurídico dos instrumentos de gestão territorial, constituindo uma sede privilegiada de discussão de opções de ordenamento e gestão em torno do estuário, entre os vários atores que sobre ele atuam e o usufruem, para uma efetiva abordagem integrada e sustentável de gestão da água e dos usos com ela conexos.*”. É dos primeiros planos a integrar e envolver os diferentes atores, embora ainda com fraca participação dos cidadãos (um representante de ONGAs). Discutem-se decisões estratégicas como a localização do novo terminal de contentores, o futuro dos espaços industriais desocupados e reconvertidos, havendo uma preocupação embrionária sobre as **ACs** a nível de “(...) *localização ótima de edifícios, tipologia e soluções arquitetónicas (...)*”. Os investigadores do Departamento de Geologia da FC-UL (projeto *Morfeed*), são os que demonstram mais preocupações com “(...) *vulnerabilidade a inundação/erosão (...)* **cotas de coroamento de defesas portuárias, de aterros e de soleira de construções em terrenos marginais do estuário(...)**” atuais, que deverão ser repensados mediante as projeções para 2100. Consideram que os POOCs negligenciaram ou consideraram “casuisticamente” os riscos das **ACs**, defendendo “*A introdução de critérios para gestão do risco de ocupação das margens, decorrente dos processos de erosão/ sedimentação e inundação, bem como a conceção e delimitação de faixas de salvaguarda desses mesmos riscos*”, e a necessidade de monitorização. O Plano apresenta ainda uma visão de coordenação e compatibilização dos diferentes usos e SE do estuário, assim como a integração com outros planos.

Segundo CNA (2012), nos perímetros urbanos definidos nos planos municipais de ordenamento do território, integrados na zona terrestre de proteção, os POE apenas dispõem sobre regras e medidas de proteção, salvaguarda, valorização e qualidade dos recursos hídricos, que têm por objetivo a conservação e reabilitação da rede hidrográfica dos estuários, em conformidade com o disposto no art. 34.º da Lei da Água, nomeadamente:

- Limpeza e beneficiação das margens e áreas envolventes;
- Reabilitação das margens e áreas degradadas ou poluídas;
- Proteção das orlas costeiras e estuarinas contra os efeitos da erosão de origem hídrica;
- Desassoreamento das vias e das faixas acostáveis;

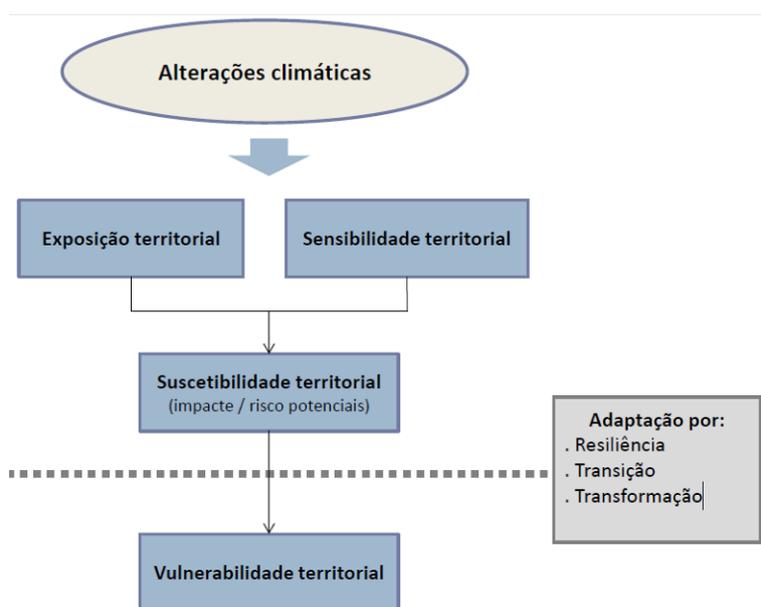
- Renaturalização e valorização ambiental e paisagística das margens e áreas envolventes.

No âmbito dos PMOT (Planos de Ordenamento do Território), a nível da perigosidade do risco de inundações, são estabelecidas uma série de indicações através do DL n.º 364/98 de 21 de Novembro, para a elaboração dos PDMs:

- Minimização dos efeitos das cheias em solos urbanos consolidados (sistemas de proteção e drenagem, manutenção/ recuperação da permeabilidade dos solos);
- Interditar a construção de novos edifícios em zonas inundáveis e determinação da cota máxima de cheia conhecida para os edifícios serem construídos acima dessa cota;
- Promover o enquadramento das zonas inundáveis em solo urbano, em espaços verdes, que poderão ser infraestruturados com estruturas ligeiras de fruição pública, recreio e lazer.

Segundo o Decreto-Lei n.º 129/2008, de 21 de Julho, e CNA (2012), a vulnerabilidade poderá ser entendida como o grau com que um determinado sistema ou subsistema natural ou social é suscetível de ser afetado por um determinado evento, estímulo ou ação forçadora, função do seu nível de exposição, da sua sensibilidade a esse fator e da sua capacidade de **Ad** (ou não) a esse fator. Para o caso dos POE, o sistema natural é o estuário e os subsistemas estuarinos serão as águas superficiais, as águas subterrâneas, o leito, as margens, as restingas, os bancos emersos e imersos, os sedimentos, os habitats. Os eventos e ações forçadoras poderão ser a subida do NMM, a alteração do hidrodinamismo, o aumento de fenómenos naturais extremos (caudais, ventos, agitação, temporais), os sismos, os maremotos, as dragagens.

O “risco” é entendido com a probabilidade conjunta de ocorrência de um evento ou de uma ação forçadora, com a magnitude das suas consequências. Pode ser expresso em termos quantitativos ou qualitativos. O dano ambiental está associado à alteração adversa de um sistema ou de um recurso natural ou à sua deterioração.



Desta forma, os POEs e outros Planos de Ordenamento, poderão contribuir para aumentar a capacidade adaptativa dos territórios em relação aos efeitos das ACs, combatendo ameaças e criando oportunidades, através de três estratégias de **Ad** inter-relacionadas e não exclusivas (fig. 66).

**Fig. 66:** ACs, vulnerabilidade territorial e estratégias de **Ad** (Ferrão, 2014).

A suscetibilidade é a propensão ou predisposição para ser afetado(a) negativamente por determinada exposição a um perigo que varia conforme a sensibilidade a essa exposição. Por sua vez a vulnerabilidade resulta da capacidade para enfrentar ou se adaptar a esses impactos e/ou riscos potenciais (IPCC, 2014; Ferrão, 2014).

A Autoridade Nacional de Proteção Civil, tem fornecido uma série de documentos para a elaboração de cartografia de risco para os PDMs (ANPC, 2009), tendo tido uma ação bastante presente junto dos municípios, nomeadamente a nível de uma rede viaturas e recursos humanos, planos de emergência e proteção civil, sistemas de alerta, que no caso do Seixal está mais relacionada com os riscos de cheias.

Os POEs, para diferentes horizontes de projeto e para diferentes combinações de cenários de ACs, pretendem estudar e prever a resposta de um estuário à elevação do NMM, alteração dos padrões de tempestuosidade e à modificação de caudais CNA (2012):

- No regime de correntes;
- Na amplitude de marés e tempos de submersão;
- No risco de inundação;
- Na morfologia, incluindo restingas e barras;
- Na perda de superfície terrestre (erosão);
- Na redistribuição da salinidade;
- Na qualidade da água;
- Na alteração de zonas húmidas;
- No ecossistema;
- Nos recursos vivos;
- Na infra-escavação ou no assoreamento de infraestruturas, incluindo fundações e canais navegáveis.

Os POCs (antigos POOCs, desde a Lei n.º 31/2014, de 30 de Maio), são instrumentos de gestão dos recursos da faixa costeira, com exceção das áreas de jurisdição portuária (fig. 67). Poderão abranger algumas zonas de sapal (ex. litoral Algarvio). Tal como os POEs, os POCs abrangem uma faixa de 500 m ao longo do litoral, no entanto esta pode ir até 1km, quando se justifique acautelar a integração de sistemas biofísicos fundamentais no contexto territorial objeto do plano. Consideram também uma faixa marítima até à batimétrica dos 30 m.

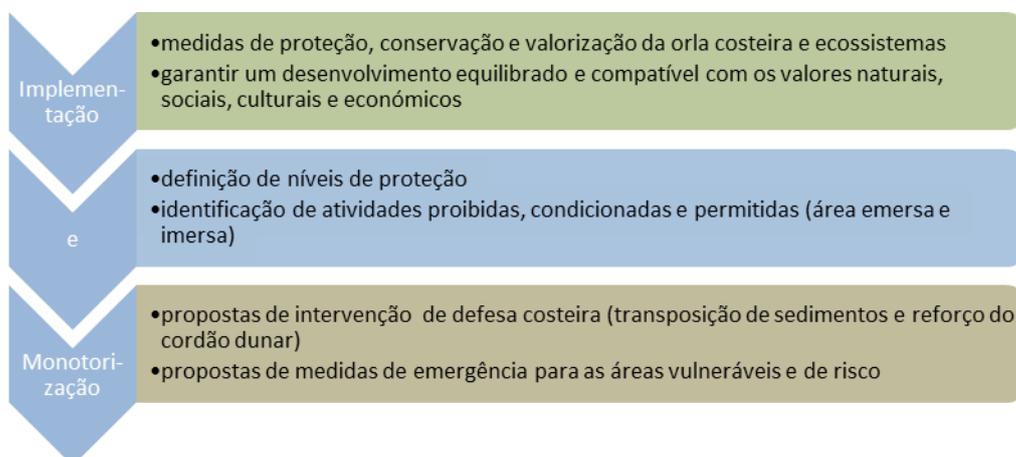


Fig. 67: Objetivos dos POCs, anos 90 (c. p.).

A concretização dos POOCs foi relativamente baixa e à altura da elaboração dos primeiros planos (98/99), as ACs não foram consideradas de uma forma sistematizada e estratégica. Em 2002 iniciou-se um processo de avaliação e monitorização dos POOCs, ativado em 2005 com um processo de gestão integrada, que deverá ser continuada.

Os POOCs já se estruturam com base numa avaliação ambiental estratégica. A Avaliação Ambiental Estratégica do POOCACE (2017) já considera assim as ACs e Riscos Costeiros como um “factor crítico de decisão”, para além dos restantes igualmente abrangentes (a conservação da natureza e biodiversidade, a economia costeira, a dinâmica territorial, os recursos hídricos e a governança). Considera que a ocupação do litoral está sujeita, por si só, ao risco associado à dinâmica costeira, que num cenário de ACs pode ver agravados os níveis de perigosidade e os impactos que decorrem sobretudo da amplificação das consequências bem como de uma maior periodicidade de ocorrência de alguns fenómenos meteorológicos extremos. Pretendeu avaliar de que forma se incorporam medidas e/ou soluções que contribuam para prevenir e minimizar os riscos associados à erosão costeira e às ACs. Nomeadamente, no troço sul onde o litoral apresenta características arenosas, considera que a linha de costa tem apresentado tendência de recuo. E como resposta a este processo erosivo, foram construídas várias estruturas costeiras (espórões e obras longitudinais aderentes) que, combinadas com recargas de areia, têm conseguido mitigar a evolução e fixar a linha de costa. No entanto, em invernos em que a agitação marítima é mais intensa, para além do recuo do cordão dunar, registaram-se fenómenos de galgamentos e inundações, bem como danos nas estruturas de defesa aderente. Para a avaliação da capacidade de Ad às ACs (Factor B), foram considerados dois cenários de riscos costeiros de 2050 (cenário B1, NMM +0,30m) e 2100 (cenário B2, NMM +1,50m), considerando as incertezas que caracterizam as projeções futuras das variáveis com interesse para o cálculo da erosão e galgamento/inundação oceânica e de acordo com o princípio da precaução, estes cenários majoraram assim a elevação do NMM e produzem estimativas mais prudentes para o recuo e cotas máximas de galgamento/inundação. A evolução da linha de costa considerada para efeitos de delimitação das Zonas Ameaçadas pelo Mar considerou a evolução média de cada troço costeiro. Como resultado, ao longo da área costeira a norte do Tejo, as faixas de recuo devido à erosão, rondam os 20-30 m, para o cenário B1, e os 50-80 m, para cenário B2. A sul do Tejo, entre a praia de São João da Caparica e o Cabo Espichel, as faixas de recuo apresentam larguras bastante homogéneas com valores médios que oscilam entre os 30-40 m, para o cenário B1, enquanto para um horizonte mais longínquo, 2100, o comportamento é desigual, registando-se valores superiores a 250 m no setor imediatamente a sul dos esporões da Caparica. Neste setor, a ocupação urbana está próxima do limite terrestre das Zonas Ameaçadas pelo Mar, no horizonte 2050, sendo intersectada em 2100. Os valores máximos são atingidos entre a praia da Saúde e a praia Nova, da ordem de 38 m e 251 m, nos horizontes de 2050 e 2100, respetivamente.

O POOCACE (2017) reconhece de forma prudente os riscos associados às ACs e assume objetivos e linhas estratégicas destinados a prevenir e reduzir os riscos costeiros e a vulnerabilidade ACs, o principal fator de incerteza reside na capacidade de Ad às ACs, ou seja, na capacidade institucional e financeira dos diversos níveis da administração pública de implementar as ações e projetos programados neste âmbito, assim como, de sensibilizar e mobilizar atempadamente para a Ad os restantes agentes do desenvolvimento territorial e a população em geral. A situação é agravada para o cenário B2, caracterizado sobretudo por uma diminuição da capacidade de intervenção institucional e financeira do Estado, nomeadamente no domínio da Ad às ACs, implica diversos riscos para todos os fatores críticos de decisão, decorrentes de uma eventual incapacidade de liderar e assumir os investimentos necessários à implementação dos processos adaptativos na zona costeira.

Já no recente Programa de Execução e Plano de Financiamento do POCACE (2018), as medidas de Ac são programadas e orçamentadas para um futuro próximo (2028) e passam sobretudo pela alimentação artificial das praias, através de uma gestão controlada e monitorizada de dragagens (estratégia de defesa suave, tendo o benefício acrescido da manutenção das praias, importantes do ponto de vista biofísico mas também para o turismo e economia), adotar soluções de contenção suave em zonas de litoral arenoso, proteger, valorizar e recuperar ecossistemas costeiros e zonas dunares. Foca também a estratégia de recuo programado (demolição e recuo de construções ilegais e em risco). A recuperação, prolongamento de defesas costeiras pesadas surge geralmente associada a zonas portuárias e urbanas. Sendo que atualmente, o conjunto de estruturas de proteção da Costa da Caparica, reposição de areia, constitui um dos principais locais de investimento em defesa costeira, em Portugal.

O Programa de Intervenção na Orla Costeira Continental *Finisterra* (2/2003), que inicialmente não teve meios para vingar, em 2006 teve um *input* orçamental, conseguindo-se resolver algumas situações de risco (demolições, renaturalização e defesa costeira) CCDR-LVT(2005).

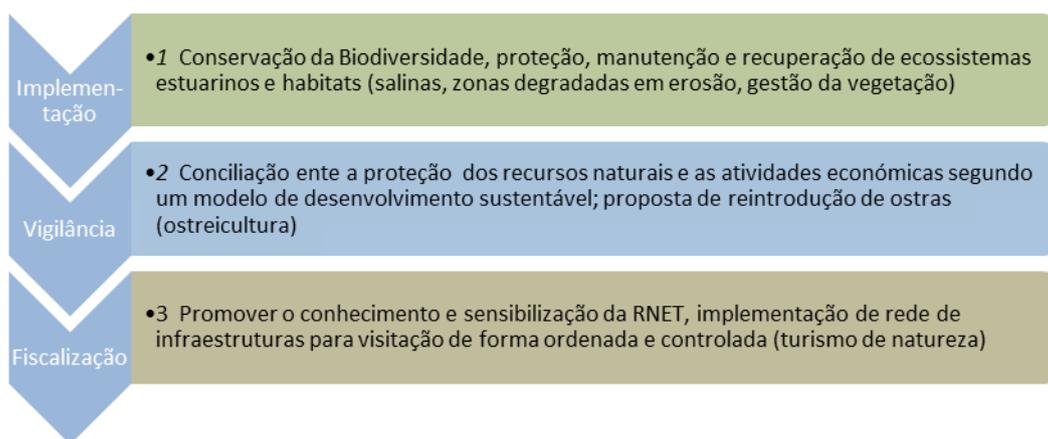
Algumas autarquias (Almada e Cascais) já começam a desenvolver alguns planos de atuação estando alguns implementados (fixação de dunas na Cresmina), que poderão vigorar em Planos de Pormenor (PP).

Os POs das Áreas Protegidas também são instrumentos fundamentais que estabelecem políticas de salvaguarda e conservação, dispendo sobre os usos do solo e condições de alteração dos mesmos, representando a figura 68 os POs que abrangem ecossistemas de sapal.



**Fig. 68:** POs de Áreas Protegidas que abrangem ecossistemas de sapal, c. p.

O Plano de Ordenamento da Reserva Natural do Estuário do Tejo (PORNET) encontra-se aprovado desde 2008 (RCMn.º177/2008, 24/11). A respetiva planta de Ordenamento estabelece áreas com diferentes graus de proteção. NA figura 69, esquematizam-se os principais objetivos do PORNET.



**Fig. 69:** Objetivos estratégicos do PORNET, c. p.

O terceiro objetivo foi concretizado (centro de interpretação, rede de percursos e observatórios), permitindo dar a conhecer e sensibilizar as pessoas para a riqueza e benefícios destes ecossistemas.

Existe ainda o Plano de Bacia Hidrográfica do Tejo (DRn.º18/2001, 7/12), plano sectorial que abarca toda a bacia, refletindo sobre questões como o assoreamento do rio e o risco de cheias. Mais tarde a Lei da Água (LA-Lei n.º 58/2005, 29/12) deu origem aos Planos de Gestão de Região Hidrográfica.

As desafetações e destruições de sapal aconteceram em Portugal, veja-se o caso da Mitrena (Setúbal), que correspondeu a uma deslocalização estratégica e progressiva de muita Indústria do Estuário do Tejo para o Estuário do Rio Sado, sobretudo com a desativação da LISNAVE e a construção da SETNAVE e posteriormente com a construção da Expo 98 (fig. 70). E a uma escala mais pequena, foi também o caso do *Free-port* em Alcochete, em 2000.



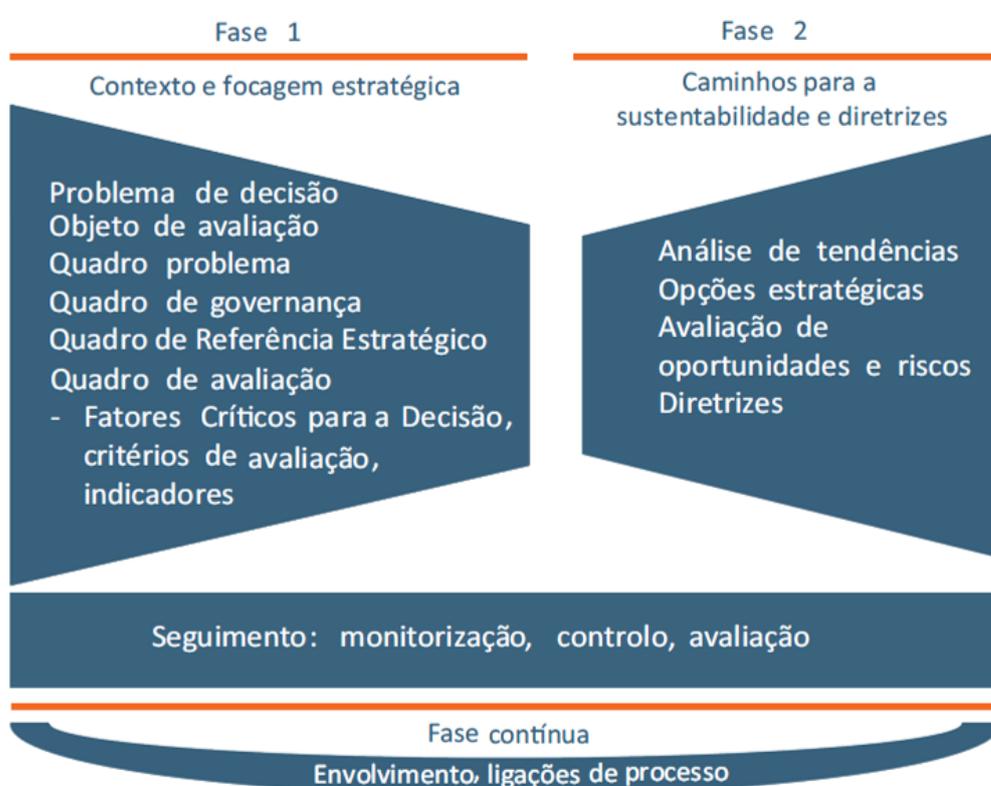
**Fig. 70:** Fotografia do Pólo Industrial da Mitrena (Setúbal) (Fev. 2019).

Com os Planos Especiais de Ordenamento dos Estuários, talvez se tivessem evitado alguns erros do passado e se possa preparar o futuro (Ac). Mas será que bastam a legislação e os Planos de Ordenamento? Ou será que a divulgação do conhecimento e o envolvimento das pessoas é essencial para proteger estes Ecossistemas?

A Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) é um importante instrumento que se tem desenvolvido na última década que, segundo Partidário (2012), é um instrumento de avaliação ambiental de natureza estratégica, concebido como uma estrutura flexível de elementos essenciais, que atua estrategicamente com um papel facilitador no processo de decisão, acrescentando valor a esse processo (Partidário, 2010).

A AAE tem origem na Avaliação de Impacte Ambiental (AIA), mas a primeira está associada à avaliação de planos e programas que estabelecem as condições para o desenvolvimento de projetos analisados depois em AIA (diretiva europeia 2001/42/CE de 27 de Junho), o que, é considerado limitativo, uma vez que há planos que não são estratégicos e há projetos que são estratégicos. Em Portugal, a AAE foi implementada com o Decreto-Lei nº 232/2007, de 15 de Junho, decorrente da transposição da diretiva europeia, modificado pelo Decreto-Lei nº 58/2011, de 4 de Maio, assegura ainda a aplicação da Convenção de Aarhus, de 25 de junho de 1998, transpondo a diretiva 2003/35/CE, de 26 de Maio, a qual promove a participação pública na preparação de planos e programas ambientais (Partidário, 2012).

A abordagem metodológica da AAE segue os passos típicos de verificação da necessidade de procedimento (*screening*), avaliação de âmbito (*scoping*), avaliação de efeitos (*assessment*), mitigação, decisão e monitorização (Partidário, 2012) (fig. 71):



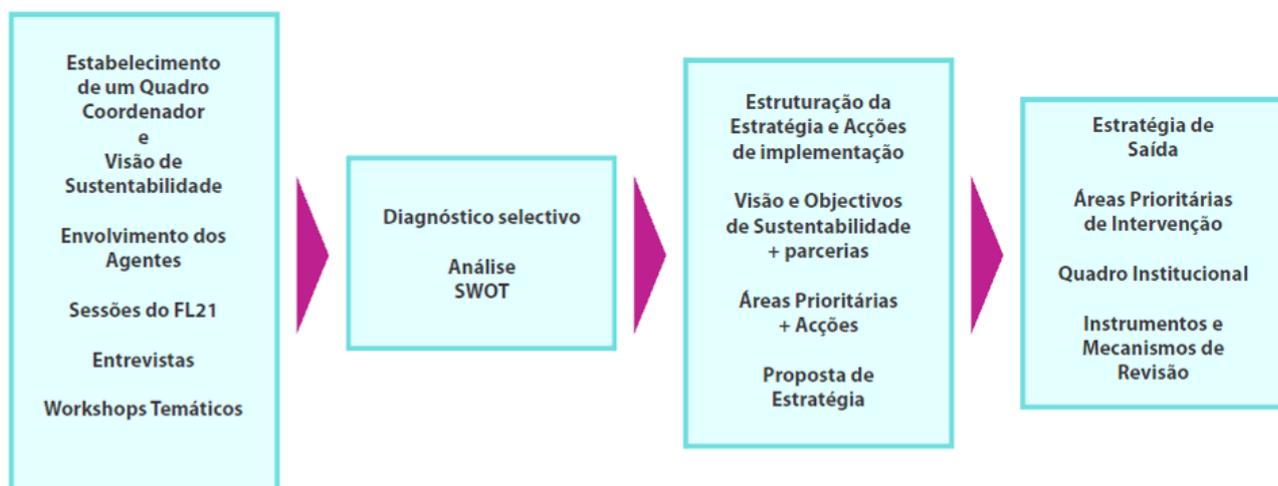
**Fig. 71:** Três fases do modelo de pensamento estratégico em AAE (Partidário, 2012).

Segundo Partidário & Sheate (2012), o envolvimento dos vários intervenientes num processo de AAE e de AIA, é muito importante, com o conhecimento e as perspetivas de cada um e que possam contribuir para um processo de aprendizagem coletivo. A corretagem do conhecimento (“knowledge brokerage”) é um processo para facilitar a transferência e a troca/permuta de conhecimento, em suma é o conhecimento em transição, o que envolve:

1. Trabalhar em conjunto, e uns com os outros;
2. Utilizar uma linguagem comum, não-técnica, para um problema comum;
3. Facilitar a criação e a troca de conhecimento horizontal, bem como vertical;

4. Incentivar a ligação entre conhecimento e a aprendizagem;
5. Aumentar as capacidades e inovação.

A Estratégia de Sustentabilidade do Concelho de Loulé (ESCL, 2012), é um exemplo muito interessante, onde através de um processo participativo muito ativo e que poderia servir de exemplo para outros que se possam relacionar com zonas ameaçadas e sujeitas a vários interesses como as estuarinas, se chegou à identificação dos diversos pontos críticos, que levaram à formulação de projetos de ação (fig. 72). Algumas ações já estão a ser implementados pelo Município que trabalha em parceria com a diversas entidades.



**Fig. 72:** Esquema da Metodologia utilizada para a ESCL (2005).

Os SE poderão ser assim uma dessas linguagens comuns que promovam a comunicação, entendimento dos diferentes intervenientes, tais como o proponente, as autoridades reguladoras e as restantes partes interessadas/afetadas) (“stakeolders”). Segundo Tábara & Chabay (2012), o conhecimento deve ser integrado nas diferentes visões e abraçar a complexidade e a diversidade num modelo sistémico aberto, não linear ou unidirecional (Partidário & Sheate, 2012), sem haver dominâncias e dando voz a todas as partes.

Tal como nos EBM, os SE podem então integrar a AAE ao trazer para a discussão fatos que possam não ser tão imediatamente apreendidos pelas diferentes partes interessadas, que estão subentendidos indiretamente e podem assim dar voz a quem/ao que não a tenha (por ex. defesa dos sapais defendida por um biólogo). Como referido, os SE podem ser também a linguagem comum e facilmente entendível entre as diferentes partes interessadas e podem ser uma importante ferramenta na análise de custo/benefício, muitas vezes utilizada na AAE. Os SE ao integrarem uma AAE ou um EBM, podem ser assim métodos de apoio à decisão política (Professor José Lima Santos, informação verbal).

Em Portugal já existem vários processos de AAE, tais como a AAE do plano de desenvolvimento e investimento da Rede Nacional de Transporte de Eletricidade (2008) destacando-se o QREN (Quadro de Referência Estratégico Nacional) que constituiu o enquadramento para a aplicação em Portugal, no período 2007-2013, dos fundos oriundos da política de coesão da UE, traduzida num investimento comunitário de cerca de 21,5 mil milhões de Euros. O QREN assumiu assim cinco grandes prioridades estratégicas nacionais: qualificação dos cidadãos; dinamização do crescimento sustentado; promoção da coesão

social; qualificação dos territórios e das cidades e aumento da eficiência e qualidade dos serviços públicos. A preparação dos Programas Operacionais do ciclo de intervenções estruturais 2007-2013 foi acompanhada e beneficiou de um processo de Avaliação Ambiental Estratégica (AAE) que incluiu objetivos estratégicos, tais como: Reduzir a taxa de perda de biodiversidade; reduzir as pressões humanas e manter a integridade e a provisão dos bens e SE; outros relacionados com a **Mi** (reduzir as emissões de CO<sub>2</sub>, fomentar as energias renováveis e aumentar a eficiência energética), e a **A** (reduzir o risco de erosão costeira e a diminuição da vulnerabilidade a eventos extremos), entre outros (QREN, 2012). A nível de algumas ações concretas resultantes do QREN 2007-2013, realça-se a implementação algumas infraestruturas no Estuário do Tejo, tais como a recreação de lagoas para aves e o EVOA (Espaço de Visitação e Observação de Aves, Fig. 294), muito importante na divulgação e educação ambiental das diversas potencialidades e benefícios do Ecossistema Sapal, pois é através do conhecimento que se poderá valorizar e proteger.

A nível internacional, uma vez que a incerteza dos estudos e resultados dos modelos sobre as **ACs** está a baixar, e alguns efeitos das **ACs** já se fazem sentir, as medidas para a **Ad** começaram a vigorar nos pacotes e programas de medidas nacionais e internacionais desde o IPCC 2007 tal como a implementação da Estratégia da União Europeia para a **Ad** (AP7), desde 2009.

No âmbito desse programa, em Fevereiro de 2018, a Área Metropolitana de Lisboa (AML) anunciou o lançamento do Plano Metropolitano de **Ad** às **ACs** da AML (PMAAC-AML), que envolve todos os 18 Municípios da AML, onde se inclui o Seixal, tendo sido a primeira conferência internacional realizada a 8 de Maio de 2019, em Setúbal. Os principais objetivos são conhecer, de forma mais aprofundada, o fenómeno das **ACs** a nível local e metropolitano e, ao mesmo tempo, identificar as opções e medidas para a **Ad** o aos cenários futuros de alterações e de fenómenos climáticos extremos. Pretende-se igualmente que o PMAAC-AML promova a integração da **Ad** às **ACs** no planeamento territorial, criando uma cultura de cooperação transversal aos vários sectores e atores estratégicos metropolitanos e reforçando a resiliência territorial da AML, incluindo não só os municípios, como as empresas com atuação territorial na AML (de transportes, água, etc.). A elaboração do PMAAC-AML teve início em janeiro de 2018, tendo ocorrido diversos workshops com os diferentes atores e desenvolvido trabalho disponível *on line*, para qualquer cidadão. Já foram concluídas a primeira e segunda fases do mesmo a que correspondem, respetivamente, o cenário base de **Ad** às **ACs** (AML, 2018) e a avaliação de impactes e vulnerabilidades atuais e futuras na AML (AML, 2019). Na terceira fase, que agora se inicia, serão definidas as medidas e opções de **Ad** fundamentais para a operacionalização territorial do Plano. Deixo como reflexão a lacuna no envolvimento dos demais atores, que na conferência de 8 de Maio, em Setúbal, ficou bem patente, nas várias manifestações individuais e em grupo, organizadas por jovens ativistas, dada a aparente inação e ineficácia concreta de toda a legislação, Planos e estratégias, perante ações como o aumento em 60% do Porto de Setúbal, e a dragagem de 2,6 milhões de m<sup>3</sup> de areia numa zona de pesca artesanal e de alimentação de golfinhos (pradarias marinhas)<sup>1</sup>. Estas e outras manifestações, nomeadamente contra as **ACs**, são muito motivadas pela inspiração da adolescente sueca Greta Thunberg, que luta de forma muito ativa e emocionante na sensibilização sobre os efeitos das **ACs** que já se fazem sentir por todo o planeta e a necessidade de agir **mos** agora e não daqui a 20 ou mais anos<sup>2</sup>. O prémio “Gulbenkian para a Humanidade” recentemente atribuído faz jus ao seu esforço e promoverá decerto mais ações futuras, alegando a própria que será distribuído por organizações que combatem as **ACs**.

1 - <https://www.publico.pt/2019/01/30/local/noticia/areias-dragagens-sado-ja-aprovado-local-deposicao-areias-1859994>

2 - <https://gulbenkian.pt/phttp://visao.sapo.pt/actualidade/sociedade/2019-02-02-As-explicacoes-de-GretaThunberg-a-adolescente-sueca-queluta-contra-as-alteracoes-climaticas>

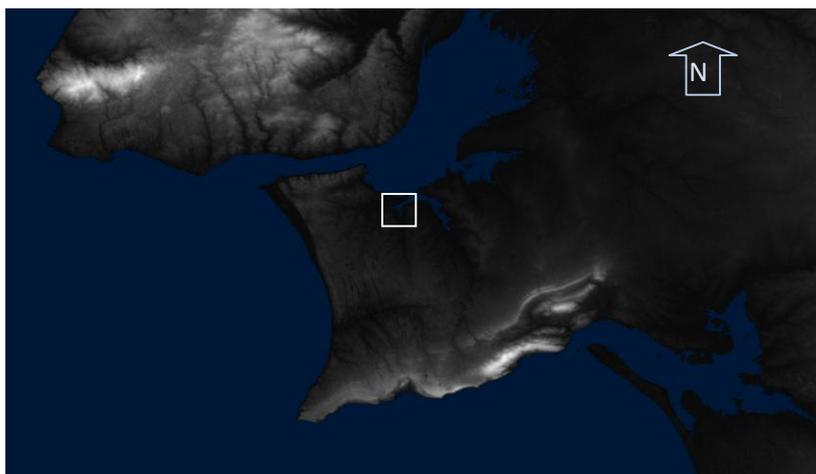
## 7. Caso de Estudo - A Baía do Seixal

### 7.1 Enquadramento, vulnerabilidades e previsões

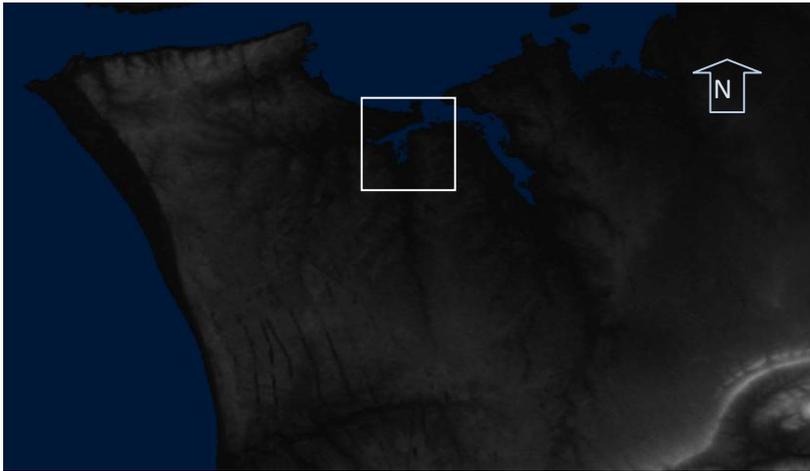
“O observador que, em dia claro, de um ponto alto de Lisboa, alongar a vista para Sul, encontra, passada a largueza do Estuário do Tejo, uma extensa planície adjacente a uma cortina de elevações que fecha por este lado o horizonte. É a cadeia da Arrábida, pequena região montanhosa situada na parte meridional da Península de Setúbal; limitada a sul e oeste pelo Oceano; confina a norte e oriente com as terras baixas e arenosas que ocupam a maior parte da Península”. Com estas palavras, Orlando Ribeiro, em 1935, iniciava a sua Tese de Doutoramento, ao descrever a Península de Setúbal.

A área de estudo situa-se no limite Norte desta Península, demarcado pela falha onde se instalou o Tejo. A Baía do Seixal situa-se assim na margem esquerda do Estuário do Tejo.

A melhor forma de perceber esta grande Península, que corresponde a uma superfície de abrasão marinha, durante Milhões de anos sujeita aos avanços e recuos do mar, é através do Modelo Digital de Terreno conseguido pelas imagens de satélite (deteção remota). Consegue-se assim perceber facilmente o relevo, sem a interferência da informação dada pela ocupação de solo. A branco destacam-se as formações mais elevadas, a Norte a Serra de Sintra e a Sul a “Cadeia da Arrábida” que se desenvolve ao longo de cerca de 40 km segundo uma direção ENE-WSW, começando a Nascente pela elevação de Palmela, seguida da Serra do Louro e de São Lourenço a NE, Serra dos Gaiteiros, Serra de São Luís, Serra do Viso, Serra da Arrábida (499 m no Alto do Formosinho), Serra do Risco (380 m no Píncaro), atenuando-se no Planalto da Azóia e Cabo Espichel. Percecionam-se também as principais Linhas de água (mais escuras) tendo-se uma ideia das bacias hidrográficas correspondentes. Desta forma, facilmente compreendemos a origem da Baía do Seixal, que está intimamente relacionada com as ribeiras que drenam esta Península de Sul para Norte e de W para E e efluem na Baía do Seixal, Coina e Barreiro. A bacia hidrográfica com desenvolvimento transversal E-W corresponde à bacia da Lagoa de Albufeira, onde desaguava o pré-Tejo (fig. 73 e 74).

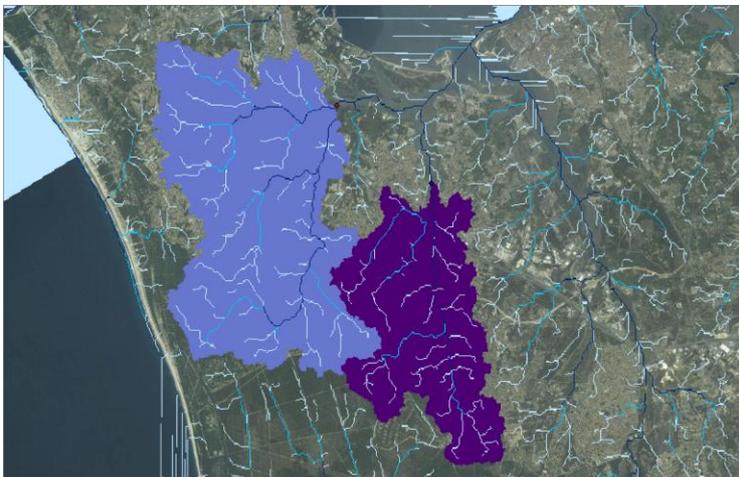


**Fig. 73:** Imagens do MDT para o SIG, sem escala, (data de aquisição: 2011/10/17; Projeção Geográfica; Sensor: Aster) mostrando a Península de Setúbal e localizando a Baía do Seixal, Fonte: <http://earthexplorer.usgs.gov/>, NASA LPDAAC Collections -> ASTER Collections -> ASTER Global DEM, Entidade ID: [ASTGDEM V2\\_0N38W010](#); Agência: NASA/METI



**Fig. 74:** Ampliação da fig. 73 de forma a pormenorizar as bacias hidrográficas das Ribeiras efluentes da Baía do Seixal (evidenciada pelo quadrado branco).

Na Baía desaguam as Ribeiras de Corroios a Poente, e o Rio Judeu a Sul (fig. 73 a 76).



**Fig. 75:** Imagem retirada do SIG (Sistema de Informação Geográfica), feito a partir do MDT anterior, para cálculo do caudal de escoamento e sedimentos transportados pelas principais ribeiras, através do método “RUSLE” (*Revised Universal Soil Loss Equation*), aplicado em ambiente ArcGis. A lilás está representada a bacia hidrográfica das Ribeiras de Corroios e a roxo a bacia hidrográfica do Rio Judeu.

A bacia hidrográfica das ribeiras de Corroios, resulta da junção de duas ribeiras (fig. 77). A localizada mais a Norte toma a direção W-E e esta sub-bacia estende-se pelas freguesias da Sobreda e Charneca da Caparica (pertencentes ao Concelho de Almada) e atravessa Corroios. A outra ribeira, vem das terras a SW, de Vale de Milhaços, Corroios e estende-se para Sul, pela Aroeira e Verdizela, até ao planalto onde se formam as lagoas da Verdizela (Mata da Apostiça). A bacia apresenta uma área total de 4 511,2 ha.

A bacia hidrográfica do Rio Judeu (efluente Sul da Baía), já se estende mais para Sul, ocupando as Freguesias de Fogueteiro, Amora e Pinhal de Frades, abrangendo uma área inferior de 2 529,5 ha.

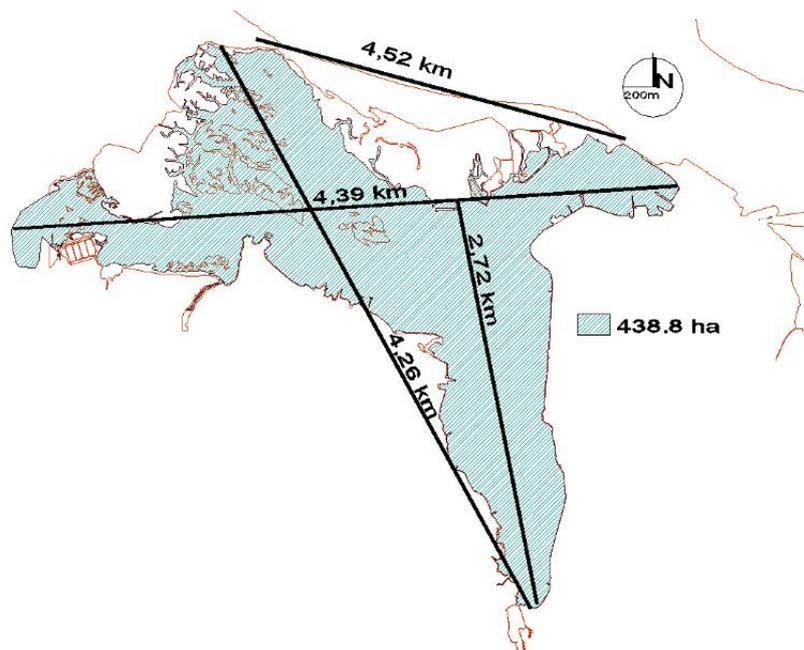


**Fig. 76:** Visualização em perspectiva, a 4,8 km de altitude, da Baía do Seixal, retirada através do *Google Earth*. A amarelo a localização do marégrafo que serviu de base ao modelo hidrodinâmico.



**Fig. 77:** Visualização da foz das duas ribeiras de Corroios evidenciada pelo círculo azul, em perspectiva a 521 m de altitude, retirada através do *Google Earth*.

A Baía do Seixal, pela curva de nível dos 2,5 m relativamente ao Zero Topográfico (ZT), e fechando na barra, ou na embocadura da baía, apresenta uma área (a azul) de 438,8 ha, correspondente grosso modo ao nível de preia-mar máximo (fig. 78).



**Fig. 78:** Representação esquemática da baía com medições rigorosas, linha de água dos 2,5 m (ZT) digitalizada sobre ortofomapas de 2013 e base topográfica à escala 1/25 000 (c. p.).

A NW, desaguam as Ribeiras de Corroios, que são efetivamente duas distintas, que se juntam apenas na foz, como se poderá ver na figura 77.

Assim, a bacia hidrográfica a lilás abrange a área total drenada por estas duas ribeiras, a Norte a ribeira toma a direção W-E a sub-bacia estende-se pelas freguesias da Sobreda e Charneca da Caparica (pertencentes ao Concelho de Almada) e atravessa Corroios. A segunda vem das terras a SW, de Vale de Milhaços, Corroios e estende-se para Sul, pela Aroeira e Verdizela, até ao planalto onde se formam as lagoas da Verdizela (Mata da Apostiça). A bacia apresenta uma área total de 4 511,2 ha.

A bacia hidrográfica (a roxo) do Rio Judeu (efluente Sul da Baía), já se estende mais para Sul, ocupando as Freguesias de Fogueteiro, Amora e Pinhal de Frades, abrangendo uma área inferior de 2 529,5 ha.

A Baía do Seixal apresenta diferentes habitats, ocupações do solo e frentes costeiras que vão desde as mais naturalizadas, às mais construídas, passando até por soluções mistas, que mais adiante serão identificadas e analisadas, como formas existentes de proteção costeira.

A Norte a baía é limitada por uma restinga que a protege e individualiza do estuário do Rio Tejo. Esta está enraizada a W e desenvolve-se para leste ao longo de 2,5 km de extensão. É constituída por um sistema de praia/duna de areia de idade quaternária (provavelmente muito recente), e formada pelas correntes e ondas de geração local (fig. 79).



Barreiro

**Fig. 79:** Ortofotomapa adaptado e retirado do *Google Maps*.

In <https://www.google.pt/maps/@38.6382323,-9.1332932,4739m/data=!3m1!1e3>.

A restinga constitui uma faixa de proteção natural que promove a diminuição da energia cinética resultante da ondulação vinda do estuário do Tejo. Coexistem assim dois ambiente diferentes, no lado Norte da restinga uma faixa arenosa sujeita à ondulação e a ventos mais

fortes e atualmente em erosão (fig. 80 e 81); e do lado Sul, zonas mais abrigadas e de deposição de sedimentos finos, onde se desenvolveu naturalmente a vegetação de sapal (fig. 82), que por sua vez corrobora o efeito protetor relativamente à ondulação e à subida do nível médio do mar. Foi então esta restinga que permitiu a existência do Sapal de Corroios, mas também a instalação de povoações ribeirinhas ao longo da Baía, tais como o Seixal, a Arrentela e a Amora.



**Fig. 80 e 81:** Faixa N da restinga do Alfeite com uma duna primária muito pouco desenvolvida, e cuja proteção se resume a uma faixa muito estreita de vegetação (*Puccinellia maritima*), cujo raizame é essencial à fixação das areias e proteção eólica e marítima. Em alguns locais encontra-se pisoteada e destruída por rodados, assim como ameaçada pela rápida expansão de chorão-da-praia (*Carpobrotus edulis*), que não desempenha o mesmo papel de fixação (Foto tirada em Janeiro 2014, antes dos eventos extremos que ocorreram e note-se que não havia talude de erosão).



**Fig. 82:** Faixa S da restinga, virada para a Baía, onde se observa a vegetação halófito de sapal (Janeiro de 2014).

A vegetação existente é essencialmente vegetação dunar muito esparsa e pinheiro manso do lado Norte, e do lado Sul, virado para a Baía do Seixal, o hidrodinamismo é mais calmo e propicia a acumulação de sedimentos mais finos e o crescimento da vegetação de sapal e de transição. Na preia-mar a maior parte das zonas a sul da estrada ficam inundadas.

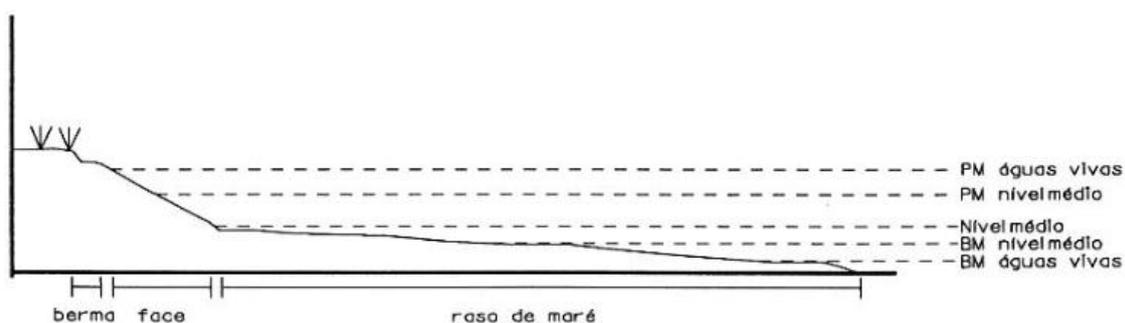
A praia do Alfeite está instalada na vertente norte de uma restinga e é limitada por um raso de maré areno-vasoso com cerca de 300 m de largura. Na zona da Ponta dos Corvos encontram-se bancos arenosos com grande desenvolvimento, que corresponderão a um delta de vazante da embocadura da baía do Seixal (Freire, 2003).

Segundo Vargas *et al.* (2008), a Restinga do Alfeite, tal como outras praias e restingas de areia nesta zona, desenvolveram-se devido à sua exposição à ação da agitação marítima predominante de N-NE (direção dos ventos dominantes e de maior *fetch* do estuário interno). No entanto, o desenvolvimento da restinga de W para leste também é devido às marés e carreamento de sedimentos provocado pelas suas correntes (junto ao enraizamento da restinga a W a cota altimétrica é de 4 m e de 3 a 2,5 m a E).

Segundo Freire *et al.* (2006), as ondas são as principais responsáveis pela origem das praias estuarinas e nesta zona mais interna do estuário, longe a embucadura, as ondas são de geração local, assim como as que se formam dentro da baía do Seixal, dependendo da direção, duração e intensidade do vento sobre a superfície da água e da extensão desta (*fetch*). A altura das ondas na praia do Alfeite varia entre um mínimo de 11 cm e um máximo de 84 cm (Freire *et al.*, 2009) a 1,3m(Freire *et al.* 2007), ambos coincidentes com eventos extremos.

Segundo Freire *et al.* (2006) nos estuários, a amplitude de maré afecta não só a intensidade das correntes de maré, mas também a distribuição de energia das ondas no perfil de praia, determinando a largura da praia e a duração em que a rebentação afecta cada zona do perfil (Nordstrom, 1992).

O perfil típico de uma praia num estuário mesotidal, como o do Tejo, em que a amplitude da maré é elevada relativamente à altura das ondas, é representado na figura 83 e corresponde ao existente na Praia do Alfeite, antes dos eventos extremos de 2014 (fig. 80). O perfil de praia é caracterizado por uma face de praia inclinada articulada inferiormente num raso de maré extenso e sub-horizontal que pode atingir várias centenas de metros de extensão transversal. A face da praia contacta superiormente com uma berma estreita, de poucos metros, ou liga-se directamente à zona terrestre que frequentemente apresenta erosão e intervenção de origem antrópica.



**Fig. 83:** Perfil tipo de praia estuarina do Tejo (nível médio = 2,2 m acima do ZH). Freire *et al.* (2006).

Na maré baixa, as ondas rebentam no raso de maré sendo a energia das ondas e correntes geralmente baixa, no entanto, em condições de preia-mar ou de elevados níveis de água no estuário, as ondas rebentam sobre o bordo superior da face da praia podendo provocar alteração morfológica do perfil (Freire *et al.*, 2006). Foi o que aconteceu após os dois eventos extremos do Inverno de 2014, com ocorrência de sobrelevação meteorológica devido às baixas pressões, e forte ondulação, a praia ficou com um perfil de erosão muito acentuado (fig. 84).



**Fig. 84:** Fotografia da Praia do Alfeite em Fevereiro de 2015, observando-se os efeitos dos dois episódios de baixas pressões e tempestade de 2014, que destruíram parte da proteção dunar e levaram à formação de uma pequena escarpa com mais de 1m de altura.

Durante os Verões subsequentes, assistiu-se a uma colmatação natural das areias e o perfil da praia foi lentamente recuperando, mas ainda não chegou ao nível a que estava anteriormente (Fig.85).



**Fig. 85:** Fotografia da praia do Alfeite em Dezembro de 2016, onde se repara num segundo perfil de erosão mais pequeno de 26 cm, demonstrando uma intensidade menor dos eventos extremos nesse ano (régua de 50 cm).

No Projeto *Morfeed* estudou-se a evolução da praia do Alfeite e segundo Guerreiro *et al.* (2013a), apesar das ligeiras diferenças morfológicas que se constataram entre os levantamentos topográficos realizados entre 1994 e 2012, a praia do Alfeite “mantém em geral perfis de geometria estável”. O estudo veio reforçar os estudos anteriores, onde se concluiu que a praia do Alfeite “é uma praia estável e que apenas quando submetida a eventos extremos sofre alterações morfológicas unicamente na zona da face de praia”. A análise sugere também que “se verifica um pequeno avanço da linha de costa na zona central e oeste da praia, contudo não existem dados suficientes para sustentar essa afirmação”.

No entanto, pela análise dos ortofotomapas de 1998 e 2018, parece haver um recuo significativo da linha de costa, de cerca de 4 m (fig. 86). Esta observação vai de encontro à de Valente *et al.* (2006) de que entre 1995 e 2004 observou-se uma certa tendência erosiva da praia com taxa de recuo máxima de  $2\text{m}\cdot\text{ano}^{-1}$ , continuando, no entanto, a acreção na Ponta dos Corvos.



**Fig. 86:** A - Ortofotomapa de 1998 com traçado de linha vermelha correspondente ao talude de erosão e base da duna. B - Sobreposição do ortofotomapa de 2018 ao de 1998, permitindo ver o recuo de cerca de 4 m em 20 anos.

Note-se que na zona de estacionamento o recuo aumenta para 9 m. Este recuo acentuado e localizado, poderá dever-se não só à erosão provocada pelo acesso das pessoas à praia, mas também em consequência da proteção costeira com inertes feita a jusante, que poderá causar alguma turbulência e erosão no talude arenoso a montante, sobretudo durante a enchente (fig.87).



**Fig. 87:** Vista da zona central, de estacionamento, muito pisoteada pelo acesso de pessoas à praia e com proteção costeira feita com inertes, o talude de erosão é delimitado com uma linha vermelha na fig. 86 (Fevereiro de 2015).

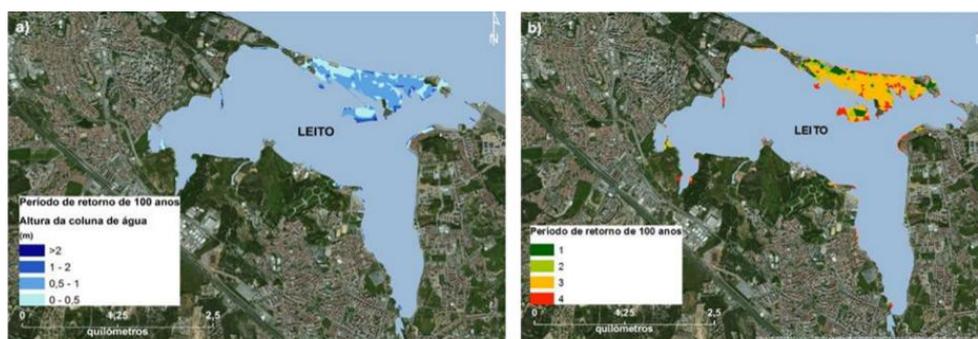
O regime de marés no Estuário do Tejo é do tipo semi-diurno (com dois ciclos de maré de amplitude semelhante em cada dia; cada ciclo corresponde a um período de 12 h e 25,2 min, o período de tempo necessário para que a Terra complete uma rotação inteira em relação à Lua) e mesotidal, com amplitudes entre 0.55 e 3.86 m na costa (Cascais). Devido a um fenómeno de ressonância, as constituintes semi-diurnas da maré são significativamente amplificadas no interior do estuário (Fortunato *et al.*, 1999). Assim, as amplitudes de maré atingem um máximo em Alverca de 4,8 m (marés vivas). A ressonância, consiste na sobreposição de duas ou várias ondas com a mesma frequência, criando uma onda parcialmente estacionária (Guerreiro *et al.*, 2013). A sobreposição das ondas incidente e refletida resulta no aumento da amplitude da maré, principalmente nas zonas a montante onde o estuário estreita (Miranda *et al.*, 2002). O estuário do Tejo é propício a este fenómeno, dado que a ressonância da maré tende a ocorrer em estuários de grandes dimensões (em profundidade e comprimento), dado que o período de ressonância aumenta com as dimensões do estuário. Esta amplificação das

marés no interior do estuário, juntamente com eventos extremos e a subida no NMM, é responsável pelo agravamento das inundações costeiras (Guerreiro *et al.*, 2013).

Simultaneamente, a duração das vazantes é significativamente inferior à das enchentes devido à extensão dos espreitados de maré (Fortunato *et al.*, 1999), o que aumenta as velocidades das correntes durante a vazante. Estas correntes são particularmente fortes na zona terminal do estuário e na embocadura, onde podem rondar  $2 \text{ m.s}^{-1}$  em marés vivas. Assim, assimetria da maré é particularmente importante relevante para dinâmica sedimentar (Guerreiro *et al.*, 2013). No entanto, a deposição de sedimentos no estuário (Freire & Andrade, 1994) tem vindo a afetar este regime: as amplitudes da maré na zona superior do estuário e a diferença entre as durações das enchentes e das vazantes têm diminuído ao longo dos anos (Fortunato *et al.*, 1999).

O caudal médio do rio é de  $368 \text{ m}^3.\text{s}^{-1}$  (Neves, 2010), valor para o qual o estuário é bem misturado. No entanto, situações de estratificação têm sido observadas para caudais elevados (Neves, 2010). Os caudais fluviais podem ter um efeito significativo nos níveis, mas apenas na zona superior do estuário, a montante dos mouchões (Vargas *et al.*, 2008); a jusante os níveis são controlados fundamentalmente pela maré.

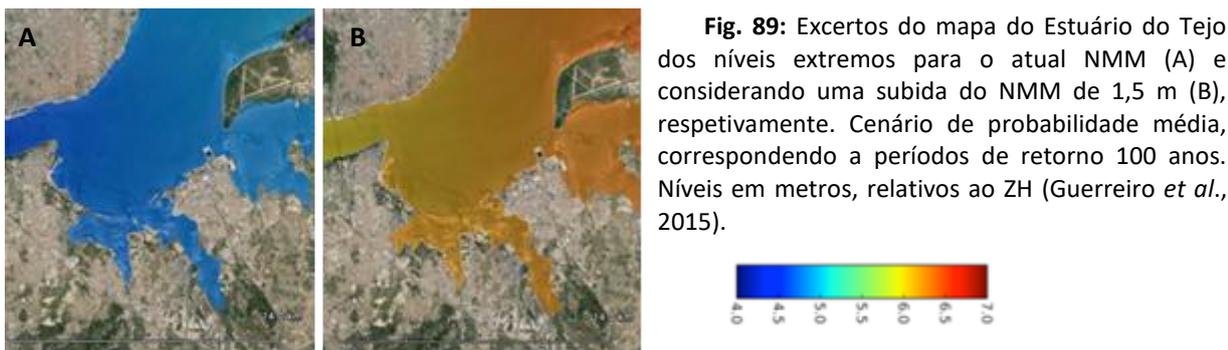
No Projeto *Molines* foi avaliado o risco de inundação para o Estuário do Tejo (Freire *et al.*, 2015) e foi apresentada uma projeção de inundação da Baía do Seixal em eventos extremos e avaliação de risco (fig. 88).



**Fig. 88:** Resultados da perigosidade para um cenário correspondente ao período de retorno de eventos extremos de 100 anos e considerando uma subida do NMM mar de 1m: a) extensão e profundidade da inundação; b) índice de perigosidade (Freire *et al.*, 2015).

No Projeto *Morfeed*, efectuaram-se simulações com um modelo hidrodinâmico, para o processo da subida do NMM com as *ACs*, no Estuário do Tejo (Guerreiro *et al.*, 2012).

A extensão da inundação no estuário do Tejo, em situação atual e futura, foi avaliada a partir do exercício de modelação hidrodinâmica realizado por Guerreiro *et al.* (2015), num estudo dedicado à evolução hidrodinâmica do estuário do Tejo no século XXI. Nesse trabalho foi assumido como nível extremo para a situação atual, com 100 anos de período de retorno, o valor de 4,42 m acima do ZH (2,34 m acima do ZT). Adicionalmente, considerou-se uma subida do NMM de 1,5 m e foram tomados em conta a dinâmica das marés, a ressonância e os níveis de água extremos. A batimetria foi extrapolada com base nas taxas de assoreamento atuais. A resolução do trabalho original contemplou células de 25 por 25 metros. Foram efetuados ajustamentos em toda a área do estuário com topografia mais detalhada (1:25.000) e ortofotomapas digitais. Adicionalmente, foram efetuadas correções nas frentes urbanas, assumidas como sistematicamente defendidas no estudo original, obtendo os mapas de inundação apresentados na figura 89.



A subida do NMM afetará a propagação da maré e a circulação em estuários, podendo estas alterações ter consequências significativas na dinâmica sedimentar, na qualidade da água e nos níveis de água extremos. Os resultados do modelo mostram que a subida do NMM irá afetar significativamente a assimetria da maré, em particular porque as áreas intertidais podem diminuir até 40% até ao final do século. Em consequência, a forte dominância de vazante deste estuário irá diminuir significativamente. Esta evolução da assimetria da maré será parcialmente compensada pelo efeito da sedimentação nos ramos de maré. A subida do NMM irá também amplificar o efeito de ressonância no estuário do Tejo, o que resultará em níveis extremos superiores à soma dos níveis extremos atuais com a subida do NMM.

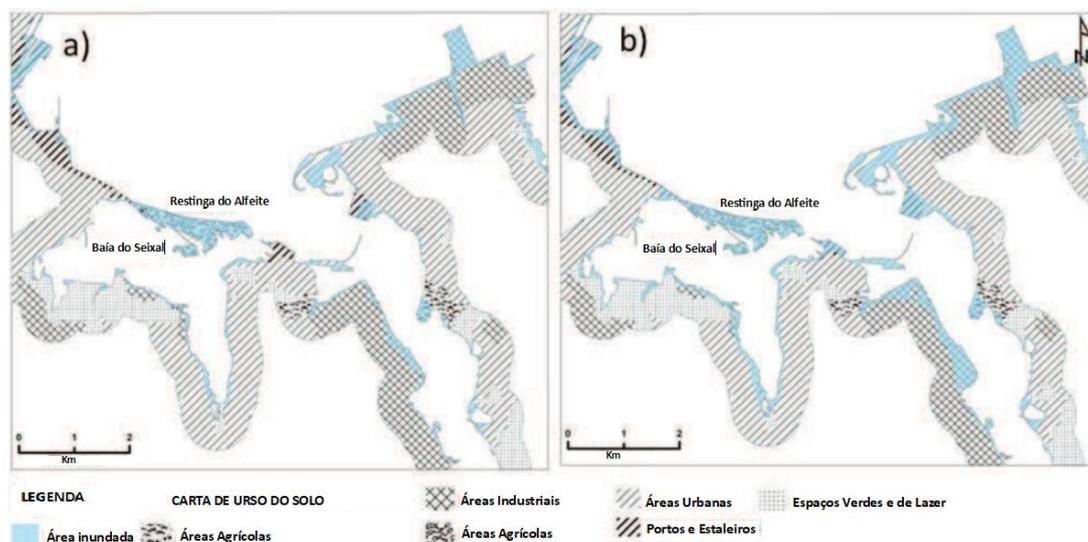
As repercussões da subida do NMM, em Portugal, podem ser observadas numa recente aplicação interativa<sup>1</sup> da equipa da Faculdade de Ciências. Baseando-se no recente trabalho de Antunes (2019), Rocha (2016) e Costa (2017), é avaliada a vulnerabilidade costeira para Portugal Continental, associada à subida do NMM e às inundações causadas pela ocorrência de eventos extremos, fundamental no apoio à definição das estratégias de Ad às ACs (fig. 90).



Foram avaliados cenários para 2025, 2050 e 2100 com diferentes períodos de retorno de eventos extremos para os quais foi produzida cartografia de vulnerabilidade física (à suscetibilidade física de inundação) da Orla Costeira de Portugal Continental que será afetada pela subida do NMM, sendo impressionante e preocupante a extensão da inundação projetada para o estuário do Tejo e verificando-se a submersão total da restinga do Alfeite para 2100.

1 - <http://www.snmportugal.pt/>

Rilo *et al.* (2013) avaliaram as consequências desta subida a nível da ocupação de solo numa área de estudo mais detalhada que incluía a Baía do Seixal e projetaram a subida do NMM para 2050 e 2010 (fig. 91).



**Fig. 91:** Cenários de inundação com a subida do NMM sobreposta à classe de uso do solo existente no Alfeite (Almada), na Baía do Seixal, Ribeira de Coina e Barreiro, para 2050 (a) e 2100 (b) (traduzido de Rilo *et al.*, 2013).

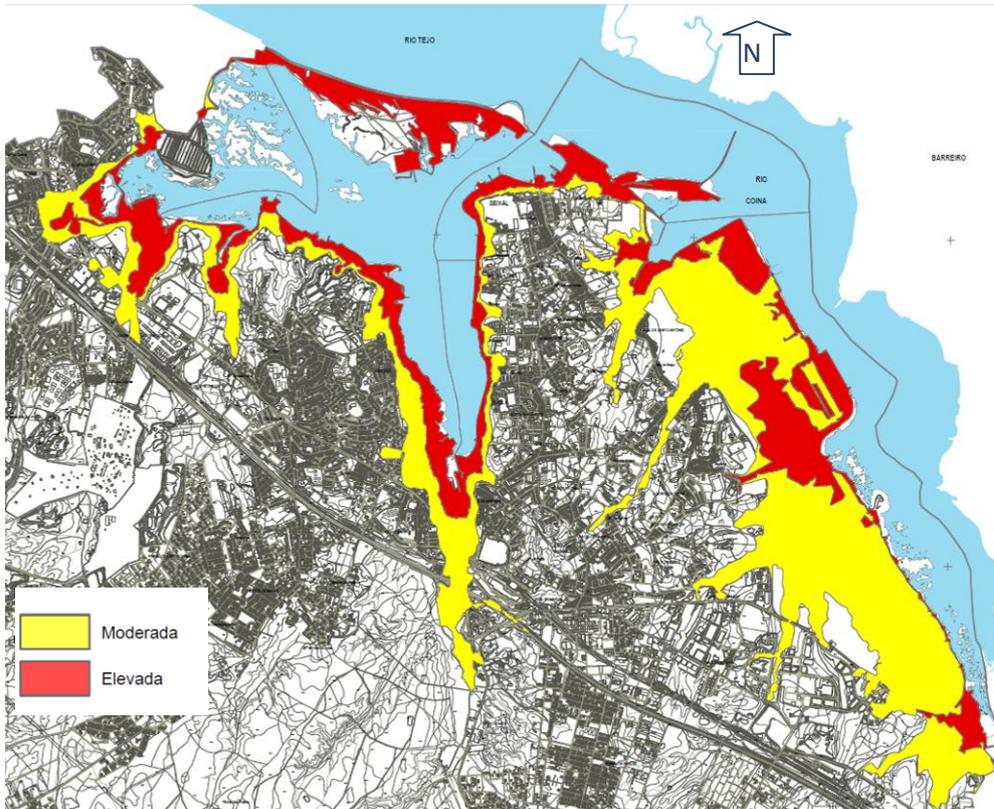
Assim, com a subida do nível do mar devido às ACs, considerada neste estudo num aumento de 50 cm para 2050 e de 1,5 m para 2100, a restinga, cujas cotas altimétricas, na sua maior extensão não ultrapassam os 3,5 m (ZT), ficará totalmente submersa nos dois cenários, assim como muitas outras áreas mais baixas do Estuário.

É interessante visualizar os diferentes resultados para as diferentes metodologias e cartografias, que foram feitos ao longo do tempo, observando-se um certo padrão de acontecimentos, tais como a submersão de toda a restinga para 2100.

Vargas *et al.*, 2008, analisaram a vulnerabilidade da restinga do Alfeite à inundação, usando uma combinação de modelos hidrodinâmico, morfodinâmico e de geração / propagação de ondas curtas (modelo SWAN, Booij *et al.* (1999)), sob efeitos de eventos extremos e da subida do NMM, e projetaram que, para 2107, na sequência de um galgamento total da restinga **podrá existir uma tendência de migração desta para sul**, “com injeção de sedimentos no Sapal de Corroios e Baía do Seixal e desequilíbrio deste ecossistema traduzido em danos na sua flora e fauna. É igualmente expectável uma alteração da morfologia do raso de maré, na vertente norte da restinga, com consequências para a sua fauna bêntica”.

Essa projeção poderá representar uma mudança morfológica significativa na baía do Seixal que poderá potencialmente modificar o comportamento hidrodinâmico de toda a Baía do Seixal que passará a ser um sistema mais aberto e no aumento da ondulação sobretudo durante os eventos extremos com fortes ventos, dada a maior extensão de água. A adaptação das zonas urbanas já é e será cada vez mais urgente e inevitável.

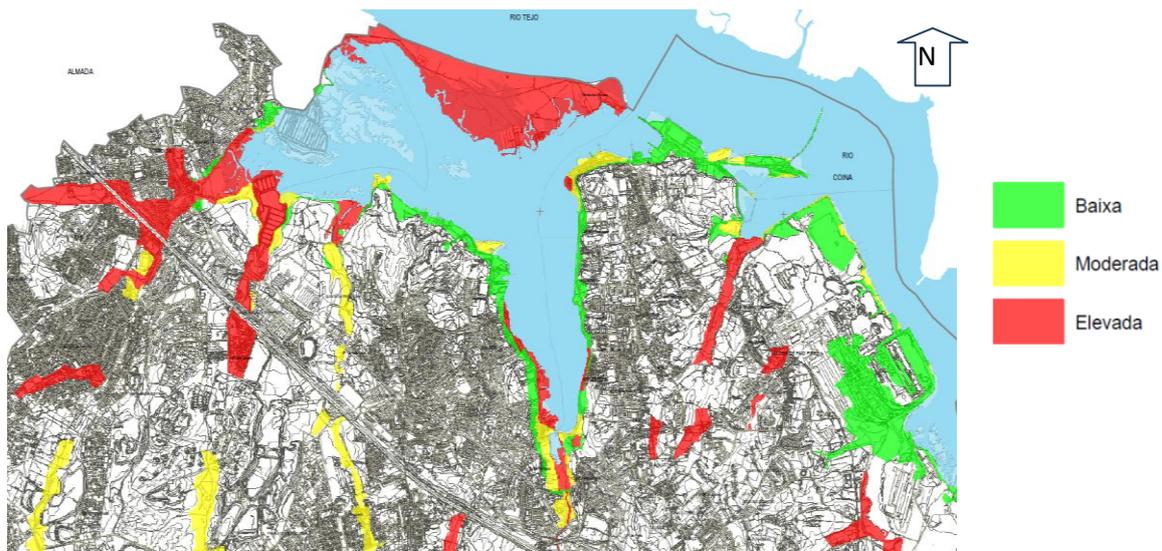
Aquando da elaboração do PDM do Concelho do Seixal, foi feita uma avaliação de Riscos, incluindo a carta de risco de inundação por tsunami (CMS, 2012), feita com base na topografia, onde o risco moderado é equivalente à cota dos 5 m e o elevado à cota dos 10 m (fig.92).



**Fig. 92:** Excerto da Carta de suscetibilidade à inundação por Tsunami, constituente do conjunto de cartas de Riscos e Proteção Civil. Esc. 1:45 000 (2012). Excerto sem escala (CMS, 2012).

Destaca-se que a zona a nascente apresenta uma área extensa a uma cota muito baixa, onde se implantou o complexo industrial da Siderurgia Nacional e mais recentemente o Complexo Desportivo de treinos do Benfica, com suscetibilidade moderada a elevada.

Para a compilação do PDM foi também elaborada uma carta de suscetibilidade a cheias e a inundações (fig. 93), feita de acordo com as indicações de ANPC (2009), onde para além das zonas anteriores previstas se destaca a zona baixa de Corroios e os leitos das suas Ribeiras, com susceptibilidade elevada à inundação e com elevado grau de construção existente.

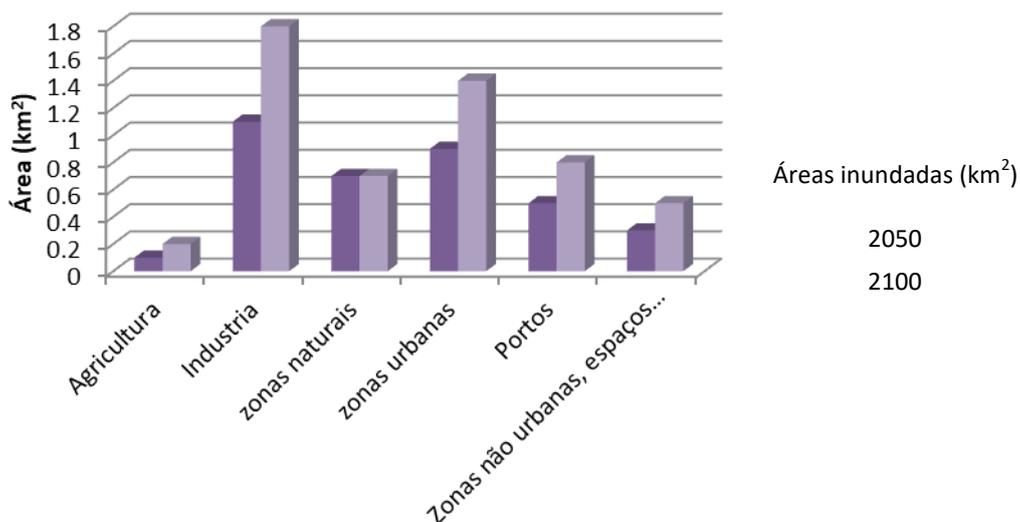


**Fig. 93:** Excerto da Carta de suscetibilidade a cheias e a inundações, constituente do conjunto de cartas de Riscos e Proteção Civil. Esc. 1:45 000 (2013). Excerto sem escala. (CMS, 2012).

Rilo *et al.* (2013) fizeram o estudo e contabilização das áreas afetadas pela inundação a nível da ocupação de solo, *Corine Land Cover* (Caetano e Nunes, 2009), para duas previsões de subida do NMM em 2050 e 2100 (fig. 91, 94 e Tabela 5).

**Tab. 5:** Adaptação da tabela das áreas inundadas para 2050 e 2010, para os diferentes tipos de Ocupação de Solo, considerando uma área marginal de 22,7 km<sup>2</sup> (Rilo *et al.*, 2013).

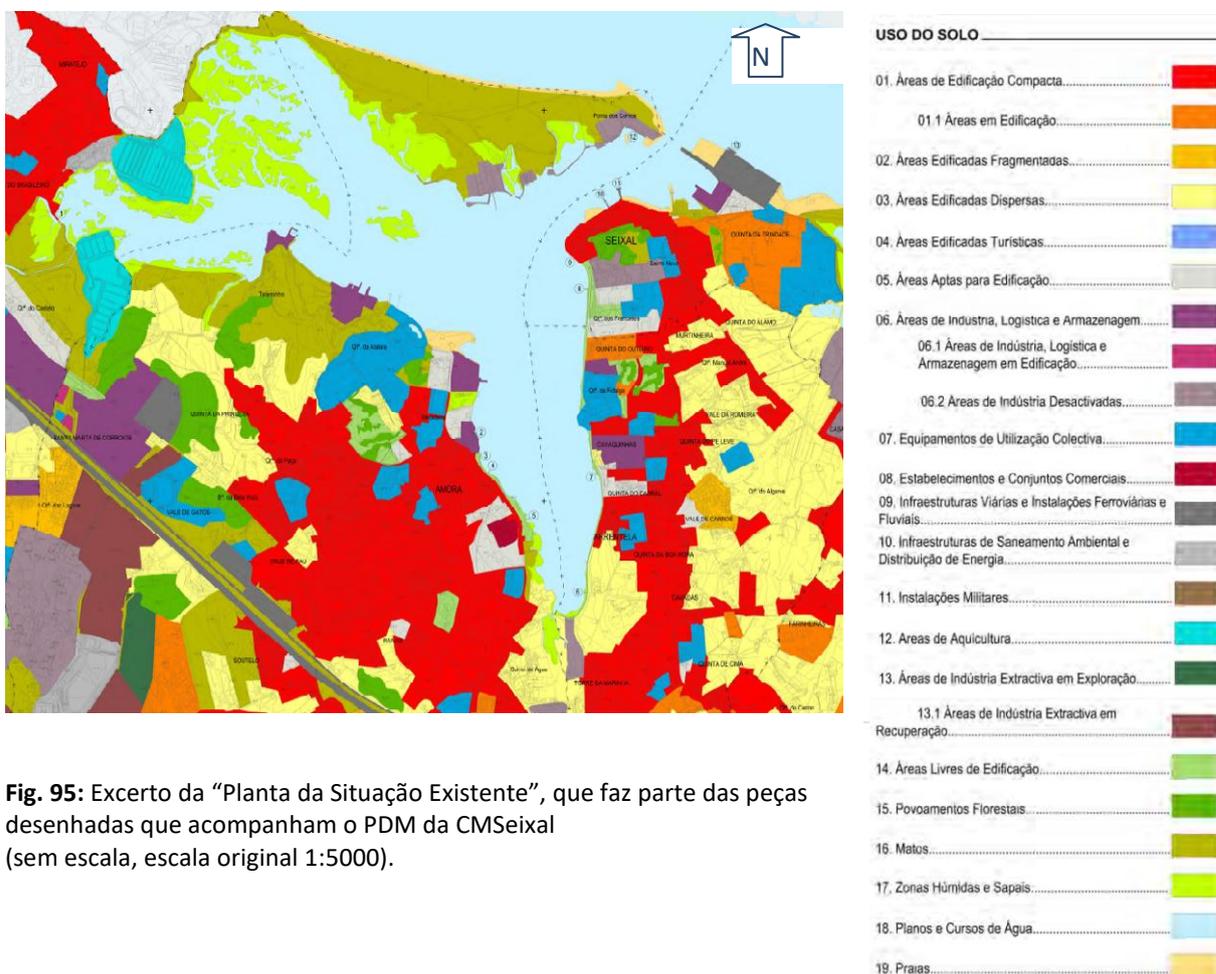
Classe de Ocupação de Solo	2050	Área (km <sup>2</sup> )	%	2100	Área (km <sup>2</sup> )	%
Agricultura		0.1	0.5		0.2	0.7
Indústria		1.1	4.6		1.8	7.8
Zonas naturais		0.7	3.2		0.7	3.3
Zonas urbanas		0.9	4		1.4	6
Portos		0.5	2.3		0.8	3.7
Zonas não urbanas, espaços verdes		0.3	1.5		0.5	2.2
<b>Total</b>		<b>3.7</b>	<b>16.1</b>		<b>5.4</b>	<b>23.7</b>



**Fig. 94:** Gráfico correspondente à tabela anterior, evidenciando a contabilização das áreas inundadas para a previsão da subida do NMM em 2050 e 2100, para os diferentes tipo de Ocupação de Solo, com base nos dados de Rilo *et al.* (2013).

Considera-se que as áreas afetadas mais preocupantes, do ponto de vista humano, serão as áreas urbanas seguidas das industriais, com tendência a agravar em 2100.

Segundo o PDM da CMSeixal, a carta de ocupação atual do solo apresenta ainda mais detalhe e rigor (fig. 95).



**Fig. 95:** Excerto da “Planta da Situação Existente”, que faz parte das peças desenhadas que acompanham o PDM da CMSeixal (sem escala, escala original 1:5000).

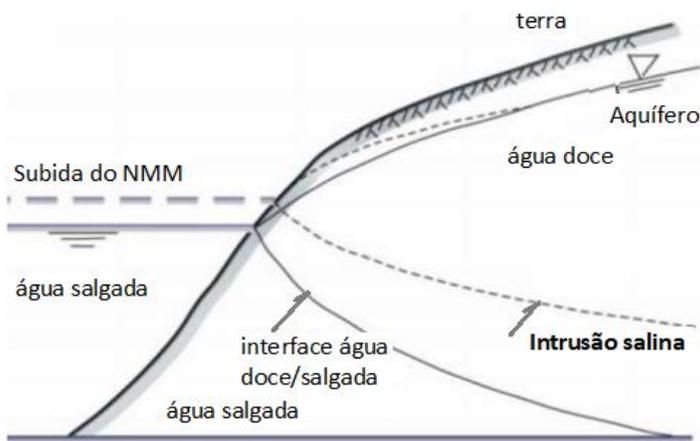
Algumas áreas naturalizadas e industriais, serão transformadas, num futuro próximo em áreas urbanas, o que aumentará ainda mais a vulnerabilidade e a necessidade de adaptação destas áreas. Existem intenções de construção na antiga Siderurgia Nacional e recentemente foi construído o centro de treino e estágio do Sport Lisboa e Benfica, com várias instalações desportivas, recentemente implantadas em zonas naturalizadas, relativamente baixas, todas em risco de inundação e num futuro a 100 anos inundadas periodicamente pela subida do NMM (fig. 96).



**Fig. 96:** Justaposição dos ortofotomapas de 2005 (A) e de 2009 (B), referentes à zona a nascente do Seixal, onde se repara facilmente no avanço recente das urbanizações (Quinta da Trindade) e do complexo desportivo do Benfica, este implantado a cotas muito baixas. Repare-se na vulnerabilidade das instalações do Instituto Hidrográfico (pequena restinga a E).

Segundo o relatório da avaliação de impactes e vulnerabilidades da AML para as ACs (2019), o Seixal é um dos Concelhos mais vulneráveis a Cheias, prevendo-se um recuo das arribas.

Em todos os Concelhos da AML com zonas costeiras/estuarinas, com a subida do NMM, prevê-se o avanço da intrusão salina para o interior do aquífero. Com a subida do NMM, a intrusão salina não apenas avançará mais para o interior, ocupando uma maior área, mas a cota da sua interface aumentará igualmente, podendo afetar áreas cada vez menos profundas do aquífero (fig. 97).



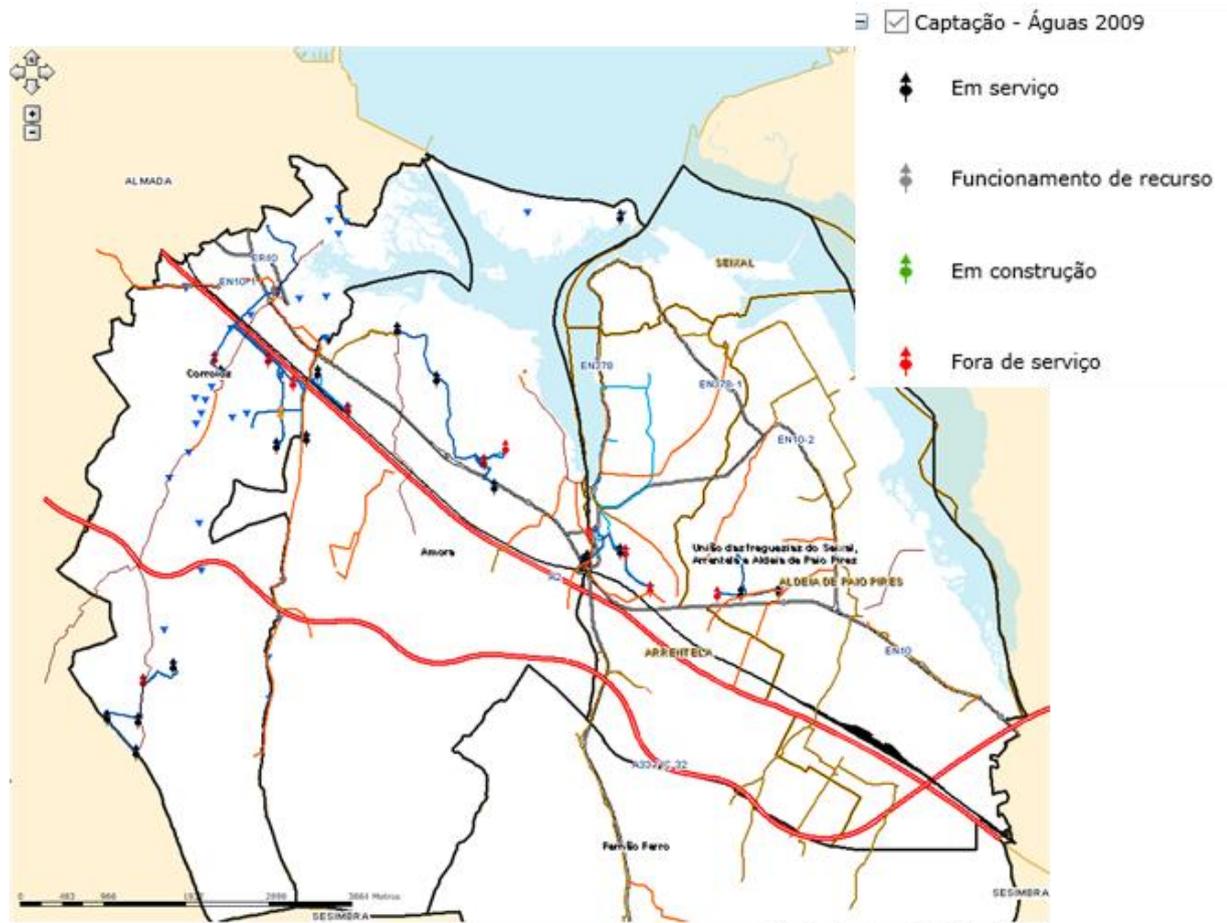
**Fig. 97:** Tradução do esquema de evolução da intrusão salina em condições de subida do NMM e de não exploração do aquífero. Fonte: Codesso de Melo (2016). In AML (2019).

No entanto, embora a ação antrópica, como a exploração /extração de água dos aquíferos para consumo humano seja normalmente responsável pela larga maioria dos casos de intrusão salina, o efeito da subida do NMM só recentemente começou a ser estudado. Deste modo não existem dados que permitam identificar quais os efeitos sobre a intrusão salina que ocorreram ao longo do séc. XX, pela subida do NMM (Antunes & Taborda, 2009) ou pelas ações antrópicas.

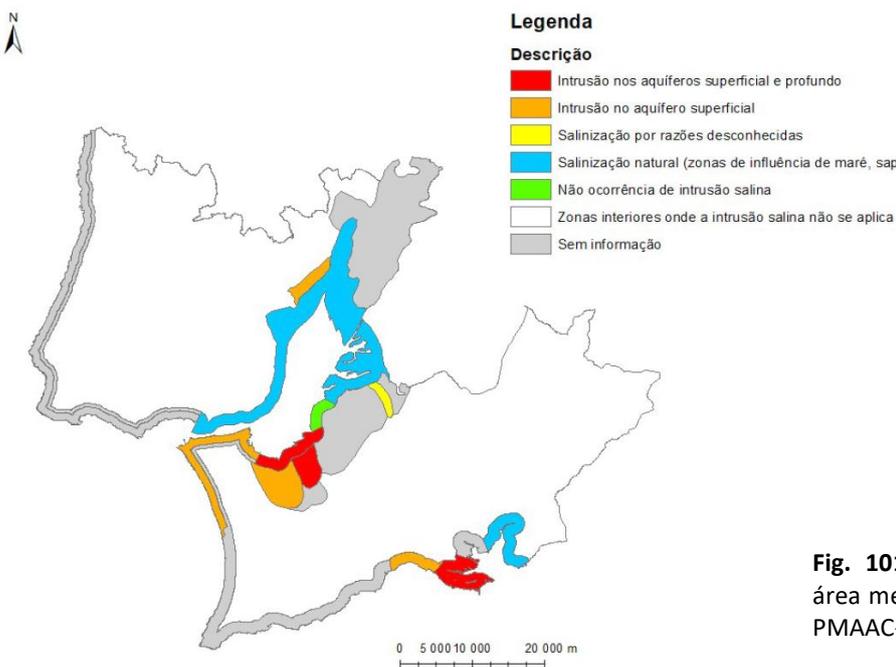
Na margem esquerda do Tejo, os recursos hídricos subterrâneos são explorados no aquífero superficial a profundo. No Concelho do Seixal existem várias captações, inclusive junto à Baía do Seixal, como a estação do Talaminho (fig. 98 e 99), a funcionar desde 1950. No entanto, determinadas estações já tiveram de ser abandonadas (a vermelho na fig. 100), algumas devido a intrusão salina, como o caso da estação da Quinta do Rouxinol, que abasteceu muitos anos Miratejo.



**Fig. 98 e 99:** Captação de água do aquífero na Estação do Talaminho (fotografias tiradas a 01-09-2020).



**Fig. 100:** Mapa do Concelho do Seixal com as várias estações de captação de água, a vermelho as desativadas. Imagem retirada do sistema de SIG da CMSeixal: [http://srvsigweb:8088/msw10/mapviewers/adf/\(S\(gqqgkspkiwdaftje0omi0vs0\)\)/Viewer.aspx?id=10](http://srvsigweb:8088/msw10/mapviewers/adf/(S(gqqgkspkiwdaftje0omi0vs0))/Viewer.aspx?id=10)



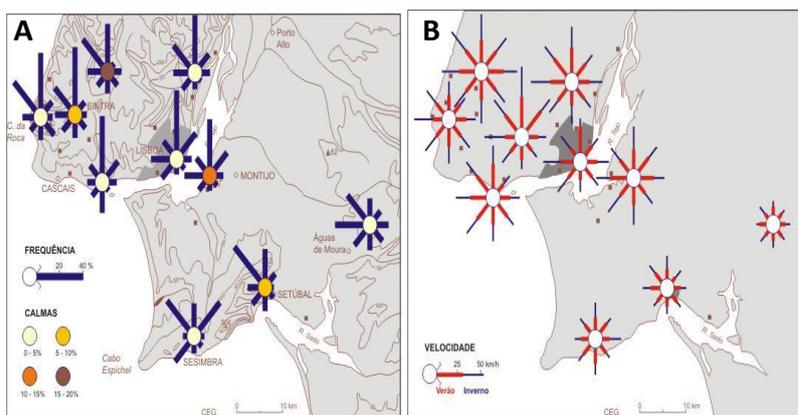
Desta forma, considera-se que, pelas suas características intrínsecas, embora globalmente este sistema aquífero possa considerar-se resiliente, o aquífero superficial é mais vulnerável do que o profundo, tanto quanto à descida dos níveis quanto à intrusão salina (AML, 2019), (fig.101).

**Fig. 101:** Intrusão salina nos aquíferos na área metropolitana Fonte: Base de dados do PMAAC-AML (2018). (AML, 2019).

## 7.2 Caracterização climática - Vento

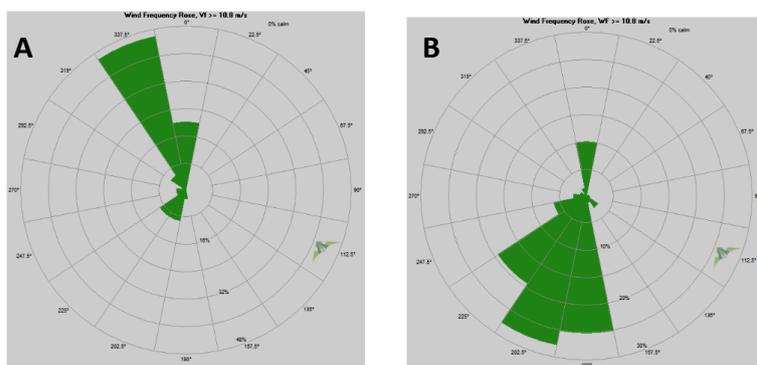
De uma forma resumida, o Seixal apresenta um clima temperado mediterrânico com alguma influência atlântica, dada a proximidade do mar, com temperaturas médias elevadas no verão e suaves no inverno, amplitude térmica anual moderada, caracterizado pela estação seca e período estival sem precipitação e temperaturas elevadas, que raramente chegam a atingir picos superiores a 40°C (Alcoforado, 1987). A Precipitação escassa e irregular (500 a 1000mm) e as estações mais pluviosas são no Outono e sobretudo na Primavera, podendo levar a situações de cheias no Seixal e em Corroios, quando se conjuga a baixa pressão (sobreelevação meteorológica do NRM) com elevada e continuada pluviosidade, a preia-mar e as águas vivas e marés equinociais e os ventos fortes.

Como foi referido, será interessante analisar mais detalhadamente os regimes de ventos dominantes na medida em que são em parte responsáveis pela geração local das ondas e consequente pela formação de praias estuarinas, no entanto quando o vento é muito forte e coincide com a maré cheia, pode ocorrer o galgamento das defesas costeiras e a erosão das praias e do sapal. Relativamente às médias anuais, a frequência dos ventos no Seixal é maioritária de Norte, seguida de W e NE (fig. 102).



**Fig. 102:** Ocorrência anual de vento (A), (frequência em %) e velocidade média no inverno e no verão (B) (km/h).  
Fonte: Alcoforado e Dias (2001) in AML (2018).

No entanto, quando se aproximam sistemas frontais, o vento muda de direção (Freire, 2003), assim as direções dominantes dos ventos superiores a 10,8 m/s, correspondentes a ventos fortes, verifica-se, para a estação do Montijo, uma forte dominância de Ventos de SSW, que geram ondas locais que poderão explicar a erosão verificada no sapal de Corroios, situado N da Baía (fig. 103).



**Fig. 103:** Gráficos de direções dominantes nos dias em que ocorrem velocidades >10,8m/s (entre 2006 e2016), para as estações de Lisboa/Portela (A) e Montijo (B), respetivamente.

Fonte: NCEI-CDO (National Centers for Environmental Information - Climate Data Online) in AML (2018).

### 7.3 Caracterização geológica

A Baía do Seixal, antes da ocupação humana apresentava todas as margens naturalizadas com defesas naturais de origem sedimentar (depósitos aluvionares do Quaternário) e as zonas de erosão seriam as formações do Pliocénico, que poderiam estar expostas, tal como se encontram nas margens mais escavadas da baía (fig. 104).



**Fig. 104:** Praia do Seixal existente junto à Caixa Geral de Depósitos, onde ainda existe o pequeno talude de erosão, que expõe a geologia da região com afloramentos do Pliocénico.

As arribas (agora fósseis) que se encontram um pouco por toda a orla a baía, testemunham que o NMM já esteve mais elevado, em que as águas da Baía iam erodindo as formações do Pliocénico (fig. 106). Estas escarpas conferem uma certa elevação aos terrenos, onde se instalaram as povoações como a Arrentela, uma das mais antigas do Concelho (fig. 105).



**Fig. 105:** Fotografia da muralha antiga da Arrentela, que se desenvolveu em encosta sobre a Baía (fotografia dos anos 70, existente na Junta de Freguesia da Arrentela, cortesia de Isabel Benito).

Estas arribas limitam a inundação por cheias, sendo apenas pela foz das ribeiras que a inundação se espraia (ribeiras de Corroios, Rio Judeu, etc., vide fig. 93).



**Fig. 106:** Imagem de drone da Arriba do Seixal, tendo sido a maior parte transformada em talude em 2015 (cortesia de António Silva).

Estas arribas (fig.107) são o testemunho da continuação do relevo que outrora ligava as duas margens, antes da instalação do Tejo ao longo da extensa “falha do Tejo”, quando este desaguava no sinclinal da Lagoa de Albufeira. Desta forma, durante milhares de anos houve transgressões (em períodos de deglaciação) e regressões (em períodos de glaciação) que permitiram a deposição dos sedimentos de *fácies* marinhas alternados com *fácies* fluviais respetivamente, consoante eram antigos leitos de mar ou de rio que foram formando estas formações do Pliocénico inferior ao Pleistocénico superior, de há 3,6 a 1,8 Ma (fig. 108).



**Fig. 107:** Arriba ainda existente por detrás das casas do Seixal (fotografia de Março de 2019).

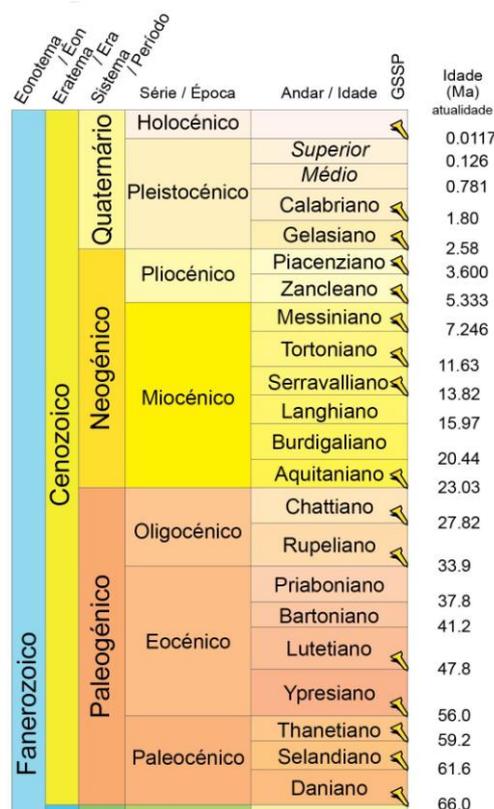
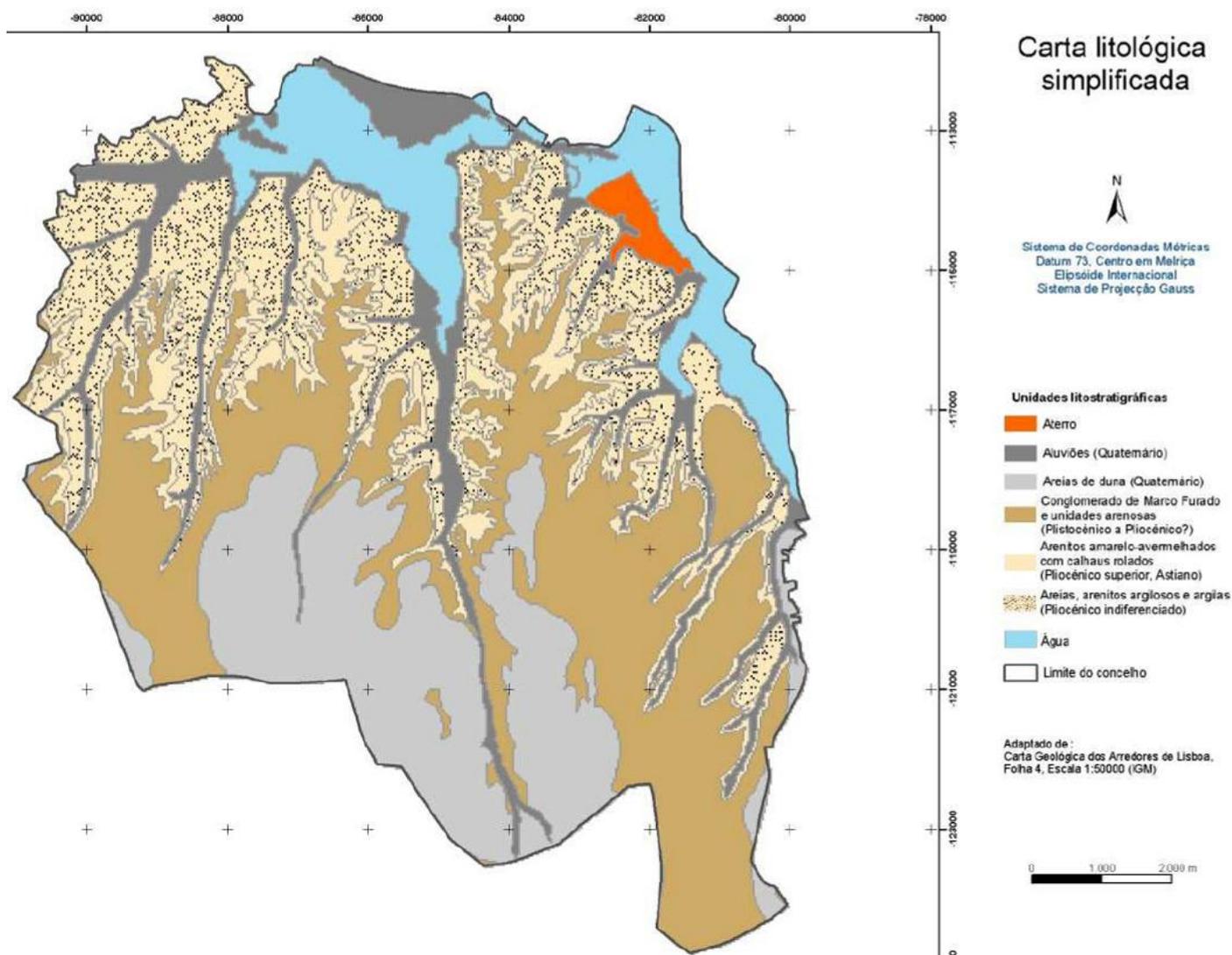


Fig.

**Fig. 108:** Excerto da Escala Cronoestratigráfica Internacional.  
In <https://stratigraphy.org/ICSchart/ChronostratChart2017-02PTPortuguese.jpg>

Para a execução da REN do Concelho do Seixal (2013), foi feito um estudo hidrológico e uma identificação e classificação das áreas de maior infiltração. Para tal foi elaborada uma Carta litológica simplificada (fig. 109).



**Fig. 109:** Carta litológica simplificada, com base na Carta Geológica dos Arredores de Lisboa, (Folha 4, escala 1/50 000).

Com base na Carta Geológica dos arredores de Lisboa (Folha n.º 4, escala 1/50 000) e respetiva nota explicativa (Zbyszewsky, 1963), verificamos que nas zonas mais elevadas e afastadas da baía afloram areias finas de dunas eólicas depositadas no Quaternário, entre o Pleistocénico superior e o início do Holocénico (a cinzento). Seguem-se as unidades arenosas que alternam com argilitos e conglomerados da Formação de Marco Furado e de Belverde, do Pleistocénico. Associado à rede hidrográfica, afloram pequenas manchas de arenitos cada vez mais consolidados de cor amarela avermelhada (devido aos minerais ferrosos), com pequenos calhaus rolados de antigos leitos do rio, do Pliocénico superior, e que dão cor às arribas do Concelho (formação de Santa Marta). Ocorrem igualmente intercalações de camadas mais ou

menos argilosas do Pliocénico indiferenciado (Fig. 110 e 111). Os depósitos aluvionares do Quaternário, transportados pelas ribeiras efluentes e pelas águas vindas do Estuário do Tejo ocorrem ao longo das linhas de água e marginam o estuário.



**Fig. 110 e 111:** Talude resultante da “estabilização” da arriba por detrás da povoação do Seixal, onde se avista a antiga arriba que não foi intervencionada, pormenorizada na segunda fotografia, em perfil (Outubro de 2018).

A arriba fóssil desenvolvia-se por detrás do casario do Seixal, tinha uma extensão de 500 m e uma altura que chegava aos 19 m. Resta ainda uma parte da arriba que ainda não foi intervencionada (remetida para 2ª fase), podendo-se observar ainda na fig. 107 e 111. São constituídas por formações de matriz areno-argilosa de cor avermelhada (óxidos de ferro) com clastos (de rochas paleozoicas (quartzo, quartzitos, jaspe e xistos) que podem atingir 15 cm.

Segundo Freitas *et al.* (2012), os sedimentos de fundo do estuário do Rio Tejo provêm maioritariamente da erosão das rochas pré-mesozoicas (predominantemente granitoides, folhelhos, xistos, metagrauvaques) da bacia ibérica do Tejo; constituem fonte secundária os materiais sedimentares meso-cenozóicos de bacias hidrográficas menores e que drenam diretamente para o estuário (calcários, margas e principalmente argilas e arenitos). Os sedimentos de fundo são essencialmente vasosos nas áreas subtidais e intertidais.

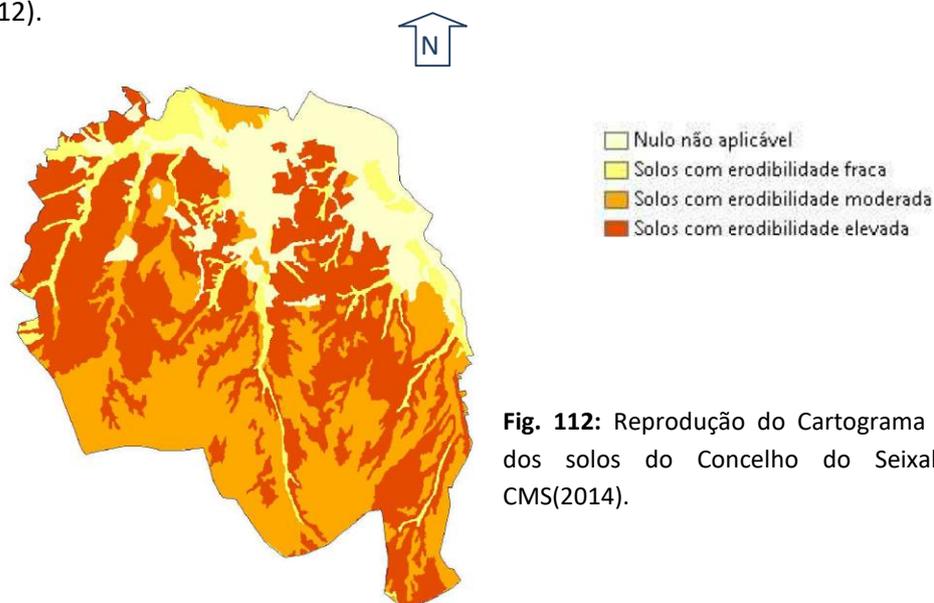
#### 7.4 Caracterização pedológica

De uma maneira geral, o tipo de solo encontrado na zona em estudo são solos halomórficos - solos salinos de salinidade moderada de aluviões e solos salinos de salinidade elevada de aluviões (DRARO, 1993).

Na bacia hidrográfica das ribeiras efluentes da Baía, encontram-se sobretudo vertissolos e regossolos sobre as formações plio-pleistocénicas, e os podzóis geralmente com surraipa ferruginosa, nas zonas de dunas eólicas estabilizadas do Quaternário, sobre a Arriba Fóssil da Costa da Caparica (Aroeira, Lagoa de Albufira, etc.). Estes solos de granulometria geralmente grosseira devido ao substrato arenoso e saibroso, apresentam graus de erodibilidade diversos, que vão contribuir potencialmente com sedimentos para as ribeiras, que por sua vez os levam para a baía, onde as marés os levam ou redistribuem pelos rasos de maré e sapais. Estes fatores adicionados ao baixo hidrodinamismo (zona terminal e abrigada

da baía) e os sedimentos vindos do estuário, levaram à crescente zona de sapal junto à Ribeira do Rio Judeu e estão na origem do desenvolvimento do Sapal de Corroios junto às Ribeiras de Corroios.

A equipa da CMS (2014) para a elaboração da carta da REN do Concelho cruzou estes dados com o tipo de solo, os declives, a hidrologia e a geologia, segundo um método semelhante ao método “RUSLE”, resultando uma carta síntese de erodibilidade dos solos (Fig. 112).



Sobressai de imediato a ligação desta classificação com a geologia subjacente. Desta forma as zonas que mais contribuem para os sedimentos da baía são as zonas de conglomerados, areias e arenitos do Pliocénico ao Pleistocénico.

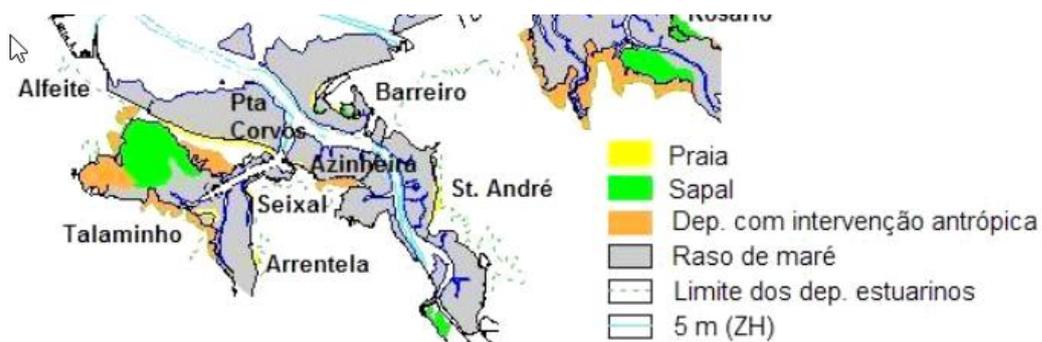
### 7.5 Origem, dinâmica e caracterização dos sedimentos da baía do Seixal

Relativamente aos sedimentos mais grosseiros que formam as praias da Baía do Seixal possuem diversas origens:

- Origem natural, como as praias de areia de pequena extensão, Arrentela e Talaminho, que resultam da erosão pluvial dos solos e afloramentos descritos, mas também de areeiros abandonados, escavados em afloramentos pliocénicos (Freire *et al.*, 2006).

- Origem antrópica, pequenas praias artificiais, como no caso da Amora e Seixal, formadas por depósitos de aterro ou de despejos de dragagem (Freire *et al.*, 2006).

A sua localização é esquematizada na fig. 113, onde os rasos de maré têm a predominância.

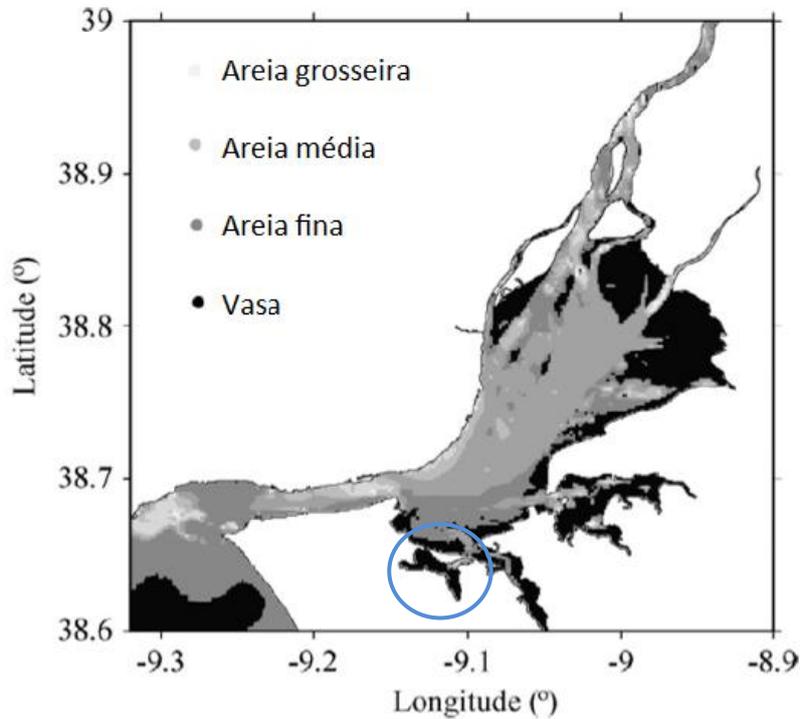


**Fig. 113:** Excerto e ampliação da imagem sobre a localização das praias do estuário do Tejo *in* Freire *et al.* (2006).

Os sedimentos depositados na Baía do Seixal, nomeadamente nos rasos de maré e sapais, são essencialmente vasosos. A vasa tem origem nas finíssimas partículas coloidais que o rio, já na sua fase terminal, transporta em suspensão nas águas, os sedimentos coesivos. A mistura dessas partículas com águas salinas de origem marinha provoca a sua agregação eletrolítica e a floculação, depositando-se então gradualmente nos fundos dos estuários (Nybakken, 1993). Estes ocupam a zona intertidal entre o nível de BMAM (Baixa-mar de águas-mortas) e o nível de PMAM (Preia-mar de águas-mortas). Quando os rasos de maré atingem o nível de PMAM, a sua superfície reúne condições de estabilidade e cota para se começarem a instalar as primeiras plantas halófitas de sapal (plantas pioneiras). As plantas ajudam a permitir que se acumulem mais sedimentos, uma vez que contribuem para a sua deposição quer por acumulação dos seus próprios detritos orgânicos (e sua bioturbação e mineralização pelos organismos bentónicos), quer por atenuarem a hidrodinâmica e proporcionarem um ambiente mais calmo. (Dias & Marques, 1999, Silva, 2013).

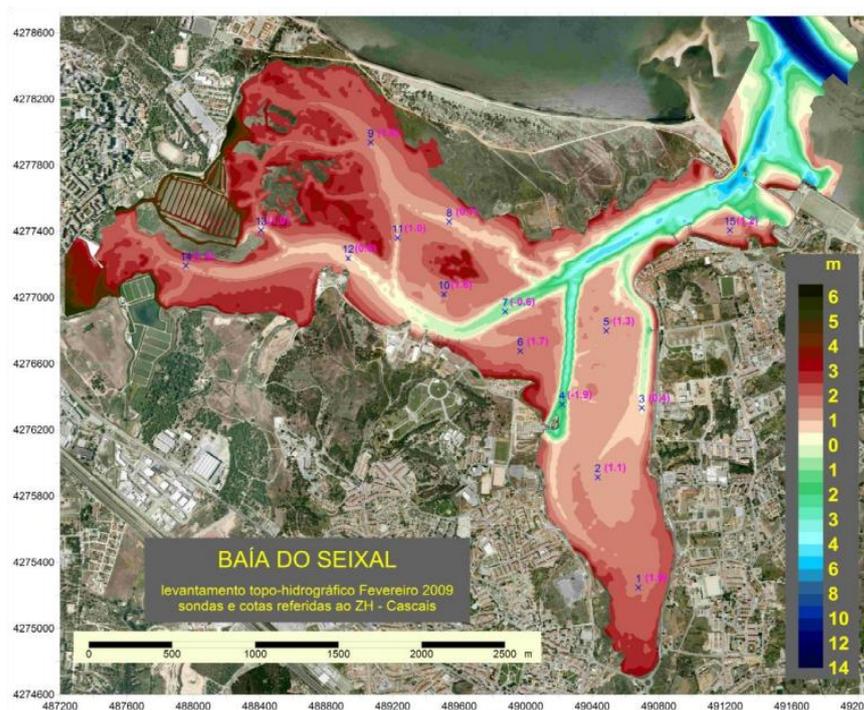
As marés são então um fator muito importante na dinâmica do estuário e no aporte de sedimentos, remobilização e redistribuição destes pelos rasos de maré e pelos sapais. Os sedimentos ao ficarem retidos nas superfícies rugosas do sapal, vão elevando a cota e as plantas de sapal que vão sendo substituídas ou colonizadas por outras mais altas, numa sucessão vegetal até chegar ao sapal maduro. Os canais de maré são formados a partir de pequenas depressões na superfície dos rasos onde ocorre acumulação de água durante a vazante. A cada ciclo de maré essas depressões vão-se alargando e aprofundando dando depois origem aos canais (Gao, 2009), que com o evoluir dos sapais se vão tornando cada vez mais profundos. Estes canais são assim as vias preferenciais de transporte de sedimento para as superfícies dos rasos de maré e dos sapais. Nos períodos de enchente, a água carregada de sedimentos em suspensão invade os canais de maré. Quando o nível atinge a cota das suas margens a água transborda e perde velocidade (Silva, 2013). A água ao espriar-se pelos sapais encontra muito atrito, a velocidade diminui e os sedimentos em suspensão depositam-se no fundo rugoso. São estes canais que vão servir de base fundamental para a proposta de Ad de Loon-Steensma (2013) para a sobrevivência de sapais em ambientes onde o acarreo de sedimentos é deficitário, como concluiu Silva (2013) para o caso do Sapal de Corroios e é corroborado pelos resultados desta dissertação.

Segundo Franz *et al.* (2017), o modelo hidrodinâmico feito com o *software Mohid Water* para o Estuário do Tejo, mostra que a Baía do Seixal é essencialmente preenchida com sedimentos finos, à exceção da zona da barra.



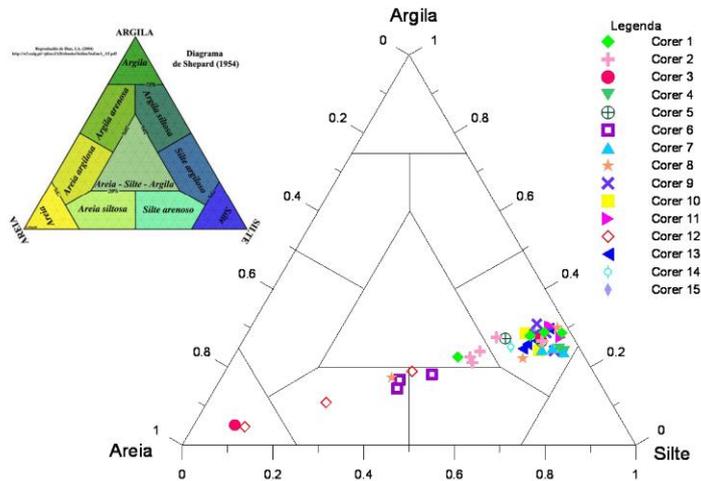
**Fig. 114:** Resultados do modelo em que as frações de sedimento foram distribuídas de acordo com as condições hidrodinâmicas para o Estuário do Rio Tejo, evidenciando-se a Baía do Seixal com o círculo azul (Franz *et al.*, 2017).

A uma escala mais aproximada, o estudo *in situ* dos sedimentos da Baía do Seixal, colhidos em amostras verticais, em embarcação durante a preia-mar (Silva *et al.*, 2011) (Fig. 117), que serviu de base ao estudo de macroinvertebrados bentónicos (ou que vivem no sedimento) para o Estudo de Valorização Ambiental da Baía do Seixal (Caçador *et al.*, 2011), corroboram e detalham os resultados obtidos no modelo de Franz *et al.* (2017).



**Fig. 115:** Posição das amostras verticais de sedimentos colhidas na Baía do Seixal durante a campanha de Maio de 2009 (cotas relativas ao ZH nos pontos de amostragem entre parênteses) *in* Silva *et al.* (2011).

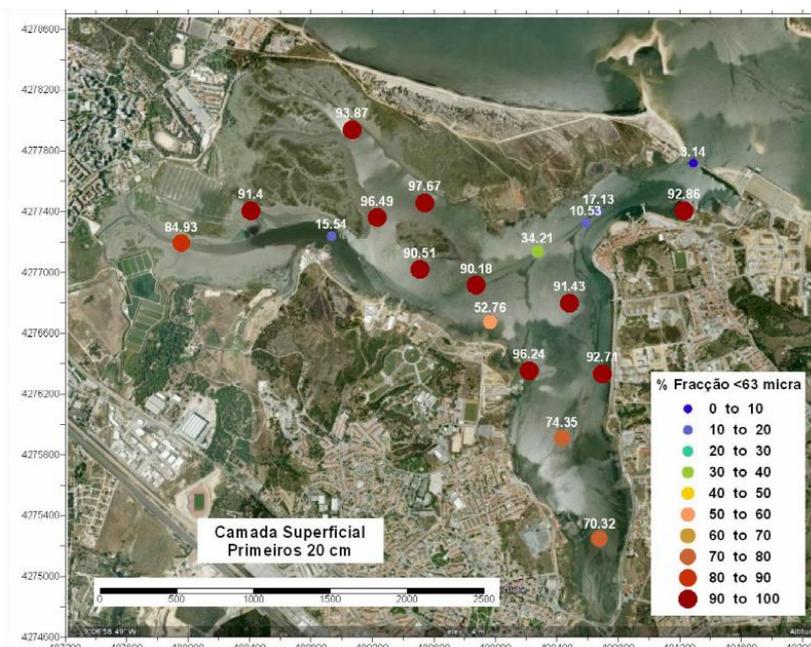
As amostras de sedimentos verticais recolhidas na baía (*cores*), foram depois tratadas e foi feita a classificação textural/granulométrica dos seus sedimentos, e transposta para o diagrama triangular de Shepard (1954), no qual so consideradas as componentes argila, silte e areia (fig. 116).



**Fig. 116:** Diagrama de Shepard com a projeção das amostras verticais retiradas e analisadas do estudo na Baía do Seixal (Silva *et al.*, 2011).

Segundo Silva *et al.* (2011), não se observaram variações verticais significativas, sendo os sedimentos classificados de modo geral, segundo Shepard (1954) como siltes argilosos, siltes arenosos ou areias silteosas. As maiores diferenças localizaram-se nos canais principais (C3, C12 e C8,) e nos bancos de ostras (C1, C5 e C6). Segundo o mesmo relatório, a análise da distribuição granulométrica das amostras superficiais recolhidas ao longo da Baía, mostra que esta é constituída, na sua maioria, por lodos (silte-argiloso), à exceção do canal principal de entrada na baía e no canal junto ao estaleiro do Talaminho (fig. 117). A origem arenítica do fundo do canal principal poderá resultar de contribuição e trocas sedimentares com praias estuarinas situadas junto à entrada do canal. Já a zona do canal junto ao estaleiro do Talaminho poderá ter origem nas praias e arribas situadas imediatamente a montante (fig. 113), ou nas fortes ações antrópicas exercidas na zona. A amostra recolhida na zona (C12),

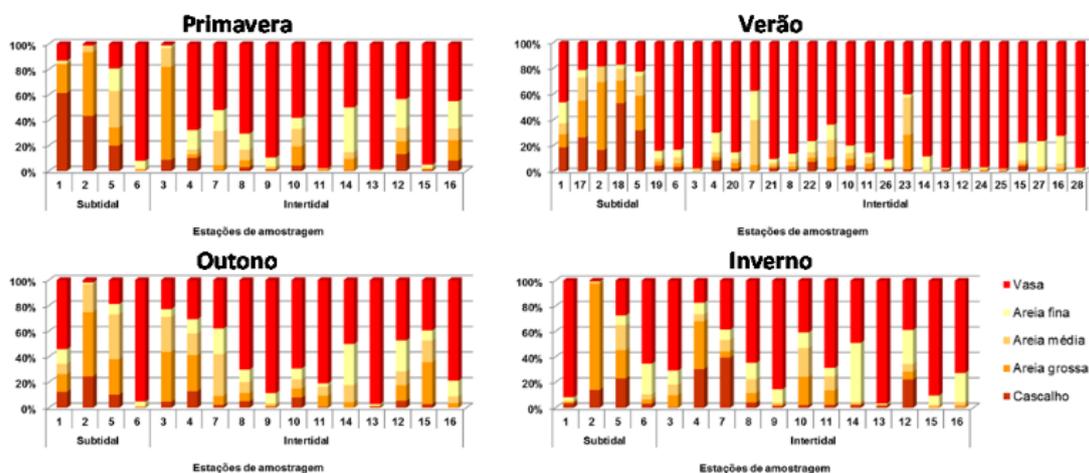
revelou um incremento da percentagem de areia da base para o topo.



**Fig. 117:** Distribuição granulométrica nas amostras de sedimento superficial (20cm) percentagem de finos (fração <63 µm) (Silva *et al.*, 2011).

Segundo Silva *et al.* (2011), a mineralogia da fração silto-argilosa é constituída, em termos médios, por mica/ilite (máximo 63,41%, média 27,86% e mínimo 12,53%), quartzo (máximo 23,71%, média 16,33% e mínimo 8,30%), plagioclase (máximo 23,49%, média 13,513% e mínimo 6,21%) e caulinite (máximo 22,48%, média 9,48% e mínimo 2,78%). Como minerais acessórios surgem a clorite, opala, anatase, anidrite, plagioclase, calcite, dolomite, sidrite e pirite. Morfoscopicamente, a fração grosseira dos sedimentos superficiais, é constituída na sua maioria por grãos de quartzo, micas (moscovite e alguma biotite), litoclastos de rochas vulcânicas e metamórficas, agregados mineralógicos, minerais pesados, agregados de matéria orgânica e de frações inferiores, fragmentos de conchas de moluscos e foraminíferos bentônicos do género *Ammonia*, presentes em alguns *cores* perto de fontes de poluição (sendo bioindicadores de existência de poluição).

Caçador *et al.* (2011) apresentam os resultados de várias campanhas de amostragem realizadas entre 2009 e 2010 (fig. 118).



**Fig. 118:** Granulometria dos sedimentos para as várias estações de amostragem na Baía do Seixal, na Primavera, Verão e Outono de 2009 e no Inverno de 2010 (Caçador *et al.*, 2011).

Segundo estes autores, de um modo geral, verificou-se que as estações na embocadura apresentam sedimentos mais grosseiros, junto às ribeiras efluentes e junto às margens existe uma maior heterogeneidade dos sedimentos e no interior do sistema predominam os sedimentos mais finos, nomeadamente, de vasa (fig. 119).

O predomínio de elementos finos parece ter sido superior no Verão e inferior no Inverno. Tal padrão de variação terá resultado dos diferentes níveis de precipitação nas várias épocas do ano, com a chuvas inverniais a introduzirem no sistema mais sedimentos arenosos e a conduzirem para fora da Baía do Seixal mais partículas vasosas (Caçador *et al.*, 2011).

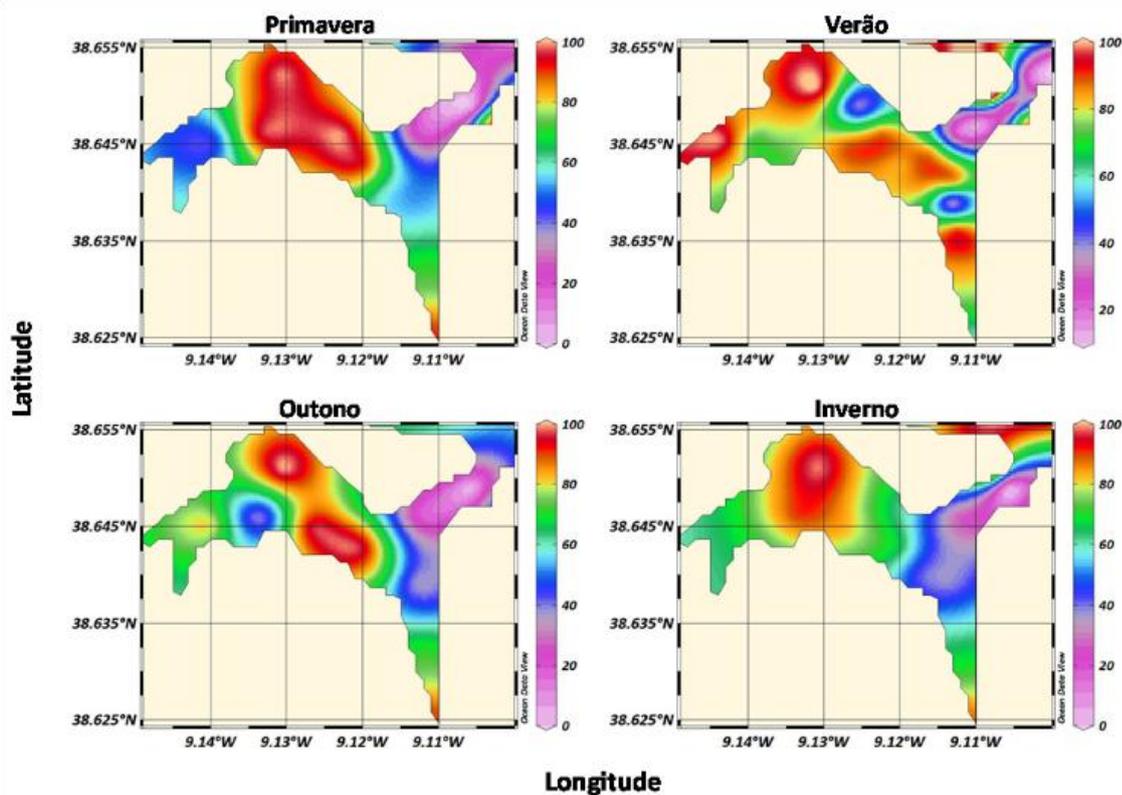


Fig. 119: Percentagem de elementos finos nos sedimentos da Baía do Seixal, na Primavera, Verão e Outono de 2009 e no Inverno de 2010 (Caçador *et al.*, 2011).

#### 7.4 Caracterização biológica da Baía do Seixal

Os estuários são caracterizados por uma grande variabilidade na salinidade e pela instabilidade dos seus fatores ambientais (Silva, 1999). Segundo Almeida (2009), a mistura de águas marinhas e fluviais está, portanto, na origem de um estuário, mas não é ainda suficiente para criar todos os fatores ecológicos que proporcionam o aparecimento das biocenoses estuarinas. Para tal é necessário que as condições geológicas da foz do rio possibilitem a deposição de sedimentos, de origem fluvial e marinha, que servirão de substrato às comunidades de seres vivos intimamente associados às lamias e areias que as ribeiras, o rio Tejo e o mar, arrastados pelas marés, depositam nos leitos estuarinos, em zonas de menor hidrodinamismo. Assim, a baía do Seixal com as suas condições mais abrigadas e a sua dinâmica de marés proporciona a existência de um conjunto e de uma alternância de diferentes habitats temporários e cíclicos que proporcionam a existência da vegetação halófitas, sujeita a diferentes graus de salinidade, períodos de encharcamento e alagamento e por vezes a temperaturas elevadas.

Com a subida da maré, a água do estuário vai progredindo lentamente pelos ramos de maré, rica em fitoplâncton e zooplâncton, sendo a baía temporariamente “colonizada” por peixes (foram contabilizadas 14 espécies na baía (Caçador *et al.*, 2011), destacando-se as espécies residentes como o xarroco *Halobatrachus didactylus* e o caboz-da-areia *Pomastochistus microps* (Costa, 2004), por moluscos (cefalópodes como o choco-vulgar *Sepia officinalis* e o chopito-anão-orelhudo *Sepiolo atlantica*) e por crustáceos como os camarões e

os caranguejos que também ficam durante a baixa-mar nas poças, onde o período de emersão deixa a descoberto os rasos de marés. Nestes vivem inúmeros macro-invertebrados bentónicos que servem de alimento às diferentes espécies de aves limícolas, donde se destacam os bivalves como a Lambujinha *Srobicularia plana*, os gastrópodes como a *Hydrobia ulvae*, os anelídeos tais como os poliquetas donde se destaca a *Hediste diversicolor*, muito procurada para isco de pesca. Foram inventariados no total 231 taxa de macroinvertebrados bentónicos, que vivem no sedimento, sendo mais abundantes os organismos que vivem na faixa intertidal, mas menos diversos (101 espécies, 37042 indivíduos) que na zona subtidal (209 taxa, 13803 indivíduos). Os anelídeos foram o grupo com maior representatividade ao nível do número de taxa (72), com a presença de 35 e 68 taxa no intertidal e subtidal, respetivamente. Seguiram-se os Moluscos (62), os artrópodes (55), na sua maioria *Amphipoda* (22), e os *Cnidaria* (23), por ordem decrescente de importância em termos de do número de espécies presentes (Caçador *et al.*, 2011).

A introdução da amêijoia-japonesa (*Ruditapes philippinarum*), uma espécie exótica proveniente do Pacífico oriental, tem exibido uma rápida dispersão espacial, estando atualmente presente na Europa. Segundo Galauet (2011), na Baía do Seixal, constata-se que esta espécie exótica é “invasora”, tendo ocupado rapidamente o habitat da espécie nativa *R. decussatus*, que apresenta densidades muito inferiores, quase vestigiais. No Estuário do Tejo com a introdução e expansão da amêijoia-japonesa, tem também havido um forte declínio na população de berbigão (*Cerastoderma glaucum*).

Relativamente às aves do sapal, ocorre o flamingo-comum ou flamingo-rosado (*Phoenicopterus roseus*), que dá nome a uma associação ambientalista de Miratejo (o Grupo Flamingo), mas infelizmente, esta ave que se desloca em bandos migratórios é cada vez mais rara de avistar. Antigamente viam-se bandos de flamingos invernantes em Janeiro mesmo na zona Sul da Baía, mas ultimamente só se avistam alguns bandos reduzidos no sapal de Corroios.

As seguintes aves de maior porte são a garça-real ou cinzenta (*Ardea cinerea*) que é residente, avistam-se facilmente entre as formações do sapal de Corroios. É nos rasos de maré deste sapal maduro, que oferece a proteção e o resguardo necessários e alimento, que se avistam a maioria das aves limícolas de porte mais pequeno, tais como o maçarico-de-bico-direito (*Limosa limosa*), o maçarico real (*Numenius arquata*), o maçarico-galego (*Numenius phaeopus*), o inconfundível alfaiate (*Recurvirostra avosetta*) com o seu bico fino e longo curvado para cima, o pilrito-comum (*Calidris alpina*), a tarambola cinzenta (*Pluvialis squatarola*), o perna-vermelha-comum (*Tringa totanus*), o pernalongo (*Himantopus himantopus*), o emblemático colhereiro com a ponta do bico alargada e espalmada (*Platalea leucorodia*) que se avista mais raramente.

No trabalho de campo elaborado por Caçador *et al.* (2011) foram identificados 99 táxones (espécies) diferentes de aves na Baía do Seixal, o que revela uma muito elevada riqueza específica e corrobora a importância destas zonas húmidas para habitat, alimentação e reprodução destas aves residentes e migratórias.

No âmbito das atividades de *birdwatching*, segundo Caçador *et al.* (2011) podem ser observados em Portugal dois ciclos anuais de migração:

- Um começa no início da Primavera, quando assistimos à chegada dos migradores “estivais” vindos do Sul, que de seguida se instalam e reproduzem entre nós, para voltar a partir no começo do Outono, rumo a Sul e de regresso ao Continente Africano. Alguns destes migradores estivais passam simplesmente pelo nosso país enquanto viajam para as suas áreas de nidificação, situadas em latitudes mais a Norte, voltando a passar para Sul no final do Verão e no começo do Outono. Nesse caso, recebem a designação de “migradores de passagem”.

- Um ciclo distinto começa no final do Verão e intensifica-se com a chegada dos primeiros frios do Outono, quando chegam os migradores “invernantes” provenientes das latitudes árticas e das regiões mais frias da Europa, que nessa altura do ano se deslocam para a bacia do Mediterrâneo, onde permanecem durante os meses de Inverno mais amenos.

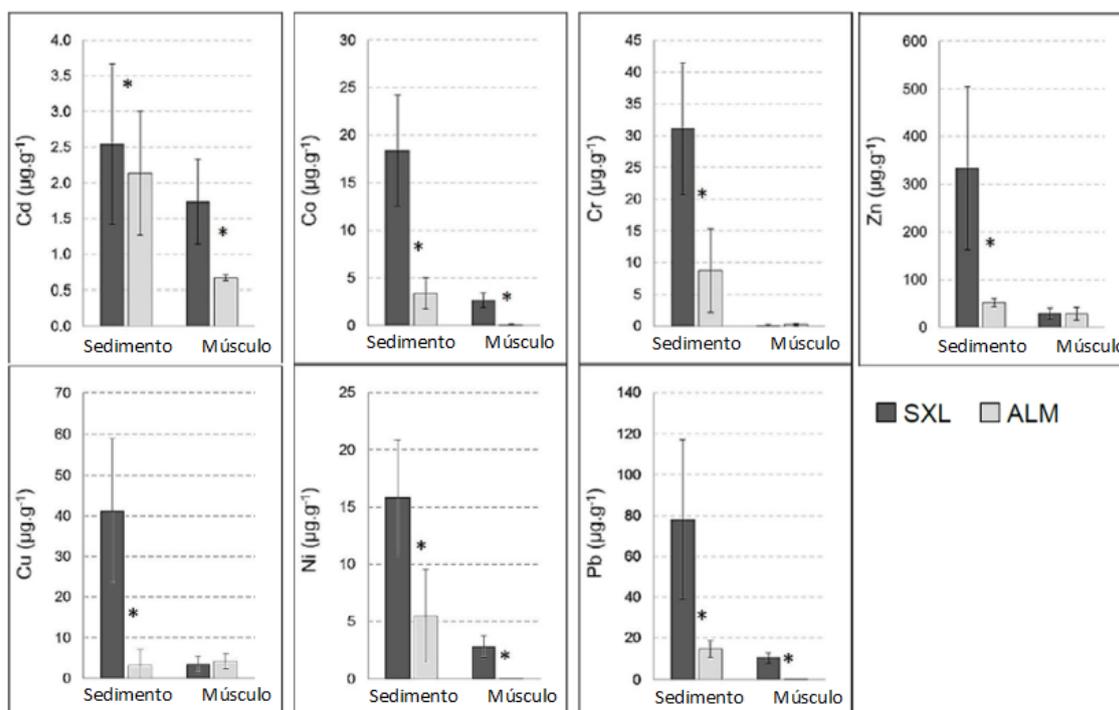
Devido ao aquecimento provocado pelas ACs, já se avistam por vezes a Íbis-preta, um pássaro preto de bico arqueado para baixo, que nos arrozais do Sado é muito abundante em bandos; talvez pelo aumento da produtividade destas áreas com o aumento da temperatura e pelos Invernos menos severos, já se registaram dois casos de nidificação no Estuário do Tejo (fig. 120).



**Fig. 120:** Arrozais do Estuário do Sado entre Comporta e Carrasqueira, com bandos de íbis-preta a alimentarem-se (Fev. de 2019).

A Baía do Seixal, tal como o restante Estuário do Tejo é também uma zona importante de reprodução, alimentação, *habitat* e de proteção para os peixes mais juvenis. Segundo os estudos de Cabral (2001) sobre as populações de peixes no Estuário do Tejo, com as ACs e o conseqüente aumento da temperatura da água, tem-se constatado o aumento de espécies africanas habituadas a águas mais quentes, e um decréscimo na abundância de espécies que precisam de temperaturas mais baixas, como por exemplo a solha (*Platichthys flesus*) e o laibeque-de-cinco-rabilhos (*Ciliata mustela*). No primeiro caso, quando a temperatura da água ultrapassa os 12°C nos meses de Inverno, dá-se uma elevada mortalidade dos seus ovos.

O xarroco (*Halobatrachus didactylus*) é também um peixe bentónico comum no Estuário do Tejo e na Baía do Seixal. Segundo Sílvia Pedro(2014) este predador de topo (piscívoro) é indicador da contaminação de metais no sedimento, pois observaram-se bioacumulações de metais pesados, tais como o Cd, o Pb, e o Ni<sub>1</sub> que não são metabolizados pelo organismo, acumulando-se na sua parte muscular, sobretudo na Baía do Seixal, comparativamente a um local com sedimento menos poluído, perto da embocadura do Tejo, no Portinho da Costa (Almada). Aqui a contaminação por metais é relativamente baixa devido ao elevado hidrodinamismo e profundidade. Pelo contrário, a Baía do Seixal localizada numa área mais interior do estuário, apresenta um baixo hidrodinamismo e profundidade que conciliado com a elevada pressão urbana e industrial histórica e ainda atual (existem 3 estaleiros navais), conduz a que neste local seja possível encontrar níveis consideravelmente elevados de metais no sedimento e nos xarrosos, relativamente a Almada. Foram analisados os machos reprodutores, por serem mais sedentários que as fêmeas, nomeadamente porque são os machos que guardam os ninhos durante o desenvolvimento dos ovos. Concluiu-se que o xarroco tem potencial como indicador da biodisponibilidade destes metais no sedimento (fig. 121).



**Fig. 121:** Concentração de metais vestigiais ( $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  de peso seco) em amostras de sedimento de Almada, ALM ( $n = 9$ ) e na Baía de Seixal, SXL ( $n = 8$ ) e no músculo de *Halobatrachus didactylus* (machos adultos) das mesmas áreas (ALM:  $n = 5$ ; SXL:  $n = 8$ ). \* Diferenças significativas entre as áreas ( $p < 0,05$ ) in Pedro (2014).

*“A ação das plantas de sapal potencia a diminuição da biodisponibilidade de alguns elementos, ao passo que a ação de espécies predominantemente detritívoras parece ter o efeito contrário, disponibilizando os metais sob formas mais móveis e acessíveis à teia trófica estuarina. Cenários como o da subida do nível médio da água do mar podem potenciar a exportação e disponibilização de metais nos estuários” (in Pedro, 2014).*

## 7.5 Caracterização do Sapal da Baía do Seixal

Num ambiente natural com substrato que permita o desenvolvimento do sapal em pleno (o seu avanço e recuo), é comum fazer-se a distinção entre baixo sapal, alto sapal e sapal de transição, em função da cota da superfície onde as plantas se fixam, conseguindo-se estabelecer padrões de distribuição das diferentes espécies das plantas halófitas, consoante a periodicidade e o tempo de encharcamento, e tolerância à salinidade intimamente ligados à amplitude e duração das diferentes marés (fig. 122).



**Fig. 122:** Diferentes tipologias de sapal, ilustração científica executada por Nuno Farinha (2017), excerto da brochura sobre Estuário do Sado impressa pelo ICNF, Reserva Natural do Estuário do Sado e Tróia Natura.

O sapal baixo ocupa a região mais baixa do domínio altimétrico passível de ser ocupado por vegetação halófitas, ocupando uma posição periférica em relação à restante mancha do sapal, aproximadamente entre o nível médio de preia-mar das águas mortas e o nível médio de preia-mar (Davis e Fitzgerald, 2004). Assim, está diariamente sujeito à inundação pela maré e é a primeira linha de colonização, sempre que existe uma pequena elevação no sedimento, provocada pelo carreamento de sedimentos devido ao hidrodinamismo das marés. É aqui que se encontram as plantas pioneiras (como a *Spartina marítima*, Fig. 123 e 124), aquelas que estão na periferia de uma mancha de sapal, que formam o princípio de uma frente e/ou ilha de sapal.



**Fig. 123 e 124:** Tal como no Estuário do Tejo, também no Estuário do Sado se dá a colonização do sedimento fino e arenoso, por *Spartina marítima*, junto a uma estrutura de proteção costeira (enrocamento, pneus com pedras e telas), para proteger da erosão os arrozais do Estuário do Sado, no “Matinho”, entre o Canal da Comporta e o Cais Palafítico da Carrasqueira. Campanha de sensibilização e recolha de lixo promovida pela ONGA “Ocean Alive” (em Fevereiro de 2019).

Na Baía do Seixal as principais espécies pioneiras são a *Spartina maritima*, uma gramínea helófito (do grego ἑλώς, helos, «pântano», e φυτόν, phyton, «planta») que coloniza ilhas e forma arrelvados perenes. Nas frentes de sapal mais junto a terra encontra-se o caméfito (gemas de renovo até 30 cm de altura) suculento *Sarcocornia perenis* ssp. *perenis*.

O sapal baixo é pobre em variedade específica, sendo poucas as plantas que conseguem resistir a estas condições, sendo no caso do Sapal de Corroios, formado por comunidades de plantas perenes e vivazes em que predominam os arbustos suculentos (Almeida, 2009) geralmente intercaladas com *Halimione portulacoides* (caméfito) e *Sarcocornia fruticosa* (nanofanerófito: arbusto de caules lenhosos até 50 cm), constituindo assim, juntamente com as plantas pioneiras anteriormente referidas, as quatro espécies mais abundantes (Caçador *et al.*, 2011). A comunidade fitossociológica *Sarcocornietalia fruticosae* forma assim a parte da biomassa fundamental dos salgados costeiros e interiores da região Mediterrânica e Cantabro-Atlântica (Almeida, 2009) (fig. 125 a 127).



**Fig. 125 e 126:** Colonização por *Spartina maritima* (1) das ilhas de sedimentos junto à foz do Rio Judeu (Abril de 2017) e por *Sarcocornia perenis* ssp. *perenis* (2) numa zona mais abrigada, junto à estrutura de proteção costeira (Abril de 2019).



**Fig. 127:** Na Baía do Seixal, junto à Foz do Rio Judeu, zona de crescimento do sapal, estão presentes as quatro espécies mais representativas do baixo Sapal, sendo as primeiras ilhas colonizadas pela *Spartina maritima* (1), depois por *Sarcocornia perennis* ssp. *perennis* (2) já junto à estrutura de proteção costeira (colchão Reno) seguidas pela *Halimione portulacoides* (3) intercalada com a *Sarcocornia fruticosa* (4) (Abril de 2019).

O sapal alto corresponde ao domínio intertidal superior, com limites definidos pelo nível médio de preia-mar e de preia-mar de águas vivas. Este só é inundado pela preia-mar, com períodos de submersão curtos e espaçados no tempo, permitindo assim uma maior diversidade de plantas, em relação ao baixo sapal, com vegetação arbustiva, com menos de um metro de altura, que cobre quase totalmente os solos da plataforma de preia-mar (Davis e Fitzgerald, 2004). No Sapal de Corroios e zonas naturalizadas da Baía do Seixal encontramos nas zonas mais baixas as Sarcocornias e onde só chegam as marés vivas o *Atriplex halimus*, a *Salsola vermiculata*, *Suaeda vera*, o *Juncus maritimus* e a *Inula chritmoides*, entre outras.

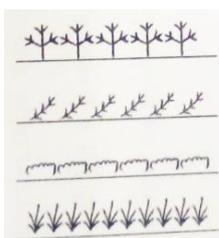
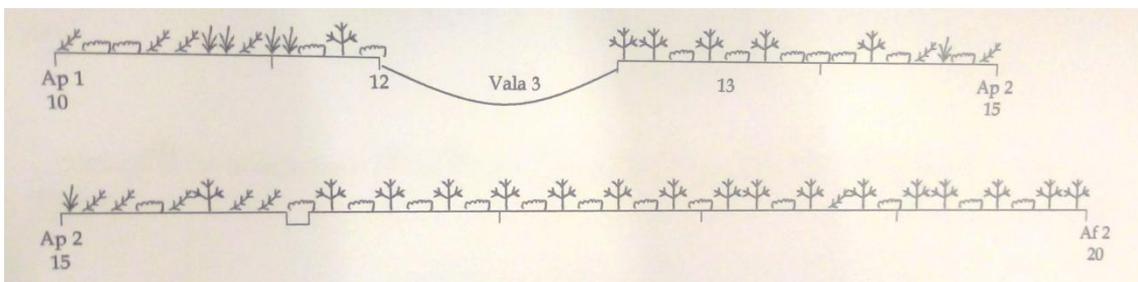
Por vezes encontram-se plantas parasitas, da família *Orobanchaceae*, a *Cistanche phelypaea* nas zonas mais secas de sapal alto. É um geófito (do Grego geo, terra e phyto, planta) que vive debaixo da terra e apenas na Primavera apresenta uma haste floral que se demarca das demais plantas de sapal, exatamente por se ter especializado apenas na reprodução, não faz fotossíntese, não tem folhas, e possui raízes que parasitam e se agarram às raízes de outras plantas (normalmente arbustivas da família *Chenopodiaceae*), obtendo assim hidrocarbonetos. Encontra-se distribuída pelo Sul da Europa e segundo a *Flora On*, o Estuário do Tejo é o limite Norte desta espécie que veio do Norte de África (fig. 128 e 129).



**Fig. 128 e 129:** Plantas parasitas, *Cistanche phelypaea*, nas zonas mais secas de sapal alto (fotografias tiradas respetivamente em Abril e Maio de 2018), na zona com plantas de sapal da praia da Fidalga (fig. 133) em solo arenoso.

O sapal de transição ou ecótono, como referido por Moreira (1987), marca o limite superior e o fim do habitat de sapal, que ocupa as cotas superiores até 3,75 m, raramente atingido pela preia-mar na altura das marés vivas, mas com influência da constante oscilação do nível freático salgado, o *Atriplex halimus* é uma espécie vulgarmente presente no sapal de transição.

No sapal de Corroios, considerado um sapal “maduro”, segundo os transectos feitos por Tibério (2004), as espécies do sapal baixo vão ao encontro do referido, variando entre as 4 espécies predominantes. Note-se que *Arthrocnemum* sp. e *Salicornia* sp. são sinónimas de *Sarcocornia* sp. (fig. 130 e 131).



*Sarcocornia fruticosa*

*Sarcocornia perenis* ssp. *Perenis*

*Halimione portulacoides*

*Spartina maritima*

**Fig. 130:** Excerto de dois dos vários transectos do Sapal de Corroios (efetuados por Tibério, A. S., 2004).

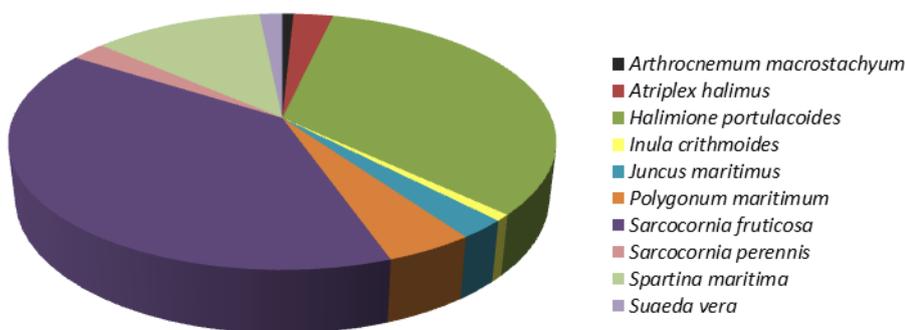


**Fig. 131:** Fotografia do Sapal de Corroios em maré baixa (Maio de 2017).

Embora haja dominância destas 4 espécies, o sapal da Baía do Seixal apresenta uma diversidade florística equilibrada. Caçador *et al.* (2011) determinou a cobertura das diferentes espécies através da projeção da área ocupada por cada espécie na área total de um transecto, com um metro de lado, perpendicular à linha de costa, com início na margem seca (Braun-Blanquet, 1979), tendo-se obtido resultados apresentados na Tabela 6 e figura 132:

**Tab. 6:** Tabela baseada nos dados de Caçador (2011) “Áreas de cobertura (m<sup>2</sup>) e cobertura relativa (%) das plantas de sapal da Baía do Seixal”.

Espécie (família)	Família	Área Total (m <sup>2</sup> )	Cobertura relativa (%)
<i>Arthrocnemum macrostachyum</i>	Chenopodiaceae	19231	0.79
<i>Atriplex halimus</i>	Chenopodiaceae	68554	2.81
<i>Halimione portulacoides</i>	Chenopodiaceae	814344	33.39
<i>Inula crithmoides</i>	Asteraceae	19439	0.80
<i>Juncus maritimus</i>	Juncaceae	58731	2.41
<i>Polygonum maritimum</i>	Polygonaceae	107846	4.42
<i>Sarcocornia fruticosa</i>	Chenopodiaceae	960652	39.38
<i>Sarcocornia perennis</i>	Chenopodiaceae	58731	2.41
<i>Spartina maritima</i>	Poaceae	292616	12.00
<i>Suaeda vera</i>	Chenopodiaceae	39085	1.60



**Fig. 132:** Gráfico baseado nos dados de Caçador *et al.* (2011) para a cobertura relativa (%) do inventário florístico feito para o sapal da Baía do Seixal.

Constata-se que, tal como nos transectos efetuados por Tibério (2004), as espécies mais abundantes foram *H. Portulacoides* e *S. fruticosa*, ocupando cada uma cerca de 1/3 da área total de sapal inventariada. Seguidamente, surge a espécie pioneira *S. maritima*, ocupando cerca de 12% da cobertura total de sapal, e depois outras espécies halófitas com menor expressão, por ordem descendente de abundância: *Polygonum maritimum*, *Atriplex halimus*, *Juncus maritimus* e *Sarcocornia perennis*, *Suaeda vera*, a composta de flor amarela *Inula chritmoides* e por último o *Arthrocnemum macrostachyum*. Note-se que este inventário se estendeu por zonas de sapal baixo (14,4%), sapal alto (72,8%) e sapal de transição (12,8%).

Caçador *et al.* (2011) concluem assim que os sapais da Baía do Seixal possuem uma variedade elevada de espécies (riqueza específica=10), o que reflete uma “boa qualidade ambiental” e um contributo importante em termos de biodiversidade.

Numa área de estudo maior, que abrange os sapais de Coima, Corroios e Alcochete, Almeida (2009) identificou um total de 87 táxones (riqueza específica=87), repartidos por 21 famílias.

Numa zona da Baía do Seixal intervencionada em 2005 para o “Passeio Ribeirinho”, onde existia o “Estaleiro da Fidalga”, (o projeto de execução e acompanhamento da obra foi feito por mim, na equipe de projeto da CMSeixal), o transplante das espécies de sapal durante a obra para um sítio mais alto, onde permaneceram bastante tempo em más condições, enquanto se trabalhava a praia (solução de defesa costeira híbrida com deposição de areias e faixa de enrocamento). Depois voltou a plantar-se abaixo da faixa de enrocamento, na areia. Embora muitas plantas tenham morrido e secado, algumas sobreviveram e a mais resiliente foi a *Salsola vermiculata*, uma planta perene e resistente, considerada um caméfito lenhoso ou nanofanerófito, do alto sapal, que estava na cota dos 2,5 a 3 m antes do início da obra (fig. 133).



**Fig. 133:** Fotografia da solução de defesa costeira híbrida com areia+sapal+faixa de enrocamento+areia, executada em 2005, na obra da Quinta da Fidalga, passeio ribeirinho do Seixal.

Note-se que também se registou a presença das outras quatro plantas, duas comuns do baixo sapal (*Halimione portulacoides* e *Sarcocornia fruticosa*), uma de alto sapal (*Atriplex halimus*) e a pioneira *Sarcocornia perennis* ssp. *perennis*. Registou-se também uma elevada ocorrência da planta parasita geófita *Cistanche phelypaea*.

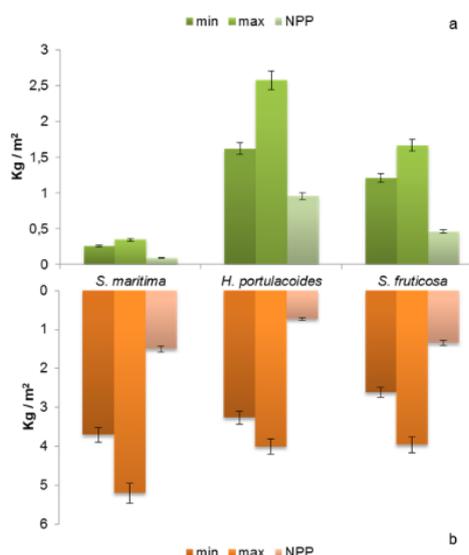
Conclui-se assim que estas cinco espécies são muito resilientes, conseguindo viver com uma superfície arenosa de cerca de 30 cm e tendo conseguido sobreviver a um transplante, nomeadamente a *Salsola vermiculata* (fig. 134). Note-se que com esta obra se ficou a saber que a água de rega durante o transplante deve ser salgada e não doce.



**Fig. 134:** Pormenorização das 5 espécies de plantas vivazes registadas, por ordem: *Halimione portulacoides*, *Atriplex halimus*, *Sarcocornia perennis* ssp. *perennis*, *Sarcocornia fruticosa* e a mais abundante devido ao transplante efetuado, a *Salsola vermiculata*.

Relativamente à retenção de carbono do Sapal da Baía do Seixal, foi feita a determinação da biomassa aérea e radicular das espécies mais abundantes do sapal por Tibério (2004) e Caçador *et al.* (2011), no início e no final da época de crescimento, que correspondeu aos meses de Abril e Setembro, respetivamente. Os resultados obtidos (fig. 135) mostraram que a biomassa da parte subterrânea é superior à biomassa da parte aérea, à exceção da parte subterrânea de *S. Maritima*. *H. portulacoides* é a espécie que apresenta maior biomassa e também uma maior produtividade anual.

Considerando apenas as áreas cobertas respetivamente por *S. maritima*, *H. portulacoides* e *S. fruticosa*, pode-se referir valores de aproximadamente 1600 t, 5400 t e 5500 t de biomassa no final da época de crescimento (Caçador *et al.*, 2011).



**Fig. 135:** Gráfico com os resultados da Biomassa (Kg/m<sup>2</sup>) e Produtividade Primária (Kg/m<sup>2</sup>) aérea a) e subterrânea b) de *S. maritima*, *H. portulacoides* e *S. fruticosa* (Caçador *et al.*, 2011).

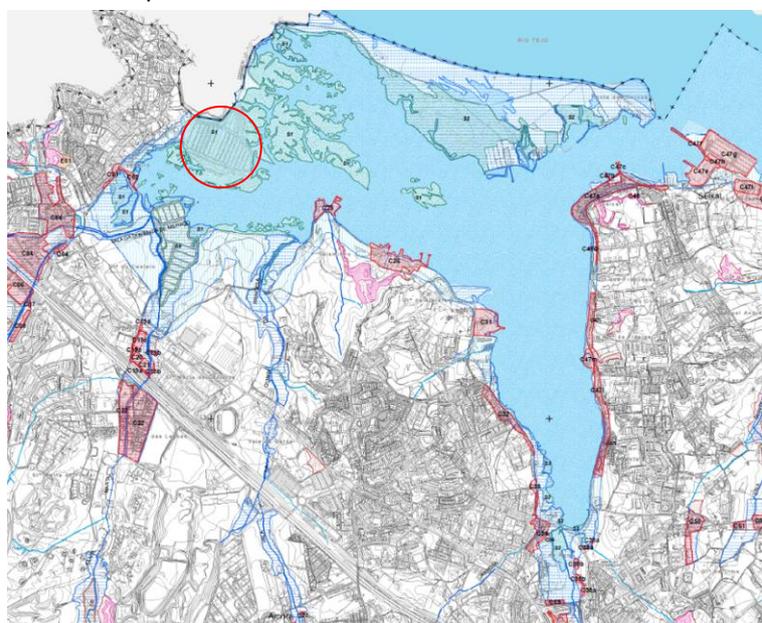
## 7.6 Estatutos e Proteção Legal

Do ponto de vista da proteção legal e do Ordenamento do Território a Restinga da Ponta dos Corvos e o Sapal de Corroios inserem-se no Domínio Público Hídrico (DPH) e na Reserva Ecológica Nacional (REN). Embora englobem importantes habitats prioritários da

Diretiva de habitats n.º 92/43/CEE, nomeadamente o Sapal de Corroios, estes não estão delimitados na Rede Natura 2000 (apenas a zona da Lagoa de Albufeira).

Desta forma, o Sapal de Corroios é protegido especificamente pela Reserva Ecológica Nacional do Seixal (DL n.º 239/2012, de 2 de Nov. que alterou o DL n.º 166/2008, 22 de Ago., que revogou o DL n.º 93/90, de 19 de março). Os principais objetivos destas alterações prenderam-se com a proteção de áreas de elevado valor e sensibilidade ecológicas e com a prevenção e redução de riscos associados a áreas que pela sua exposição e suscetibilidade aos mesmos devem ser alvo de uma proteção especial. Assim, a restinga do Alfeite e o Sapal de Corroios estão classificados na REN do Seixal com diferentes tipologias (CMS, 2014) (fig. 136).

- Zonas Ameaçadas pelas Cheias;
- Estuário e zona húmida adjacente;
- Faixa de proteção ao estuário;
- Sapal.



**ÁREAS A EXCLUIR DA RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL**

- C1 a C68 - Áreas efetivamente comprometidas
- E1, E3 e E4 - Áreas a excluir para satisfação de carências existentes

**ÁREAS A INCLUIR EM RESERVA ECOLÓGICA NACIONAL \***

**ZONAS COSTEIRAS**

- Estuário e zona húmida adjacente
- Faixa de proteção ao estuário
- Sapal

**ZONAS RIBEIRINHAS, ÁGUAS INTERIORES E ÁREAS DE INFILTRAÇÃO MÁXIMA**

- Leitos dos cursos de água (troço coberto / troço não coberto)
- Zonas ameaçadas pelas cheias
- Lagoas (L1-L7)
- Faixas de proteção às lagoas
- Áreas de máxima infiltração
- Áreas de elevado risco de erosão hídrica do solo
- Áreas de instabilidade de vertentes

**Fig. 136:** Extrato da Carta da REN do Seixal (2014), com as áreas a incluir e a excluir.

Os polígonos a vermelho são zonas a desafetar relativamente à anterior Carta da REN (1993). No PDM do Seixal, a Restinga e o sapal classificam-se de Espaços Naturais que no regulamento são *non aedificandi*, à exceção dos edifícios e ruínas existentes que poderão ser reabilitados.

Para corroborar a proteção legal destas áreas muito sensíveis, poderiam ser classificadas como uma ZPE (Zona Especial de Proteção), devido a ser o habitat de muitas aves residentes e migratórias, sendo uma zona de interesse e proteção a nível internacional, para além da proteção costeira e todos os outros SE que nos fornece.

O “coração” do sapal maduro de Corroios (fig. 137), apresenta uma área muito significativa de 50ha, com base na medição e descrição feita mais à frente, da área dos polígonos de sapal para as zonas 1 a 6 (ver fig. 223), mas se adicionarmos as zonas 7 a 10, a área duplica. No entanto, dado o seu afastamento geográfico, mais a jusante no Estuário do Tejo, não está englobado pela Reserva Natural do Estuário do Tejo. Esta foi criada pelo D.L. n.º 565/76 de 19 de Julho; que em 1980 passou a fazer parte Zonas Húmidas de Importância Internacional, através da Convenção de Ramsar e em 1994 foi instituída a Zona de Proteção Especial para Aves Selvagens, no âmbito da Diretiva 79/409/CEE e em 2000 pela Rede Natura 2000.



**Fig. 137:** Montagem do sapal de Corroios com fotografia elevada, cortesia de António Silva.

A Restinga do Alfeite está sujeita à servidão militar da Marinha (que utiliza cerca de 90% do espaço para a realização de atividades militares esporádicas), e outras instituições têm também algum tipo de jurisdição sobre o espaço e sobre o resto da Baía do Seixal: a APL (Jurisdição da Área Portuária do Porto de Lisboa), a APA (Domínio Público Marítimo), a CCDR-LVT (REN) e a CMSeixal (PDM).

A ocupação por empreendimentos turísticos, construção de estradas, pisciculturas, utilização balnear, pisoteio, rodados (faixa arenosa da restinga), lixo e descargas de poluentes e efluente contaminados, contaminação pela atividade dos estaleiros navais, etc., são das maiores ameaças à restinga e ao sapal.

Em 1997 a empresa “Viveilias-Viveiros de Peixe, Lda.” apresentou à Direção Regional de Ambiente de Lisboa e Vale do Tejo (DRALVT), um novo projeto no qual incluía um reservatório, 15 tanques para engorda de peixe e duas lagoas de sedimentação. O projeto foi aprovado a nível municipal e em 2000, deu-se o início da obra, impedindo que as águas invadissem o viveiro, de modo a secar as lamas no seu interior, causando, assim, impactos negativos para as espécies ocorrentes (localizada no círculo vermelho da fig. 136, ver também fig. 138).

Em 3 de maio de 2001, iniciou-se a destruição de uma área correspondente a um terço (18ha) da área do sapal de Corroios medida em 2013 (somatório das áreas das zonas 1 a 6=51 ha da fig. 222 e 223). Atualmente a empresa não se encontra em atividade, tendo sido o dano feito e estando ao abandono pela atividade ainda não ter sido legalizada.

No entanto, segundo CMS (2014), “No sapal de Corroios e no sapal a jusante da Vala de Santa Marta” (este correspondente às Zonas 8, 9 e 10 da figura 219), considera que a atividade de piscicultura é compatível com a REN, dada a “não afetação da estabilidade ou do equilíbrio ecológico do sistema biofísico e dos valores naturais” de acordo com o Anexo I, da

Portaria n.º 1356/2008, de 28 de novembro, e tendo-se verificado a existência de alguma vegetação halofítica junto dos muros dos tanques. Assim estas áreas afetadas aos viveiros de peixe existentes (2) foram incluídas na proposta da REN do Seixal aprovada e publicada pela Portaria n.º 3/2016, DR 1.ª série, n.º 11 de 18 de janeiro.



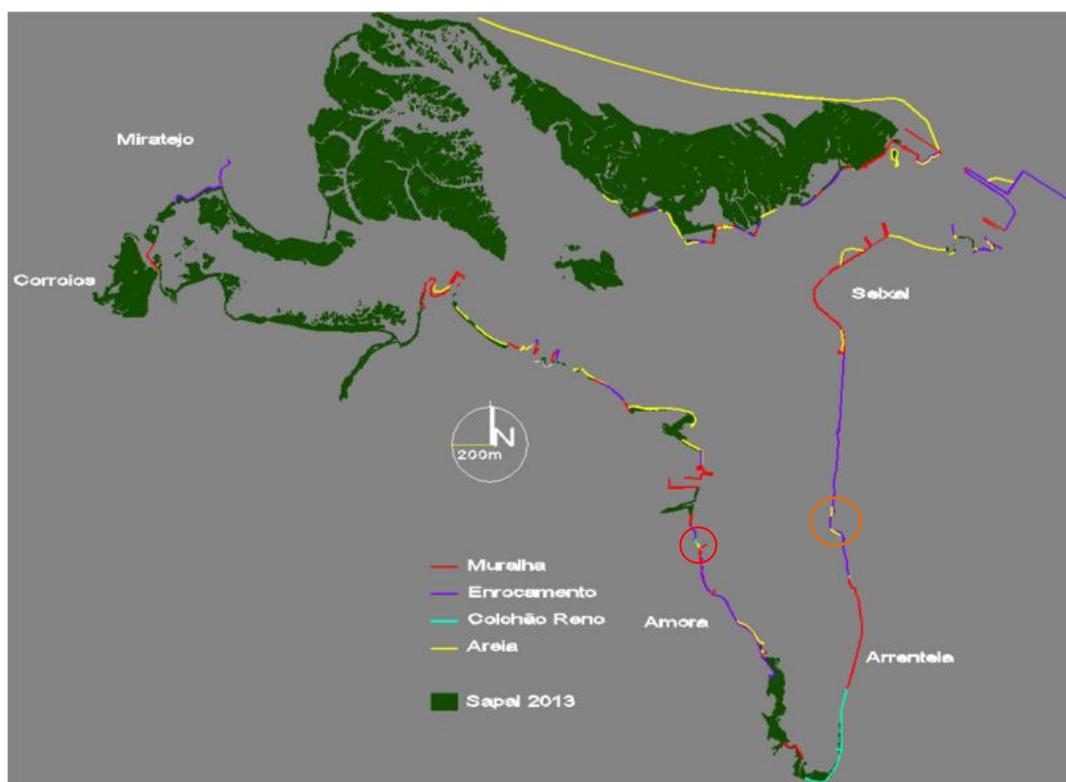
**Fig. 138:** Imagens dos ortofotomapas de 2001 (A) e de 2005 (B), a área da piscicultura (superior a 18ha), que não foi considerada para as medições de sapal - contorno a rosa (2013) e verde (1998).

O Sapal de Corroios e toda a área natural da Ponta dos Corvos, é o "coração" da Reserva Ecológica do Concelho do Seixal. O Grupo Flamingo presentemente encontra-se empenhado na reposição do Sapal de Corroios no seu estado natural para que toda aquela área seja dotada de um estatuto de proteção especial.

No entanto, tal como referido, este ecossistema está ameaçado por um fator ainda mais grave e inevitável: a subida do NMM, tal como foi estudado no Projeto *Morfeed* por Silva (2013). Daí que seja importante fazer valer a proteção legal destas zonas, como zonas de *non edificandie*, perante intenções cada vez mais fortes de projetos turísticos, promovidos por particulares, que pretendem recuperar ruínas de edifícios como o da Seca do Bacalhau, para um hotel e turismo.

## 7.7 Diferentes tipos de proteção costeira na Baía do Seixal

Ao longo das margens da Baía do Seixal, encontra-se uma grande diversidade de formas de proteção costeira (fig. 139). Com o aumento da população e o desenvolvimento da atividade portuária, as margens têm sofrido várias intervenções com a construção de infraestruturas de apoio à pesca, zonas industriais, zonas agro-pecuárias e sobretudo para defesa de áreas urbanas e mais recentemente para apoio a atividades náuticas. Estes fatores têm aumentado a pressão sobre a orla estuarina e constrangido as suas margens, não permitindo a sua evolução natural, nomeadamente o recuo do sapal e/ou promovendo a sua destruição, quando se fazem estruturas de proteção costeira pesadas.



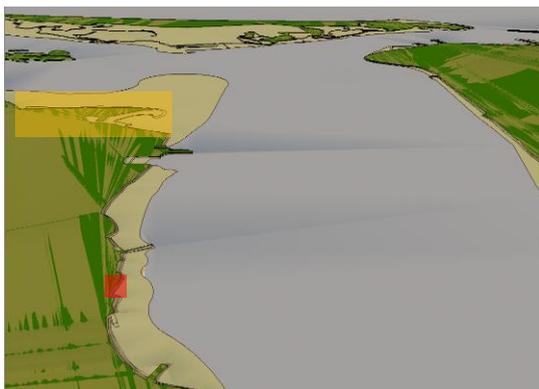
**Fig. 139:** Representação esquemática do tipo de proteção costeira existente ao longo da Baía do Seixal (c. p.).

Assim, a imagem da figura 139 representa os vários tipos de proteção costeira (estuarina) existente nas margens da baía do Seixal, das mais suaves: praias de areia (a amarelo) e sapal (a verde) que representam a maior extensão de defesa costeira; às mais pesadas, tais como o enrocamento que representa a maior extensão de defesa pesada (a roxo), seguido da muralha em pedra (a primeira tipologia que surgiu para proteger as povoações como a Arrentela, Seixal e a Amora), a vermelho. Por fim, e mais recentemente a margem naturalizada foi substituída por uma muralha inclinada de colchões *Reno*, tendo sido projetada por mim, enquanto Técnica da CMSeixal, uma pequena extensão numa zona degradada, em anfiteatro com muros de *gabions*, que permite acompanhar a subida do NMM (ambas a azul *cian*) (círculo a vermelho na fig. 139). Pelas condições hidrodinâmicas da baía existem zonas onde se proporciona a deposição de sedimentos, dando condições de existência de sapal e areia junto a estruturas de defesa pesada, protegendo-as e formando agora zonas de proteção híbridas não intencionais. Outras soluções mistas foram intencionais e projetadas (Quinta da Fidalga, círculo laranja na fig. 139). Estas soluções de Ac serão de seguida mais detalhadas numa retrospectiva histórica, com análise dos seus resultados.

Antes da ocupação humana e urbanística da Baía, a zona de transição entre a água e a terra era ocupada por sapal, pequenas praias estreitas, e pequenas escarpas em terra, sendo que as arribas existentes já seriam arribas fósseis. Com a ocupação do litoral pelo homem, foram feitos aterros e mesmo assim, a vegetação de sapal rapidamente colonizava as margens terrígenas ou arenosas (algumas resultantes de dragagens).

Na divisão entre a Foz do Rio Judeu e a Foz da Ribeira que desagua em Corroios, formou-se uma pequena restinga arenosa (sombreado a amarelo na fig. 140), relacionada com

processos aluvionares de transporte e sedimentação de partículas vindas das ribeiras afluentes da baía e do próprio Rio Tejo e eventualmente por deposição de sedimentos arenosos resultantes das dragagens dos canais como o canal da Amora, que liga a embocadura da baía ao Estaleiro da Venamar, tal como se poderá ver na batimetria da fig. 262. Essa pequena restinga funciona como tampão e atenuador da energia cinética das ondas, sendo a areia uma proteção muito eficiente contra a ondulação e é um elemento flexível, mas também fértil, pois permite a existência de plantas halófitas de sapal, que por sua vez, também ajudam à fixação dos sedimentos e também à proteção costeira (fig. 141).



**Fig. 140:** Modelação 3D da Baía do Seixal, em *AutoCAD* e *Sketch Up*, com base na cartografia 1/1000 e ortofotomapas de 2013. Vista de Sul para Norte, com a localização da restinga a amarelo e da pequena intervenção projetada por mim a vermelho, que se detalhará mais à frente (c. p.).



**Fig. 141:** Fotografias atuais da pequena restinga e/ou praia de areia (A), cujo lado Este (B) mais protegido e menos arenoso, apresenta vegetação de sapal até à água.

Este cordão vegetativo forma uma proteção contínua e flexível: adaptável à subida do nível do mar e de elevado valor ecológico e ambiental que importa preservar e corroborar (fig. 142).

**Fig. 142:** Junto ao talude da estrada de acesso ao estaleiro do Talaminho, existem todas as fases de sapal e espécies características anteriormente identificadas:



As pioneiras *Spartina maritima* (1), seguida da *Sarcocornia perennis ssp. perennis* (2) já junto à margem o *Halimione portulacoides* (3) intercalado com a *Sarcocornia fruticosa* (4) e o talude saibroso, uma planta do Alto Sapal: o *Atriplex halimus* (5) (16-04-2019).

As povoações que se desenvolveram ao redor da baía do Seixal estão a uma cota altimétrica muito baixa, entre os 2,4 e os 3,5 m (ZT) e na maioria as zonas urbanas desenvolveram-se sobre aterros e avanço em relação à linha de costa natural (Ac estratégia de ataque) e necessitaram de proteção por obras pesadas de engenharia.

O primeiro tipo de proteção costeira de defesa pesada foi a muralha vertical ou “paredão”, (estrutura de proteção costeira aderente) feita em pedras (de calcário) e argamassa, para defender os núcleos urbanos mais antigos do Seixal, Arrentela e Amora. Estas muralhas datam do século XIX e as fotografias das figuras 143 a 145 que as ilustram são dos anos 60 a 70.



**Fig. 143:** Fotografia da muralha do Núcleo antigo da Amora (anos 60), arquivo da CMS, cortesia de António Silva.



**Fig. 144:** Núcleo Antigo do Seixal e muralha antiga (anos 60) arquivo da CMS, cortesia de António Silva.



**Fig. 145:** Muralha antiga do Seixal, na “Curva da Timbre”, mais junto à Igreja (retirada de vídeo de arquivo da RTP, de 1969).

Nos anos 80, foram feitos mais aterros e a maioria dos troços destas muralhas antigas “avançaram para o mar”, e foi construído o primeiro passeio ribeirinho com gradeamento alternado com bancos nestas 3 localidades (fig. 146).



**Fig. 146:** “Curva da Timbre”, após a nova muralha dos anos 80 (Anos 90, cortesia de Francisco Rosa).

O novo paredão da Arrentela já foi construído na diagonal (anos 80) (fig. 147).

**Fig. 147:** Fotografia atual do paredão da Arrentela.



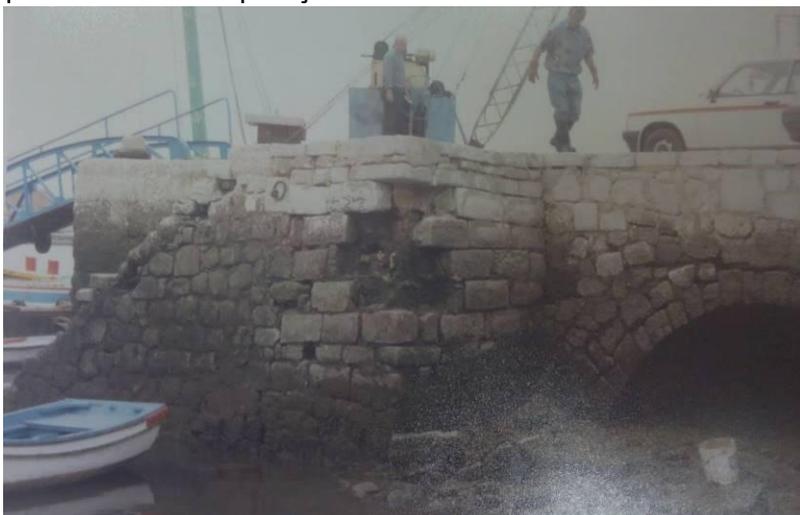
Os paredões consolidados, tal como o da Arrentela, que é idêntico ao do Seixal, e que existiu também na Amora, antes da intervenção dos anos 90, apresentam os seguintes aspetos positivos:

- durabilidade e manutenção esporádica;
- permitem declives acentuados (quase ou mesmo verticais) que não implicam o avanço sobre a baía;

Mas também aspetos negativos:

- têm elevado custo de execução e manutenção;
- não permitem a coexistência de elementos naturais, nem é propício à sedimentação, (por não apresentar rugosidade), tão necessária à estabilidade das fundações e permitir a posterior colonização com plantas de sapal;
- não atenuam a hidrodinâmica das ondas (não apresentam atrito) funcionando apenas de barreira de colisão/deslize;
- faixas impermeáveis e de barreira; quando a água galga a cota de coroamento dificilmente sai pelos coletores (que poderão também estar alagados);
- impedem o contacto/proximidade entre o homem e a baía (barreira física), dado o elevado desnível, facto corroborado pelo gradeamento.

As muralhas, embora sejam muito antigas, também apresentam sinais de desgaste e de deslocação/movimentação das pedras que as constituem (fig. 148), devido a assentamentos, perdas de cimento e sedimento do fundo, deslocamento/deslizamento da sub-base, etc, pelo que em 1995 e recentemente em 2017, se procedeu à sua reparação.



**Fig. 148:** Fotografia anterior à reparação da Muralha do Cais da Mundet, Seixal, (imagem de arquivo CMS, DEC 27/95).

A zona da “Curva da Timbre” é a zona mais baixa do Seixal, e quando se conjugam preia-mar, marés vivas equinóciais, baixas pressões com chuva e ventos fortes, dá-se o

galgamento da muralha (fig. 149). A cota dos sumidouros a 2,4 m também é uma fonte de inundação (pelos sumidouros).

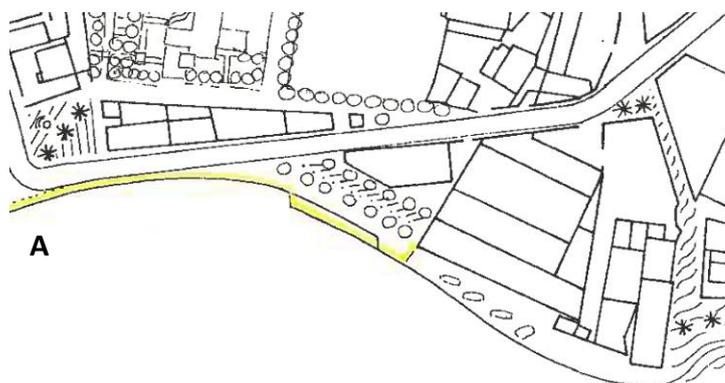
**Fig. 149:** Fotografia da marginal do Seixal (2.4 m ZT), em dia de maré viva, praia-mar e temporal *in* <http://www.cm-seixal.pt/noticia/alerta-de-mares-vivas-dias-28-e-29-de-setembro>



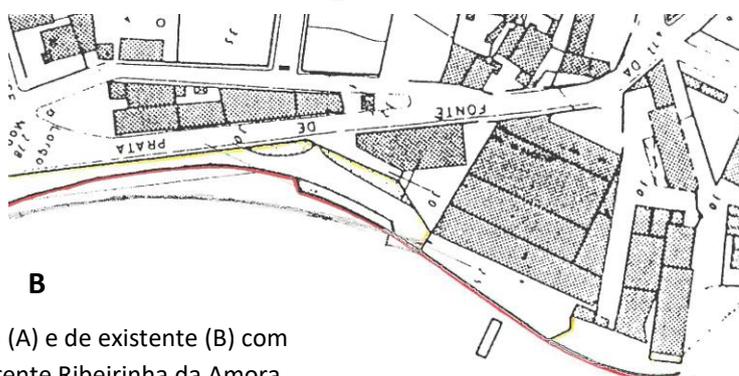
Em 2017 foi feita a remodelação de todo o Seixal, incluindo sistema de drenagem e o passeio ribeirinho. No entanto foi mantida a muralha existente e a cota de coroamento, sendo que o problema do alagamento em situações extremas não foi resolvido.

Nos anos 90, começou a ser feito na frente Ribeirinha da Amora outro tipo de estrutura de defesa costeira aderente: o enrocamento. Foi o primeiro grande projeto de frente ribeirinha, com zonas verdes, locais de recreio e de acesso à água. A cota de coroamento é variável, mas já ronda os 3,30 m (ZT), nunca tendo havido problemas de galgamento/cheias.

A área já requalificada a Sul, projeto de 1991 da Arq.<sup>a</sup> Isabel Benito, previa a continuação do paredão e do passeio ribeirinho para Norte, na área que vim a projetar e intervir em 2017, tendo só sido executado o plano até à faixa a amarelo na fig. 150 A.



Esta obra implicou a execução de um aterro (a amarelo o existente e a vermelho o proposto na fig. 150 B) que chegou a atingir uma extensão máxima de 33m para dentro da baía do Seixal, considerando-se uma forma de adaptação costeira de ataque.

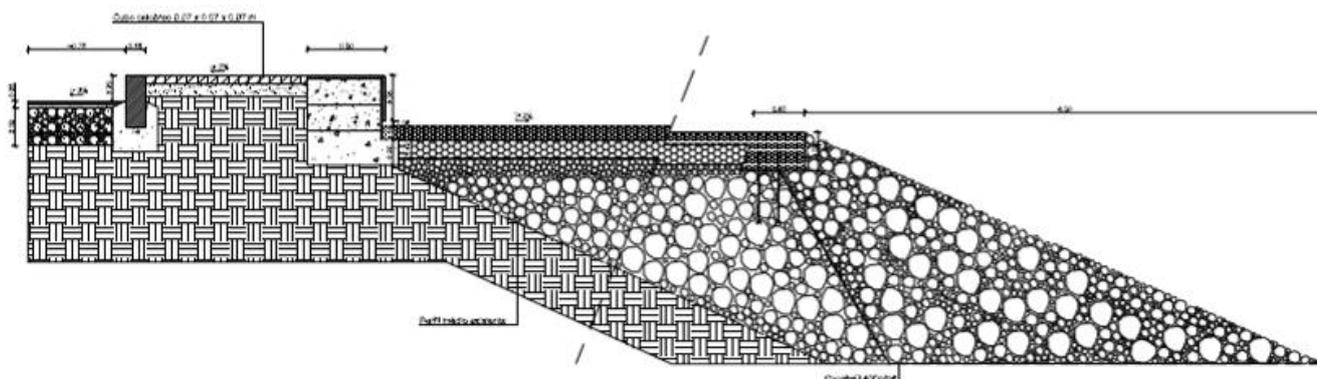


**Fig. 150:** Extratos das cartas de proposta (A) e de existente (B) com sobreposição da linha proposta para a Frente Ribeirinha da Amora, (DEC, 1991).



mais barata em termos de custos de construção, é a que apresenta até agora custos de manutenção mais elevados (cerca de 42 mil euros segundo processo DEC 45/2010, a manutenção feita em 2011).

Talvez o fator de maior peso para a rápida necessidade de recuperação tenha sido efetivamente a questão da granulometria, como se pode ver no pormenor da muralha da Arrentela (fig. 154), o enrocamento da camada que fica em contacto com a água é de “médias dimensões” (fig. 155).



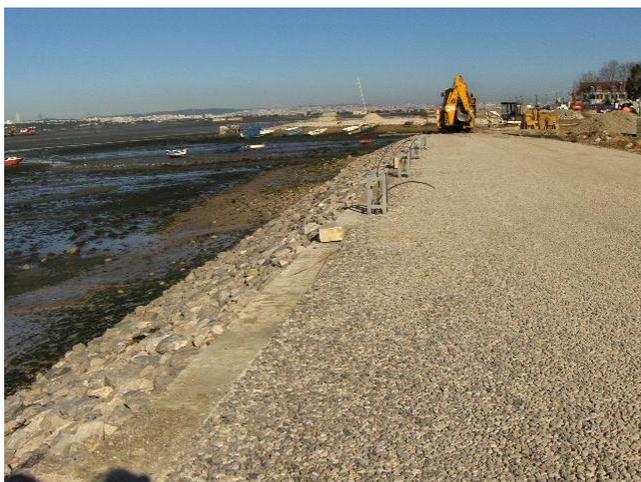
**Fig. 154:** Pormenor de construção em corte do Passeio Ribeirinho Seixal - Arrentela, autoria da Arq. Pais. Alexandra Castro, (DEC, 2004a).

**Fig. 155:** Fotografia da construção do paredão entre a Arrentela e Fidalga (1ª Fase), com as primeiras camadas de enrocamento e não se vendo o geotêxtil que vigora no projeto (Julho de 2005).



Note-se que a opção de projeto de rebaixar a cota de coroamento do paredão (fig. 156), relativamente à cota da estrada, irá diminuir o tempo útil desta defesa costeira, face à subida do NMM.

**Fig. 156:** Fotografia da maré viva e preia-mar de 28-09-2015, junto ao paredão da Arrentela-Seixal.



Na 2ª fase de construção, entre a Fidalga e a Arrentela, já se optou em obra, pela construção de um lintel de coroamento (fig. 157), no limite subjacente à colocação do pavimento de forma a garantir a maior estabilidade deste.

**Fig. 157:** Fotografia de obra da construção da 2ª Fase do paredão, na zona da Fidalga (Fevereiro de 2009).

Vários fatores justificam o facto de a estrutura aderente da Amora estar bem mantida, relativamente à do Seixal-Arrentela:

a) a granulometria escolhida (40 a 80 cm na Amora e 20 a 40 cm na do Seixal-Arrentela (fig. 158));

b) o tipo de material, sendo o calcário empregue na obra Seixal-Arrentela mais brando que o da Amora, e havendo mesmo algumas pedras de margas que se desfizeram rapidamente (fig. 159);

c) na muralha da Amora houve colocação de geotêxtil para a fundação e sobre o perfil natural do terreno;

d) no coroamento da muralha da Amora optou-se pela colocação de lajes de calcário com 2 m de comprimento e juntas de dilatação, sobre betão ciclópico, que dão estabilidade ao pavimento;

e) na muralha da Amora foram postos geodrenos para evitar as diferenças de pressão entre a muralha e o exterior;

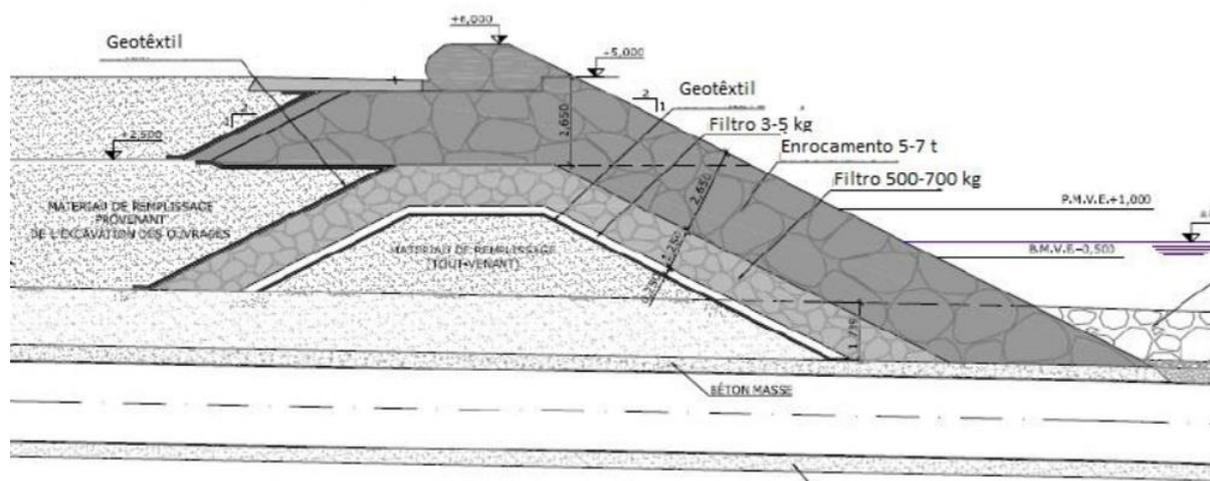
f) na muralha da Amora deu-se tempo suficiente para assentamento que rondou 1 ano, antes da execução dos pavimentos definitivos.

Note-se ainda que a cota de coroamento da estrutura da Amora é mais elevada que a da Arrentela, o que irá prolongar o seu tempo de vida útil.



**Fig. 158:** Fotografia do material de enrocamento colocado em fase de obra na Frente Ribeirinha da Arrentela-Seixal e Fidalga e que foi alvo de várias reclamações por parte da equipa de fiscalização.

Efetivamente, segundo Pereira (2015), uma estrutura de defesa costeira aderente em enrocamento deverá apresentar a maior granulometria na camada exterior do mesmo: a primeira frente de contacto com a água. Existem também geotêxteis que impedem a saída dos finos que estão no interior do aterro, sobretudo pela dinâmica de marés e ondas, em que a água entra e sai pelos espaços entre as pedras do enrocamento (fig. 159).



**Fig. 159:** Secção transversal de uma estrutura de defesa costeira aderente em enrocamento, segundo Pereira (2015).

Segundo Pereira (2015), o cálculo do peso dos blocos indicados para uma determinada camada da estrutura pode ser feito através da fórmula de Hudson, apresentada na seguinte Equação:

$W$  - Peso dos blocos

$H$  - Altura da onda

$K_D$  - Coeficiente de Estabilidade

$$W = \frac{\gamma H^3}{K_D \left( \frac{\gamma - \gamma_w}{\gamma_w} \right) \cot \alpha}$$

$\gamma$  - Peso volúmico do material dos blocos

$\gamma_w$  - Peso volúmico da água

$\alpha$  - Ângulo do talude

Uma estrutura aderente terá habitualmente duas camadas de enrocamento, o manto resistente e a subcamada, normalmente com a relação descrita pela equação. Geralmente o peso dos blocos na subcamada é 10 vezes menor do que no manto resistente. Existe também a opção de se usar um filtro geossintético (Pereira, 2015).

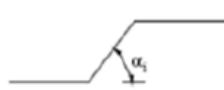
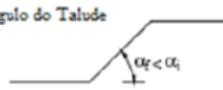
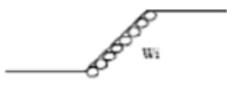
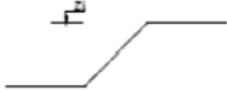
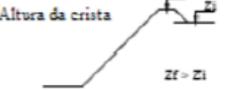
Para o dimensionamento geométrico da estrutura, a cota de coroamento é essencial para evitar o galgamento e está dependente dos seguintes fatores (Pereira, 2015):

- Altura de onda, período, ângulo de aproximação, rugosidade, permeabilidade do talude e forma do perfil;

- Margem de segurança para a cota do coroamento da estrutura de modo a ter em conta as sobrelevações meteorológicas;
- Aumento do nível médio da água do mar;
- Assentamento do subsolo e do corpo da estrutura ao longo do seu tempo de vida útil.

Estes elementos têm um grau de variabilidade elevado, logo é apenas possível determinar uma aproximação da cota do coroamento desejável (Pereira, 2015).

A inclinação do perfil transversal, influenciará a distribuição de forças associadas às ondas e, portanto, também influencia a escolha do material adequado para a proteção do talude e a altura da estrutura. Taludes mais suaves e blocos mais estáveis conduzem a uma menor ação das ondas sobre o revestimento e menor espreamento, uma vez que a energia das ondas é dissipada por um maior comprimento (Pereira, 2015). Existem várias formas de melhorar uma estrutura de enrocamento nova ou existente, resumidas

Consideração de uma Fundação para o Manto		Fundação 
Redução do Ângulo do Talude		Ângulo do Talude 
Aumento do Peso Unitário dos Blocos do Manto		Peso dos Blocos 
Aumento do Volume da Praia		Alimentação a Areia 
Consideração de um Manto Intermédio e Filtro		Camada de Filtro 
Elevação da Cota do Coroamento		Altura da crista 
Consideração de Risbermas e Bermas Submersas		Risberma Filtro de Geotêxtil 

na fig. 160.

**Fig. 160:** Situação antes e depois das ações técnicas sobre estruturas de defesa costeira longitudinais aderentes com manto exposto (Gomes, 2004).

Em 1993, foi realizado o troço do passeio ribeirinho entre a Arrentela e a Ponte da Fraternidade, em que se utilizou outra forma de estrutura aderente, “colchões de *gabions*” ou “colchões *Reno*” (fig. 161 e 163). Estes têm tido muito bons resultados uma vez que a rede metálica impede o espreamento do enrocamento pela baía e desde a sua construção nunca teve ações de reparação ou manutenção.

**Fig. 161:** Fotografia atual da muralha feita em 1993 com colchões *Reno*; note-se a sedimentação existente na base.

Apesar de se encontrar em bom estado, com o tempo a rede poderá partir-se, ou deformar-se, sobretudo onde o declive for mais acentuado. É o caso da zona de ligação à muralha consolidada da Arrentela. Note-se que tem havido alguma deformação dos *gabions*, devido ao excessivo declive da muralha, uma solução em socalcos ou com um declive menos acentuado teria sido preferível (fig. 162).



**Fig. 162:** Fotografia atual da “muralha” feita em 1993 com colchões *Reno*, com declive muito acentuado, na ligação ao paredão de calcário.

Os “colchões *Reno*” ou “colchões de *gabions*” são utilizados para as margens dos rios e áreas de proteção, para controle de erosão e estabilidade de taludes. São preenchidos com a rocha no local da obra para formar estruturas flexíveis, permeáveis e monolíticas para promover a sedimentação e o rápido crescimento da vegetação natural. A secção de base do colchão *Reno* é dividida em compartimentos e cheio de pedras no local (fig. 164).

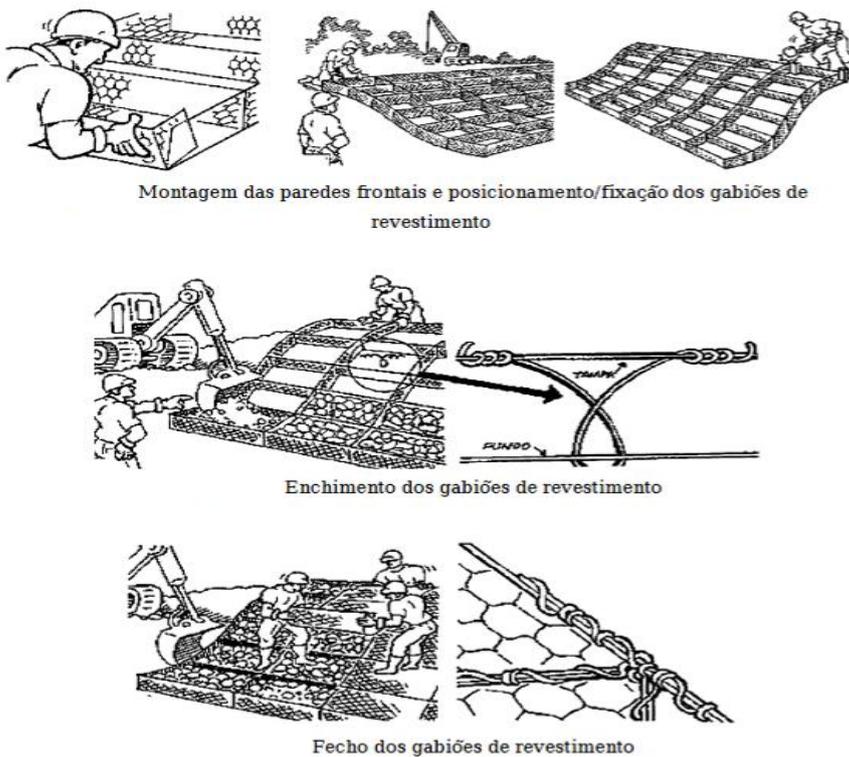


A flexibilidade do sistema de malha tem a capacidade de resistir a inesperada e/ou pressões localizadas devido a assentamentos de terra, mantendo a sua integridade estrutural.

A permeabilidade dos espaços entre as pedras permite que a água escoe através da estrutura, mantendo o solo, portanto sem a drenagem adicional que é necessária para aliviar a pressão hidrostática (geodrenos).



**Fig. 163:** Fotografia da construção do paredão da Arrentela (14-10-93, fotografia do arquivo da CMS), note-se que foi posto um geotêxtil por debaixo dos colchões *Reno* e que estes reduzem a camada de enrocamento à espessura dos próprios colchões (cerca de 40 cm).

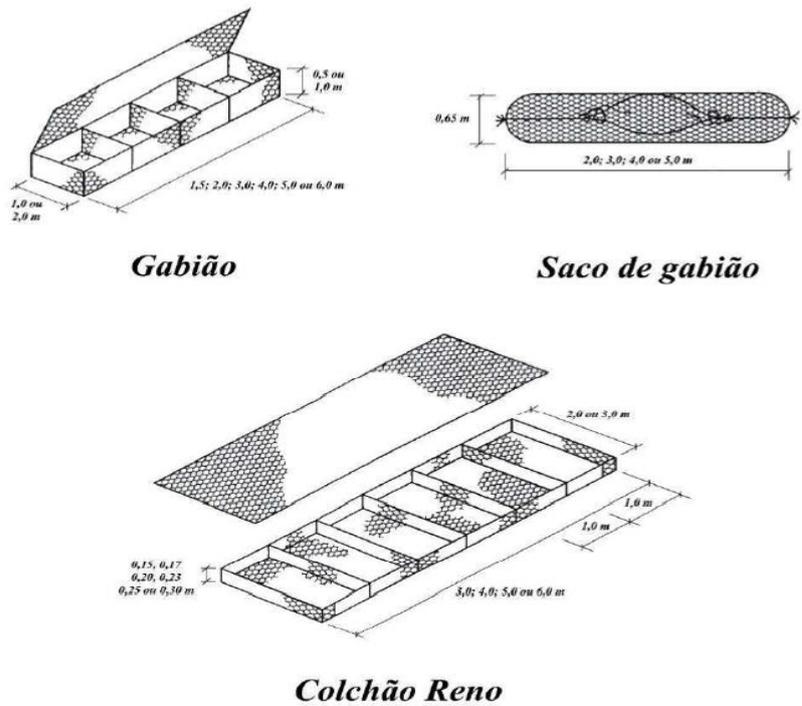


**Fig. 164:** Esquema de montagem dos colchões *Reno* (Brito, 1999).

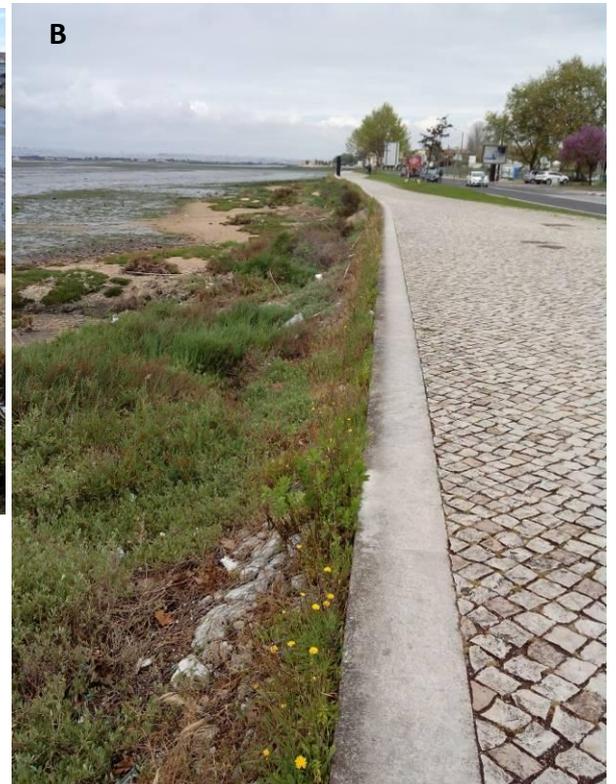
Os colchões *Reno* são fabricados a partir de fio revestido a PVC, oferecendo proteção de cerca de três vezes maior do que colchões de arame revestido de zinco. Esta malha impede o espraçamento do enrocamento, permitindo a utilização de pedras mais pequenas, o que é mais propício à sedimentação e fixação de plantas.

Ultimamente, os colchões *Reno* têm sido utilizados em zonas de elevada ação hidrodinâmica, mesmo em leitos de rio e na proteção das sapatas dos pilares das pontes, cujo sedimento tem tendência a ser retirado pela ação da corrente (Neves da Silva, 2008).

Os cestos de *gabion* (fig. 165) têm um baixo custo de execução e são relativamente fáceis de construir, não requerendo mão-de-obra qualificada. As estruturas podem ser construídas em etapas, se necessário e as cestas podem ser pré-carregadas para habilitar a instalação sob a água.



**Fig. 165:** Esquema de vários tipos de soluções em *gabions* [in Silva (2008), adaptado de Lagassete et al. (20017)].



**Fig. 166:** Fotografias atuais (2018) da estrutura aderente em colchões *Reno*, mais a Sul, menos inclinada. Note-se a elevada taxa de sedimentação e de colonização com plantas, que têm preservado a muralha (vista para S (A) e para N (B), respetivamente).

Na zona mais a Sul, o declive da estrutura aderente é menor e permitiu a deposição de sedimentos e o crescimento da vegetação de sapal (fig. 166). Este também é devido à menor hidrodinâmica desta zona terminal da baía e ao aporte de sedimentos vindo do Rio Judeu. Foi constituída assim uma forma de **defesa híbrida** sem intenção inicial, mas que funciona perfeitamente, em que os sedimentos (proteção e suporte das fundações e atenuação da ondulação) e vegetação de sapal (estabilização/formação de sedimento e atenuação de ondas) protegem a estrutura da erosão, e ao mesmo tempo que a embelezam.

Assim, a formação de uma rampa pouco inclinada ou de pequenos socalcos, permitirá a acumulação de sedimentos, ou mesmo ser colmatada em obra com terra, promovendo o crescimento da vegetação típica de sapal que é essencial para a própria manutenção da muralha, ao reter os sedimentos e atenuar o impacto das ondas, assim como funções ambientais e de enquadramento paisagístico.

Reforça-se que esta intervenção (em 1993) ainda não teve nenhuma ação de manutenção, sendo considerada a de maior sucesso até agora. Esta é a zona do Rio Judeu que foi estudada do ponto de vista da evolução horizontal do sapal (fig. 228) no âmbito desta dissertação, sendo das poucas onde se registaram taxas de crescimento de sapal elevadas entre 1998 e 2013.

Até à publicação do DL n.º 49/2006, de 29 de Agosto, que regulamenta as dragagens em estuários, foram sendo depositados depósitos de dragagens em locais específicos da Baía, que agora são pequenas zonas de praia arenosas. Em 1995 foi colocada uma bolsa de areia junto à muralha do Seixal. Inicialmente foi efetuada com fins recreativos, para disponibilizar uma pequena praia aos Seixalenses. Esta tem-se revelado muito eficaz do ponto de vista da proteção costeira, uma vez que não se verifica o galgamento da muralha e tem-na protegido contra a erosão. Esta é considerada, juntamente com a muralha, uma forma de defesa híbrida (fig. 167).

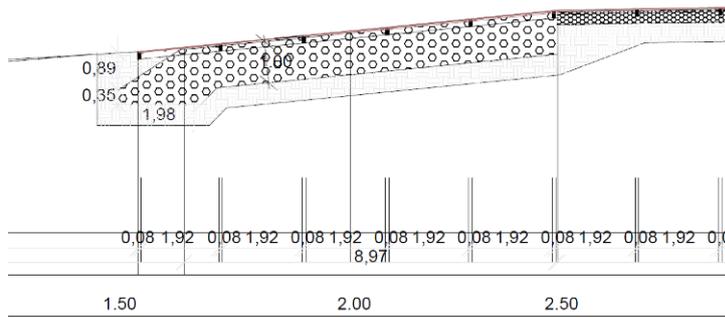


**Fig. 168:** Imagem do Seixal obtida no prospeito da CMS, para a divulgação do investimento em apoios a desportos náuticos co-financiados pelo FEDER (2011).

Em 2005, na Obra do Estaleiro da Fidalga, entre a Arrentela e o Seixal, também se optou pela construção de uma solução mista, neste caso intencional, constituída por uma faixa de enrocamento de 1 m de espessura, e deposição de camada de areia crivada separada por geotêxtil por cima; por baixo foi transplantada e plantada a vegetação de sapal existente (fig. 168). Esta foi uma solução proposta e projetada por mim, uma vez que se pretendia eliminar o pequeno barranco que se formava na zona intertidal (fig. 168 A). Foi assim a primeira vez que se procedeu a um transplante de plantas de sapal na CMS, sendo que as que tiveram mais sucesso de sobrevivência foi a espécie *Salsola vermiculata*. O pormenor de, antes do transplante para a localização definitiva, a rega ter de ser feita com água salgada, foi importante (informação oral dada pelo Professor Dr. José Carlos Costa do ISA).



**Fig. 167:** Fotografias do Estaleiro da Fidalga em 2004, no início das obras (A) e atualmente (B), após a obra de intervenção de 2005 (enrocamento de 1 m de espessura com geotêxtil + areia + transplante de sapal).



**Fig. 169:** Pormenor de construção em corte da solução mista com enrocamento e areia, na zona da rampa em deck, de acesso à praia (Pormenor de execução do Projeto de Execução do “Passeio Ribeirinho, Quinta da Fidalga”, (DEC, 2004b).

Esta solução também tem tido muito bons resultados e a faixa arbustiva impede o deslizamento das pedras para a baía, no entanto ambas as soluções (colchões *Reno* e enrocamento), impedem o acesso à baía, o que pode ser (ou não), um objetivo, nomeadamente quando se tem uma praia utilizada para embarcações, que é o caso da próxima e última intervenção na Baía que descreveremos.

Efetivamente, durante a execução desta dissertação, em 2016, surgiu a oportunidade de elaborar um projeto para a frente ribeirinha da Amora (Norte), localizado na margem esquerda, a SW da Baía do Seixal, assinalado nas figuras n.º 140 e 141 a vermelho. A área de intervenção considerada estende-se por uma faixa urbana degradada com 300m, onde ainda não tinha havido uma intervenção projetada adequada, e onde se pretendia instalar um cais flutuante de acesso para canoas e embarcações leves. Houve assim a possibilidade de aplicar alguns conhecimentos adquiridos e projetar uma nova frente com um orçamento muito limitado, uma vez que só se dispunha de verba para fazer um enrocamento (que estava projetado pela empresa que projetou o cais flutuante). As margens da baía encontravam-se com uma pequena muralha antiga, em frente de construções industriais desativadas, e enrocamento com materiais de aterro e entulho (fig. 170 e 171).



**Fig. 170:** imagens da frente ribeirinha na zona da Amora Norte em preia-mar de maré viva (14/11/2016) correspondente a Lua Nova (A e C), e fase de enchente (B e D).

Nesta zona foi proposto um passadiço, de forma a não haver aterro/ocupação da faixa costeira, devido às condicionantes do local, o qual ficou para uma 2ª Fase, devido à falta de verbas na altura (2016, em plena crise económica).

Esta zona, ao ter sido aterrada com entulho, perdeu a proteção natural que ainda subsiste em outros troços da baía. No entanto, ainda se encontram alguns depósitos arenosos, sobretudo quando existem barreiras perpendiculares que proporcionam a sua acumulação, é o caso da pequena praia que se formou a Norte da rampa (fig. 171 e 172).

É uma zona que está relativamente afastada da foz e protegida dos ventos de NW, apresentado uma ondulação não tão forte como a que costuma atingir a margem direita da Baía (Arrentela). Esta praia deverá ser mantida e até reforçada, pois constitui uma proteção natural à erosão marítima, e uma vez que existem boas condições hidrodinâmicas para a retenção das areias no local (devido à rampa mais extensa). Os pescadores e apanhadores de bivalves e anelídeos, utilizam muito esta zona para acesso e apoio às suas atividades e para colocar as suas embarcações, algumas dentro de estruturas precárias (fig. 173).



**Fig. 171:** Pequena praia a N da rampa existente, zona de intervenção da primeira fase já construída (14/11/2016).



**Fig. 173:** Fotografia da rampa e tubagem existentes (14/11/2016).



**Fig. 172:** Fotografia da proteção existente em entulho dentro de tanques de lavar louça empilhados (14/11/2016).

A rampa (fig. 172), como constitui um obstáculo às correntes e ondulação propícia a existência da estreita praia, é também acompanhada por uma tubagem extensa em manilhas de betão, de descarga conjunta de pluviais e esgotos (ligação clandestina) das casas e



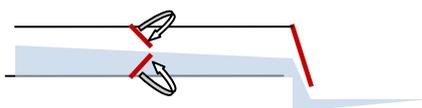
armazéns mais próximos (não representada na fig.174).

**Fig. 174:** Extrato da carta de Cadastro da Rede de Drenagem da Rua da Mundet, rede pluvial a azul e de esgotos a vermelho (DASU/DAS).



**Fig. 175:** Fotografia atual do efluente de pluviais com "capleta antirretorno de fim de linha" na Frente Ribeirinha da Amora, perto do E. LeClerc.

e com a previsão da subida do nível médio do mar, o ideal seria a colocação na sua secção de uma "válvula interior com expansor" ou na embocadura de uma "capleta antirretorno de fim de linha" (como a da fig.175 e 176) que permitam apenas a saída do efluente e não a entrada de água da maré (forma de Ad à subida do NMM).



**Fig. 176:** Esquema simplificado de válvulas antirretorno de secção e de fim de linha (c. p.).

Note-se que esta zona é utilizada pela Associação Naval para a ancoragem de embarcações (fig. 177 e 178), pelo que a nova solução deverá prever também uma zona de atracagem vertical que o enrocamento previsto iria inviabilizar.

Esta tubagem inviabiliza a colocação do novo cais de atracagem flutuante na zona da rampa, tendo sido posicionado um pouco mais a Norte, na zona da praia.

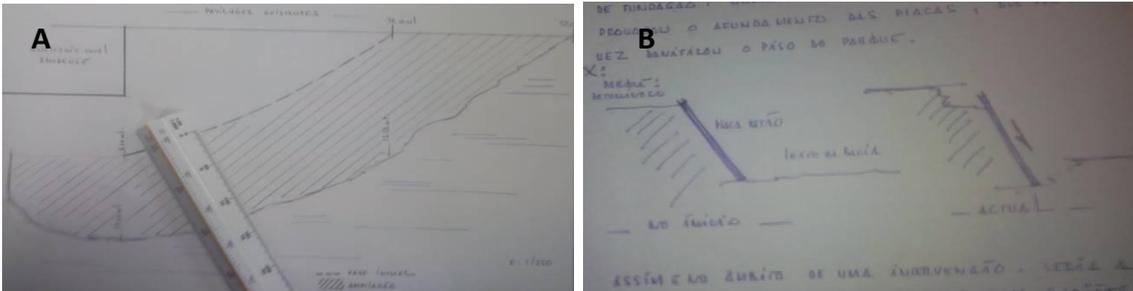
O ideal seria canalizar os esgotos por bombagem para a rede de saneamento a montante, deixando apenas a descarga direta de pluviais que já não necessitaria de um desenvolvimento de tubagem tão extenso, que causa um impacto visual negativo.

Como a tubagem será mantida decidiu-se ocultá-la com uma estrutura,



**Fig. 177 e 178:** Fotografias da frente ribeirinha junto à Associação Náutica Amorense, antes da intervenção (14/11/2016).

Após a vedação que delimita o espaço reservado à Associação Naval Amorense, a muralha é feita em placas de betão ciclópico (fig. 177 e 178), em plano inclinado, apresentando alguns sinais de erosão e tendo deslizado em 1994, devido ao assentamento no fundo do leito, sem fundação (fig. 179 B).



**Fig. 179:** Extratos de esquemas do Processo n.º 05.02.07/95, “Execução de Nova Muralha e Ampliação do Parque na Associação Naval Amorense”, faixa de ampliação (A) e placas de betão (B).

Nesse processo foi efetivamente proposta uma “muralha” nova em *gabions* que chegou a ir a concurso em 1995, mas não chegou a ser executada, devido ao Auto de embargo do Porto de Lisboa a 1/8/1995, aquando da execução de aterro com entulho pela Associação, sem aviso das autoridades, em que se avançou cerca de 14m (fig. 179 A) para o leito (zona onde está a carrinha, na figura 178).

Após uma pequena rampa com elevado grau de inclinação (fig. 180), o paredão foi feito com enrocamento, que deveria ser melhorado (fig. 181).



**Fig. 180 e 181:** Fotografias da frente ribeirinha junto à Associação Náutica Amorense.

O espaço encontra-se asfaltado e impermeabilizado, havendo uma pequena bolsa de terra que permite a existência de vegetação e a infiltração das águas pluviais e de salpicos (das marés vivas) (fig. 182).

**Fig. 182 e 183:** Fotografia junto à Associação Náutica Amorense e junto à rampa mais extensa a Sul, respetivamente (14/11/2016).

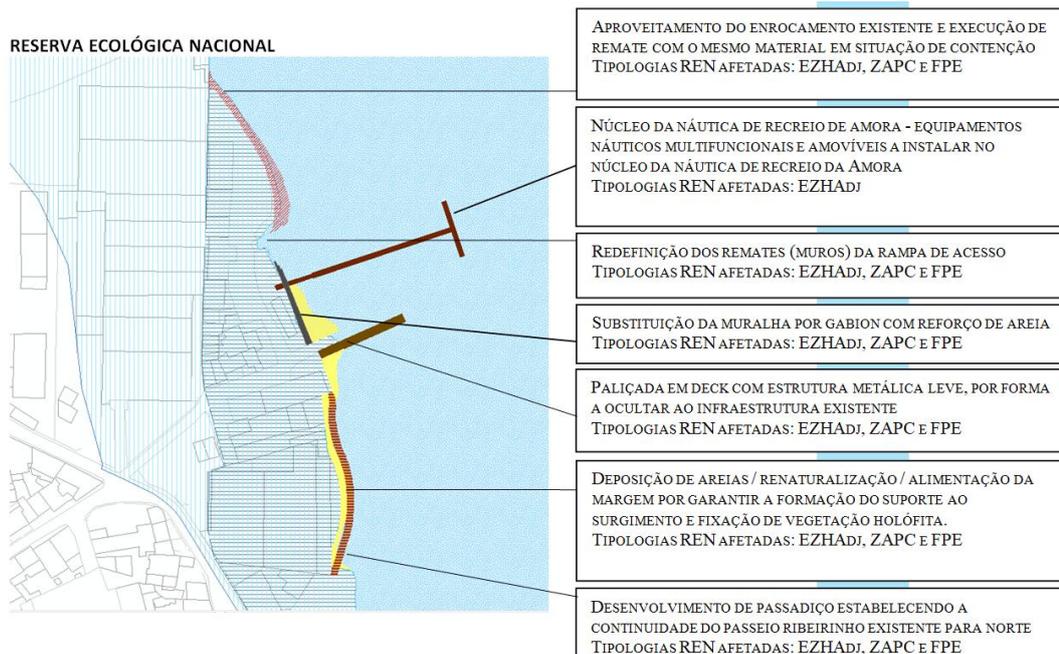


Na zona da rampa mais extensa (fig. 183), a cota a que a parte superior se encontra ronda os **2,30 m (ZT)**. Esta cota é muito baixa,

estando pouco acima do nível da preia-mar. Note-se na figura 184, a seta vermelha marca onde chegou a maré, que estava perto da maré viva, mas não houve temporal, que provocaria a sobre-elevação do nível do mar devido à baixa pressão. No dia 21 de Setembro de 2015 em que a maré viva atingiu os 4,4 m ZH = **2,32 m ZT**, e que com a ondulação, galgou a muralha do Seixal (2,60 m) e invadiu o espaço público cuja cota mais baixa é de **2,40 m**.

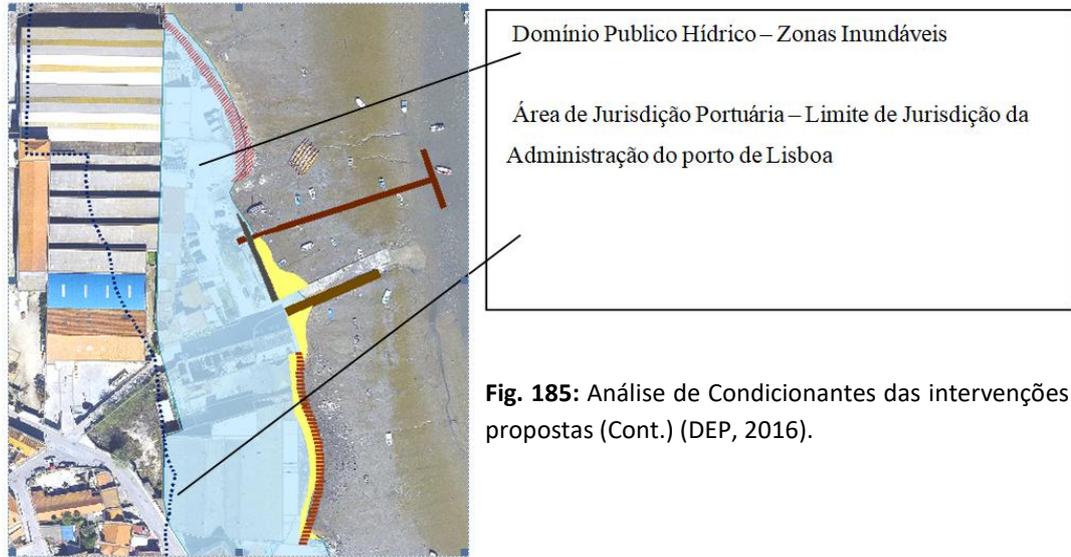


Desta forma a intervenção deverá necessariamente **eleva a cota de coroamento** da estrutura de defesa costeira aderente, tal como se tem vindo a proceder na restante intervenção da baía do Seixal. Todos os centímetros a mais que se subirem serão anos em que esta muralha manterá a função de defesa costeira efetiva, face à progressiva subida do NMM. Esquemáticamente foram propostas as seguintes estruturas, afetadas pelas seguintes condicionantes (REN, DPH e Área de Jurisdição Portuária), (fig. 184 e 185).



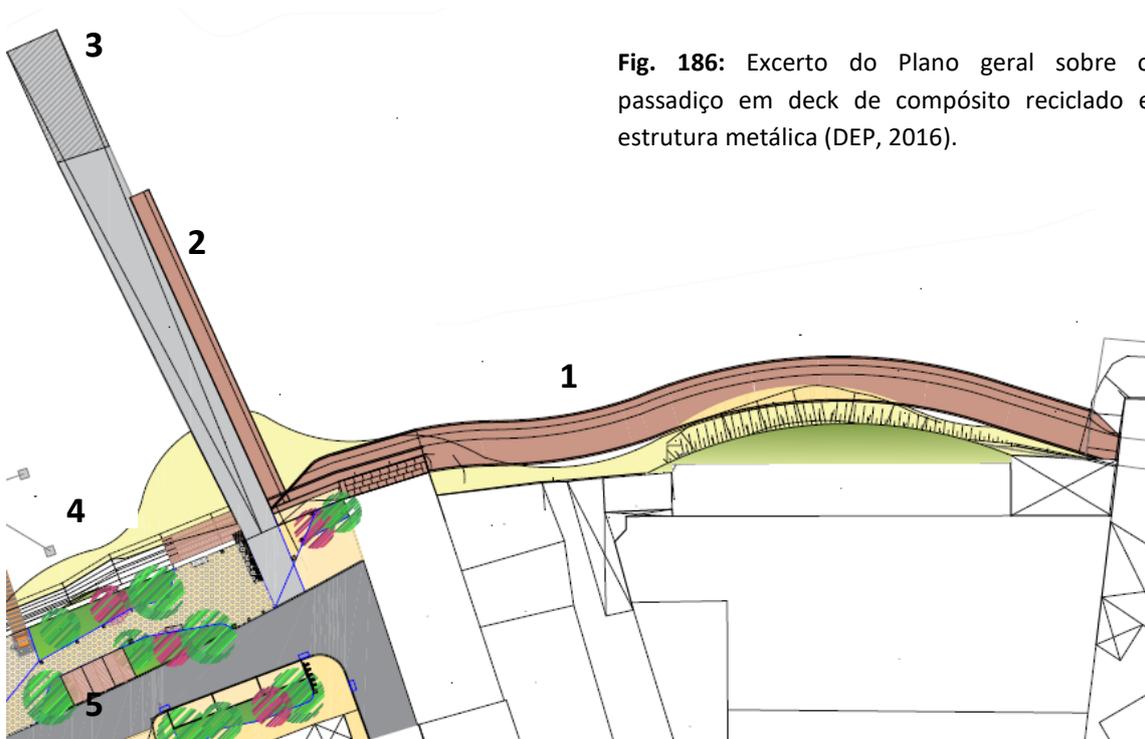
**Fig. 184:** Análise de Condicionantes das intervenções propostas (DEP, 2016).

## OUTRAS CONDICIONANTES



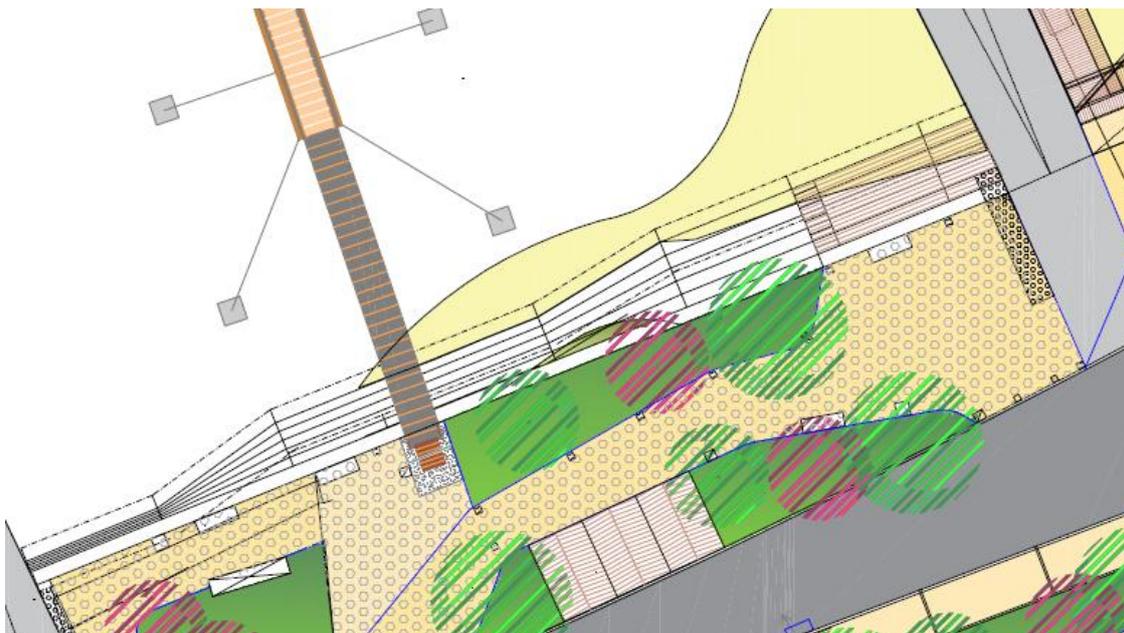
O passadiço (fig. 185 e 186), dada a sua extensão e a sua localização prevista, sobre o plano de água, teve que ser solicitado um enquadramento da intervenção no âmbito do REN à CCDRLVT.

Após a análise dos diferentes tipos de estruturas de defesa costeira, das existências e de reuniões com os diferentes atores (municipais, pescadores e as duas associações náuticas), chegou-se a um conjunto de diferentes soluções de projeto, específicas para cada situação/problema/função/necessidade encontradas, descrevendo-se de sul para norte:



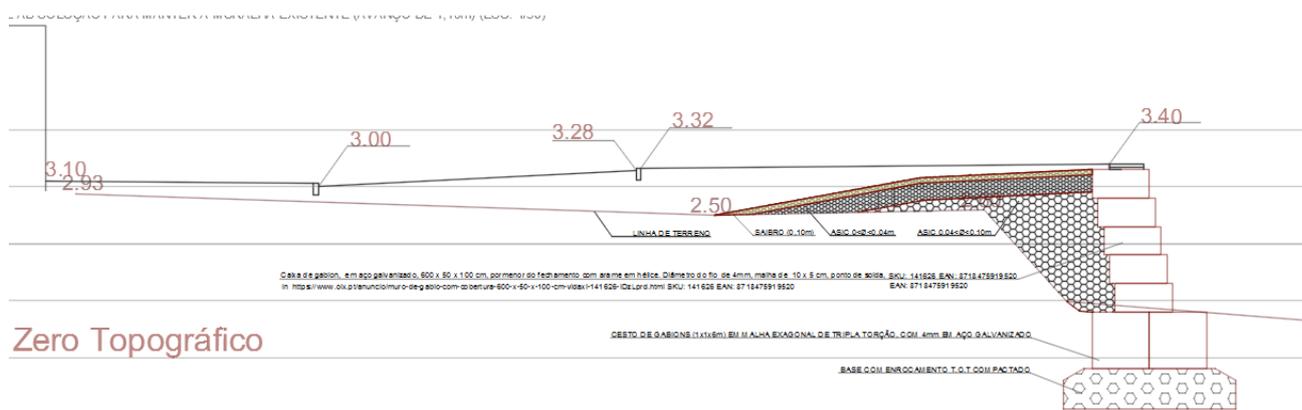
- 1 - Passadiço sobre-elevado (2ª Fase) (fig. 186) - Em termos altimétricos, o passadiço partirá da cota 3.20 m existente na Amora, criando uma sensação de muito suave declive e teria uma pequena elevação até à cota 3.60 m, terminando na cota 3.40 m: a cota de coroamento definida para a estrutura de proteção costeira aderente, onde ligará o passadiço e que defenderá a frente urbana a Norte;
- 2 - Ocultação da manilha de drenagem com estrutura em paliçada e colocação de capleta antirretorno de fim de linha (2ª Fase);
- 3 - Extensão das rampas existentes e correção das pendentes de forma a atingir a nova cota de coroamento (2ª Fase);
- 4 - Estrutura de proteção costeira aderente em *gabions* (1ª Fase), construída em 2017;
- 5 - Novos arrumos para pescadores em abrigos de madeira amovíveis (2ª Fase).

A solução encontrada para a redefinição da linha de costa (fig. 187) foi materializada por uma solução de fácil execução, pouco onerosa e suficientemente versátil para se atingir as intenções de projeto, materializada por cestos de *gabions* de malha retilínea e semi-rígida (cada um com 6m de comprimento por 1m de largura e 0,50 m de altura).



**Fig. 187:** Excerto do Plano Geral da Estrutura de defesa aderente (DEP, 2016).

Projetou-se então a construção de uma muralha em cestos de *gabions* com cerca de 45 m de comprimento, e largura variável, que vai “abrindo” da quase vertical na Associação (a Norte), na zona utilizada para a atracagem das embarcações, para 40 cm de cobertor na zona do cais flutuante de atracagem e depois abre para 60 cm de cobertor na zona da praia, já perto da rampa existente (a Sul). De lado a estrutura é rematada por dois muros de *gabions* transversais, de forma a manter a estrutura permeável e evitar os custos de um muro de betão e respetivas fundações.



**Fig. 188:** Pormenor de construção em corte, na zona das placas de betão existentes, que serão aterradas pela nova muralha, não necessitando de ser retiradas e ajudando no alívio de carga sobre a nova muralha (DEP, 2016).

Note-se que os cortes (fig. 188, 190, 191 e 194) apresentam o faseamento do que foi feito na primeira fase (a vermelho) e o que falta fazer na segunda fase (arranjo exterior e sistema de drenagem da rua), pois ao elevar-se a cota da muralha, terá de se fazer o sistema de drenagem. Como na primeira fase foi apenas construída a muralha com *gabions* preenchido com calcário arrumado (TOT –todo o tamanho) e os pavimentos com enchimento em ASIC e camada superficial de saibro, tudo materiais permeáveis, a drenagem superficial, continuará a ser feita para a baía.

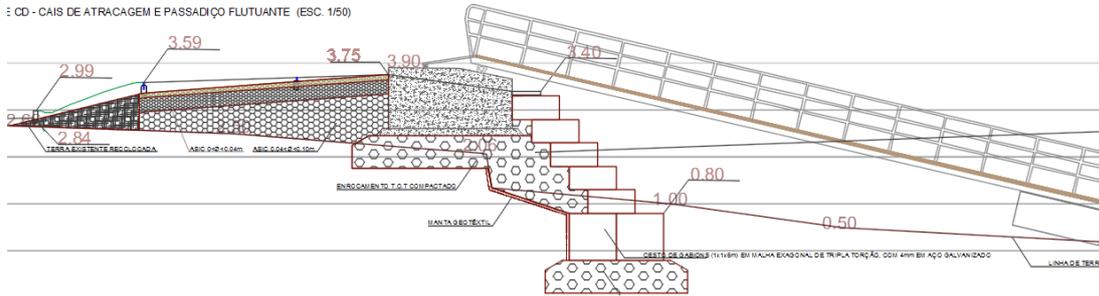


**Fig. 189:** Fotografias da estrutura de defesa aderente, na zona mais vertical, em preia-mar de maré viva quase equinocial (2018/03/01) (A) e baixa-mar (2017/10/19) (B).

Desta forma conseguiu-se fazer uma muralha de ancoragem do novo cais e de proteção costeira (fig. 189), com custos reduzidos.

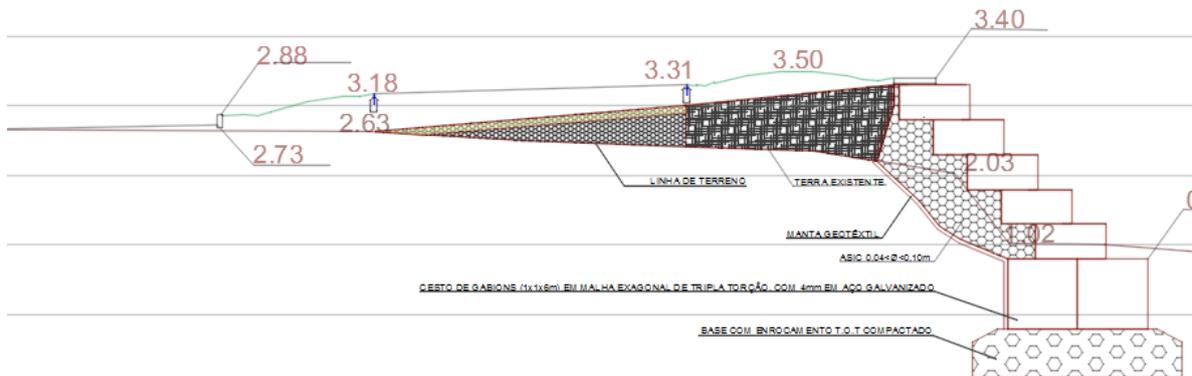
Desta forma conseguiu-se atingir a cota dos 3.40 m, um valor estimado conveniente de acordo com a cota que se tem praticado na baía e que possibilita uma vida útil de 50 anos, de

acordo com as previsões da subida do NMM. Este tipo de estrutura não inviabiliza que de futuro se continue a sobrepor os muros de gabions à medida que o NMM vá subindo.

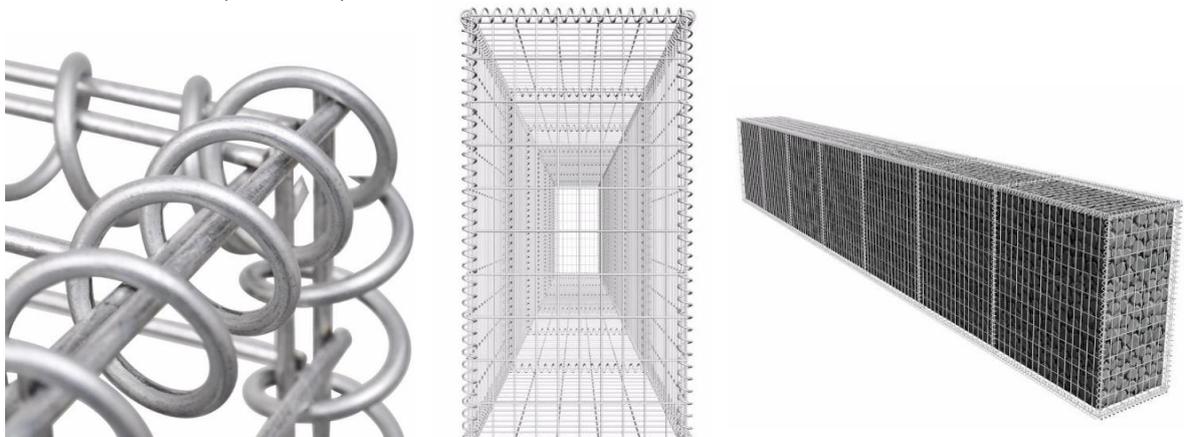


**Fig. 190:** Corte na zona de instalação da ponte oscilante, que liga ao passadiço flutuante e este por sua vez se liga ao cais de atracagem (DEP, 2016).

Este tipo de solução está assente numa boa base de TOT e de 2 cestos de gabions de malha semi-elástica, com 1x1x6 m, tal como se poderá ver nos cortes (fig. 190, 191, 192 e 195). Acima desta base foi escolhido um tipo de cesto de *gabion* com malha mais rígida. A grade desta malha é formada por meio de soldadura transversal e fios longitudinais em cada intersecção (fig. 193). Os fios da malha utilizada são em aço galvanizado de 4mm (adequado para zonas com água salgada). Os cestos foram “deitados”, de forma a ficarem mais estáveis e permitirem a descida pelos socalcos e a estada nestes (como bancos de anfiteatro).



**Fig. 191:** Corte na zona de “abertura” dos cestos de gabion dos 40 cm para os 60 cm de cobertor, zona onde existiam os tanques de lavar a roupa que foram retirados e substituídos por material de enchimento/aterro (DEP, 2016).



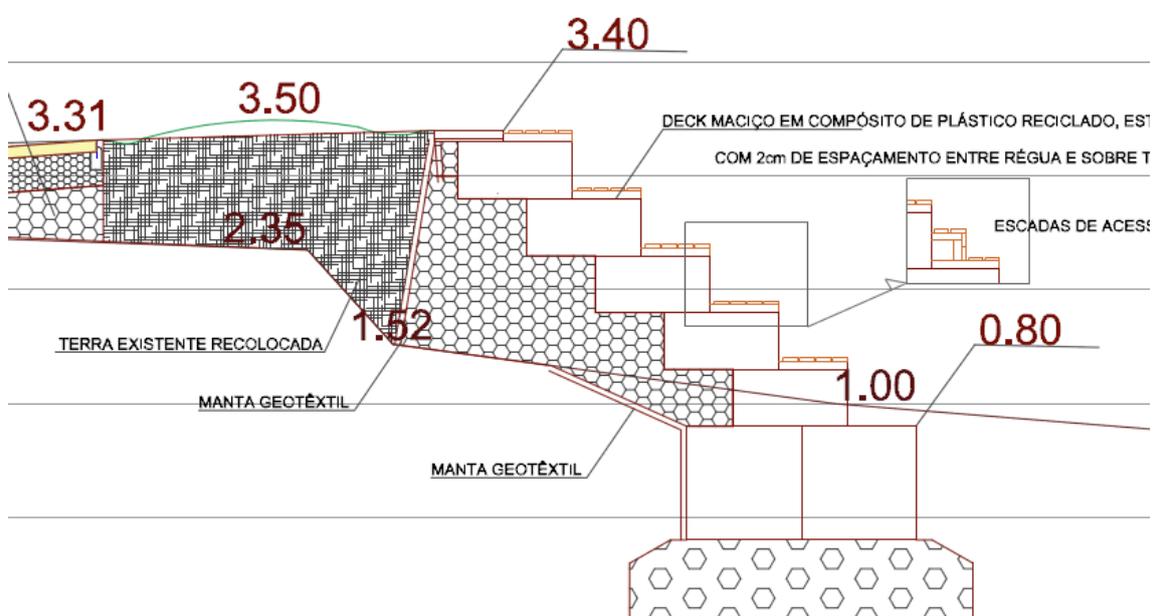
**Fig. 192:** Caixa de *gabion*, em aço galvanizado, 600 x 50 x 100 cm, pormenor do fechamento com arame em hélice. Diâmetro do fio de 4 mm, malha de 10 x 5 cm, ponto de solda, [in https://www.olx.pt/anuncio/muro-de-gabion-com-cobertura-600-x-50-x-100-cm-vidaxl-141626-IDzLprd.html](https://www.olx.pt/anuncio/muro-de-gabion-com-cobertura-600-x-50-x-100-cm-vidaxl-141626-IDzLprd.html)

Esta solução é compatível com o acesso e usufruto da pequena praia natural existente (devido à barreira provocada pela rampa e tubagem), desenvolvendo-se em anfiteatro para a baía a sul e a norte constitui uma muralha vertical junto à Associação, de forma a poderem atracar embarcações (fig. 178 e 193).



**Fig. 193:** Fotografias da estrutura de defesa aderente, na zona de “abertura” dos cobertores para de 40 para 60 cm, em preia-mar de maré viva quase equinocial (2018/03/01) (A) e baixa-mar (2017/10/19) (B).

Os degraus com 50 cm de espelho foram cobertos com *deck* anti-derrapante (em compósito reciclado) de forma a proporcionar uma zona de estada e o acesso à praia é garantido por uma subdivisão pontual dos socalcos de forma a fazer um degrau intermédio mais acessível (fig. 194 e 195).



**Fig. 194:** Corte na zona de deck, possibilitando usar a estrutura como anfiteatro de estada virado para a baía como zona de acesso a esta (DEP, 2016).



**Fig. 195:** Fotografias da estrutura de defesa aderente, na zona de deck em compósito, cobertores de 40 para 60 cm, em baixa-mar (2017/10/19) (A) e preia-mar de maré viva quase equinocial (2018/03/01) (B).

Esta foi uma solução encontrada para aquele caso específico (fig. 195 e 196 A), com os recursos disponíveis, que conjugou a areia existente e uma estrutura de proteção aderente, em *gabions* que permitiram partir de uma parede quase vertical (para a atracagem de embarcações) para uma estrutura em anfiteatro de estada e acesso à praia, sem o habitual espraçamento do enrocamento. Este de tipo de estrutura também permite facilmente a futura elevação da cota de coroamento com a subida do NMM. Quando/se colmatado com sedimentos, poderá vir a ter plantas de sapal a proteger as suas estruturas de base. No entanto, não se esgotam aqui as soluções a propor num futuro próximo que seria muito importante que seguisse a linha da utilização das soluções híbridas e sempre que possível as soluções suaves.



**Fig. 196:** Fotografias da estrutura de defesa aderente (A), que elevou a cota de coroamento, comparativamente à zona não intervencionada (D), em preia-mar de maré viva quase equinocial de 2018/03/01 (B, C, D).

Na fig. 196 (B, C e D), o nível de água na preia-mar estava bastante elevado devido à ocorrência de situação de quase Lua cheia, próxima do equinócio de Primavera (20 de Março. No dia 2018/03/02 seria registada a “Lua azul”, uma Lua cheia que acontece raramente 2 vezes por mês (ciclo de 29 dias). É nestas alturas de menor distância da Terra ao Sol e de Lua cheia, que se podem dar as marés mais altas que, se conjugada com baixas pressões, poderá originar inundações nas zonas mais baixas, como veremos.

## 7.8 Eventos extremos no Seixal e formas de Adaptação

O Seixal tem sido até hoje um “caso de estudo” no que toca à subida do NMM, devido à sua cota muito baixa na zona da “curva da Timbre” (“Timbre” é o nome da Sociedade Filarmónica aí existente, tal como se pode observar na seguinte fig. 197), na Avenida D. Nunes Álvares Pereira, com o ponto mais baixo de toda a zona urbanizada da Baía, com sumidouros a 2,4 m. Assim, quando surge a conciliação de diversos fatores que aumentam o nível do mar temporariamente, verifica-se o alagamento dessas áreas:

- Conjugação de maré alta e maré viva (Lua Cheia ou Lua Nova), numa altura de Equinócio de Primavera ou Outono: Efetivamente, quando estas condições se conjugam, o nível da água consegue ultrapassar a cota da zona mais baixa do Seixal, por exemplo a maré viva e preia-mar de 9 de Setembro de 2014 atingiu os 4,46 m (referidos ao ZH), correspondentes a 2,38 m (ZT), e a via ficou alagada.



**Fig. 197:** Fotografia que tirada na maré viva de 30 de Setembro de 2015, local: “curva da Timbre” antes da remodelação dos pavimentos e rede pluvial (2017-18), note-se que está bom tempo (alta pressão). In <http://ospescas.blogspot.com/2015/09/seixal-inundado.html>

Mesmo após a remodelação de todo o Seixal em 2017, este problema continuou a existir, pois a cota não foi alterada.

Como se pode visualizar nas figuras 198 e 199, a água não vem da rampa (ou seja, da baía por galgamento), mas sim através dos próprios sumidouros que estão ligados diretamente à baía. Sempre que numa maré viva se ultrapasse a cota mais baixa do Seixal (cota de projeto 2.38 m), a água emerge pelo sunidouro e inunda o pavimento impermeável.

As datas destes acontecimentos não são por acaso, pois as marés vivas com níveis mais elevados da água do mar da preia-mar dão-se nos Equinócios de Outono e da Primavera.



**Fig. 198 e 199** : Fotografias tiradas em Outubro de 2018, também numa maré viva e preia-mar. Note-se que o pavimento está seco (não havia temporal/ondulação), e a entrada de água deu-se pelo sumidouro existente (círculo azul).

- A inundação agrava-se quando se conjugam os fatores anteriores com uma baixa pressão com ventos fortes e elevada pluviosidade: efetivamente d -se o galgamento da muralha pela água e a inundação mais grave acontece. O galgamento deve-se não são ao efeito da ondulação, mas também devido ao facto de numa baixa pressão atmosférica, haver sobreeleva o meteorológica do nível do mar, por estimativa de 0,53 m no modelo para o estudo da restinga do Alfeite de Vargas *et al.* (2008). Este   o caso de maior de preocupa o, uma vez que já   real e será cada vez mais grave com a subida do NMM e a maior frequência e intensidade esperada destes eventos extremos (fig. 200).



**Fig. 200:** Fotografia retirada da internet, data desconhecida, local: Rua 1  de Dezembro, em frente   "curva da Timbre"). In <http://www.cm-seixal.pt/noticia/prevenir-cheias-para-evitar-o-pior>

**Fig 201:** Imagem da Rua 1  de Dezembro, tirada do Google Maps (Street View), num dia "calmo" de 2019.

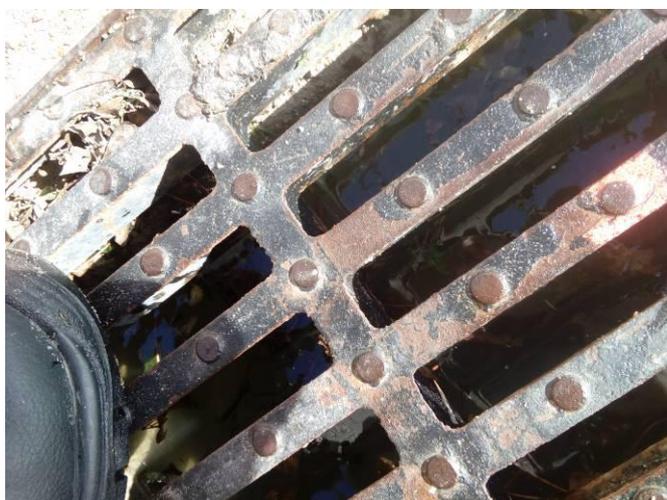


Pela imagem da mesma rua (1º de Dezembro) numa preia-mar normal, consegue-se perceber que os habitantes já estão habituados a cheias, pela elevação da cota de soleira ou adaptação do degrau à entrada das casas, que funciona como mini dique (fig. 201).

Efetivamente quando se juntam vários fatores: as marés vivas, temporal (baixa pressão e ventos fortes) e a maré-alta (preia-mar), o nível do mar eleva-se, e com a ondulação devido aos ventos fortes, a água entra pelo canto mais baixo da rampa, junto ao murete, servindo a rampa até de acesso mais fácil das ondas, pois elas sobem a rampa em vez de embater contra o paredão. Essa entrada de água pelo canto da rampa, junto ao murete (cota mais baixa), foi verificada nas marés vivas equinóciais de Março de 2018, como se poderá ver nas figuras 202 a 204.



**Fig. 202 e 203:** Fotografias da entrada e água junto à rampa NW do Seixal, Março de 2018.

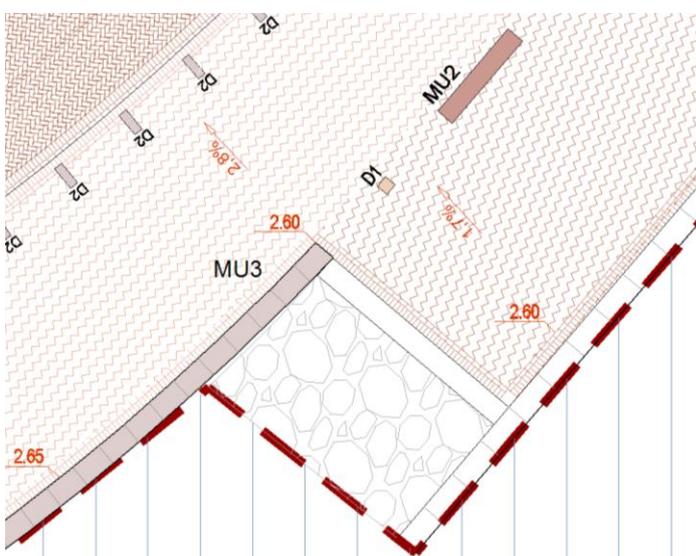


**Fig. 204:** Fotografia do nível de água logo por debaixo da grelha do sumidouro, junto à Misericórdia do Seixal. Foto do mesmo dia em Março de 2018, que prova que a água que causou a pequena inundação só veio da ondulação que entrou pela rampa NW.

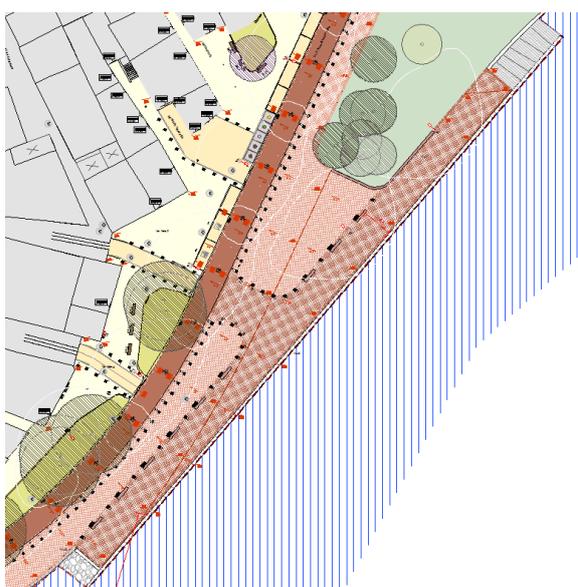
Assim, caso se anulasse esta rampa NW (fig. 205 e 206), uma vez que existe outra próxima a 50 m (fig. 207), resolver-se-ia o problema da entrada de águas nas marés vivas, ao se prolongar o murete revestido a tijolo existente, inflectindo-o para a rampa, de forma a que esta entrada de água salgada fosse bloqueada.



**Fig. 206:** Fotografia da rampa NW, junto à “curva da Timbre” num dia calmo, onde se vê até onde cegou a preia-mar e que existe um ponto mais baixo da rampa junto ao murete, que não está de acordo com o projeto.



**Fig. 205:** Excerto da carta de altimetria e drenagem do projeto para o passeio ribeirinho do Seixal (*Atelier Risco*, 2016), onde se verificam que as cotas de coroamento não correspondem ao que foi construído.



**Fig. 207:** Excerto do Plano geral do Projeto para o Passeio Ribeirinho do Seixal (*Atelier Risco*, 2016), onde se visualiza a outra rampa existente do lado oposto e que não apresenta estes problemas de galgamento.

Caso se opte por manter a rampa NW, o problema da entrada de água poderá ser resolvido através da alteração da cota e pendentes do pavimento, que levará à reformulação do pavimento nas imediações da rampa, fazendo subir a cota de coroamento (fig. 205 e 206). O facto de o piso da rampa não ser em betão (pedra), poderá apresentar mais vantagens, uma vez que atenua um pouco/causa um certo atrito à subida das ondas).

A solução para evitar a entrada de água pelos sumidouros passa pela colocação nas bocas dos pluviais de capletas antirretorno de fim-de-linha.

Efetivamente, no novo projeto de drenagem a capleta antirretorno de fim-de-linha, que foi colocada junto à rampa SE, está na embocadura do coletor pluvial que vem da Mundet (a uma cota superior) e não dos coletores da povoação do Seixal (a uma cota inferior) que continuam em contacto direto com a baía (círculo azul na fig. 208).



**Fig. 208:** Capleta antirretorno de fim-de-linha, colocada no final do pluvial do Seixal que vem da Mundet (a uma cota mais elevada) (2018).

Para resolver este problema da acumulação de água, na altura das marés vivas, que terá tendência a agravar-se com a subida do NMM, deveria então haver uma capleta anti-retorno em todas as saídas de pluviais do Seixal, ou para já, nas que comunicam com estes sumidouros situados a uma cota mais baixa, tal como foi proposto anteriormente, para a intervenção na zona ribeirina da Amora.

Esta “tampa” poderá ser mais pequena, consoante os diferentes diâmetros de saída.

Quando a maré começa a subir, estas capletas fecham, porque a pressão exterior é maior que a pressão interior.

Esta sugestão foi sugerida por mim, enquanto técnica da CMSeixal, numa informação de Fevereiro de 2019 e já se encontra uma pequena capleta no pluvial que liga ao sumidouro mais problemático, que funcionou e na Primavera de 2019, pela primeira vez em x anos, não ocorreu o alagamento da “curva da timbre”.

Em caso de necessidade (fenómenos extremos com muito elevada pluviosidade), poderia ainda retirar-se a grelha do sumidouro e com uma simples bomba de água, bombear a água para a baía. Graças às capletas a água da maré não voltaria a entrar. Esta seria uma solução de recurso esporádica (medida SOS), que se se tornasse mais frequente num futuro

próximo, devido à subida do NMM, poderia ser resolvida com um sistema automático de bombagem com pequena bóia.

Num futuro próximo, todas as saídas de coletores pluviais deverão ter capletas para a água não entrar pelos sumidouros, como nas figuras 208 e 209 B. Esta é uma medida de adaptação à subida do NMM de baixo custo.

Na praia do Seixal também já foram postas algumas destas estruturas de Ac.



Fig. 209: Foto de pluvial sem campânula de maré (5/8/2015) (A) e foto atual (2019) (B).

Na Amora e nesta pequena praia do Seixal, existe a intenção pela CMSeixal de se fazer uma marina, o que iria implicar a escavação do leito e a artificialização das margens, que levaria ao desaparecimento desta defesa costeira suave que até hoje tem funcionado e continuaria a funcionar no futuro, eventualmente com o reforço de areia pelas dragagens ou deposição de areia vinda de terra, uma solução Ac suave de baixo custo que facilmente responderia à subida do NMM.

Não nos podemos esquecer que o nível do mar está a subir a uma taxa de 4,1 mm por ano, com tendência a aumentar, e num futuro a médio/longo prazo a subida do nível médio do mar prevista é de aproximadamente 1,14 m em 100 anos (Antunes, 2019). Assim, este tipo de situações tenderá a ser um problema cada vez mais recorrente, e terão de haver medidas cada vez mais eficazes e permanentes.

Desta forma, perante o cenário da subida do NMM que se avizinha, terá necessariamente de ser elevada toda a cota de coroamento da muralha do Seixal e de todas as zonas mais baixas. Todos os centímetros a mais que se subirem agora, serão anos em que esta muralha manterá a sua função de defesa costeira efetiva, face à progressiva subida do NMM.

Também se poderão fazer soluções híbridas e menos onerosas, semelhantes ao “dick in dune” (fig. 39), mas adaptadas para ambiente estuarino, em que se poderia fazer uma defesa sem elevar as cotas de coroamento, através de um dique de areia, terra e vegetação de sapal, exterior à muralha existente.

No entanto se pensarmos num futuro ainda mais longínquo teremos de pensar noutra tipo de soluções, aproveitando a fisionomia de toda a Baía.

No âmbito da Gestão Integrada das Zonas Costeiras (GIZC) em 2004 foi construído o Projecto-Piloto da Barrinha de Esmoriz. Na foz da Lagoa de Paramos foi construído um dique em areia (fig. 210), com uma pequena entrada ladeada por duas estruturas em madeira que delimitam o “dique-fusível”, isto é, um dique em areia, a uma cota mais baixa que o dique que fecha a lagoa: o dique é fechado com areia no Verão, quando a água da laguna está poluída e afeta a qualidade das praias balneares do litoral e rompe naturalmente durante o inverno, em alturas de cheias.

O dique também serve de proteção costeira, pois a sua cota está estudada para permitir que em alturas de cheias a água galgue o dique e saia pela barrinha para o mar, e quando há temporais e marés vivas equinóciais que podem pôr em risco as margens da Lagoa de Paramos, a cota não permite o galgamento da água vinda do mar.



**Fig. 210:** Embocadura da Barrinha fechada (A) com o dique fusível e aberta (B) com a rotura deste (foto de António Mota Lopes, *in* [http://discomap.eea.europa.eu/map/Data/Milieu/OURCOAST\\_159\\_PT/OURCOAST\\_159\\_PT\\_Doc\\_ProjectDocument.pdf](http://discomap.eea.europa.eu/map/Data/Milieu/OURCOAST_159_PT/OURCOAST_159_PT_Doc_ProjectDocument.pdf)).

Esta é uma obra que poderia inspirar uma solução, num futuro não muito distante, para a embocadura da Baía do Seixal, mas neste caso seria uma comporta que fechasse a entrada de água na baía assim que fosse atingida a cota de segurança para as povoações da Baía. Teria de haver o reforço por aterro de toda a Restinga.

Esta seria uma obra muito cara, só aplicável quando o NRM estivesse mais alto e pusesse as povoações em risco. Assim, sempre que o NRM estivesse quase a atingir a cota de coroamento das muralhas que defendem as povoações (fig. 211), seria acionada a comporta e fechava-se a entrada de água. Inicialmente isto só aconteceria nas marés vivas equinóciais e tempestades, mas daqui a uns anos com a subida prevista do NMM, seria em todas as alturas de preia-mar. A abertura e fecho da baía deveria continuar, de forma a proporcionar a existência do ecossistema de sapal e dos rasos de maré, com todos os animais bentónicos que servem a população residente, assim como permitiria a existência das estruturas de defesa mistas já existentes e a fazer, que desapareceriam com o fecho da barra (equivalente a maré cheia permanente que levaria à erosão das estruturas de defesa estuarina e ao desaparecimento das plantas de sapal).



**Fig. 211:** Galgamento da muralha em dia de preia-mar de maré viva e equinócial, com vento forte (2018/03/01).

As obras de requalificação e valorização da Barrinha de Esmoriz e da responsabilidade da Polis Ria de Aveiro, que se iniciaram em Setembro de 2016, depois de várias décadas de adiamento, foram cofinanciadas pelo Programa Operacional de Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos - PO SEUR, com contribuição do Fundo de Coesão em quase 4 milhões de euros, para um custo total de mais de 5 milhões de euros, e uniram as margens das freguesias banhadas pela laguna, como são Esmoriz (Ovar) e Paramos (Espinho).

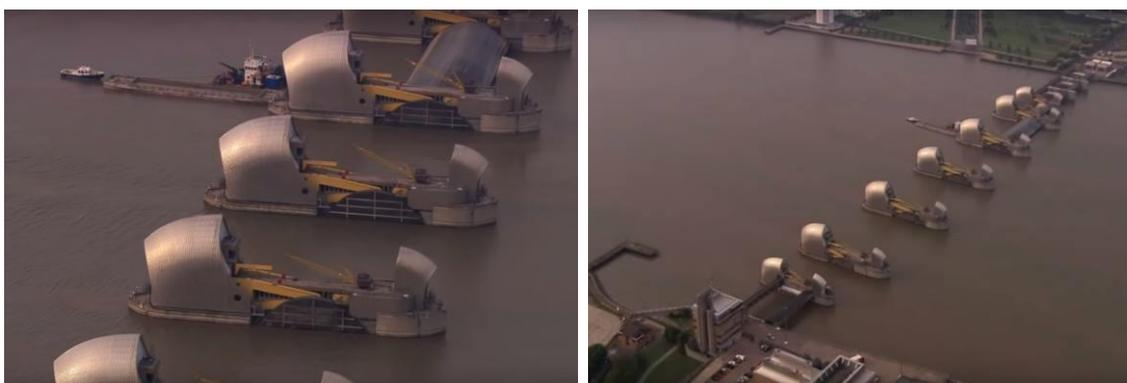
Estruturas de proteção costeira pesada, muito mais caras, são a barreira do Rio Tamisa (fig. 212 a 214): um conjunto de comportas que fecha quando o NRM ultrapassa a cota de segurança, devido a tempestades e marés altas e vivas equinociais. Entre Londres e o Porto de Tilbury (este junto à foz do Rio), é composta por 10 comportas de aço, sendo que as 4 centrais são maiores, pesam cerca de 3300 ton e têm uma altura equivalente a 5 andares. É a segunda maior barreira a seguir a

*Oosterscheldekering*, na Holanda.



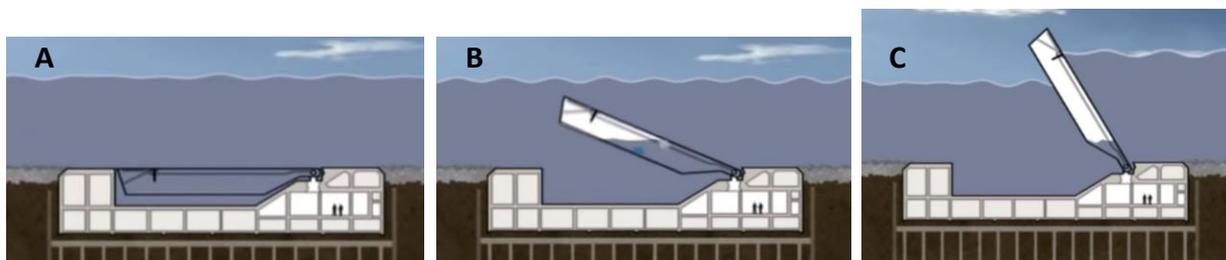
**Fig. 212:** Localização da Barreira do Rio Tamisa, perto da Foz, a jusante de Londres *in*

<https://www.youtube.com/watch?v=fEom-yAVNEg>



**Fig. 213 e 214:** Vistas da Barreira do Tamisa. *In* <https://www.youtube.com/watch?v=fEom-yAVNEg>

Par a a defesa de Veneza desde 2013 começou a ser implantado um projeto inovador (MOSE ou Módulo experimental electromecânico), em que as 3 bocas da laguna de Veneza são fechadas sempre que a maré ultrapassa 1,10 m. É composto por um sistema de 78 comportas, divididas em 4 blocos, que se elevam do fundo, com a entrada de ar nas comportas. O projeto foi orçamentado em mais de 5 mil Milhões de Euros (figuras 215 a 217).



**Fig. 215:** Esquema de funcionamento do sistema de comportas da barreira de Veneza, colocada em 3 bocas da restinga. *In* <https://www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms>



**Fig. 216 e 217:** Prova de ensaio experimental de 4 comportas em 2014 e localização das 3 barreiras. *In* <https://www.youtube.com/watch?v=bJZM4foM8ms>  
<https://www.youtube.com/watch?v=QdGerYoTz1s>

Temos então de ter em conta que estas estruturas são muito onerosas (fig. 218) e não nos podemos esquecer da sua fragilidade e/ou possibilidade de falha. Nos anos 70 a antiga ponte ferroviária que ligava o Seixal ao Barreiro (“Ponte dos Ingleses”) ruíu e a linha foi desativada. O recuo das frentes urbanas será sempre a opção mais segura num futuro longínquo, pois não nos podemos esquecer que após 2100 o NMM vai continuar a subir.



**Fig. 218:** Vista da Praça dos Mártires da Pátria, no Seixal, para a foz da Baía do Seixal, com a construção da ponte ferroviária, que não chegou a ser concluída devido à queda da “Ponte dos Ingleses”, o outro troço já concluído que ligava o Seixal ao Barreiro. As estruturas metálicas foram depois aproveitadas para a construção da atual ponte de Alcácer do Sal. Note-se que nesta fotografia ainda não tinha sido construído o esporão que estrangulou entrada e saída de água na baía, sendo a abertura original muito mais larga e com rasos de maré evidentes (foto de arquivo da CMSeixal).

## 7.9 Estudo planimétrico do avanço e recuo das formações de Sapal através da análise de Ortofotomapas

### 7.9.1 Metodologia

Para o estudo planimétrico do avanço e recuo das formações de sapal da Baía do Seixal, recorreu-se à delimitação da área de sapal que se consegue visualizar nos ortofotomapas gentilmente disponibilizados pela CMSeixal.

Recorreu-se ao ortofotomapa a cores mais antigo e disponível digitalmente, de 1998 e ao mais recente durante a execução deste estudo, de 2013. No entanto, em Abril e 2019, ficaram disponíveis os novos ortofotomapas, de 2018. Como seria impossível fazer o desenho de todos os polígonos (para 2013 foram desenhados 911 polígonos), neste último apenas se estudaram

e delimitaram áreas das zonas mais representativas do avanço e recuo do sapal, respetivamente o Sapal de Corroios e o Sapal da Foz do Rio Judeu.

O ortofotomapa de 1998 apresenta uma resolução mais baixa que o de 2013 e de 2018, devido à evolução da técnica de deteção remota (por fotografia aérea).

Segundo Lourenço (2017) a exatidão posicional de um ortofotomapa é um valor indicador da concordância entre as coordenadas de um ponto, obtidas na cartografia, e neste caso, no ortofotomapa, e as correspondentes no terreno obtidas por um método muito rigoroso, que garanta observações o mais exatas possível. A exatidão posicional planimétrica dos ortofotomapas de 1998 é de cerca de 40 cm, e para os de 2013 e de 2018 é de 30 cm. De forma semelhante, a resolução do pixel é igual a 40 cm no terreno para os ortofotomapas de 1998 e de 20 cm para os mais recentes (1 pixel=20 cm).

Na Tabela 5 resumem-se as propriedades das imagens utilizadas para este estudo. Note-se que os ortofotomapas de 1998 estão reunidos numa única imagem.

**Tab. 5:** Propriedades e especificidades das imagens dos diferentes ortofotomapas por data (ano).

	unidades	1998	2013	2018
Largura	pixeis	20587	8000	8000
Altura	pixeis	12511	5000	5000
Resolução horizontal	dpi	96	96	96
Resolução vertical	dpi	96	96	96
Profundidade de bits	bits	24	24	24
Tamanho	MB	52.5	Var., Máx. 10.256MB	V., Máx. 12.298MB
Exatidão pos. planimétrica	cm	40	30	30
Resolução do pixel	cm	40	20	20

Os ortofotomapas são imagens georreferenciadas pelos técnicos da CMSeixal (Geógrafos), pelo que a justaposição dos vários ortofotomapas de vários anos coincide, e permite fazer a digitalização dos limites das manchas de sapal para os diferentes anos, podendo depois estudar-se a evolução destas (vide fig. 230) através da medição das diferentes áreas dos polígonos. O software utilizado foi o *AutoCAD*.

No entanto, durante a digitalização das manchas de sapal, poderão haver erros humanos associados à própria interpretação das cores e diferente resolução dos ortofotomapas, etc.

Foi também dado conta que, por norma, nas frentes de sapal em contacto com a água da baía, existia um decréscimo/recuo do sapal entre os anos de 1998 e 2013; e nas zonas em que o sapal podia recuar para cotas mais elevadas, como na restinga, ele avançava para terra. Havia ainda algumas exceções a esta regra. Assim, resolveu-se subdividir a baía em 15 zonas diferentes (fig. 219), consoante as suas características e o conhecimento das ações antrópicas efetuadas sobre ela (por ex. a execução da muralha que implicou a destruição do sapal existente e a sua lenta recuperação, etc). Pelo contrário, verifica-se que perto da foz das ribeiras onde há acreção de sedimentos, o sapal avança e a sua área aumenta, como no caso do Rio Judeu que será mais detalhado (embora verificando-se nos últimos anos um recuo).

Desta forma e dada a elevada quantidade de polígonos (696 para 1998 e 930 para 2013) e correspondentes áreas, não se apresenta aqui a medição da área de cada polígono e resumem-se na Tabela 6 as medições efetuadas por zona (soma das áreas de todos os polígonos para cada zona). Depois é feita uma análise estatística dos resultados e uma pormenoreização de algumas zonas, de forma a interpretar e compreender melhor os resultados obtidos.

Posteriormente é feito o cálculo e análise da velocidade de perda de sapal e por fim é feita uma valoração da perda de sapal medida, através da valoração dos Serviços de Ecossistema de Sapal, feita por TEEB (2011).



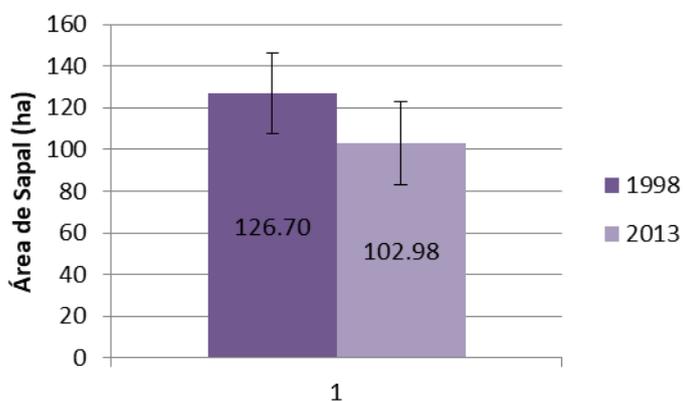
**Fig. 219:** Localização das diferentes zonas para subdividir as medições de sapal feitas para o ano de 1998 e de 2013 (base da imagem: ortofotomapa de 2009).

## 7.9.2 Resultados e sua interpretação

Através da leitura da Tabela 6 e da figura 220, constata-se que houve uma perda efetiva de sapal entre 1998 e 2013, de 23,7 ha, isto é, em 15 anos perderam-se 18,7% da área que existia em 1998 (126,7ha). Note-se que para além do recuo do sapal exceder as zonas de avanço, o sapal ficou mais fragmentado, sendo o n.º de polígonos de 2013 (930) superior ao de 1998 (696).

**Tab. 6:** Resultados obtidos pela medição das áreas de sapal dos ortofotomapas de 1998 e 2013.

Zonas	Área 1998 ha	Área 2013 ha	Diferença 98- ha	n.º polígonos 1998	n.º polígonos 2013	% área 98 / total	% área 13 / total	% diferença / total
1	23.29	17.43	-5.86	105	137	18.38	16.93	24.70
2	3.38	2.49	-0.88	6	30	2.67	2.42	3.73
3	2.24	1.74	-0.51	95	103	1.77	1.69	2.13
4	14.02	13.00	-1.02	22	60	11.07	12.62	4.31
5	4.42	2.96	-1.46	126	196	3.49	2.88	6.16
6	28.58	13.71	-14.88	85	98	22.56	13.31	62.74
7	26.40	28.92	2.53	32	29	20.84	28.09	-10.65
8	7.24	6.78	-0.46	51	51	5.72	6.59	1.95
9	7.70	7.49	-0.21	28	34	6.08	7.28	0.87
10	5.09	4.36	-0.73	77	87	4.02	4.24	3.08
11	0.48	0.25	-0.24	11	10	0.38	0.24	1.00
12	1.07	1.12	0.05	18	22	0.85	1.09	-0.20
13	2.30	2.65	0.35	13	53	1.82	2.58	-1.49
14	0.41	0.01	-0.40	16	8	0.32	0.01	1.69
15	0.05	0.06	0.00	11	12	0.04	0.05	-0.01
<b>Total</b>	<b>126.70</b>	<b>102.98</b>	<b>-23.72</b>	<b>696</b>	<b>930</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>	<b>100.00</b>

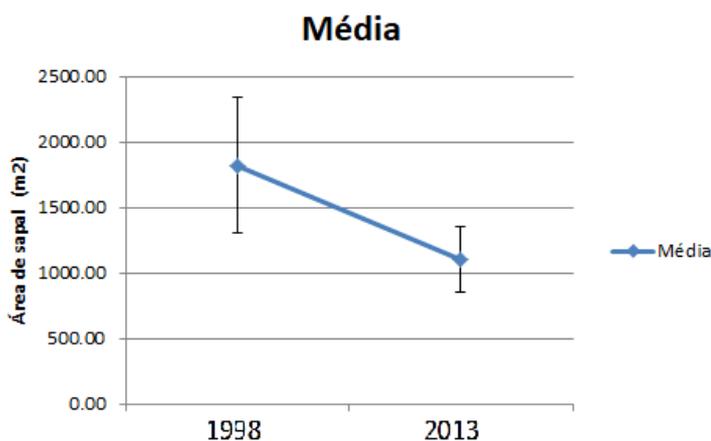


**Fig. 220:** Representação gráfica da área total de polígonos medida para cada ano, através do somatório das diferentes medições, e percentagem do respetivo erro padrão.

Pela análise estatística do universo das várias medições para cada ano, registamos igualmente uma tendência decrescente de 1998 para 2013 (Tabela 7 e fig. 221).

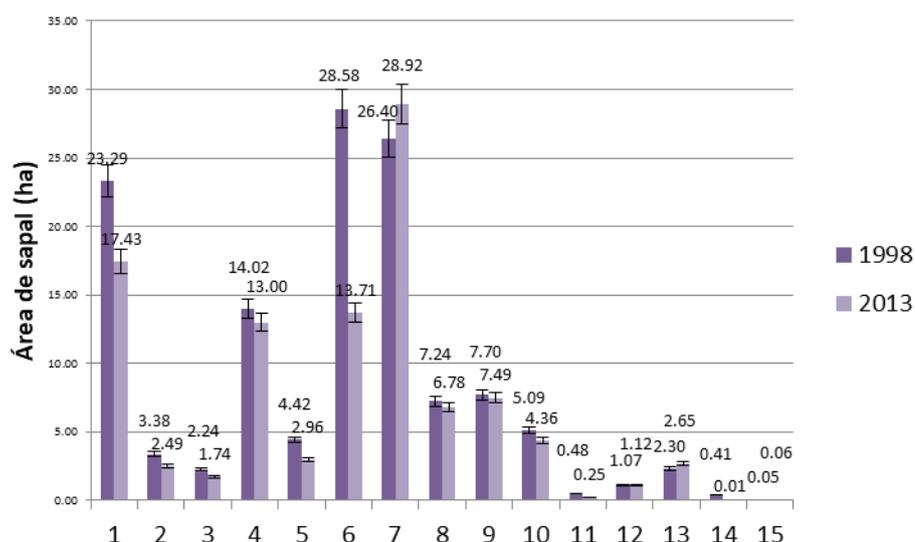
**Tab. 7:** Análise estatística do universo de áreas medidas para os dois anos em análise.

Análise Estatística / Ano	1998	2013
Média	1820.35	1107.31
Desvio Padrão	13641.97	7686.09
Tamanho da amostra	696	930
Erro Quadrático	517.10	252.04



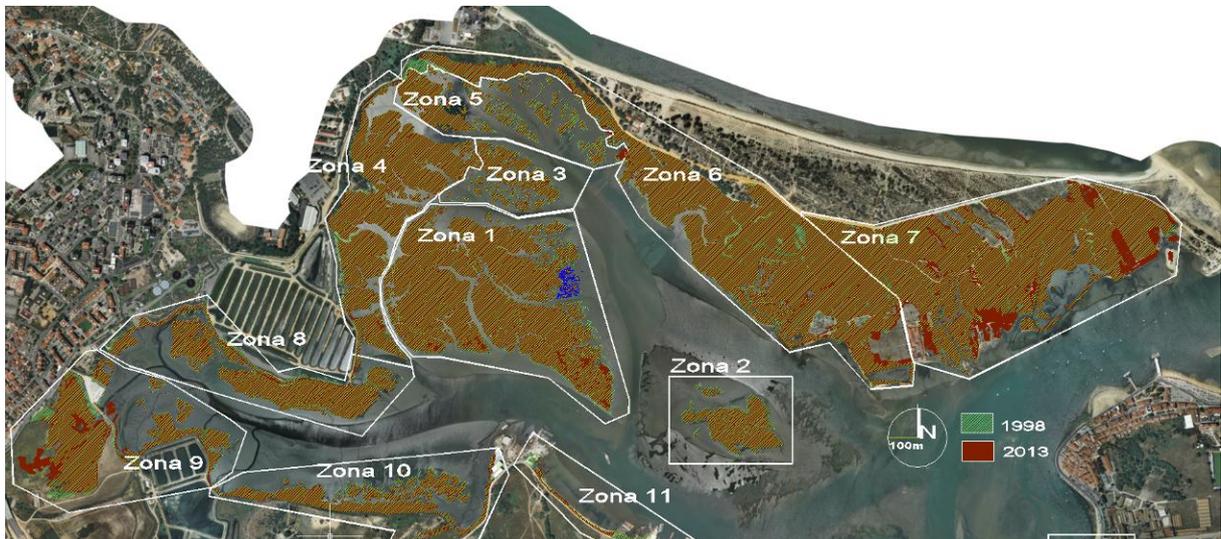
**Fig. 221:** Gráfico da média e respetivo erro padrão do universo das áreas de sapal de todos os polígonos medidos no ortofotomapas de 1998 e 2013.

No entanto, sabemos que esta medição é variável de zona para zona, e para melhor estudar as 15 zonas identificadas observe-se a figura 222.



**Fig. 222:** Área de sapal medida para 1998 e 2013, distribuídas pelas diferentes zonas identificadas (15), com a respetiva percentagem do erro padrão.

Podemos constatar que as zonas onde houve maior perda de sapal foram aquelas que correspondem ao “coração” do Sapal de Corroios, a zona 1 a 6 (fig. 222 e 223).



**Fig. 223:** Poligonização das manchas de sapal para as várias zonas identificadas no Sapal de Corroios e Restinga do Alfeite, com a área de sapal a verde (1998) sobreposta à área de sapal de 2013 (laranja escuro).

Na parte nascente da restinga do Alfeite, cujo extremo se denomina por “Ponta dos Corvos” (zona 7), verifica-se pelo contrário, que houve um avanço do sapal, para terra, devido provavelmente à subida do NMM já verificada, que levou à conquista de zonas mais elevadas que até aí não tinham vegetação de sapal (note-se os “crescimentos” a laranja escuro). Uma vez que é uma zona muito plana e baixa, pequenos mm de subida do NRM fazem toda a diferença (“*tipping points*”, O’Riordan, 2011).

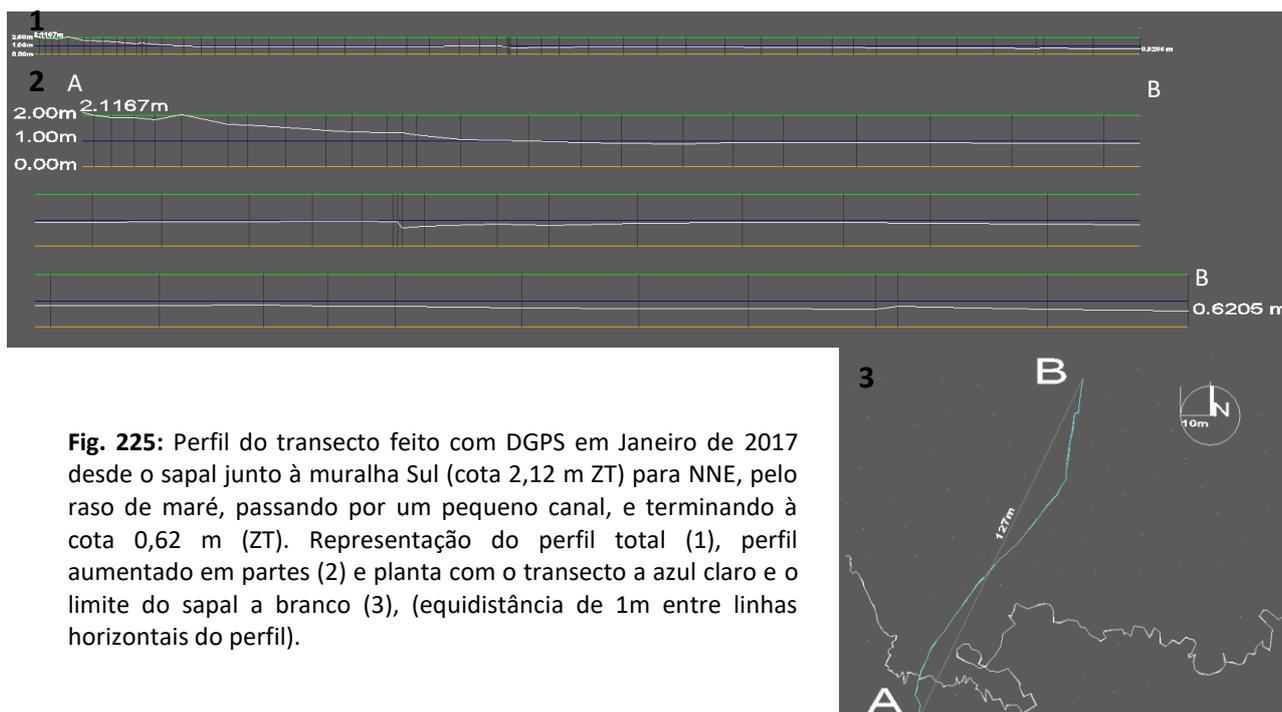
A forte diminuição de sapal registada ao longo da zona 6, sobretudo na frente de sapal virada a sul, poderá dever-se à forte ondulação quando há temporal de SW, e/ou correntes elevadas, dada a proximidade do canal, que se poderá observar posteriormente na simulação da mobilização de sedimentos durante a vazante e enchente. A Zona 1 representa o Sapal de Corroios em apenas frente de água (ilhas) e regista uma diminuição também preocupante.



Por outro lado, a Zona Sul da Baía, junto à foz do Rio Judeu (Zona 13), também se destaca pelo acréscimo de sapal registado (fig. 224), mas por razões diferentes da Zona 7. Aqui o crescimento do sapal dá-se na frente de água (e não pelo recuo para terra), que muito provavelmente se deve ao facto do aporte de sedimentos vindos do efluente (e respetiva bacia hidrográfica já descrita anteriormente), mas também

**Fig. 224:** Imagem das áreas de sapal delimitadas para a zona do Rio Judeu (n.º 13), para os anos de 1998 (verde) e 2013 (laranja escuro).

devido à morfologia desta zona da Baía, muito plana e a profundidades muito baixas, de baixo hidrodinamismo, propício à sedimentação, tal como se pode observar no perfil do transecto (fig. 225), feito com DGPS (Diferencial Global Positioning System - Sistema de Posicionamento Global Diferencial) em modo RTK (*Real-time Kinematic* ou Posicionamento Cinemático em Tempo-Real), por sugestão e apoio da Professora Conceição Freitas e Dr.<sup>a</sup> Vera Lopes. É uma técnica de posicionamento relativo que se baseia na medição de fase da onda portadora dos sinais dos satélites e sua correção utilizando dados oriundos de uma estação de referência, apresentando uma acurácia planimétrica de 2 cm, que relativamente ao posicionamento apenas por satélite (GPS) com uma acurácia de 2 a 4 m, é mais indicada<sup>1</sup>.



**Fig. 225:** Perfil do transecto feito com DGPS em Janeiro de 2017 desde o sapal junto à muralha Sul (cota 2,12 m ZT) para NNE, pelo raso de maré, passando por um pequeno canal, e terminando à cota 0,62 m (ZT). Representação do perfil total (1), perfil aumentado em partes (2) e planta com o transecto a azul claro e o limite do sapal a branco (3), (equidistância de 1m entre linhas horizontais do perfil).

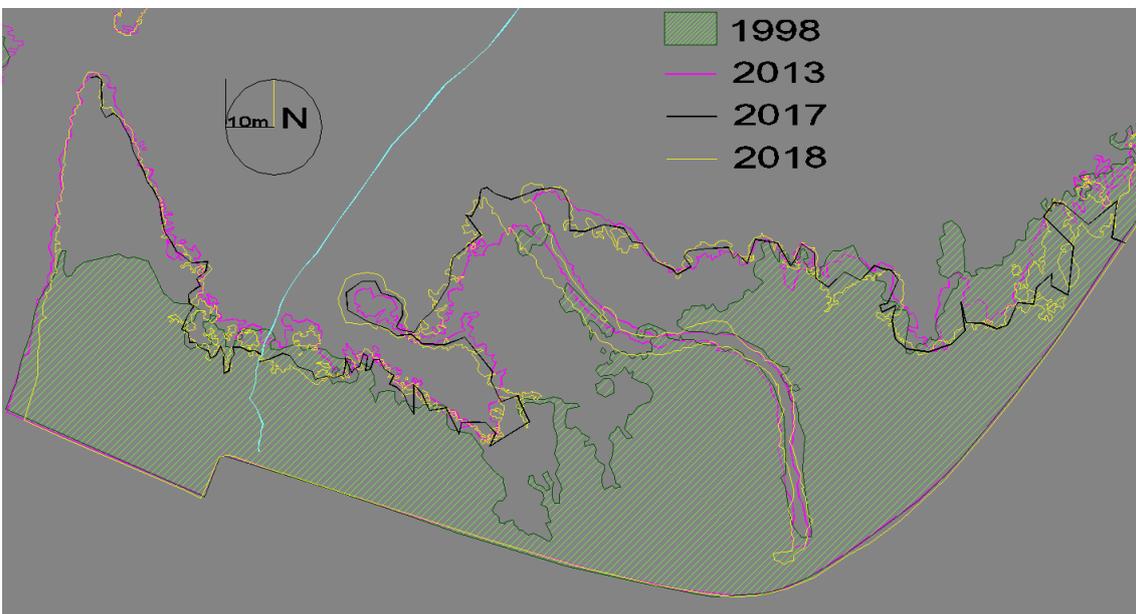
No modelo hidrodinâmico da Baía do Seixal, que se detalhará mais à frente, também é possível constatar que esta zona Sul é uma zona “terminal” para as marés, ou seja, a última a ser inundada na preia-mar, sofrendo um período de inundação significativamente mais curto que outras zonas. Também é uma zona mais abrigada de ventos SW (mas não de N) e onde a influência da ondulação e correntes são menores dada baixa profundidade e menor período de imersão.

No entanto, a utilização deste equipamento teve outro objetivo principal, analisar e delimitar a frente de sapal na zona da foz do Rio Judeu (fig. 226 e 227), pois em 2017 o último ortofotomapa de que se dispunha datava de 2013. Assim, para além do transecto, foram registados 51 pontos nas 3 coordenadas (latitude, longitude e cota altimétrica) ao longo do limite da mancha de sapal, de forma a poder perceber a sua evolução mais recente (se estava a avançar ou a diminuir face ao ortofotomapa de 2013) e constatou-se que algumas zonas já estariam em retrocesso, nomeadamente nas frentes mais expostas à ondulação, quando o vento vem de NNW e pode percorrer a maior superfície de água da baía (*fetch* mais extenso), superior a 4 km (ver fig. 78), tal como será simulado mais à frente.

1- [https://pt.wikipedia.org/wiki/Real\\_Time\\_Kinematic](https://pt.wikipedia.org/wiki/Real_Time_Kinematic)

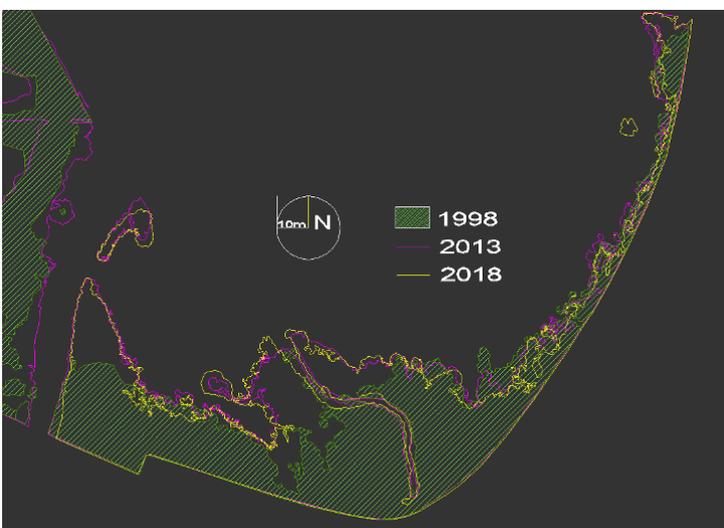


**Fig. 228:** Fotografias do levantamento (A) do limite do sapal junto à foz do Rio Judeu (Zona Sul da Baía do Seixal), feito por DGPS em modo RTK da *Leica Geosystems* (B) (2017/01/17).



**Fig. 227:** Imagem com a delimitação por DGPS feita em 2017 (a preto) e comparação com a digitalização dos ortofotomapas de 1998 (a verde), 2013 (rosa) e 2018 (a amarelo), linha do transecto a azul.

Em 2019 teve-se acesso aos ortofotomapas de 2018 e através da comparação com os ortofotomapas anteriores (fig. 228 e tab. 8), verifica-se que essa tendência de recuo é mais notória, através da delimitação de toda a mancha de sapal de 2018 (a amarelo na fig. 228), que em algumas zonas é menor que a de 2013 (a rosa na fig. 228) e em certas zonas há recuos que ultrapassam a linha de 1998 (a verde na fig. 228).



**Fig. 226:** Digitalização dos polígonos de sapal para 3 anos, a partir dos correspondentes Ortofotomapas de 1998, 2013 e 2018 (Zona 13, Foz do Rio Judeu).

Pela contabilização da soma das áreas dos polígonos para cada ano (Tabela 8), regista-se efetivamente um decréscimo de 2013 para 2018 de 261 m<sup>2</sup>, o que denuncia que eventualmente o aumento do NMM já supera a taxa de sedimentação da zona. Também se regista um aumento do n.º de polígonos, em que apenas 2 são de avanço e os outros resultam da fragmentação, devido aos processos de erosão e retrocesso, tal como verificado anteriormente, na Tabela 6 para as zonas de perda de sapal, corresponde a um aumento do n.º de polígonos e posteriormente ao desaparecimento destas pequenas ilhas como veremos de seguida.

**Tab. 8:** Contabilização da área de sapal para os diferentes anos.

Ano	Área (m2)	n.º Polígonos	Diferença (m2)
1998	4456.69	6	
2013	5914.33	6	+1457.64
2018	5653.29	24	-261.04

### 7.9.3 Velocidade de perda de Sapal

Os resultados anteriores dão-nos uma média de velocidade de perda de ha sapal por ano de 1,58 ha.ano<sup>-1</sup>, durante o intervalo de tempo de 15 anos entre 2013 e 1998. Esta velocidade na realidade não terá sido constante ao longo dos 15 anos e é variável de zona para zona (Zonas mais na frente do sapal têm um recuo mais acelerado, zonas mais protegidas têm um recuo mais lento).

Seria interessante então estudar a velocidade de perda de sapal para determinada zona que sabemos estar em pleno recuo, entre os anos em que existem ortofotomapas (1998, 2001, 2005, 2019, 2013 e 2018), e ver como esta variou entre 2018 e 1998 (durante 20 anos). Foram escolhidas algumas ilhas do sapal de Corroios, da Zona 1, que se situam na linha da frente de sapal (mais exposta à ondulação e correntes da baía) e que estão em pleno recuo e desaparecimento da vegetação de sapal (fig. 229 e 230).



**Fig. 229:** Localização das ilhas de sapal medidas, para achar a velocidade de perda de sapal (frente do Sapal de Corroios da Zona 1), sobre o ortofotomapa de 1998.



**Fig. 230:** Ilhas de sapal digitalizadas e medidas sobre os ortofotomapas de 1998 (A) e de 2018 (B), com recuos de 6 a 8 m.

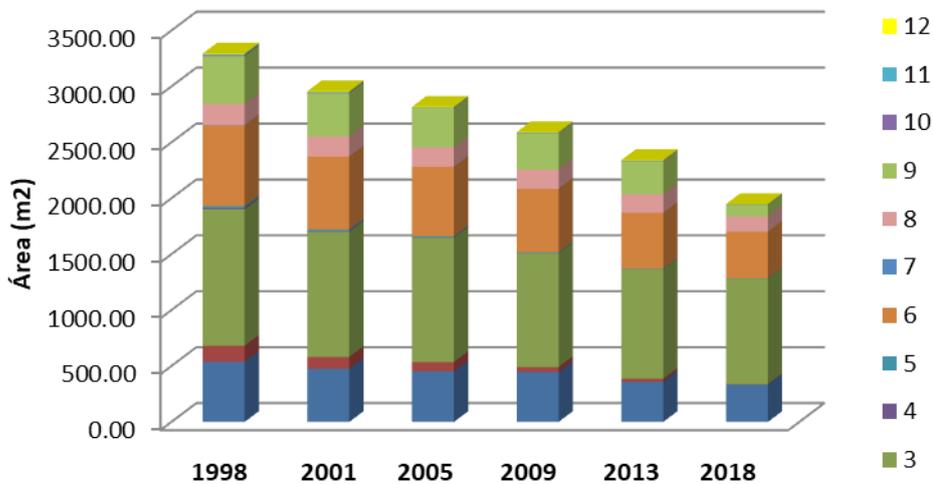
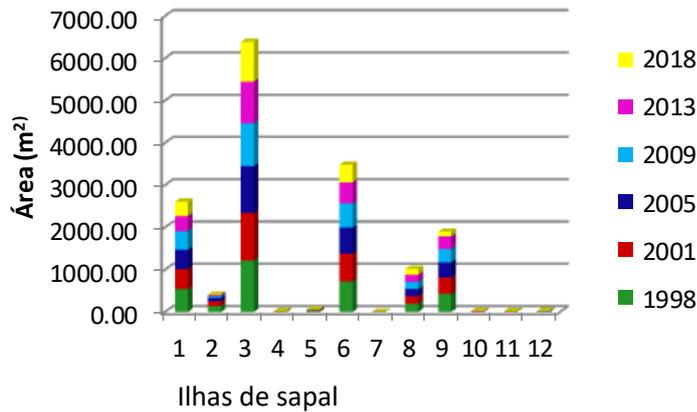
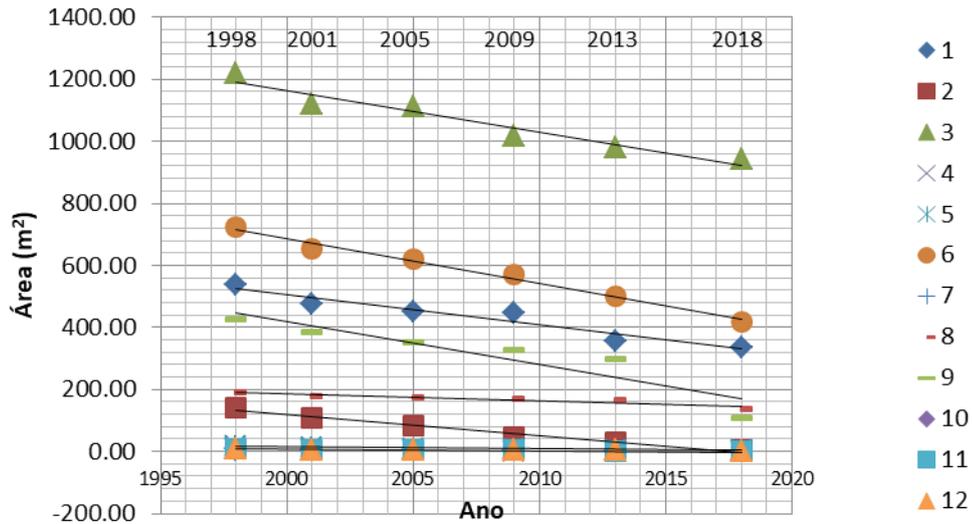
As diferentes áreas medidas, para cada ilha (num total de 12 ilhas medidas), ao longo dos diferentes anos são sempre inferiores (decrecentes), revelando uma perda gradual e efetiva de sapal (fig. 230 a 234 e Tabela 9).

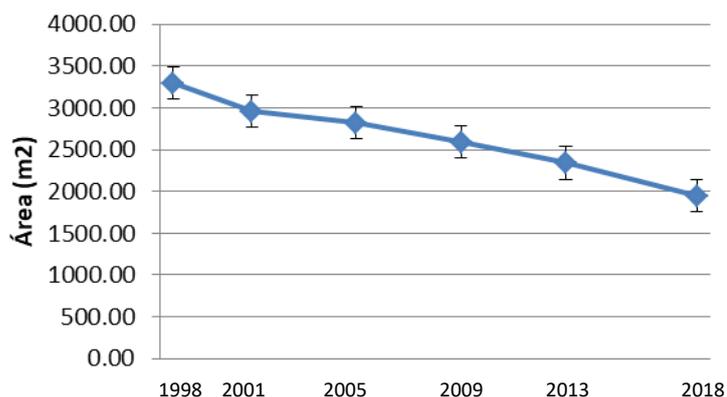
**Tab. 9:** Medições e cálculos efetuados para a área de sapal de 12 ilhas, nos ortofotomapas existentes de 1998 a 2018.

Ano	área (m <sup>2</sup> )	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1998	539.42	141.95	1220.06	10.64	17.43	722.53	1.66	190.75	427.72	
2001	475.93	106.41	1119.28	5.50	14.36	651.63	1.09	179.83	386.31	
2005	452.59	83.75	1111.40	3.17	9.86	620.72	0.68	173.81	351.83	
2009	445.78	45.27	1015.30	1.12	8.85	569.21	0.39	171.06	325.20	
2013	357.73	28.56	978.00	0.37	5.96	500.31	0.00	165.28	298.15	
2018	335.33	3.33	942.29	0.00	4.49	417.11	0.00	135.36	108.28	

Ano	área	9	10	11	12	Som.	dif.	n.º anos	m <sup>2</sup> /ano
1998	427.72	7.85	8.22	6.82	3295.05	-336.91	3	-112.30217	
2001	386.31	5.96	5.36	6.48	2958.14	-139.24	4	-34.809175	
2005	351.83	3.05	3.25	4.79	2818.90	-226.55	4	-56.63755	
2009	325.20	2.94	2.72	4.52	2592.35	-250.60	4	-62.64915	
2013	298.15	2.36	1.37	3.67	2341.76	-392.95	5	-78.58964	
2018	108.28	1.44	0.24	0.95	1948.81				





**Fig. 234:** Gráfico representando o somatório da área de sapal medida num total das 12 ilhas, para os diferentes anos de medição, correspondentes aos anos dos ortofotomapas existentes e respetivo erro padrão.

O declive da reta dá-nos uma ideia da velocidade da perda de sapal ao longo dos anos, tendo sido mais acentuada no primeiros anos entre 1998 e 2001 (perda de  $112.3 \text{ m}^2\text{ano}^{-1}$ ), depois até 2005 dá-se a perda menos acentuada ( $34.83 \text{ m}^2\text{ano}^{-1}$ ) que vai lentamente aumentando até à atualidade, passando para  $56.6 \text{ m}^2\text{ano}^{-1}$  entre 2005 e 2009, subindo para  $62.6 \text{ m}^2\text{ano}^{-1}$  entre 2009 e 2013, aumentando para  $78.6 \text{ m}^2\text{ano}^{-1}$  até 2018, o que revela uma tendência de aceleração da velocidade de perda de sapal desde 2001, possivelmente ligada à tendência de aceleração da subida do NMM.

Pela leitura do gráfico da figura 234, constata-se que a primeira medição entre 1998 e 2001 desvia-se da tendência seguinte, por ser mais acentuada. Tal facto corresponder a diferentes causas, tais como eventuais condições climáticas mais adversas, ou muito provavelmente às consequências de ações antrópicas, tais como:

- Dragagens para aprofundamento de canais navegáveis e deposição dos sedimentos em zonas da baía que agora são pequenas praias de areia (Serrado, Seixal e Ponta dos Corvos) que ocorreram até 1995 e com o DL n.º 49/2006, de 29 de Agosto, deixaram de ocorrer, dando-se depois uma diminuição da velocidade de perda de sapal, com a progressiva estabilização da dinâmica de sedimentos na baía.

- Construção da aquacultura de Corroios, que levou à destruição do sapal e a movimentos de terra numa área de 18 ha junto ao sapal de Corroios.

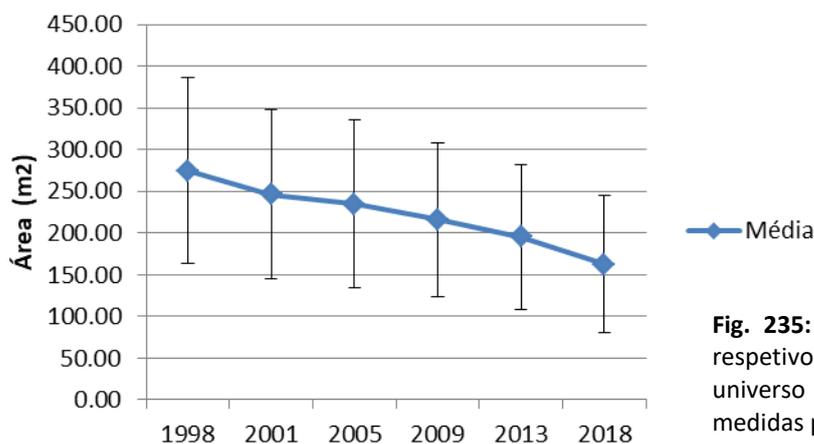
Poderá ainda revelar um fator de incerteza neste estudo, baseando-nos nos estudos de Ketel (2012), nomeadamente devido à resolução espacial do ortofotograma de 1998 ser a mais baixa relativamente aos anos posteriores, podendo haver alguns problemas/erros humanos na georreferenciação dos ortofotomapas e na própria interpretação e delimitação das ilhas de sapal. Estes erros poderão também estar presentes nas medições dos outros ortofotomapas, mas deverão ser mais reduzidos devido à sua melhor resolução.

Muito provavelmente, as dragagens são fortes condicionantes, pois segundo *The United States Army Corps of Engineers* (USACE, 2008), com larga experiência nos trabalhos de desassoreamento e dragagens junto a Nova Iorque (EUA), as dragagens são uma forma de desassorear não só o canal, como alteram todo o processo de sedimentação da baía. Uma vez que a dragagem vai aumentar a profundidade do canal, a velocidade da água durante a vazante e enchente aumenta e diminui a velocidade de sedimentação dentro e fora do canal.

Os resultados da análise estatística da amostra das áreas das ilhas analisadas para cada ano dos ortofotomapas existentes, são apresentadas na Tabela 10 e na fig. 235.

**Tab. 10:** Análise estatística do universo de áreas medidas (12) para os 6 anos.

Análise Estatística / Ano	1998	2001	2005	2009	2013	2018
Média	274.59	246.51	234.91	216.03	195.15	162.40
Desvio Padrão	385.75	352.64	346.97	320.61	300.74	284.11
Tamanho da amostra	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00	12.00
Erro Quadrático	111.36	101.80	100.16	92.55	86.81	82.02



Embora seja uma amostra pequena, consegue-se perceber perfeitamente a tendência de perda de sapal e a diminuição da média da área de sapal ao longo dos 20 anos, assim como a diminuição do desvio padrão e do erro quadrático. Todas estas tendências decrescentes são inversamente proporcionais à tendência crescente da subida do nível do mar e respetiva velocidade (aceleração).

### 7.9.2 Valoração da perda de Serviços de Ecossistema de Sapal na Baía do Seixal

De forma a fazer uma valoração da perda de sapal medida, através da valoração dos Serviços de Ecossistema de Sapal, feita por TEEB (2011), e apresentada anteriormente, verifica-se que para uma perda de sapal de  $1,583 \text{ ha.ano}^{-1}$ , estima-se um prejuízo que varia entre um valor mínimo de dois mil e oitocentos euros e um máximo de 303 mil euros. Fazendo o mesmo raciocínio para a perda total que houve de sapal em 15 anos (23,7 ha), estima-se uma perda entre 42 mil euros a 4,5 milhões de euros, em Serviços de Ecossistema proporcionados pelo Sapal (Tabela 11). Note-se que à data da elaboração desta tese o dolar americano estava cotado a 0,89 do Euro.

**Tab. 11:** Valoração dos Serviços de Ecossistema, relativamente à perda de Sapal na Baía do Seixal, segundo a valoração de TEEB (2011).

Valoração de Serviços de Ecossistema				
	(\$ha-1ano-1)	(Eurosha-1ano-1)	Para uma perda de 1,58ha.ano-1	Total p. (23.72ha)
Valor mínimo	1995	1775.55	2810.70	42116.05
Valor máximo	215349	191660.61	303456.24	4546189.67

## 7.10 Estudo *in situ* da deposição/erosão de sedimentos

### 7.10.1 Metodologia

Em Fevereiro de 2015, começaram a ser feitas as primeiras experiências na baía com o objetivo de avaliar a evolução do sedimento junto de sapal (acrecção ou erosão). Primeiro foi colocada uma camada de pó de tijolo, assinalada com uma estaca em vários sítios ao longo da baía, e anotadas as coordenadas por GPS (fig. 236).



**Fig. 237:** Compilação sobre trabalho de campo inicial de deposição de camada de pó de tijolo assinalada com estacas fotografadas e numeradas, em Fevereiro de 2015

Rapidamente se verificou que o pó de tijolo em zonas sujeitas a ondulação desaparecia rapidamente. Foram então postas em Março de 2015 mais de 70 estacas de bambu (mais resistentes), por toda a baía e restinga, com as respetivas coordenadas e o tipo de sedimento em que estavam. Cada estaca foi marcada de 5 em 5 cm com marcador e incisão efetuada por objeto de corte (fig. 237).



**Fig. 236:** Estaca de bambu com marcações de 5 em 5 cm, colocada em Março de 2015, com pó de tijolo, junto à Ponte da Fraternidade (Foz do Rio Judeu).

No entanto, as marcas, tornavam-se de muito difícil leitura ao desaparecerem com o sol e as marés e muitas foram vandalizadas ou desapareceram. Rapidamente se concluiu que também não seria solução, embora algumas destas estacas tenham permanecido durante o estudo, e foram depois úteis para verificar o retrocesso horizontal do sapal, tal como veremos de seguida.

Perante a ineficácia das anteriores experiências foi decidido reduzir o número de estações/estacas e optar por estacas mais resistentes. Assim foram colocadas estacas de ferro, com 10 cm de altura a partir da superfície do sedimento, em 8 lugares específicos espalhados pela baía (8 estações). A leitura seria então feita com régua desde o sedimento até ao topo da

estaca, eliminando o problema das marcações e evitando o vandalismo /deterioração da estaca, ao ser mais pequena e menos visível (fig. 238 e 239).



**Fig. 238 e 239:** Estaca de Ferro colocada a 2015-08-11 na estação da Ponte da Fraternidade que durou até ao final do estudo e estaca colocada a 2015-08-05 na Praia do Seixal que desapareceu a meio deste.

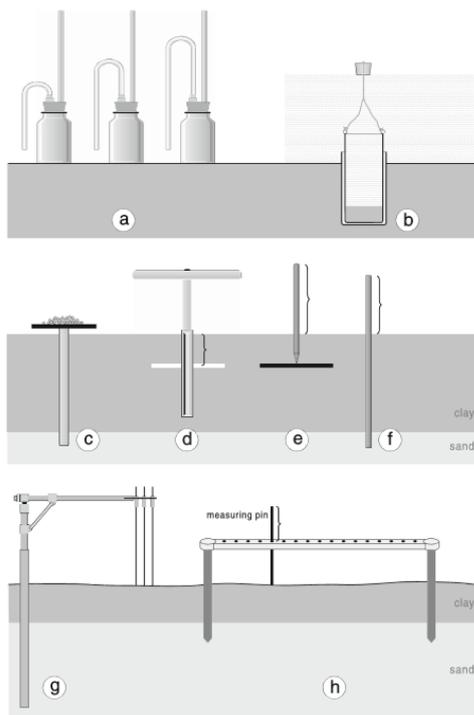
Como algumas destas estacas foram retiradas e /ou vandalizadas, foram depois colocadas mais estacas, mas a 3 cm da superfície em Junho de 2016, aumentando-se o n.º de estações para 12 (ver fig. 240 e 243).



**Fig. 240:** Estaca de ferro colocada na estação junto a um estaleiro naval do Seixal, na direção da “boca” da Baía a 3 cm da superfície do sedimento vasoso, a 2016-06-03.

As medições da variação da altura do sedimento foram feitas aproximadamente de 6 em 6 meses (com início a Agosto de 2015 e terminus a Abril de 2019) (Tabela 12 e fig. 244).

Segundo Nolte *et al.* (2012) que avaliaram a eficácia de diferentes métodos de medição da sedimentação, representados na figura 241, foi escolhida a estaca cilíndrica enterrada no sedimento (f), por ser um método indicado para estudar zonas em erosão e apresentar bons resultados, sendo desprezível a turbulência causada pela água junto da estaca.



**Fig. 241:** representação dos vários tipos de instrumentos para a medição da sedimentação em sapais intertidais, *in* Nolte *et al.* (2012).

No entanto, ao longo do estudo, muitas estacas deixaram de servir para medição provavelmente devido a:

- vandalismo voluntário ou involuntário dos pescadores e apanhadores de isco que andam pela Baía e revolvem o fundo para a apanha do isco e de bivalves;
- assoreamento (subida do nível do sedimento acima dos 3 cm em algumas estacas);
- eventual colisão de objetos/embarcações, etc.



Foram ainda registadas medições com régua e esquadro do nível de sedimento em sítios específicos fixos, tais como paredões estacas, marcos, canos, que se mostraram válidas ao longo do estudo e os registos foram utilizados (fig. 242 e Tabela 12).

**Fig. 242:** Medição do sedimento arenoso na praia do Seixal, por debaixo do antigo pontão da TransTejo (2015-08-05).



**Fig. 243:** Localização das diferentes estacas de ferro e outras estações de medição que foram consideradas para o estudo (a amarelo), esta será detalhada ao longo da discussão dos resultados.



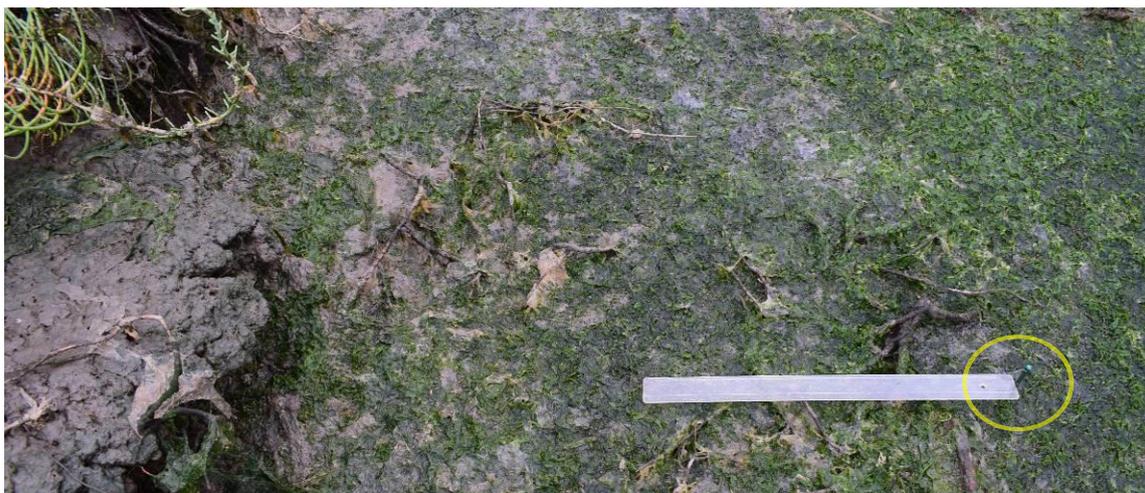
**Fig. 244:** Trabalho de campo em 2015, na estação do Talaminho.

### 7.10.2 Recuo horizontal do sapal *in situ*

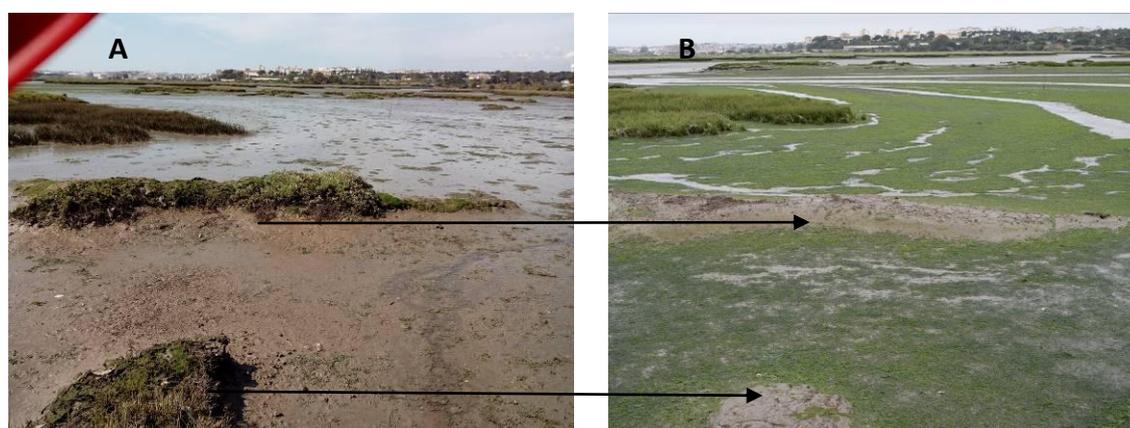
Durante as visitas cíclicas aos locais em estudo (fig. 244), foram sempre tiradas fotografias não só da medição feita à estaca, como também da envolvente onde se inseria. E pelo registo fotográfico começou a tornar-se evidente a perda e o recuo do sapal em determinadas zonas mais expostas, de que é o caso mais notório a estação do Sapal de Corroios numa zona de frente de sapal (fig. 245) e outras zonas ali perto (fig. 247 a 249). A própria régua utilizada para a medição vertical, na horizontal serviu de bitola para registar o recuo horizontal do sapal entre a estaca e o limite da vegetação de sapal (fig. 246).



**Fig. 245:** Imagens da estação do sapal de Corroios, numa zona de sapal que desapareceu entre Agosto de 2015 (A) e Dezembro de 2016 (B) (cerca de um ano e meio de diferença).



**Fig. 246:** Recuo horizontal do sapal de 1,5m, na estaca de ferro do sapal de Corroios (2019-04-16).



**Fig. 247:** Testemunho do desaparecimento de uma ilha de sapal (fotografias de 2015-03-22 (A) e de 2019-04-16 (B)).



**Fig. 248:** No mesmo local, recuo de sapal horizontal de aproximadamente 0,90cm e perda de cerca de 1,5m na ponta (fotografias de 2015-03-22 (A) e de 2019-04-16 (B)).



**Fig. 249:** Perto do mesmo local, recuo de sapal horizontal de aproximadamente 1,5m (fotografia de 2015-03-22 (A) e de 2019-04-16 (B)).

No SE do Reino Unido, em East Anglia, Essex, as velocidades de perda de sapal na horizontal, apresentam uma média de  $4,01 \text{ m.ano}^{-1}$  numa zona mais exposta à ondulação e numa zona mais abrigada uma média de  $0,305 \text{ m.ano}^{-1}$  (IECS, 1993). Essas perdas são atribuídas à ação das ondas e mudança a longo prazo que se pensa ser devido ao aumento da energia das ondas na costa, que por sua vez é atribuída ao aumento das profundidades causadas por aumento local do nível do mar em relação à costa (King & Lester, 1995).

### 7.10.3 Variação vertical do sedimento

Tal como referido na metodologia, ao longo da Baía do Seixal, em locais mais ao menos acessíveis, estabeleceu-se uma rede de estações para o estudo *in situ* da variação vertical do sedimento nomeadamente junto a estruturas de proteção costeira, zonas de sapal e de raso de maré. A localização geral das estações consideradas para o estudo (Tabela 12) tenta distribuir-se assim pela baía e escolheram-se sempre locais intertidais (a maioria de rasos de maré, seguido de alguns de sapal, e poucos de zonas mais arenosas pequenas praias estreitas que ficam submersas na preia-mar junto a muralhas, pontões, etc). A sua localização encontra-se na figura 243 sobre o ortofotomapa e na figura 262 sobre a base batimétrica do modelo hidrodinâmico, sendo melhor pormenorizadas neste capítulo sobre o ortofotomapa (figuras 255, 258 e 259), durante a discussão dos resultados.

Algumas estações não foram consideradas por vandalismo, desaparecimento, inexistência de dados devido a alteração antrópica do local da estação, como a deposição de entulho, obras como a reposição da muralha, pisoteio/vandalismo, perda/destruição da estaca, etc. Assim, foram consideradas algumas das medições iniciais feitas em algumas estacas de bambú,

quase todas as posteriores medições em estacas de ferro e algumas medições em elementos existentes fixos (muralha, cais da Fidalga, etc.).

A perda de sedimento é notória nos taludes de erosão o Sapal de Corroios, mesmo sem medições com estacas (fig. 250).



**Fig. 250:** Vestígios de um passado de sedimentação, postos a descoberto com um presente de erosão (A), onde a altura do talude de sapal é de cerca de 30 cm (B), no local da estação do Sapal de Corroios (fotografias de 16-04-2019).

Note-se que ao longo dos 4 anos, as marcações variaram (altura do sedimento), notando-se algumas tendências. Na Tabela 12 e figura 251, encontram-se as medições efetuadas entre Agosto de 2015 e Abril de 2019, para as diferentes estações de medição, com uma coloração de acordo com o tipo de sedimento existente em cada estação.

**Tab. 12:** Medições (em cm) da variação da altura do sedimento, para as diferentes estações consideradas para o estudo.

	05/08/2015	03/06/2016	19/10/2016	17/05/2017	19/10/2017	22/06/2018	01/04/2019
1.1 Foz, estaca ferro		0	0.15	-0.8	0	3	
1.2 Foz vareta bambú, pneu		0	-1.5	-0.1	-1.8	0.5	0.2
2.1 Seixal, CGD, estaca ferro	0	-1.3	-3	-3.5	-3.9	-3.7	-4.6
2.2 Seixal, barra praia	0	1.1	1.9	3		3.1	6.9
2.3 Seixal, parede praia	0	-0.7	0.5	1.1		3.5	1.5
2.4 Seixal, parede pedra praia	0	-1.1	-3.8	2.2		4.2	4.5
3.1 Seixal, muralha	0			-0.3		-1.2	-1.8
4.1 Foz Fidalga, Estaca ferro		-0.2	0.3	-0.1	-1	-1.4	0.4
4.2 Pontão Fidalga		0	-0.8				2.2
4.3 Pontão Fidalga2	0		2.4	4.2		5.7	6.2
4.4 Pontão Fidalga3		0	-0.5				-6.5
4.5 Pontão Fidalga4		0		-1.2	-3.8	-1.3	-2.1
4.6 Pontão Fidalga5		0	1	-2	-2.5		-3.4
4.7 Pontão Fidalga6	0		0.8				
4.8 Pontão Fidalga7			0				2.2
5.1 Arrentela pluvial	0						-0.9
6.1 Arr. pontão gabions		0	-3.5	-1		-0.5	2
6.2 Arr. pontão estaca bambú			0	-0.3		0.4	
7.1 Ponte Fraternidade estaca bambu rio	0	-1	-7				
7.2 P. Frat. estaca ferro	0	-0.9	-0.7	-1.4	-1.5	-1.9	-1.5
7.3 P. Frat, curva estaca bambu		0	0.1	0.9			2.8
8.1 Amora Norte estaca ferro	0	-0.01	-0.04	-1.8	-1.5	-1.4	-1
8.2 Amora buraco parede			0	0.5		3.5	0.6
9.1 Amora sul estaca ferro		0	0			1.7	
10.1 Cais do Serrado estaca ferro		0		1.5			
11.1 Estaleiros do Talaminho estaca ferro		0	-1.5	-2.2		-3.4	-2.2
12.1 Sapal Corroios estaca ferro	0		-2.7	-3.7		-1.7	0.1
12.2 Sapal Corroios estaca bambú				0	-1.3		
Sedimento vasoso							
Sedimento vasoso-arenoso							
Sedimento arenoso							

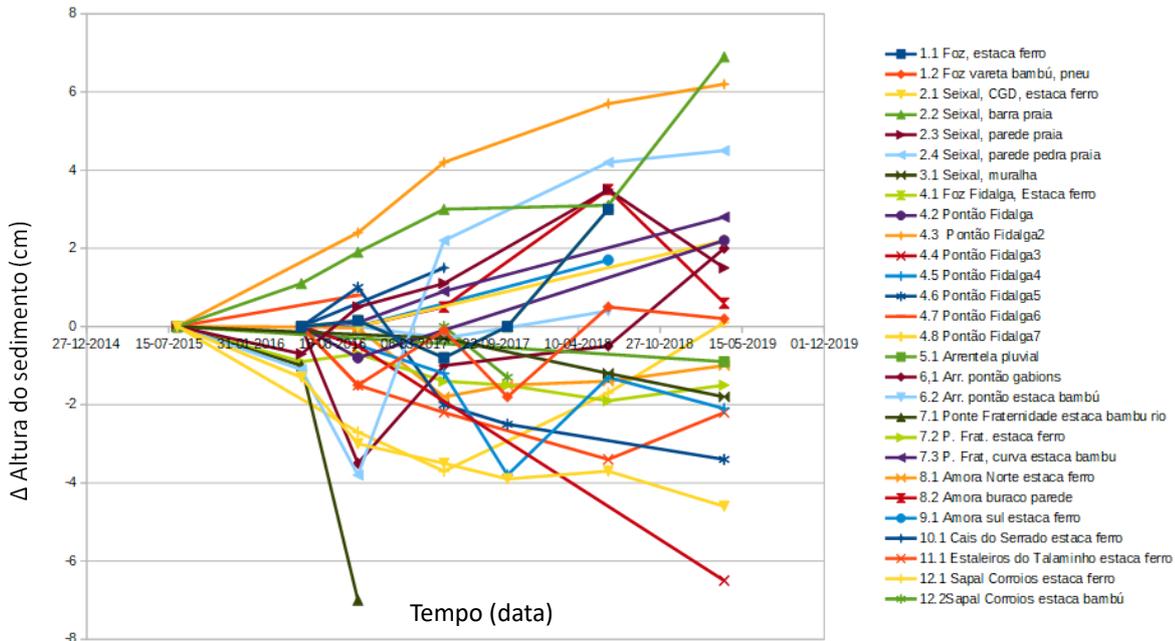


Fig. 251: Variação da altura do sedimento (cm) em função do tempo, para as 28 estações

De forma a diminuir a variabilidade de resultados e encontrar tendências, foram retirados os dados das estações em zonas de praia intertidal, como a 2.2, que registou uma sedimentação elevada nos últimos dois anos, provavelmente devido à calma dos últimos anos, sem eventos extremos que geralmente provocam a erosão das praias. Outra medição que se destaca é a estaca de bambú junto ao canal do Rio Judeu, na Ponte da Fraternidade (estação 7.1). Aqui registou-se um forte decréscimo devido à erosão das margens da ribeira, que poderá estar relacionado também com a intervenção que se fez da construção da nova ponte pedonal da fraternidade. Eliminando as estações de maior variabilidade chegou-se então ao gráfico da fig. 252, onde são na maioria zonas de raso de maré e algumas de sapal:

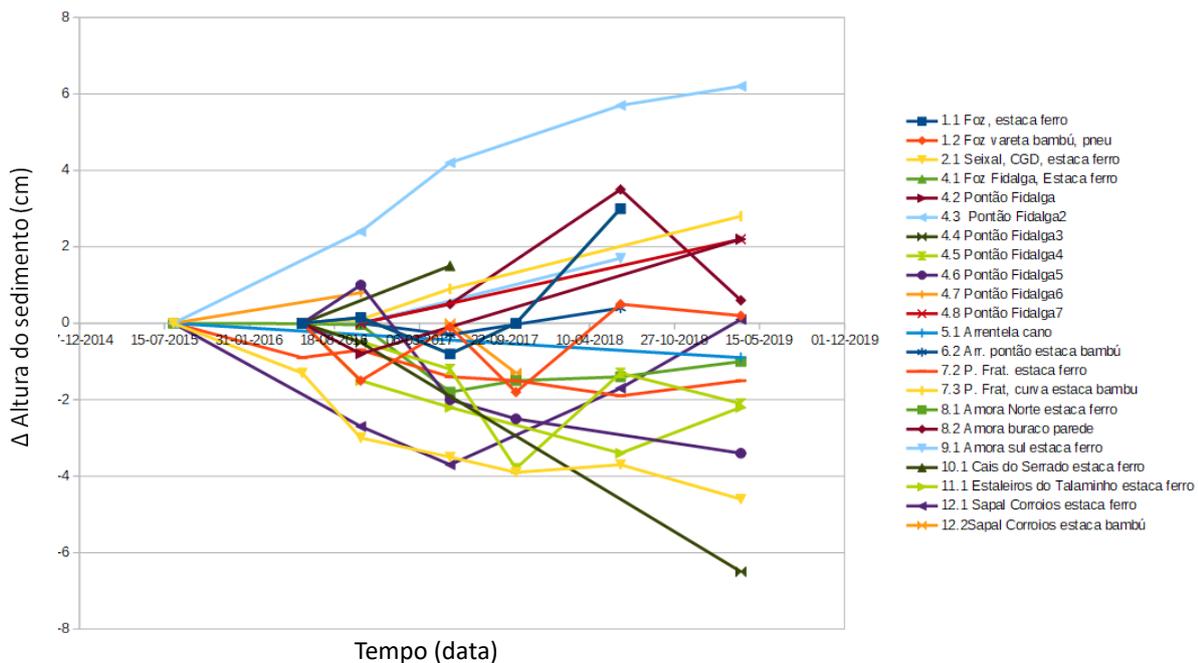


Fig. 252: Variação da altura do sedimento (cm) em função do tempo, para as 22 estações.

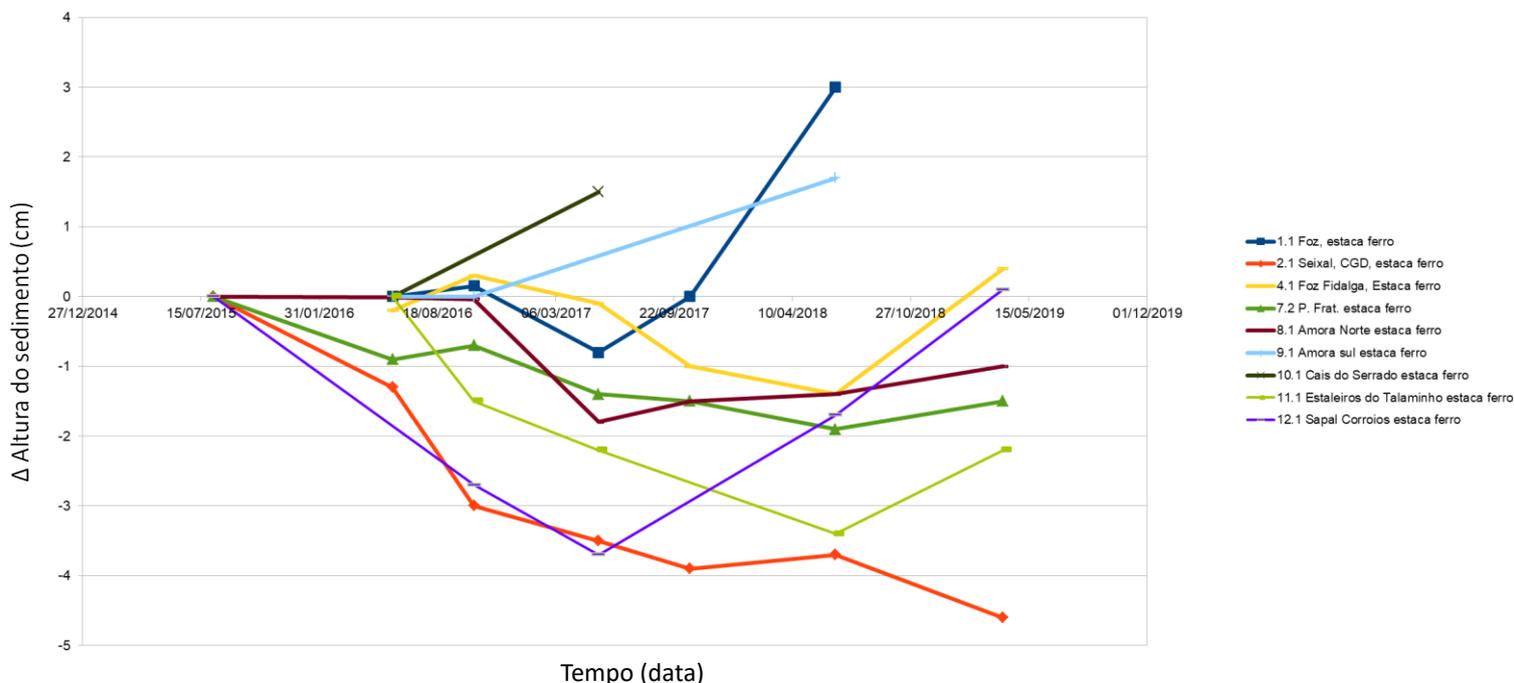
Pela observação do gráfico, consegue-se detetar uma tendência na generalidade das estações de perda de sedimento nos primeiros anos e a partir de 2017 uma tendência de sedimentação, talvez justificada, como referido, pela calma que se tem verificado nos últimos anos de menores eventos extremos relativamente aos verificados em 2014 e 2015. Em algumas medições também se consegue detetar uma certa variabilidade sazonal, sendo os meses de Verão geralmente mais calmos e de maior sedimentação que os meses de Inverno, onde ocorrem geralmente os eventos extremos de maior erosão e carreamento de sedimento.

Nas estações com estacas de ferro, mais fiáveis e em zonas mais homogêneas de sedimento vasoso, geralmente colocadas mais para o interior da baía, na zona intertidal de raso de maré, nota-se uma maior homogeneidade de comportamento do sedimento. Desta forma as estações em estaca de ferro foram individualizadas na Tabela 13 e correspondente figura 253.

**Tab. 13:** Medições da variação da altura do sedimento para as estações com estacas de ferro.

	05/08/2015	03/06/2016	19/10/2016	17/05/2017	19/10/2017	22/06/2018	01/04/2019
1.1 Foz, estaca ferro		0	0.15	-0.8	0	3	
2.1 Seixal, CGD, estaca ferro	0	-1.3	-3	-3.5	-3.9	-3.7	-4.6
4.1 Foz Fidalga, Estaca ferro		-0.2	0.3	-0.1	-1	-1.4	0.4
7.2 P. Frat. estaca ferro	0	-0.9	-0.7	-1.4	-1.5	-1.9	-1.5
8.1 Amora Norte estaca ferro	0	-0.01	-0.04	-1.8	-1.5	-1.4	-1
9.1 Amora sul estaca ferro		0	0			1.7	
10.1 Cais do Serrado estaca ferro		0		1.5			
11.1 Estaleiros do Talaminho estaca ferro		0	-1.5	-2.2		-3.4	-2.2
12.1 Sapal Corroios estaca ferro	0		-2.7	-3.7		-1.7	0.1

Ao se individualizar as medições feitas nestas estacas colocadas na zona intertidal e em sedimento vasoso a vaso-arenoso, nota-se uma tendência geral de perda de sedimento nas primeiras medições e uma tendência de sedimentação nas últimas medições (fig. 253).



**Fig. 253:** Variação da altura do sedimento (cm) em função do tempo, para as 9 estações de varetas de ferro na zona intertidal, no raso de maré.

A zona onde se registou a maior tendência de perda de sedimento foi na estação em pleno raso de maré, a cerca de 40 m de uma pequena língua de praia do Seixal, na direção da Caixa Geral de Depósitos (estação 2.1 a laranja, na fig. 253). Esta é a estação mais próxima do canal principal da Baía do Seixal e perto da foz, (ver localização no ortofotomapa na fig. 255), onde existe uma elevada velocidade de mobilização do sedimento e onde se regista a maior erosão, corroborada pela existência de um sedimento vaso-arenoso (o mais grosseiro de todas as estacas de ferro em raso de maré) (fig. 254). O último registo que se fez em 2019 regista-se um decréscimo no sedimento de 4,6 cm, ou seja, uma velocidade final média de perda de sedimento de  $1,2 \text{ cm.ano}^{-1}$ .



**Fig. 254:** Estaca em frente à CGD do Seixal, perto do canal principal, e da embocadura da Baía, onde se registou a maior perda de sedimento. (fotos de 5/8/2015 (A) e 22/6/2018 (B)).



**Fig. 255:** Localização pormenorizada das estações consideradas na Tabela 12 para a zona do Seixal.

Esta descida acentuada na altura do sedimento foi também inicialmente acompanhada pela estaca colocada numa zona de sapal “maduro” de Corroios (estaca 12.1), em sedimento muito vasoso. Mas esta estação registou uma tendência inversa de sedimentação a partir de finais de 2017, que resultou numa taxa final de sedimentação de  $0,025 \text{ cm.ano}^{-1}$ . Este facto poderá dever-se à estaca estar muito próxima do talude com sapal e de este estar em nítido

recuo, pelo que pode ter havido sedimento vindo do esboroamento do talude (com cerca de 30 cm de altura) para o raso de maré onde se encontra a estaca (ver figuras 245, 246, 250, 256).

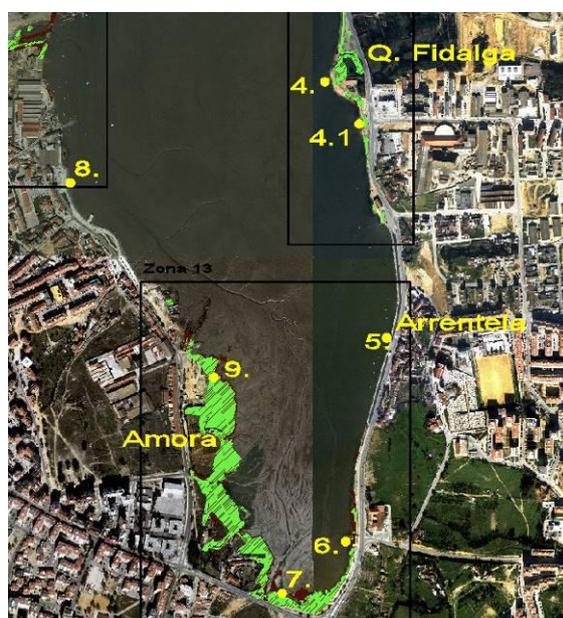


**Fig. 256:** Na estaca de ferro do sapal de Corroios houve muito baixa sedimentação, de 1 mm decorridos em 4 anos, o que pode ser devido à redistribuição dos sedimentos do talude em erosão (16-04-2019).

A estaca situada na zona mais a Sul da Baía, perto da Foz do Rio Judeu, perto da Ponte da Fraternidade (estação n.º 7.2, linha a verde escura na fig. 253) (fig. 257 e 258), também regista uma tendência de decréscimo no sedimento à exceção do período entre Junho e Outubro de 2016 e na última medição de Julho de 2018 a Abril de 2019, que poderão corresponder a períodos de calma, sem eventos extremos significativos. A taxa final resultante foi de erosão (-0,429 cm.ano<sup>-1</sup>).

**Fig. 257:** Estaca 7.2 perto da Ponte da Fraternidade, onde se registou a perda de sedimento ao fim de 4 anos de 1,5 cm (01-04-2019).

**Fig. 258:** Localização das estações a Sul da Baía.



Na estação do Talaminho (11.1), uma estaca bastante afastada da margem, tal como a estaca 2.1, e numa zona longe da foz da baía, com o sedimento muito vasoso (ver fig. n.º 259 e 260), ao contrário da estação 2.1 em sedimento mais arenoso (ver fig. 254 e 255), revela também uma tendência de decréscimo do sedimento bastante acentuada e só na última medição revelou sedimentação. A taxa final resultante foi de erosão (-0,80 cm.ano<sup>-1</sup>). Note-se que a estação perto dos estaleiros do Talaminho encontra-se junto a um pneu e perto de um

canal de escoamento de água do raso de maré, que tem mostrado nos últimos anos um aprofundamento nítido (fig. 259).



**Fig. 259:** Acentuação do canal, cada vez mais profundo, na estação do estaleiro do Talaminho (26-06-2016 (A) e 16-04-2019 (B)).



**Fig. 260:** Localização das estações 10 (perto de um pontão do Serrado), 11 (perto do canal do Talaminho) e 12 (Sapal de Corroios/Restinga).

A estação 1.1 (fig. 261), embora perto da Foz da Baía, encontra-se numa enseada abrigada, com sedimento vasoso muito fino, e registou uma elevação no sedimento muito acentuada a partir de Maio de 2017, tendo-se deixado de observar na última medição (sedimentação

superior a 3 cm). A taxa final de sedimentação registada foi bastante elevada ( $1,44 \text{ cm.ano}^{-1}$ ). Note-se que se situa numa zona abrigada de baixa hidrodinâmica, como se poderá ver seguidamente na análise efetuada com o modelo hidrodinâmico.



**Fig. 261:** Estaca n.º 1.1 em enseada abrigada perto da foz, em sedimento profundo e limoso, a 3 cm, colocada a 3-6-2016 (A) e em 3-7-2018 (B) já estava ao nível do sedimento.

A estação 10.1, perto do Serrado (linha verde seco na fig. 253), foi a estaca que “se perdeu” mais rapidamente, tendo sido feita apenas uma leitura, foi a estação que registou a maior acreção de sedimento vasoso (1.5 cm), e que por isso saiu da tendência normal das outras estacas com uma taxa de  $2 \text{ cm.ano}^{-1}$ .

Poderá assim concluir-se que foi registada uma tendência de perda de sedimento nas primeiras medições, na maioria das estações, o que poderá ter a haver com os temporais ocorridos em 2014 (eventualmente reforçada pela atual dominância vazante) tendência essa que foi contrariada por uma deposição de sedimento sensivelmente a partir de Maio 2017 para as estações 1.1, 8.1 e 12.1. e a partir de Junho de 2018 para as estações 4.1, 7.2 e 11.1. O assorimento e a sedimentação é a tendência normal/expectável destes locais, a médio/longo prazo.

Na Tabela 14 resumem-se as diferentes taxas de sedimentação/erosão verificadas nas 9 estações consideradas, apenas para a leitura final da estaca.

**Tab. 14:** Taxa de sedimentação/erosão verificada em cada estação para a leitura final de cada estaca.

Estacas	Taxa (mm.ano-1)
1.1	14.40
2.1	-12.00
4.1	1.33
7.2	-4.29
8.1	-2.86
9.1	5.67
10.1	20.00
11.1	-8.00
12.1	0.25
<b>Soma</b>	14.51
<b>Média</b>	1.61

Poderá facilmente verificar-se que a taxa é muito variável consoante as condições específicas da localização de cada estaca e que a média final dá um valor positivo, isto é uma taxa de sedimentação de  $1,61 \text{ mm.ano}^{-1}$ .

No entanto, se fizermos a média das velocidades parciais para cada período medido, o que corresponde à média dos declives de cada reta da fig. 253, os valores são ainda mais extremos (Tabela 15).

**Tab. 15:** Taxa de sedimentação/erosão verificada em cada estação para a média das velocidades parciais dos diferentes períodos de leituras.

Estacas	Taxa (mm.ano-1)
1.1	15.63
2.1	-13.82
4.1	1.34
7.2	-2.42
8.1	-4.38
9.1	5.37
10.1	20.00
11.1	-12.88
12.1	-0.31
<b>Soma</b>	8.53
<b>Média</b>	0.95

Resultando uma média das velocidades parciais inferior, de  $0,95 \text{ mm.ano}^{-1}$ , correspondendo a uma taxa inferior de acreção de sedimento, o que torna os resultados ainda mais alarmantes, pois poderão estar na base da perda de sapal horizontal verificada.

Por último, se não considerarmos a estação 10.1 que saiu um pouco da norma devido a ter sido feita apenas uma leitura, os valores tornam-se fortemente alarmantes (Tabela 16):

**Tab. 16:** Taxa de sedimentação/erosão verificada em cada estação para a média das velocidades parciais dos diferentes períodos de leituras.

Estacas	Taxa (mm.ano-1)
1.1	15.63
2.1	-13.82
4.1	1.34
7.2	-2.42
8.1	-4.38
9.1	5.37
11.1	-12.88
12.1	-0.31
<b>Soma</b>	-11.47
<b>Média</b>	-1.43

Este resultado é então realmente alarmante pois corresponde a uma taxa de erosão ou de perda de sedimento média de 1,43 mm.ano<sup>-1</sup>

Uma das futuras previsões das ACs é o aumento da frequência e intensidade dos eventos extremos, o que poderá levar a episódios de maior perda de sedimento e erosão costeira, tais como os que se registaram nas medições iniciais.

Poderemos justificar também estes resultados pela atual dominância da vazante sobre a enchente. No entanto, tal como referido anteriormente, segundo Guerreiro *et al.* (2013), em 2100 a subida do NMM afetará o estuário do Tejo na redução da assimetria da maré, que provocará um aumento das taxas de assoreamento, isto é, o estuário atualmente dominado pela vazante será dominado pela enchente, que por sua vez é favorável ao assoreamento e será benéfico para a resiliência dos sapais e praias estuarinas.

Segundo Freitas (informação verbal) os registos a curto prazo, como os que foram medidas nesta tese, são geralmente muito irregulares, sensíveis a pequenas perturbações e variáveis no tempo; são necessárias décadas, para avaliar uma tendência. De qualquer forma, poderemos concluir que a velocidade de sedimentação registada nestas estações, durante estes 4 anos, à exceção das estações 1.1 e 10.1, é inferior e geralmente negativa, relativamente à registada numa escala secular por Silva (2013) de 6 mm.ano<sup>-1</sup>, o que justifica o recuo horizontal do sapal anteriormente diagnosticado e a sua condenação face à atual (4,1 mm.ano<sup>-1</sup>) e futura velocidade de subida do NMM .

## 7.11 Modelo Hidrodinâmico da Baía do Seixal

### 7.11.1 Metodologia

#### 7.11.1.1 Breve descrição do Modelo

Para a simulação do sistema hidrodinâmico da Baía, foi utilizado o modelo numérico de código aberto “*Mohid Water*” (acrónimo para Modelo Hidrodinâmico), desenvolvido pela equipa do “*Maretec*” (*Marine and Environmental Technology Research Center*), pertencente ao Instituto Superior Técnico. O código do modelo *Mohid* é escrito na linguagem de programação *Fortran 95* e foi inicialmente desenvolvido pelo Professor Doutor Ramiro Neves em 1985<sup>1</sup>, tendo ao longo dos anos tido o contributo de vários investigadores.

O *Mohid* permite a modelação a três dimensões de um corpo de água. O modelo calcula as equações de conservação de quantidade de movimento horizontal e a equação da continuidade (conservação da massa) para calcular a evolução da velocidade vertical e o nível de água. Trabalha-se também com equações que consideram o atrito entre a interface água/ar e de mecânica de fluidos (turbulência), nomeadamente na interface água/sedimentos.

Recorre à programação orientada por objetos permitindo por isso uma modelação integrada de vários processos, a diferentes escalas e aplicado a vários ambientes físicos, como estuários, bacias hidrográficas ou oceano (MARETEC, 2014b). Esta filosofia de modelação integrada possibilita a simulação de vários modelos encaixados em simultâneo, permitindo que os submodelos obtenham as condições de fronteira dos modelos anteriores.

O programa está dividido por módulos, cada um dos quais é responsável por gerir um tipo específico de informação relativa a processos (físicos e/ou químicos e/ou biológicos) que interagem entre si. De seguida efectua-se uma breve descrição dos principais módulos do modelo *Mohid* utilizados nas simulações efetuadas.

O módulo *Hydrodynamic* calcula a evolução das propriedades não turbulentas do escoamento, como o nível, as velocidades e os fluxos de água (Leitão, 2002). A evolução destas propriedades é calculada a partir de balanços de quantidade de movimento e continuidade em volumes de controlo num sistema de coordenadas cartesianas. A discretização espacial destas equações é feita recorrendo ao método dos volumes finitos. Este método permite definir explicitamente os parâmetros geométricos da malha, não sendo necessário uma transformação das coordenadas (Martins, 1999). Deste modo, podem ser implementados diversos tipos de geometria de malha, sendo por isso possível a aplicação do modelo a locais de geometrias variáveis.

É no módulo *Geometry* que se define a geometria vertical do domínio, podendo subdividir a coluna de água em diferentes tipos de coordenadas, entre as quais as coordenadas sigma e cartesianas. As coordenadas cartesianas são fixas no domínio enquanto as coordenadas sigma são variáveis com a batimetria ou com a superfície.

No caso da Baía do Seixal, devido à muito baixa profundidade, com cotas geralmene próximas do Zero Hidrográfico e que ficam na maioria emersas na baixa-mar (vide batimetria na fig. 262 e o perfil da fig. 226), utilizou-se um modelo bidimensional (2D), considerando-se apenas uma camada (*layer*) e coordenadas do tipo sigma. Assim, no módulo de geometria do modelo, a definição do número de layers é feita a nível de programação, mostrando-se aqui um pequeno excerto:

1 - <http://wiki.mohid.com/index.php?title=MOHID>

```

MINIMUMDEPTH           : 0.1
FACESOPTION            : 2

<begindomain>
ID                     : 1
TYPE                   : SIGMA
LAYERS                 : 1
LAYERTHICKNESS        : 1.0
DOMAINDEPTH           : -99.00
TOLERANCEDEPTH        : 0.0500
<enddomain>

```

O módulo *Turbulence* recebe informação do módulo *Hydrodynamic* sobre as velocidades horizontais e verticais, parametrizando com base nestas características turbulentas do escoamento (Leitão, 2002).

O módulo *Water Properties* modela a evolução das várias propriedades da água, entre as quais a temperatura, a salinidade e a densidade (MARETEC, 2014c).

Os processos que ocorrem entre a superfície da água e a atmosfera são geridos pelo módulo *Interface Water Air*. Este módulo calcula as condições de fronteira na superfície livre de água, que para o nosso caso de estudo são a tensão do vento, mas também poderá ser a radiação solar, o calor latente ou calor sensível, através dos dados meteorológicos que adicionamos no módulo *Atmosphere* (MARETEC, 2012).

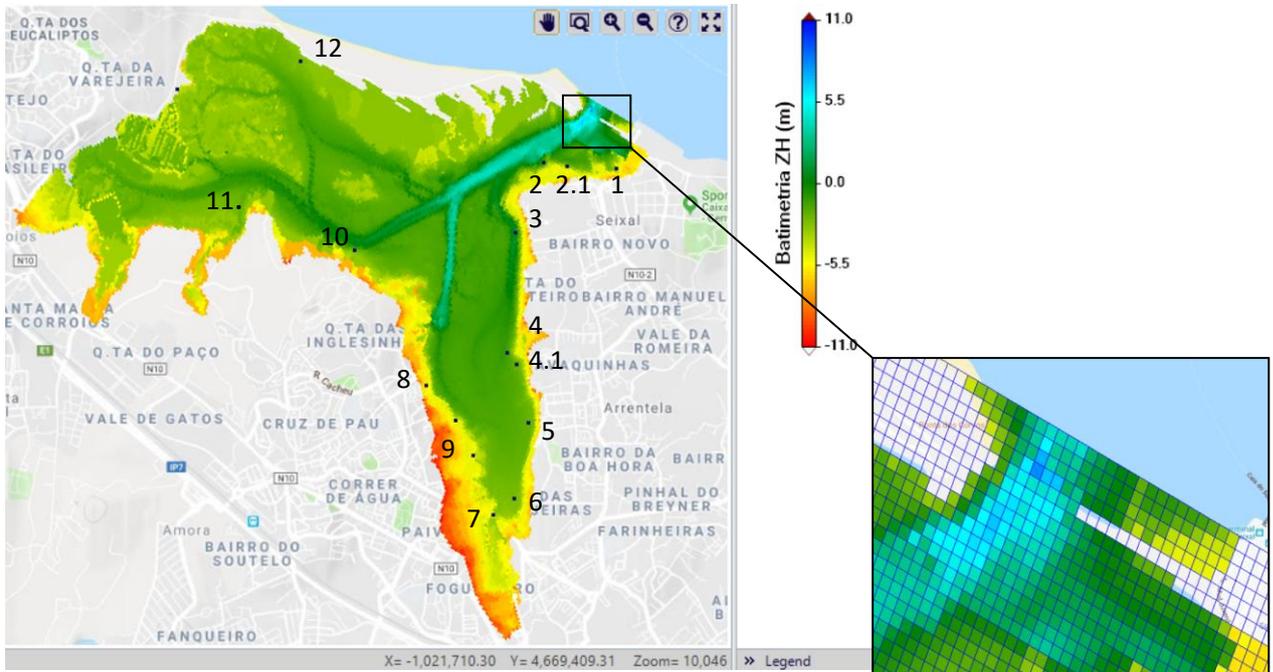
Uma vez que, tal como os outros programas utilizados nesta tese, o programa *Mohid Water* é considerado no âmbito desta tese uma ferramenta para as simulações que se pretenderam fazer e não objeto de estudo e desenvolvimento do programa em si, não se irá aprofundar a sua descrição e equações subjacentes. Uma descrição mais detalhada do modelo MOHID e da sua formulação encontra-se em Neves (2013).

#### 7.11.1.2 Dados e implementação do Modelo

Para se construir a malha do modelo para a Baía do Seixal, utilizou-se a informação proveniente de:

- topografia adjacente à baía, através da junção das cartas topográficas 1/1000 do Concelho do Seixal, gentilmente cedidas pelo Município. A exatidão planimétrica da cartografia 1:1000 é de 1,70 m no terreno;
- batimetria da Baía, feita para o LNEC, pelo Instituto Hidrográfico, aquando do Estudo da Baía, no âmbito do Projeto Molinos (em que a investigador principal foi a Dr.<sup>a</sup> Paula Freire), e para a “Valorização da Baía do Seixal”, financiado pela autarquia.

Com essa batimetria e margens adjacentes (topografia), fez-se uma união que resultou na base matricial altimétrica do modelo (fig. 262), referenciada ao Zero Hidrográfico (-2,08 m que o nível médio das águas do mar dado pelo marégrafo de Cascais), sendo que as cotas positivas estão abaixo do ZH e aumentam com a profundidade (tons verde a azul na fig. 262) e as negativas estão acima do ZH, representando as zonas emersas na maré baixa ou zona intertidal (tons verde a amarelo na fig. 262), sendo as zonas amarelas a laranjas e vermelhas zona topográficas sempre emersas.

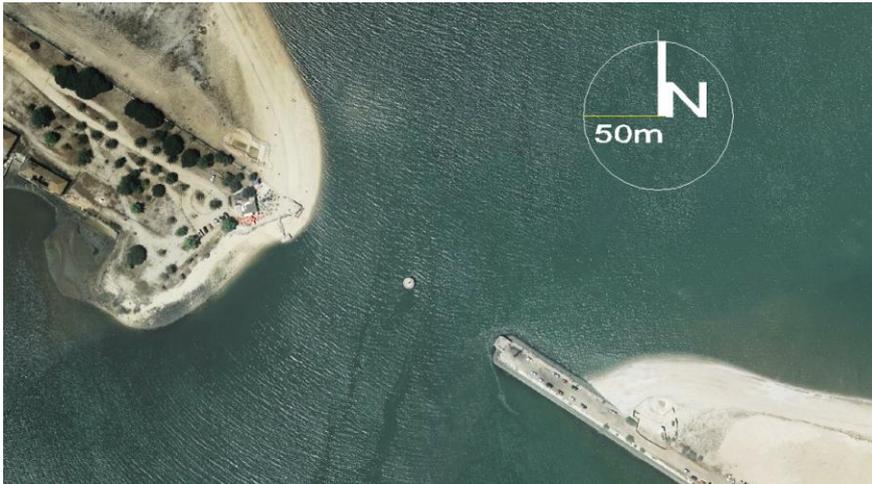


**Fig. 262:** Imagem da base altimétrica (m) do modelo (MDT), referenciada ao ZH (programa *Mohid Water*). Indicação da localização das estacas para o estudo vertical da variação do sedimento de fundo, a azul escuro. Pormenorização da embocadura da Baía com visualização da quadrícula (20x20 m).

O facto de se considerar uma batimetria que englobasse zonas sempre emersas (correspondentes à topografia) foi intencional, uma vez que se pretende simular a subida NMM.

Foi feita uma malha (*grid*), em que cada quadrícula do modelo corresponde a 20 m por 20 m no terreno e na interpolação da batimetria para a malha do modelo numérico, cada quadrícula fica apenas com um valor (cota altimétrica), resultante da interpolação das cotas nos 4 vértices.

Na fig. 263 é possível visualizar a embocadura da baía que corresponde a uma zona de estrangulamento, que (como veremos nas simulações), é onde se atingem as maiores velocidades de escoamento durante a vazante e a enchente. Na malha do modelo esta apresenta um comprimento aproximado de 160 m, ao ser representada por 8 quadrículas (ver fig. 262). Note-se que este valor não corresponde a uma medição rigorosa na topografia, devido à criação das quadrículas (erro de 20 m para cada). Segundo a medição em AutoCAD sobre o ortofomapa, a distância entre as duas muralhas ou a largura da embocadura é de 142 m.



**Fig. 263:** Imagem do ortofotomapa (2009) na zona da embocadura (entrada/foz) da Baía do Seixal.

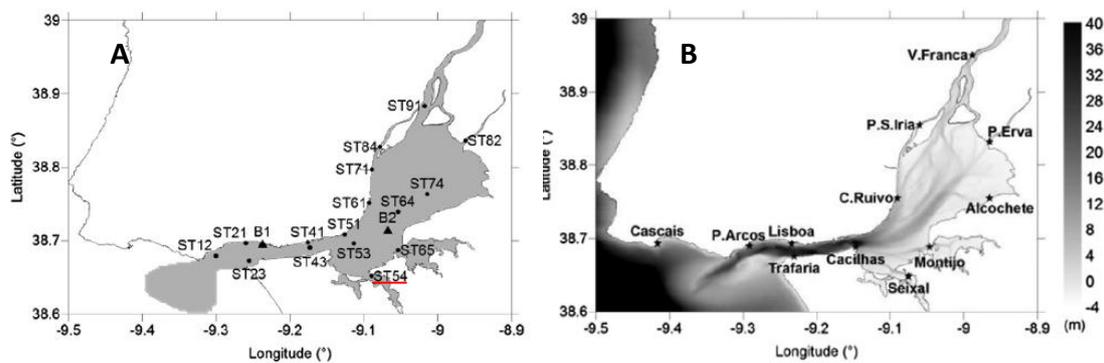
Repare-se na baixa profundidade da Baía, com uma elevada área na faixa intertidal que fica a descoberto na maré baixa (zonas verdes na fig. 262). As profundidades mais elevadas verificam-se na embocadura da baía e no canal principal junto ao

Seixal, de cerca de -7m relativamente ao ZT (<5,5 m relativamente ao ZH), cerca de metade da profundidade máxima do Estuário do Tejo (~12 m ZH), sem contar com o “canal do Tejo” que atinge profundidades superiores a 40 m (fig. 264 B).

O canal da baía que diverge para Sul apresenta profundidade constante até ao Estaleiro da “Viamar” na Amora, devido a dragagens. As dragagens agora mais controladas e proibidas, em tempos não o foram e os sedimentos retirados foram depositados em zonas que agora constituem pequenas praias arenosas e protegem/fortalecem a linha costeira (praia do Seixal e Serrado).

Dada a complexidade da batimetria da baía e o grau de pormenor utilizado, optou-se por utilizar este modelo de forma independente do sistema de modelos do Estuário do Rio Tejo, de forma a poder-se efectuar vários testes em tempo viável (máximo de 3 dias de simulação, dividindo em séries temporais pequenas) e utilizando um PC *intel core i7*.

As componetes de maré utilizados para este modelo foram obtidas a partir da análise harmónica de registos de maré em diversas estações do estuário do Tejo (Franz, 2016). Para este modelo, escolheu-se os dados do ano 2010, da estação ST54, mais próxima da Baía do Seixal (fig. 264).



**Fig. 264:** Área de estudo do estuário do Tejo e localização das estações maregráficas utilizadas para verificar os resultados do modelo (A) e batimetria (m) relativa ao ZH (B). *In Franz et al. (2014).*

Na figura 264 B as zonas mais escuras representam as zonas mais profundas e a baía do Seixal fica localizada numa zona de batimetria mais clara e negativa, o que significa que partes ficam a descoberto na maré baixa.

Os dados de vento (data, direção e velocidade do vento, com intervalo de tempo horários) impostos como condições de fronteira (*boundary conditions*) do modelo para a baía do Seixal, para a simulação das ondas, foram obtidos através do SNIRH - Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos, para a estação do Monte da Caparica, para o período entre 01/01/2010 00:00 e 01/07/2010 23:00 <sup>1</sup>. Foi utilizado o modelo *SWAN* (*Significant Wave Height*), mais indicado para zonas costeiras.

A fronteira aberta do modelo da baía do Seixal é a embocadura da Baía. É aqui que se observam as maiores velocidades dado o estrangulamento do escoamento durante a enchente e a vazante, particularmente estudado *in situ* por Silva *et al.* (2011).

Após a afinação do modelo (ajustes na batimetria e redução do passo de tempo de cálculo (dt)), conseguiu-se fazer a simulação da hidrodinâmica para um período de um mês (01-1-2010 a 31-1-2010). A escolha deste período deveu-se à existência, sem interrupções, de dados de vento na estação mais próxima e simultaneamente abarcar um ciclo de maré viva e de maré morta. Note-se que as simulações a seguir descritas são encadeadas umas nas outras isto é, a nova simulação (posterior no tempo) utiliza como condição inicial os últimos dados da simulação anterior.

Na primeira simulação só foi simulada a hidrodinâmica, por forma a efetuar um “aquecimento” do sistema e na segunda simulação já foram considerados os sedimentos coesivos. Foram consideradas 3 fontes de sedimentos:

- a “boca” da Baía que também é a foz da Baía, que comunica com o restante estuário do Rio Tejo, onde entram e saem do sistema a maior quantidade de sedimentos; sendo uma fonte e sumidouro de sedimentos conforme enche e vaza a maré, respetivamente;

- o Rio Judeu, uma Ribeira de caudal permanente efluente da baía a Sul, cuja bacia hidrográfica se estende para Sul até às encostas da Arrábida (Zona de Sesimbra), perfazendo uma área de 2 519,54 ha (segundo a medição do SIG com o método RUSLE, vide fig. 75);

- a Ribeira de Corroios, efluente na zona Oeste da Bacia e cuja bacia hidrográfica se estende para SW perfazendo uma área de 4 511,2 ha.

A quantidade de sedimentos provenientes das Ribeiras, tiveram como base o Estudo do IH na Baía, para a Valorização da Baía do Seixal, onde foram feitas várias análises à água, em altura de marés vivas e mortas; a quantidade de matéria particulada em suspensão (MPS) analisada, nos pontos de amostragem mais próximos das descargas que queremos simular para a Ribeira de Corroios e para o Rio Judeu, e da entrada da boca da baía, constam da Tabela 17.

1 - Dados obtidos através do site <http://snirh.apambiente.pt> em 06/04/2018 15:11.

**Tab. 17:** Valores de MPS retirados de Silva *et al.* (2011), para os pontos de amostragem mais próximos dos locais de descarga que se pretendem simular neste estudo.

MPS (mg/l)	Maré vivas	Marés Mortas
Ribeira Corroios	30	30
Rio Judeu	35	35
Baía do Seixal boca	30	5 a 18

Segundo Silva *et al.* (2011) “No período de marés mortas, os valores mais elevados verificam-se nas estações de terra, estação 17 e 18, com concentração de MPS na ordem dos 35 mg/l e 30 mg/l respetivamente. As restantes estações apresentam concentrações homogéneas, com um mínimo de 3.76 mg/l e um máximo de 18.68 mg/l de concentração de MPS”. A localização destas estações corresponde às estações mais próximas do Rio Judeu e da Ribeira de Corroios, respetivamente.

Um dos parâmetros de entrada do modelo é a quantidade de sedimento coesivos de cada ribeira, descritos no módulo *Discharges*, e que nas simulações efetuadas foram utilizados os seguintes valores (Tabela 18).

**Tab. 18:** Dados considerados para o modelo *Mohid* com base na área e caudal das bacias e ribeira fornecidos pelo modelo *RUSLE* e com base nas amostras de Silva *et al.* (2011).

Fornecimento de sedimentos	Caudal (l/s)	sedimentos coesivos (mg/l)
Ribeira Corroios	0,25	30
Rio Judeu	0,15	35

Foram efetuadas várias simulações de teste antes de se obter o modelo final. Para tal foram efetuadas várias alterações\ajustes à configuração do modelo inicial, nomeadamente:

- na batimetria;
- no passo de tempo de cálculo;
- no tipo de condição de fronteira;
- na quantidade de sedimento inicial no fundo;
- na velocidade de sedimentação.

Este período de tentativa/erro, até se conseguir a afinação do modelo, foi o mais moroso.

Os dois pontos de descarga nas principais Ribeiras efluentes da Baía não deram problemas, mas na zona da embocadura foi necessário proceder a várias simulações. Assim, no módulo de *Water Properties*, com uma entrada inicial de 1 mg/l, que coduziu a sucessivas simulações infrutíferas, foi sendo reduzida até ao valor de 0,001 mg/l.

No módulo *Interface Sediment Water* foi sendo reduzida a quantidade de sedimento inicial em cada célula, correspondente ao sedimento coesivo de fundo e que vai ser mobilizado na vazante e enchente. Após várias simulações, chegou-se ao valor de 0,00001 kg/m<sup>2</sup>.

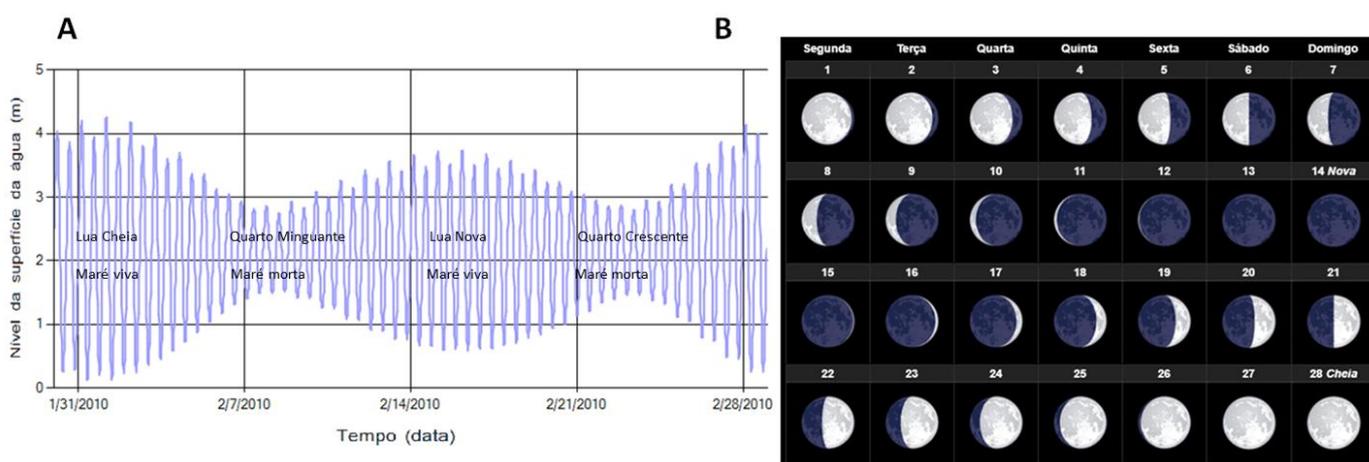
No módulo *Free Vertical Movement*, nas diferentes simulações, passou-se de uma velocidade de sedimentação das partículas inicial de 0,002 para 0,099  $\text{m.s}^{-1}$ . É neste módulo que se consegue alterar e controlar indiretamente a granulometria dos sedimentos em suspensão na coluna de água, pois quanto maior a velocidade de queda do sedimento, maior a sua granulometria, passando-se de sedimentos coesivos a sedimentos mais pesados (aproximando-se dos sedimentos arenosos). A velocidade de sedimentação de 0,099  $\text{m.s}^{-1}$  equivale, segundo a lei de *Stokes*, a um sedimento arenoso grosseiro (Souza Pinto, 2000), daí que as imagens da sua dispersão e deposição não tenham invadido toda a extensão da baía, o que acontece com sedimentos mais finos, (mas cujas correspondentes velocidades de sedimentação não se conseguiu obter resultados com o modelo).

Efetivamente as velocidades observadas por Graham & Manning (2005), no seu carrossel de laboratório experimental com diferentes concentrações e diferentes densidades de vegetação de sapal (ramos de *Spartina* sp.) que se aproximavam do efeito do sapal na diminuição da velocidade da corrente, foram: para sedimentos coesivos entre 250.46 e 1265.19  $\mu\text{m}$ , e as velocidades de sedimentação ( $W_s$ ) foram de 0.23 a 3.37  $\text{mm.s}^{-1}$ . Valores inferiores aos da simulação por nós efetuada. Assim, devemos ter isso em conta para a interpretação dos resultados obtidos neste modelo.

### 7.11.2 Discussão dos resultados

Tal como referido, no primeiro mês de simulação procedeu-se à estabilização da hidrodinâmica do modelo, só depois se fizeram as simulações considerando os sedimentos coesivos.

Visualizando a curva de maré (em que ao longo do tempo, o nível da superfície da água vai “desenhando” um perfil sinusoidal e harmónico) obtida pelo modelo num ponto localizado na embocadura da baía (fig. 265 A) e comparando com o calendário lunar para o mesmo período de tempo (mês de Fevereiro de 2010) (fig. 265 B), verifica-se que as marés vivas coincidem aproximadamente e corretamente com os períodos de Lua Cheia e Lua Nova e que as marés mortas coincidem com os períodos de Quarto Crescente e de Quarto Minguante.



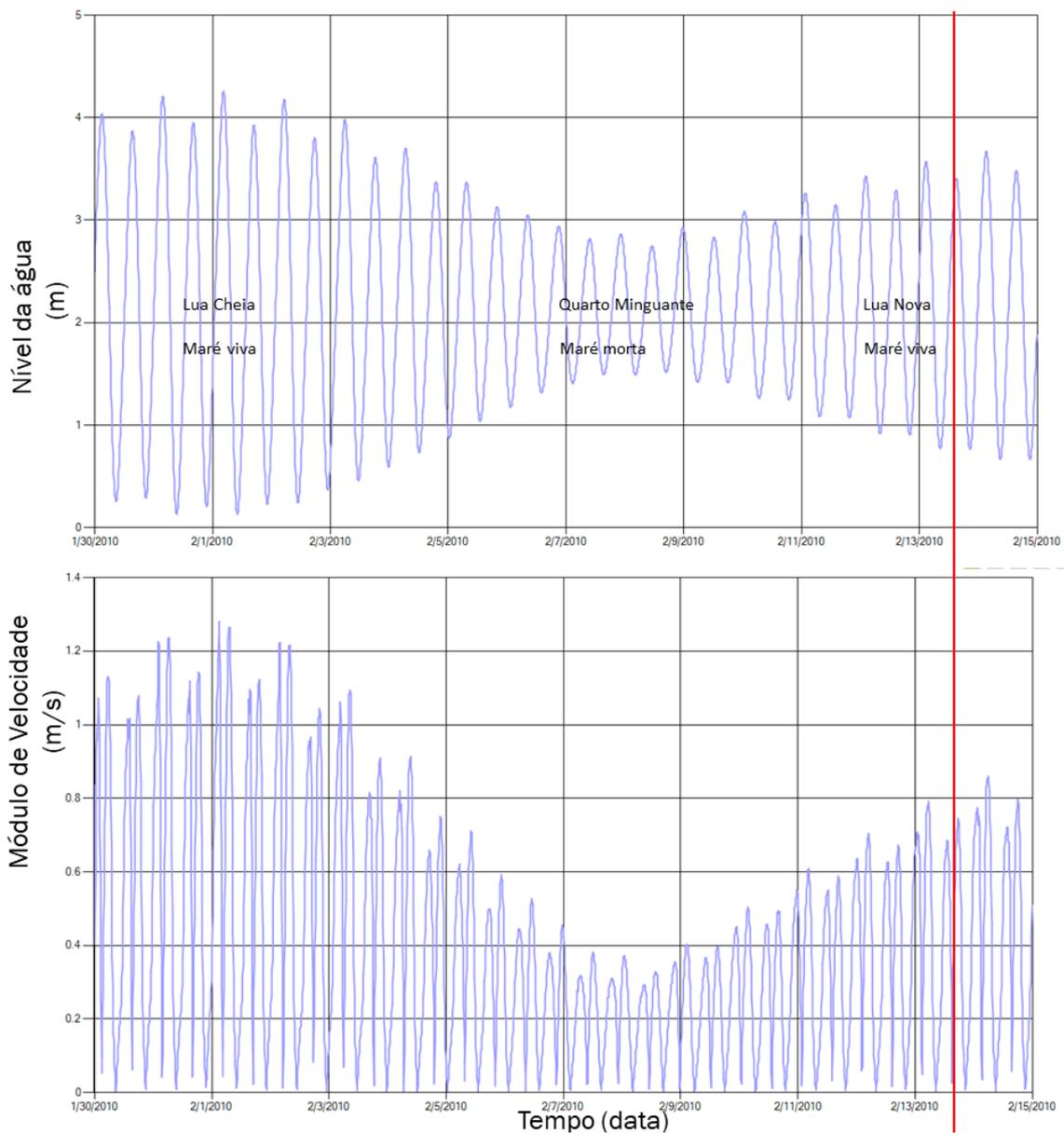
**Fig. 265:** Curva de maré obtida do modelo *Mohid Water*, módulo *Hydrodynamic*, aproximadamente durante o mês de Fevereiro de 2010, obtido num ponto da embocadura da Baía do Seixal (A) e calendário lunar para o mesmo mês (B) (in <https://pt.tutitempo.net/luafases-fevereiro-2010.htm>)

É interessante verificar que as amplitudes de marés mais elevadas (cerca de 4 m) coincidem com as alturas de Lua Cheia (alta preia-mar e uma baixa baixa-mar). Tal facto explica-se devido ao campo gravítico criado pela Lua enfraquecer com o aumento da distância à Terra; assim, a força de atração exercida é ligeiramente mais forte do que a média no lado da Terra de frente para a Lua (Lua Cheia) e ligeiramente mais fraca no lado oposto (Lua Nova)<sup>1</sup> (fig. 266). Por sua vez, as marés mortas têm uma amplitude de cerca de 1,5 m (uma baixa preia-mar e uma alta baixa-mar) (fig. 265 A).



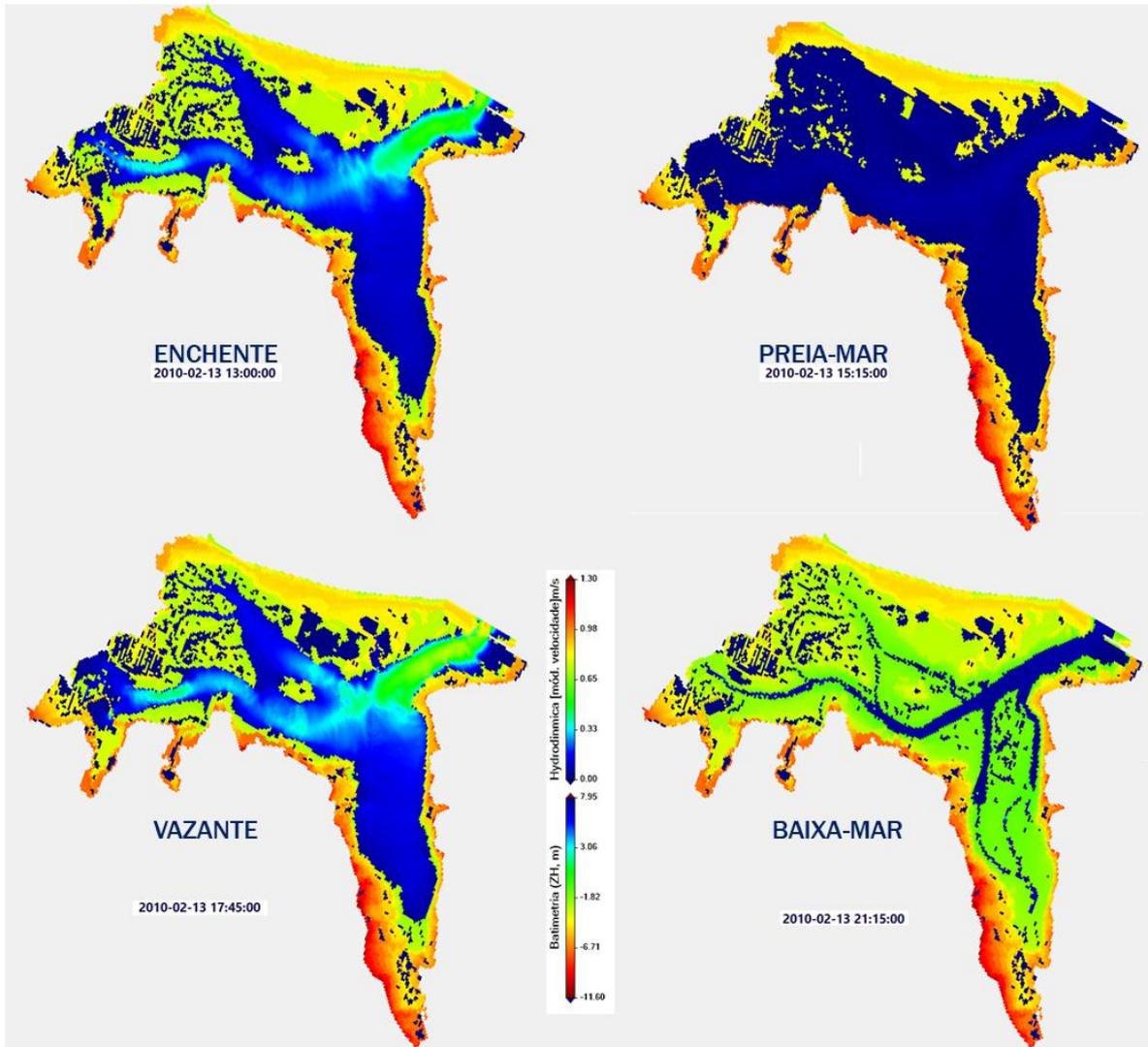
**Fig. 266:** Sucessão de imagens ilustrativas da posição dos astros relativamente às diferentes fases da Lua e respectivas marés vivas e mortas (Sol representado pelos raios amarelos à direita). 1 - in [https://pt.wikipedia.org/wiki/Maré#Constituintes\\_harmónicas\\_da\\_maré](https://pt.wikipedia.org/wiki/Maré#Constituintes_harmónicas_da_maré)

Tal como referido anteriormente, as velocidades da vazante ao serem superiores às da enchente devido à assimetria da maré para o estuário do Tejo, implicariam maior mobilização de sedimentos na vazante (Guerreiro *et al.*, 2013). Na fig. 265 A, a velocidade é dada pelo declive da curva da maré, que é muito idêntico entre a enchente e a vazante, notando-se pequenas diferenças. Estas diferenças são mais perceptíveis se fizermos a justaposição dos gráficos da curva de maré e da velocidade da água (fig. 267), simulados num ponto da embocadura da baía. Se traçarmos uma linha vermelha num pico da curva de maré, ela corresponde a um instante de preia-mar, a que corresponde no gráfico do módulo de velocidade a uma velocidade praticamente nula. À esquerda dessa linha, temos o pico da velocidade de enchente e à direita o pico da velocidade de vazante e verificamos que o primeiro é ligeiramente inferior, ou seja as velocidades da vazante são ligeiramente superiores às da enchente, o que confirma a assimetria de maré verificada por Guerreiro *et al.* (2013), que explica esta assimetria devido à elevada extensão dos espriados de maré do estuário, que torna a duração da enchente ligeiramente superior à da vazante.



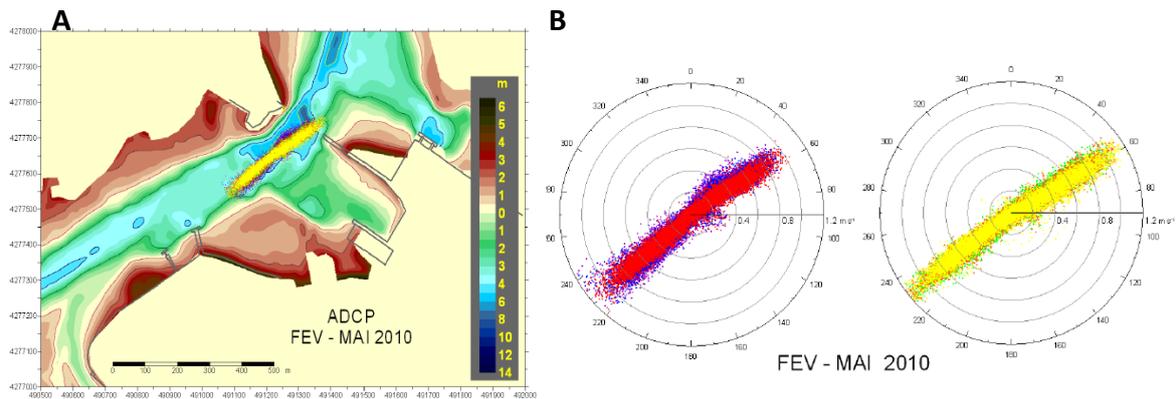
**Fig. 267:** Gráficos do perfil de maré ou nível da água (m) e do módulo de velocidade da água num ponto da embocadura da baía, obtidos do modelo *Mohid Water*, módulo *Hydrodynamic*.

Estas diferenças de velocidade são também visualizadas nas imagens de velocidade da água obtidas no MDT (fig. 268), para os vários momentos da maré no dia 13 de Fevereiro, o mesmo dia onde se traçou a linha vermelha da fig. 267. Note-se que nos períodos de preia-mar e baixa-mar a velocidade da maré é nula ou quase nula, devido à mudança da maré (inversão de sentido).



**Fig. 268:** Imagens do modelo *Mohid Water*, módulo *Hydrodynamic* (Hidrodinâmica), módulo de velocidade (m/s), em vários instantes da maré.

De forma a podermos de certa forma validar as velocidades obtidas neste modelo, poderemos recorrer às medições *in situ* feitas por Silva *et al.* (2011), com um perfilador de corrente (Acoustic Doppler Current Profiler, ADCP) que esteve fundeado cerca de um ano na zona da embocadura da baía (entre Dezembro de 2009 e Maio de 2010), a velocidade da corrente chegou a atingir os  $1,1 \text{ m.s}^{-1}$  (correspondente a uma maré viva equinocial, com amplitudes de 4 a 4.06 m, a Março de 2010) (fig. 269).



**Fig. 269:** A-Localização e Representação polar das observações correntométricas na "totalidade" da coluna de água no período 18 Fevereiro a 17 Maio de 2010. B - Representação polar da corrente nas camadas mais próxima (1 a 3 m) do fundo (à esquerda) e da superfície (4 a 6 m) (à direita), para a sucessão cronológica obtida entre Fevereiro de 2009 e Maio de 2010 (Silva *et al.*, 2011).

Na fig. 269 B, o valor zero da corrente foi centrado com a posição do fundeamento (fig. 269 A), e os extremos das observações correspondem aproximadamente a velocidades de  $1.1 \text{ ms}^{-1}$

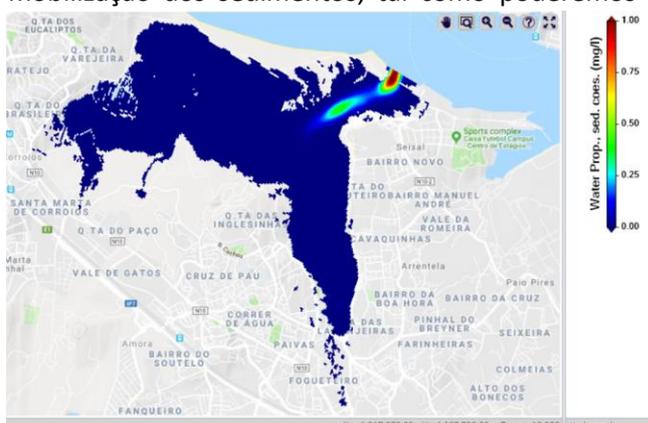
Pelos gráficos da fig. 267, os valores da velocidade máxima na embocadura dados pela simulação do modelo da Baía para a primeira maré viva de Fevereiro de 2010 superam ligeiramente a linha dos  $1.2 \text{ m/s}$  e correspondem aproximadamente com os valores máximos das medições feitas *in situ*. As amplitudes de maré também correspondem  $\sim 4 \text{ m}$ .

De forma complementar às simulações do modelo poderemos ir buscar outras observações dos registos *in situ* em Silva *et al.* (2011):

- "A corrente é mais elevada no fundo e diminui para a superfície".

- "A corrente é mais elevada nas marés vivas" (onde se registam maiores amplitudes de maré) "e tem mais poder de arraste de sedimentos".

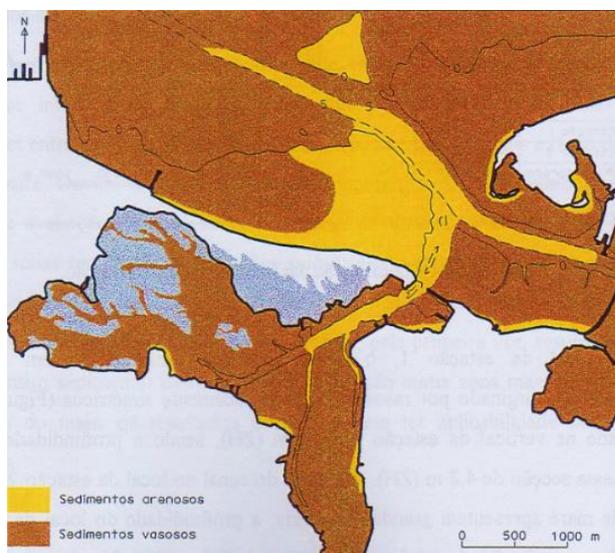
É então na embocadura da Baía, onde existe o estrangulamento das águas, onde se verificam as maiores velocidades, que por sua vez correspondem à zona onde se dá a maior mobilização dos sedimentos, tal como poderemos ver na fig. 270, através do módulo que



**Fig. 270:** Imagem do modelo *Mohid Water*, módulo *Water Properties* (sedimento coesivo suspenso na coluna de água em mg/l). Num instante anterior à maré alta, (14:45:00, dia 2010/03/29).

Esses sedimentos, no fundo, também poderão ser sedimentos arenosos, dada a elevada capacidade de arraste e de acordo com as amostras de sedimento feitas *in situ* por Caçador *et al.* (2011) (ver fig. 117 e 119) e de acordo com a tese de Freire (2003), onde se pode visualizar que a existência/proveniência desses sedimentos grosseiros poderá vir das praias estuarinas junto ao canal da Ponta dos Corvos (Silva *et al.*, 2011) mas também da praia fluvial da restinga do Alfeite, estando todas interligadas (fig. 271). Tal como referido anteriormente, estas praias fluviais não são só originadas pela hidrodinâmica das marés, mas também pela ondulação provocada pelos extensos *fetch* do Estuário do Tejo. Assim a sua orientação está diretamente relacionada com a direção dos ventos dominantes de N e das maiores distâncias de *fetch* (distância em água aberta, sem obstáculos, necessária para a formação de ondas). Verificam-se por isso sobretudo na margem Sul do Estuário do Tejo entre Alcochete e Cacilhas, com maior representatividade entre Samouco e o canal do Montijo, estando muitas delas modificadas por aterros ou edificações (Freire, 2003). A praia da restinga do Alfeite apresenta uma distância de *fetch* de cerca de 13 km na orientação NNE-SSW, em que a altura das ondas que chegam à restinga varia entre 0,2 e 0,3 m, podendo chegar aos 0,84 (Freire *et al.*, 2009) a 1,3 m (Freire *et al.*, 2007), em situações de eventos extremos, com ventos muito fortes.

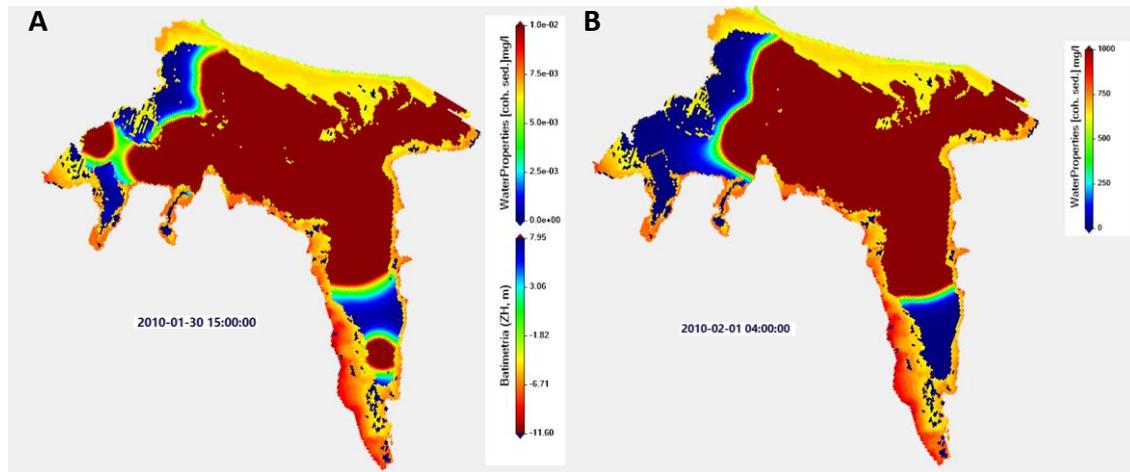
As praias estuarinas articulam-se inferiormente com rasos de maré extensos e sub-horizontais, constituídos por fração silto-argilosa importante e cuja proporção de areia depende das trocas sedimentares transversais com a face de praia, sendo o contacto entre estes dois domínios geralmente rico em cascalho, de importante componente bioclástica (Freire, 2003).



**Fig. 271:** Diferente granulometria e distribuição dos sedimentos de fundo da Baía do Seixal e da zona próxima do Estuário do Tejo, tendo os canais principais sedimentos mais grosseiros e os sedimentos mais finos correspondem grosseiramente a rasos de maré (Freire, 2003).

Segundo Silva *et al.* (2011) “Quando a corrente é mais elevada, verifica-se a remobilização e um maior transporte longitudinal de sedimentos (maior intensidade de eco no aparelho de medição)”, assim poderemos justificar a maior taxa de erosão verificada na estaca de ferro mais perto do canal principal da embocadura, a estaca 2.1 com uma taxa de perda de sedimento de  $12\text{mm}\cdot\text{ano}^{-1}$  (Tabela 14), que relativamente às outras estações aparenta a maior fração arenosa .

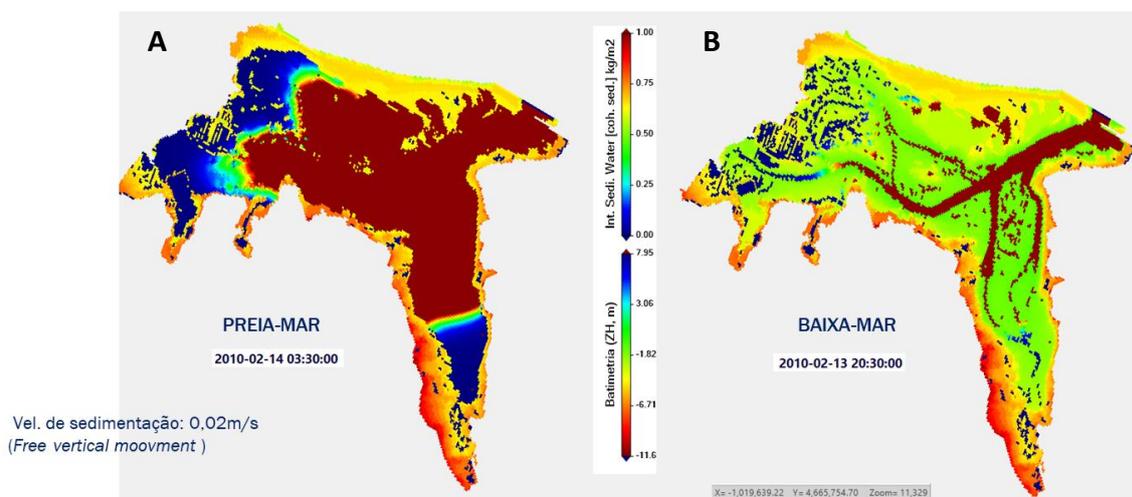
Através da visualização dos momentos iniciais da simulação onde já se considera o sedimento coesivo, poderemos ter uma perceção através do módulo do sedimento coesivo suspenso na coluna de água das principais fontes: as ribeiras de Corroios, o Rio Judeu e a embocadura da baía (fig. 272 A).



**Fig. 272:** Imagens do modelo *Mohid Water*, módulo *Water Properties* para diferentes dias da enchente e com escalas diferentes.

No entanto ao avançar no tempo, na enchente seguinte a adição das ribeiras já não se consegue visualizar, uma vez que o sedimento vindo da embocadura é muito maior, devido ao muito maior caudal. Assim, na fig. 272 B, já não se notam a adição de sedimento vinda das ribeiras, pois teve de se alterar a escala de forma a se poder visualizar o sedimento que vem da embocadura, caso se tivesse mantido a escala estaria tudo a vermelho.

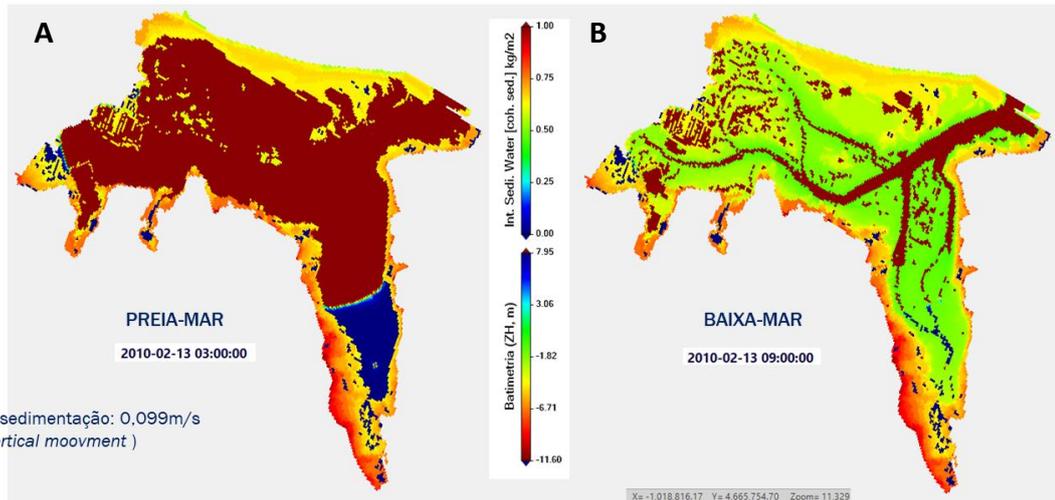
Relativamente aos resultados obtidos para os sedimentos que se depositam no fundo, dado pelo módulo *Interface Sediment Water: coesive sediment* (em  $\text{kg}/\text{m}^2$ ), poderemos visualizar a figura 273.



**Fig. 273:** Imagens do modelo *Mohid Water*, módulo *Interface Sediment Water* (sedimento coesivo depositado no fundo em  $\text{kg}/\text{m}^2$ ), na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A) e na vazante, ao instante 18:30:00 (B)).

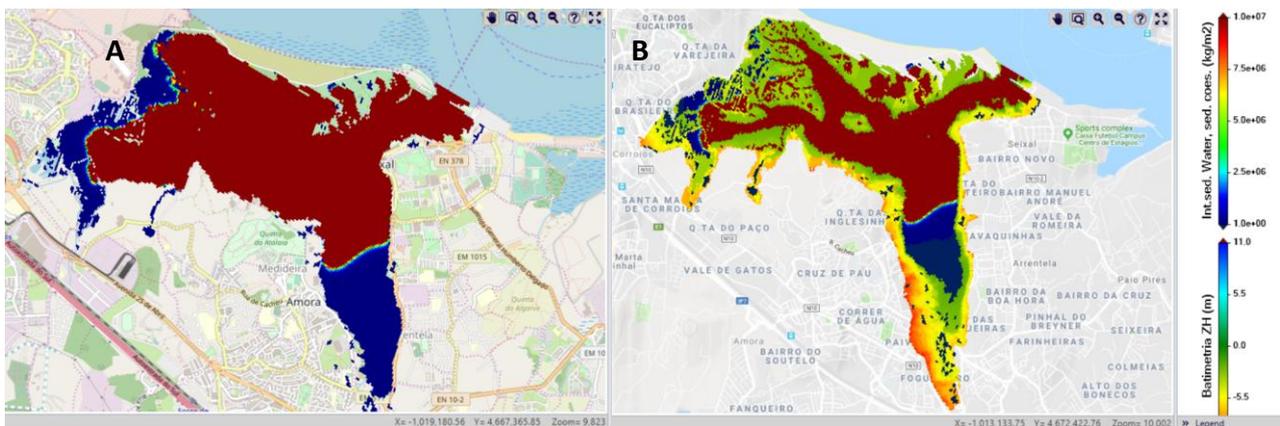
Verificamos que os sedimentos coesivos se distribuem pelo fundo da baía de forma uniforme, e variando a escala fica tudo a vermelho. Estes foram os últimos momentos que se conseguiram simular para os sedimentos coesivos.

De forma se poder avançar no tempo com a simulação teve de se alterar a velocidade de queda do sedimento para a de um sedimento mais grosseiro, conseguindo-se simular até final de Março (fig. 275). Note-se que para os mesmos instantes e escala da fig. 273, se verifica uma assimetria na distribuição do sedimento de fundo ao longo da baía (fig.274).



**Fig. 274:** Imagens do modelo *Mohid Water*, módulo *Interface Sediment Water* (sedimento coesivo depositado no fundo em  $\text{kg}/\text{m}^2$ ), na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A) e na vazante, ao instante 18:30:00 (B)).

A mesma assimetria se verifica no final da simulação, em Março, alterando a escala (fig. 275).



**Fig. 275:** Mapa dos sedimentos depositados no fundo obtidos com o modelo *Mohid Water*, módulo *Interface Sediment Water*, na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A), e na vazante, ao instante 18:30:00, com sobreposição da batimetria (B).

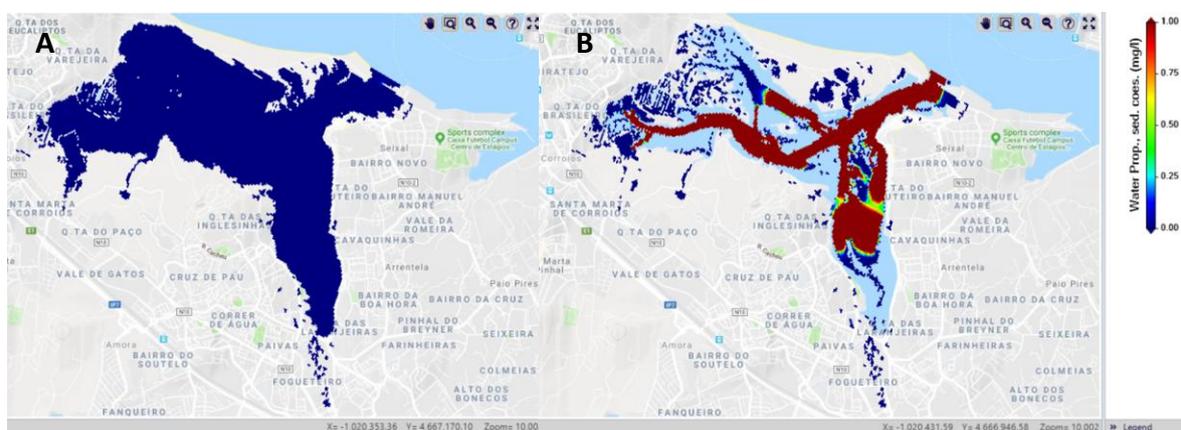
Verifica-se nas simulações efetuadas uma maior deposição de sedimentos na zona W da Baía. Embora nesta simulação, para se chegar a esta data, tenha sido necessário alterar a velocidade de queda do sedimento para a de um sedimento mais grosseiro, estes resultados poderão explicar a origem do Sapal de Corroios, pois foi graças a esta deposição de sedimento,

provocada pela própria hidrodinâmica da baía, que se deram as condições propícias ao desenvolvimento da vegetação de sapal, assim que o raso de maré elevava pouco a pouco a sua cota. O que nos lembra Lousã (1986) na sua Tese de Doutoramento: “Os sapais apenas se formam onde o litoral esteja protegido da ação direta das vagas e correntes marítimas e haja influência de água doce, deposição de sedimentos e taludes suaves, por isso só ocorrem em estuários tranquilos e baías”.

Na figura 275 B vemos a deposição de sedimento que fica durante a vazante, que continua a ser mais extensa a W.

Pela a análise dos resultados, a falta de deposição de sedimentos a sul da baía poderá justificar a elevada taxa de erosão verificada na estaca mais a Sul (estação 7.2) de  $4,29 \text{ mm.ano}^{-1}$  (Tabela 14).

A figura 276 mostra o mapa dos sedimentos coesivos em suspensão na coluna de água ( $\text{mg/l}$ ), obtido com o modelo (módulo *Water properties: coesive sediment*), para os mesmos parâmetros e instantes da figura 275.



**Fig. 276:** Imagens do modelo *Mohid Water*, módulo *Water Properties* (sedimento coesivo suspenso na coluna de água em  $\text{mg/l}$ ), na maré alta ao instante 15:15:00, dia 2010/03/29 (A) e na vazante, ao instante 18:30:00 (B)).

A análise dos resultados permite verificar que, para o período simulado, a quantidade de sedimento suspenso na coluna de água é muito baixa durante o pico da maré alta (e também na maré baixa), devido ao período em que não há mobilização da água (velocidade baixa/nula) e consequentemente é quando os sedimentos assentam; pelo contrário, é na enchente e na vazante que existe maior velocidade da água e maior mobilização dos sedimentos.

Silva *et al.* (2011), fizeram análises ao material particulado em suspensão (MPS) na coluna de água da Baía do Seixal, indo os resultados do modelo aqui apresentados ao encontro das conclusões daqueles autores:

“Como já havia sido observado nos resultados obtidos nas campanhas de Fevereiro de 2009 e Julho de 2009, evidencia-se a existência de uma evolução temporal dos valores de concentração de MPS, com máximos registados perto da baixa-mar e mínimos perto da preia-mar/enchente. Também de acordo com as campanhas anteriores, a gama de valores de concentração de MPS, determinada em marés vivas, é superior à gama de valores determinada em marés mortas”.

Na imagem correspondente a um instante da vazante (fig. 276 B), é possível observar a forte mobilização de sedimentos nos canais e particularmente na zona Sul da Baía, o que talvez

poderá explicar a falta de sedimentos finos verificada *in situ* (Caçador et al., 2011) nesta zona da baía, com sedimentos mais grosseiros (fig. 119). Também poderá explicar as taxas de erosão verificadas na estaca mais perto do canal do Talaminho (estação 11.1) e do canal da Amora Norte (estação 8.1) (Tabela 14).

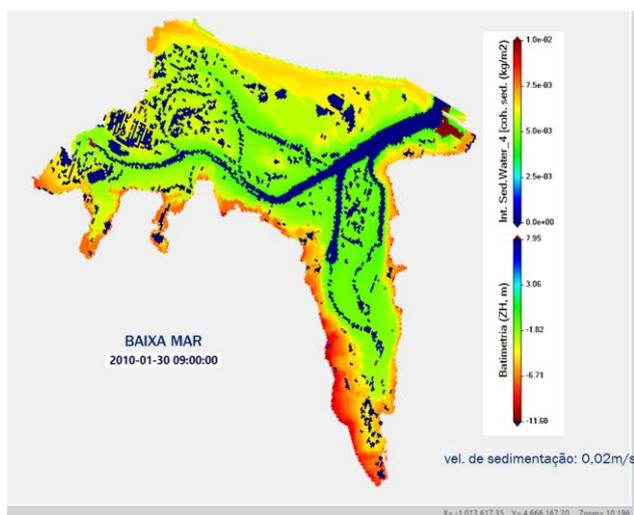
Transcrevem-se do mesmo relatório Silva *et al.* (2011) outras afirmações resultantes das medições feitas *in situ*, na embocadura da Baía do Seixal, e que poderão complementar os resultados aqui obtidos com o modelo hidrodinâmico:

- “A evolução temporal e tidal dos valores de concentração parece sugerir que estes resultam principalmente da remobilização localizada de sedimento de fundo, que será tanto mais elevada quanto mais reduzida for a altura da coluna de água no local da amostragem. A variação de concentração depende, assim, de energia disponível para remobilização no meio. Desta conclusão resulta que os valores máximos se registam durante a baixa-mar, em período de marés vivas.”. Esta conclusão também explica os valores elevados das colheitas feitas perto das ribeiras, onde a altura da coluna de água é menor.

–“A corrente foi mais intensa e fluíu durante mais tempo para montante do que para jusante, com cerca de 54% das ocorrências corresponderam a corrente para montante (55% em Maio-Julho e 54% em Julho-Dezembro 2009). Quer isto dizer que a corrente medida à entrada da Baía do Seixal não apresenta sazonalidade, algo expectável num sistema dominado pela maré.”. Estes resultados *in situ* também podem demonstrar que a baía do Seixal ao ser muito rasa e assoriada poderá ter um comportamento pecoliar e ligeiramente diferente relativamente ao do Estuário do Tejo, indo de encontro às afirmações anteriores de Freire & Andrade (1994) e Fortunato *et al.* (1999).

–“É assim possível constatar que a segunda quinzena de Março de 2010 se caracterizou pelos valores mais elevados de intensidade de eco em toda a coluna de água, sem uma aparente relação com a amplitude da maré. No extremo oposto surge o período a partir de 5 de Maio, com valores mínimos. Não havendo sazonalidade da corrente que justifique variações na remobilização local de sedimento, é forçoso concluir pela variação na introdução de partículas no sistema, seja a partir do estuário, seja a partir da área circundante da Baía.”.

Relativamente à elevada taxa de deposição de sedimento limoso verificada na estaca de ferro da estação 1.1, é interessante estudar o que se passa no modelo, relativamente ao módulo do sedimento depositado no fundo, que poderá trazer algumas explicações (fig. 277).



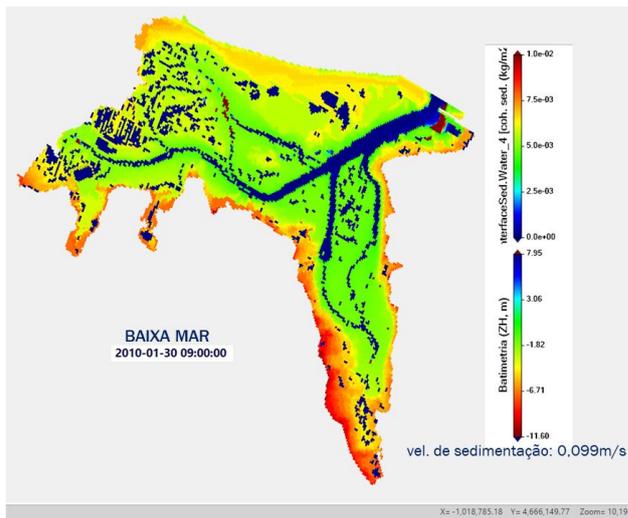
**Fig. 277:** Imagem do módulo Interface *Sediment Water*: sedimento coesivo ( $\text{kg/m}^2$ ), com a vel. de sedimentação (*Free vertical moovment*) de 0,02m/s.

Efetivamente para uma velocidade de sedimentação típica de um sedimento coesivo, verifica-se nos primeiros instantes da simulação a acumulação do sedimento coesivo dentro da enseada formada pelo pontão artificial, uma zona abrigada mas perto da fonte de sedimentos (embocadura), onde se colocou a

estaca 1.1 e se registou uma das mais elevadas taxas de sedimentação (14,4 mm/ano) de

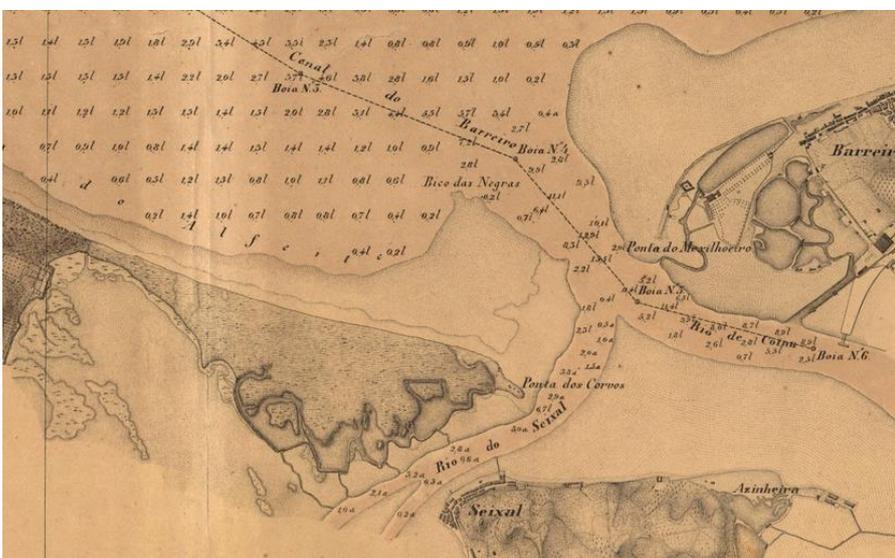
sedimento vasoso e que se confirma pela profundidade do sedimento muito fino que dificultou em muito a leitura da estaca.

É interessante verificar que se elevarmos a vel. de sedimentação (Free vertical moovement), para a de um sedimento mais grosseiro tipo arenoso (fig. 278), no mesmo instante, consegue visualizar-se uma acumulação de sedimento à saída da baía que corresponde ao que se verifica *in situ* (fig. 279): uma pequena restinga de sedimentos mais grosseiros que se forma na embocadura, ao longo do canal com elevadas velocidades e poder erosivo de arraste, fazendo uma barreira de separação para a zona abrigada onde se depositam os sedimentos mais finos (onde se localizou a estação 1.1).



**Fig. 278:** Imagem do módulo *Interface Sediment Water*: sedimento coesivo ( $\text{kg/m}^2$ ), onde foi elevada a vel. de sedimentação (Free vertical moovement) para a de um sedimento mais grosseiro tipo arenoso  $0,099\text{m/s}$ .

**Fig. 279:** Fotografia evidenciando a restinga de sedimentos grosseiros ao longo do limite do canal principal da embocadura da Baía do Seixal.



É interessante verificar através figura 218 e da cartografia antiga (fig. 280) que a embocadura da Baía do seixal era muito mais larga, antes do estrangulamento provocado pelos pontões para a construção da Ponte e estaleiros navais.

**Fig. 280:** 1878, *Plano Hydrographico* do Porto de Lisboa (Biblioteca Nacional, levantado em 1845-1847) *in* Amorim (2017).



Uma vez que nos deparamos com muitas dificuldades em avançar no tempo com a simulação, talvez devido à baixa profundidade da baía e ao carácter intertidal desta com muitas zonas emersas na vazante e maré baixa, e como por exemplo a “barreira” gerada na simulação anterior de sedimentos a nível da parte sul da baía, que para se alterar obrigava à diminuição de velocidade de sedimentação que bloqueava o modelo, resolveu-se avançar para outro tipo de experiências com o modelo, de forma a se sair do impasse e dar resposta a outros objetivos desta tese.

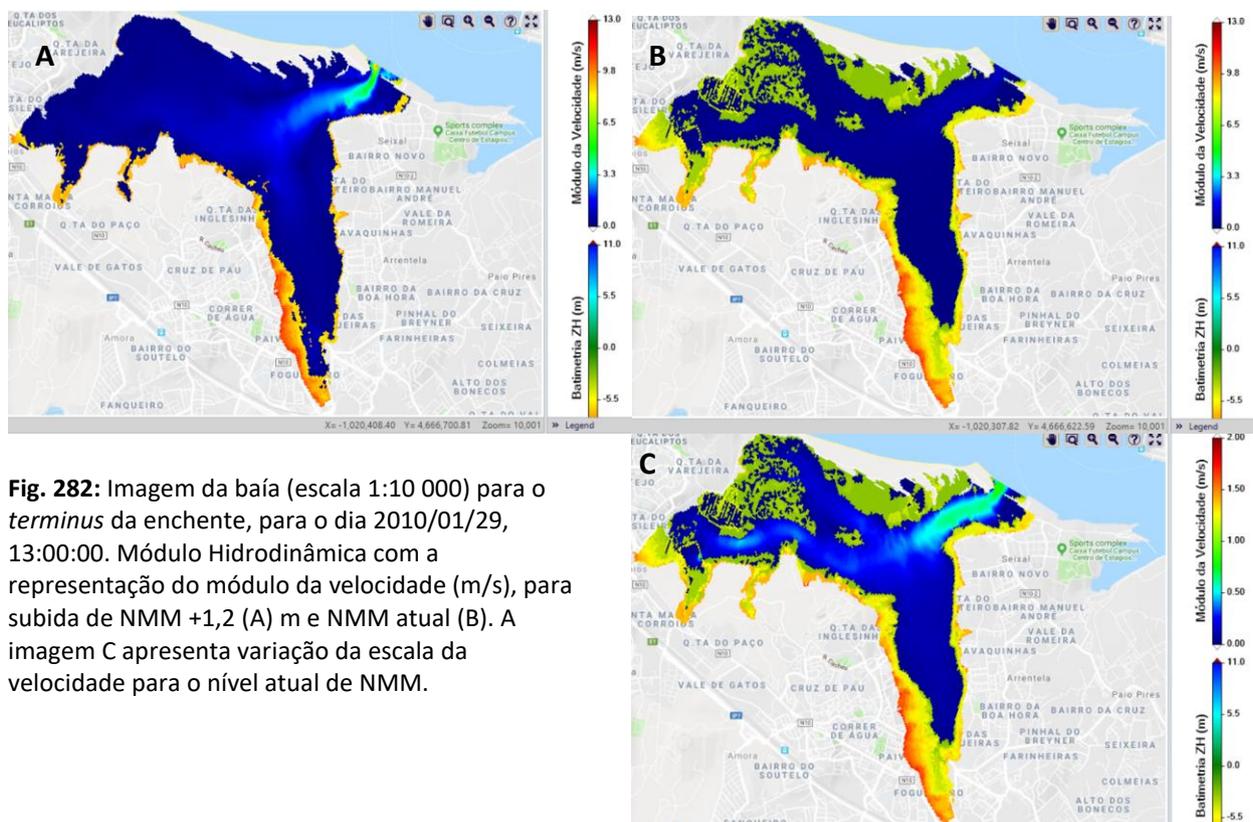
#### 7.11.4 Simulação da subida do nível do mar a 100 anos

As simulações até agora apresentadas foram feitas com o nível do mar atual (2,08 m referenciado ao ZH). No entanto, como reagirá o modelo perante as previsões do IPCC da subida do nível do mar prevista para 2100?

Antunes, 2019 projetou uma subida do NMM para Portugal, com 95% de confiança, entre 0,39 e 1,89 m para o final do século. Poderá então fazer-se a simulação de subida do NMM para a baía do Seixal e analisar as consequências no Modelo Digital de Terreno a nível da extensão da inundação prevista e da própria alteração da hidrodinâmica da baía.

Desta forma nos módulos de Hidrodinâmica e de marés, foram alterados o nível das águas de 2.08 para 3.28 m, ou seja, considerou-se o aumento do NMM de 1,2 m (fig. 282).

Note-se que devido à alteração do nível da água, a topografia invadida pelas águas é mais acidentada e foi necessário reduzir o passo de cálculo do modelo por forma a ser possível efetuar as simulações com sucesso (de 8 até ao valor final de 1) que demorou mais de 3 dias (só hidrodinâmica para 30 dias, correspondente à fase de “aquecimento” do modelo).

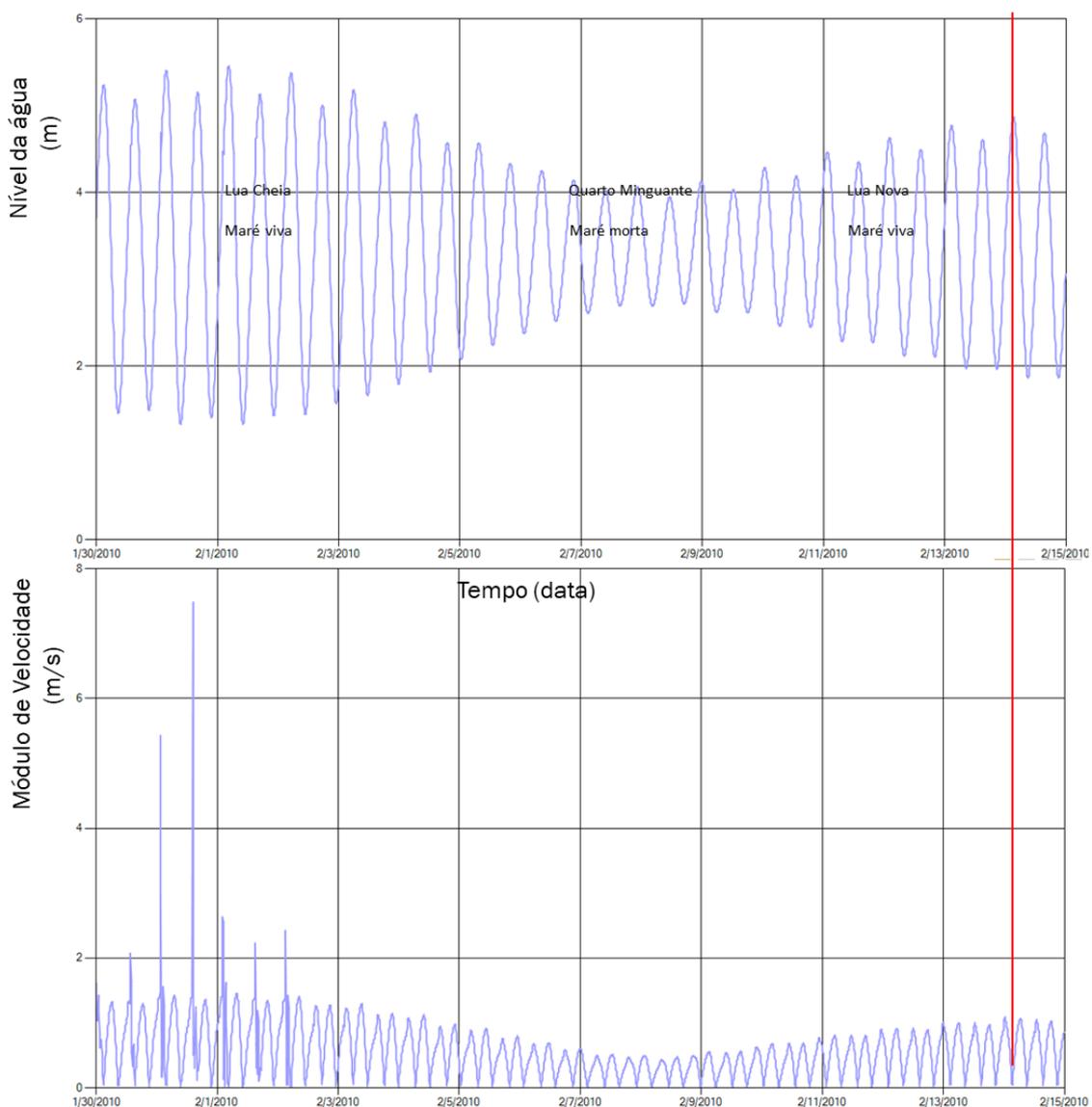


**Fig. 282:** Imagem da baía (escala 1:10 000) para o *terminus* da enchente, para o dia 2010/01/29, 13:00:00. Módulo Hidrodinâmica com a representação do módulo da velocidade (m/s), para subida de NMM +1,2 (A) m e NMM atual (B). A imagem C apresenta variação da escala da velocidade para o nível atual de NMM.

Optou-se por mostrar as imagens no *terminus* da enchente (fig. 282 A), uma vez que é possível observar-se a elevada velocidade da água na embocadura da baía provocada pelo estrangulamento à sua passagem.

Tal como vimos anteriormente, os valores da velocidade máxima na embocadura dados pela simulação do modelo da Baía para o nível atual do mar (valores a verde na fig. 271 C ~ 1,2 m.s<sup>-1</sup>) correspondem aproximadamente com os valores máximos das medições obtidas *in situ* em Silva *et al.* (2011). No entanto, para a subida do NMM de 1,2 m (fig. 282 A), a velocidade projeta-se muito superior.

Através da análise dos perfis de maré e velocidade da água (da corrente), feitos num ponto da embocadura da baía, poderá ter-se uma perceção mais detalhada da simulação a 100 anos (fig. 283).



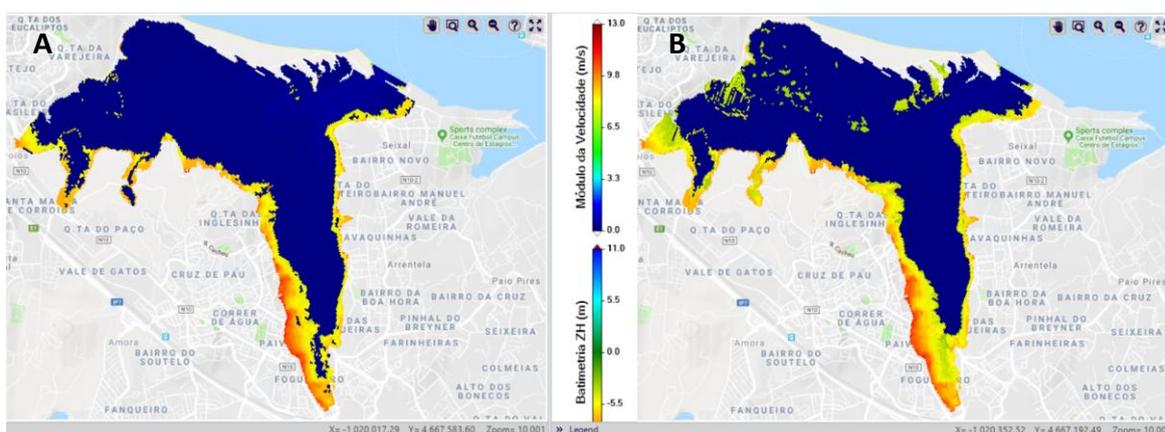
**Fig. 283:** Gráficos do perfil de maré ou nível da água (m) e do módulo de velocidade da água (m/s), num ponto da embocadura da baía, obtidos do modelo *Mohid Water*, módulo *Hydrodynamic*, para uma subida do NMM de 1,2 m.

Analizando o gráfico da velocidade, poderemos facilmente perceber que na maré viva inicial se registaram alguns picos muito elevados de velocidade que são claramente anómalos

e deverão ser ignorados, estando na base do elevado valor verificado na escala da fig. 280 A. Não considerando esses picos, consegue-se visualizar que num futuro a 100 anos as velocidades máximas serão ligeiramente superiores a 1,7 m/s, uma velocidade máxima superior à obtida para o NMM atual de 1,2 m/s, tal facto deve-se ao aumento do caudal que entra e sai da baía para um aumento do NMM de 1,2 m.

Outra diferença que rapidamente se constata é a não evidência da assimetria de maré, verificada nos gráficos da fig. 267 para o NMM atual. Se visualizarmos a linha vermelha situada no mesmo pico de maré (preia-mar) que o da fig. 267, verificamos em baixo, no gráfico do módulo da velocidade, o pico da velocidade de enchente é igual ao da velocidade de vazante, e em alguns casos é mesmo ligeiramente superior (maré viva do início do mês). Estas observações vão de encontro às afirmações de Guerreiro *et al.* (2015) em que assimetria de maré atualmente verificada será alterada “em particular porque as áreas intertidais podem diminuir até 40% até ao final do século. Em consequência, a forte dominância de vazante deste estuário irá diminuir significativamente. Esta evolução da assimetria da maré será parcialmente compensada pelo efeito da sedimentação nos rasos de maré. A subida do NMM irá também amplificar o efeito de ressonância no estuário do Tejo, o que resultará em níveis extremos superiores à soma dos níveis extremos atuais com a subida do NMM”.

Para o instante da cota máxima da preia-mar, obtemos as imagens da figura 284.



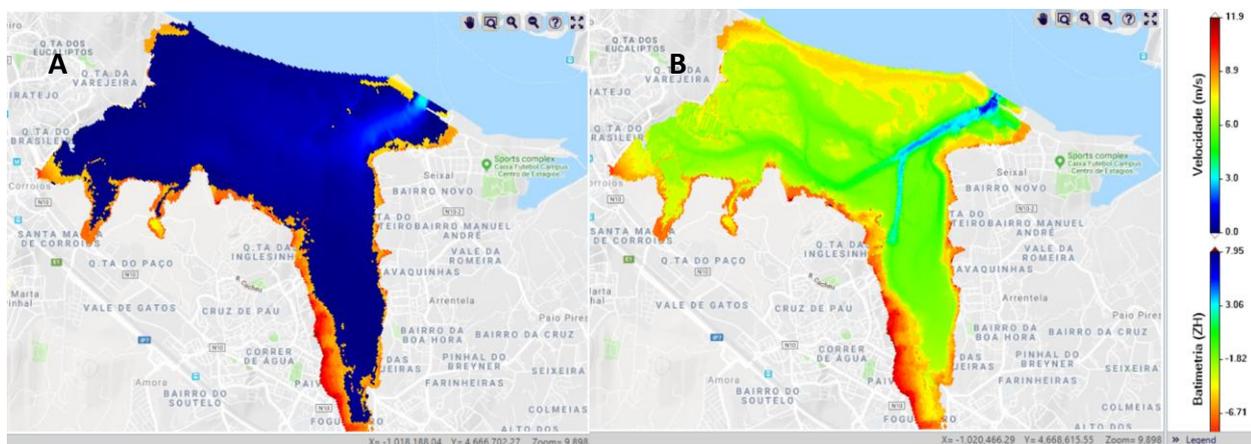
**Fig. 284:** Imagens da baía (zoom 10 mil) para a enchente máxima, ao instante do dia 2010/01/29, 15:00:00. Módulo de Hidrodinâmica com a representação do módulo da velocidade (m/s), para subida de NMM +1,2 m (A) e NMM atual (B).

Note-se a extensão do alagamento para 100 anos (fig. 284 A), atinge zonas a cotas que ao nível atual estão emersas (a verde claro na batimetria na imagem B), sendo que para a atualidade a cota da maré alta é inferior à cota máxima de marés vivas (cerca de 2.7 m referente ao ZT e que corresponde a 4,78 m referente ao ZH).

Para uma subida de 1,2 m do NMM (fig. 284 A), a cota da preia-mar em maré viva será de 5.98 m (ZH) e de 3,9 m (ZT) que na batimetria, (representada por baixo da hidrodinâmica a azul escuro), corresponde à cor amarela.

Assim, considerando a subida do nível do mar prevista para 2100, a futura linha de costa situar-se-á a 3,9 m (ZT) e repare-se que a esta cota, a restinga com cotas inferiores (< 3,9 m ZT) será completamente inundada (embora não esteja representada, pois o MDT não abrangeu a restinga toda), assim como ficará inundada toda a área de sapal atual (< 2,5 m ZT).

Fez-se então a batimetria para o resto da restinga (fig. 285 B) e fez-se a simulação da hidrodinâmica, verificando-se a inundação total da restinga (fig. 285 A), tal como reportado anteriormente através das projeções de Vargas *et al.* (2008), Rilo *et al.* (2013), Freire *et al.* (2015) e Guerreiro *et al.* (2015).



**Fig. 285:** Imagens da hidrodinâmica (módulo da velocidade, m/s) para 100 anos (+1,2 m NMM) sobre batimetria (ZH). Ao instante 6:15:00 de 6/01/2010 (A), seguido da imagem da batimetria (B).

Note-se que a existência de uma pequena área não inundada junto à boca da Baía se deve a haver um único ponto de entrada no modelo; caso se fizesse a modelação com toda a extensão da água do estuário, essa zona ficaria igualmente submersa.

No seguimento da valoração de SE anteriormente feita para a perda de sapal atual, prevê-se que daqui a 100 anos a perda de sapal será total. Assim, para o valor da medição total de sapal pelos ortofotomapas de 2013, de quase 100,3 ha, temos uma perda mínima de 182,8 mil Euros e máxima de 19,7 milhões de Euros, em SE de Sapal (Tabela 19).

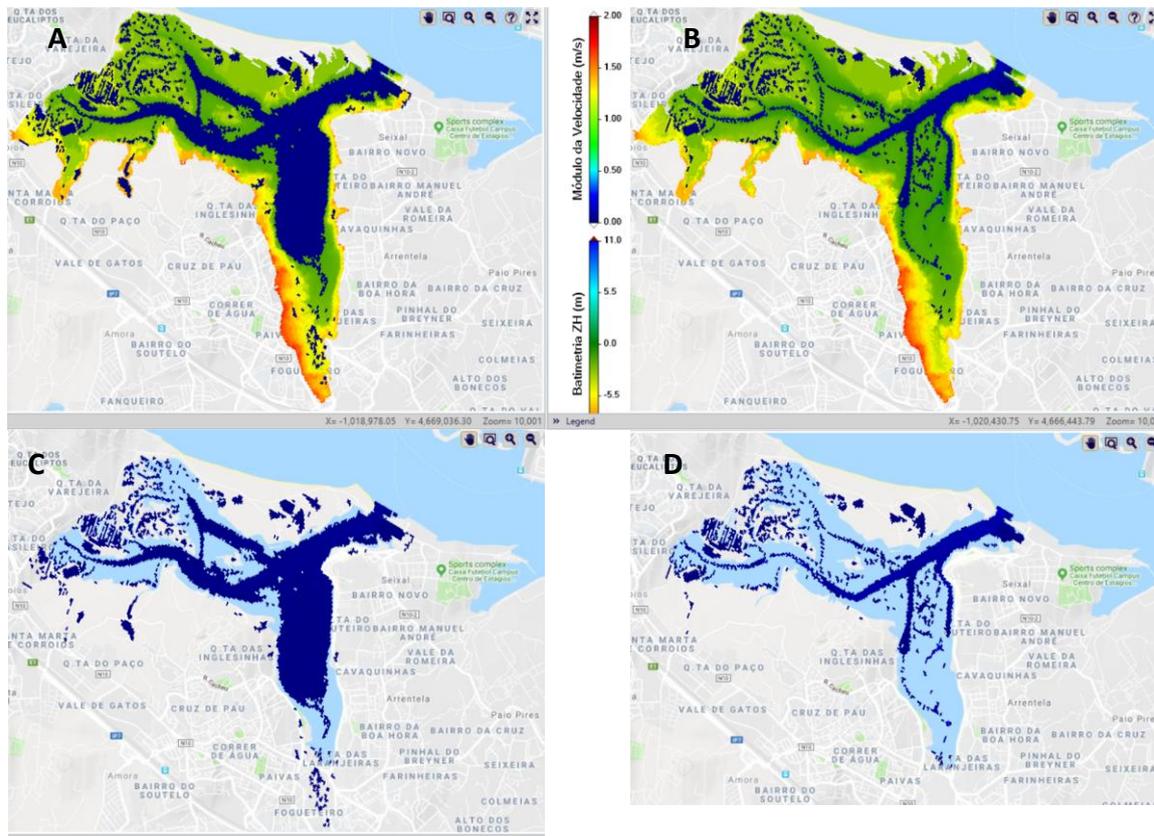
**Tab. 19:** Valoração de perda de SE de Sapal, segundo TEEB (2011), para a perda total da área de sapal da Baía do Seixal, medida em 2013. Note-se que à data do cálculo 1 Dolar = 0,89 Euro.

Valoração de Serviços de Ecossistema			
	(\$ha-1ano-1)	(Eurosha-1ano-1)	Total perda de sapal (100,29 ha)
Valor mínimo	1995	1775.55	182846
Valor máximo	215349	191660.61	19737156

A perda real em SE será muito maior em 2100, pois iremos assistir ao desaparecimento de toda a restinga (incluindo os SE da linha de praia) e as consequências que isso trará a nível dos galgamentos com o aumento das ondas, etc. e o investimento que terá de ser feito em proteção costeira de toda a Baía do Seixal elevarão em muito mais esta estimativa.

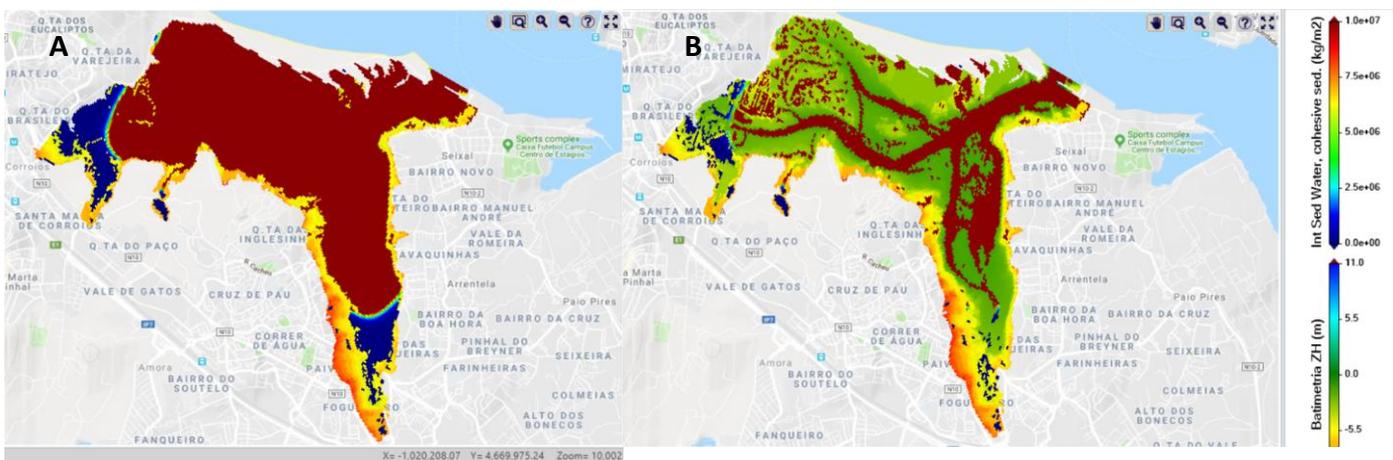
Desta forma, para 2100, as zonas Ribeirinhas de toda a baía, atualmente a uma cota entre os 2,7 m (Seixal) e os 3,5 m (ZT) também ficarão alagadas na maré cheia, sendo as zonas de maior prejuízo e danos as zonas urbanas, tais como o Seixal, a zona baixa da Arrentela, a frente ribeirinha da Amora, etc. (fig. 285 A). Vão ter de ser tomadas medidas de Ac.

Devido à dinâmica das marés e dada a planura da Baía, em situação de maré baixa estas zonas urbanas, à exceção da marginal do Seixal já ficarão emersas (fig. 286 A e C).



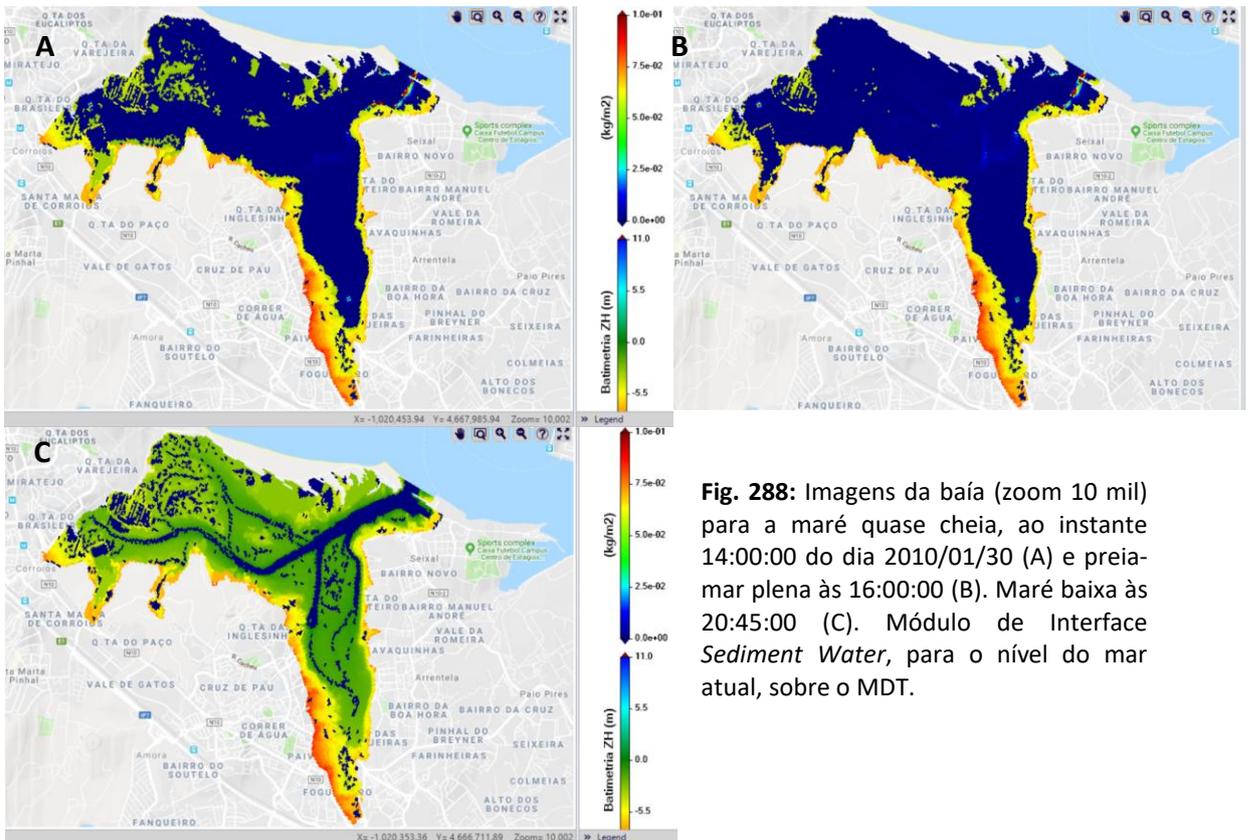
**Fig. 286:** Imagens da baía (zoom 10 mil) para a baixa-mar, ao instante 8:45:00 do dia 2010/01/29 (A). Módulo de Hidrodinâmica com a representação do módulo da velocidade (m/s), para subida de NMM +1.2 m (A e C) e NMM atual (B e D) sobre o MDT (A e B) e sem o MDT (C e D).

Na segunda simulação, calcularam-se os sedimentos e a nível do sedimento coesivo acumulado no fundo, dado pelo módulo interface sedimento/água obtêm-se as imagens da fig. 287.



**Fig. 287:** Imagens da baía (zoom 10 mil) para a maré alta (A), ao instante 14:00:00 do dia 2010/01/30 e maré baixa (B) às 20:45:00. Módulo de Interface *Sediment Water*, para subida de NMM +1,2m, sobre o MDT.

De forma a podermos comparar, para os mesmos instantes na simulação para o nível do mar atual, obtemos a fig. 288 B e C.



**Fig. 288:** Imagens da baía (zoom 10 mil) para a maré quase cheia, ao instante 14:00:00 do dia 2010/01/30 (A) e preia-mar plena às 16:00:00 (B). Maré baixa às 20:45:00 (C). Módulo de Interface *Sediment Water*, para o nível do mar atual, sobre o MDT.

Os parâmetros são exatamente os mesmos para as duas simulações, a única alteração foi o nível do mar (fig. 287 e 288). Comparando os resultados obtidos para as duas simulações verifica-se que existem diferenças notórias. Os resultados obtidos considerando uma subida de 1,2 m no nível da água prevêem um aumento da quantidade de sedimentos depositados no sistema (repare-se nas diferentes legendas das escalas). Com o nível do mar atual sedimenta muito menos sedimento coesivo, uma vez que o caudal que entra é muito menor. Verificam-se também diferenças temporais entre as duas simulações, a preia-mar é atingida na fig. 287 A às 14h e na fig. 288 B é atingida às 16h (NMM atual), existindo um *delay* de duas horas. No entanto, para se atingir a maré baixa plena, esse *delay* é reduzido para apenas 15min (maré baixa plena com NMM actual é atingida às 21:00:00 (fig. 288 C) e com a subida do NMM é atingida às 20:45:00 (fig. 287 B). Isto implica que as velocidades da enchente serão maiores que as velocidades da vazante, relativamente às velocidades atuais tal como constatado na fig. 283 e tal como previsto por Guerreiro *et al.* (2013), com a dominância da enchente sobre a vazante, o que poderá explicar também o maior aporte de sedimentos simulado para daqui a 100 anos.

Estes resultados, poderiam ser uma esperança para a sobrevivência do sapal no futuro. Contudo é necessário efetuar algumas considerações sobre a forma como foram efetuadas as várias simulações apresentadas. Na simulação considerando a subida do nível médio do mar não se alterou a altura dos sedimentos no fundo. Ou seja, daqui a 100 anos, devido ao assoreamento, o fundo poderá estar mais alto e haver menos entrada de água e de sedimento em suspensão que o simulado (com o fundo atual). Por outro lado, a velocidade de

sedimentação considerada no modelo foi elevada (0,099 m/s), equivalente à velocidade de sedimentação de um sedimento arenoso grosseiro, o que irá alterar os resultados relativamente à possível realidade. E por último, não sabemos qual a taxa de sedimentação daqui a 100 anos, pelo que não podemos saber se esta vai ser superior à velocidade da subida do NMM.

Tal como referido anteriormente, pelos registos do *core* de sedimento no sapal de Corroios por Silva (2013), estimou-se que as velocidades de acreção de sedimento no sapal de Corroios são de 6 mm.ano<sup>-1</sup>, e atualmente a velocidade de subida do NMM registada por Antunes (2019) é de 4,1 mm.ano<sup>-1</sup> (2005 a 2016). Pelo que, segundo o raciocínio de Mossman *et al.* (2013), atualmente o sapal de Corroios conseguiria acompanhar a subida do NRM. No entanto, pelas medições feitas neste estudo isso não se verifica, muito pelo contrário, o sapal da Baía do Seixal está francamente a diminuir a sua área, a uma velocidade média de 1,58 ha.ano<sup>-1</sup>, durante os 15 anos medidos, entre 1998 e 2013, tendo-se perdido 23 ha de sapal. Tal como está a acontecer no Reino Unido e em outras zonas do Mundo. O que nos leva a supor se a velocidade de acreção sedimentar actual estará mais baixa que a estimada por Silva (2013)? Segundo os dados *in situ*, na estaca colocada no sapal de Corroios houve uma acreção de sedimento de de 1 mm em 4 anos, de que resulta uma taxa de acreção de 0,25mm.ano<sup>-1</sup>, muito inferior à taxa prevista por Silva (2013) (6 mm.ano<sup>-1</sup>) e muito inferior à velocidade de subida do NMM (4,1 mm.ano<sup>-1</sup>), o que poderá justificar os resultados da perda de sapal que se registaram. O aumento da intensidade e frequência dos eventos extremos e erosão associada (como por exemplo os que ocorreram em 2014 e se repercutiram nos dados anteriormente estudados de perda de sedimento inicial), poderão também ter tido alguma influência na perda de sapal verificada nas últimas décadas.

Daqui a 100 anos estima-se que a velocidade de subida do NMM vai aumentar de forma acelerada, mas a velocidade de sedimentação permanece ainda uma incógnita, tudo indica que poderá aumentar, mas poderá não ser suficiente para fazer frente à subida do NMM.

Segundo CNA (2012), prevê-se que para além da subida do NMM, haverá implicações na fisiografia das restingas e das embocaduras (com tendência para uma maior instabilidade das restingas e para uma migração mais acelerada para o interior dos estuários) e proporcionará maiores consequências, em ocasião de tempestades, por possibilitar uma maior aproximação das rebentações das ondas em relação à linha de costa e ao baixo estuário. O escoamento no mar das águas do rio em situações de cheia será mais dificultado originando um aumento do nível das águas no estuário bem como na hidrodinâmica e na hidromorfologia de todo o estuário.

Em resultado, muito previsivelmente, haverá um agravamento das ações erosivas nas margens e praias estuarinas, um aumento da influência das marés e do balanço sedimentar. A manutenção ou o incremento das condições de navegabilidade poderá exigir um maior esforço de dragagens. Mas estes efeitos terão uma grande variabilidade de local para local e não são indissociáveis da variabilidade climática (CNA, 2012).

O agravamento das condições meteorológicas extremas como o aumento de chuvadas intensas (com repercussões nos caudais do rio), assimetria sazonal da precipitação, aumento de temporais no mar (aumento da frequência de ocorrência de ondas maiores próximo da

costa, alteração da frequência de rumos, aumento do número e persistência de temporais) bem como de potenciais alterações no regime de ventos (direções e intensidades), serão consequências das alterações climáticas. O também previsível aumento das situações de seca e das temperaturas terá implicações a nível da qualidade das águas estuarinas e dos atuais ecossistemas (CNA, 2012).

A prevista diminuição da pluviosidade também poderá implicar uma diminuição no aporte de sedimentos das ribeiras efluentes da Baía, no entanto o nível de incerteza é elevado, uma vez que o igualmente previsto aumento da desertificação, que implicará maior erosão e o aumento dos eventos extremos com chuvadas curtas e intensas, poderão implicar um maior aporte de sedimentos.

#### 7.11.5 Simulação de uma proposta de Adaptação

Para combater o desaparecimento de sapal, já comprovado por fotografia aérea, por estacas e fotografia *in situ*, durante os 4,5 anos de estudo, e no âmbito das formas de A, Loon-Steensma (2013) dá-nos a solução de acrescentar sedimento em pontos estratégicos de distribuição tais como os canais do sapal. Esta solução terá de ser cuidada e estudada, a quantidade de sedimento deverá ser tal que os canais não poderão ficar demasiado assoreados, de forma a constituir uma barreira à passagem da água e o tipo de sedimento deverá ser silto-argiloso, de forma a ter a capacidade de suspensão na água e se movimentar, distribuindo-se e colmatando a zona.

Dada a impossibilidade, no âmbito deste trabalho, de fazer esta experiência *in situ*, tentou-se recreá-la através de uma simulação com o modelo *Mohid Water*. Assim, efetuou-se uma simulação em que se acrescentou um ponto de adição de sedimento (para além dos pontos das ribeiras já simulados anteriormente, do Rio Judeu e da Ribeira de Corroios) numa zona de canal perto do sapal de Corroios (Canal de Sapal N), uma vez que este é o sapal mais extenso e importante, e que, como vimos anteriormente, está a recuar.

Fez-se então a adição de um ponto de libertação de sedimento através da criação de mais um ponto de descarga (Canal de sapal N):

```
<begindischarge>
NAME                : Ribeira de Corroios
DESCRIPTION         : Valor calculado
I_CELL              : 74
J_CELL              : 28
DISCHARGE_UNIFORM  : 1
DEFAULT_FLOW_VALUE : 0.25
!DATA_BASE_FILE    : ..\..\GeneralData\Discharges\Almour01.txt
!FLOW_COLUMN       : 2

<<beginproperty>>
NAME                : cohesive sediment
UNITS                : mg/l
DESCRIPTION         : No description was given.
DEFAULTVALUE        : 30.0
!FILENAME           : ..\..\GeneralData\Discharges\Tagus2011.txt
!!TIME_SERIE_COLUMN : 3
<<endproperty>>
<enddischarge>

<begindischarge>
NAME                : Rio Judeu
```

```

DESCRIPTION          : Valor calculado
I_CELL               : 54
J_CELL               : 230
DISCHARGE_UNIFORM    : 1
DEFAULT_FLOW_VALUE   : 0.15
!DATA_BASE_FILE      : ..\..\GeneralData\Discharges\Almourol.txt
!FLOW_COLUMN         : 2

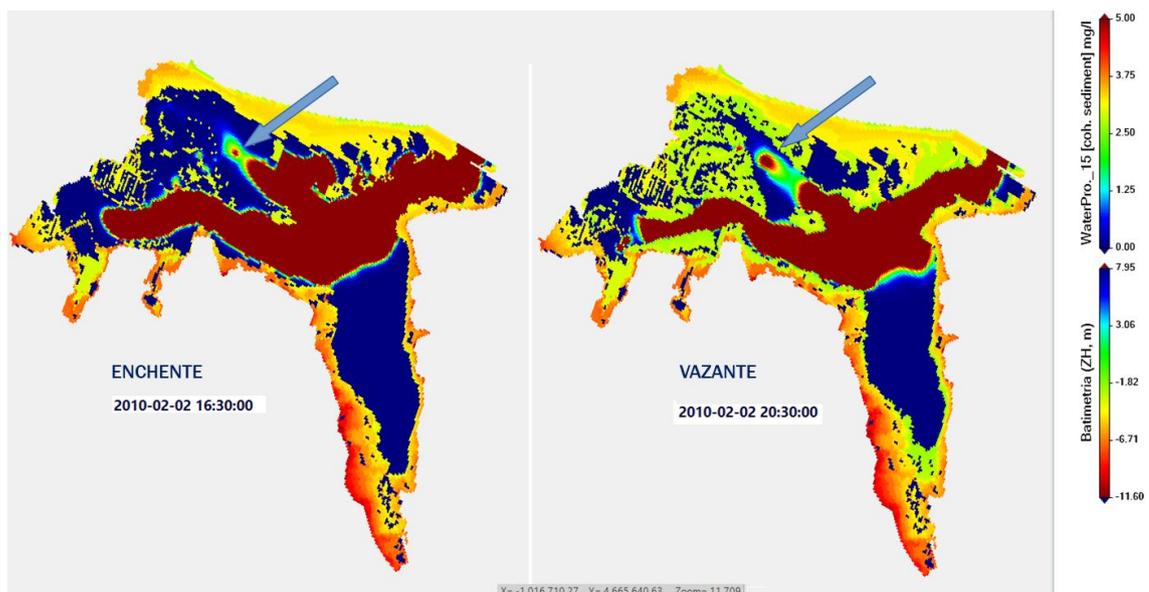
<<beginproperty>>
NAME                 : cohesive sediment
UNITS                : mg/l
DESCRIPTION          : No description was given.
DEFAULTVALUE         : 35.0
!!FILENAME           : ..\..\GeneralData\Discharges\Tagus2011.txt
!!TIME_SERIE_COLUMN : 3
<<endproperty>>
<enddischarge>

<begindischarge>
NAME                 : Canal de sapal N
DESCRIPTION          : Valor calculado
I_CELL               : 128
J_CELL               : 100
DISCHARGE_UNIFORM    : 1
DEFAULT_FLOW_VALUE   : 0.25
!DATA_BASE_FILE      : ..\..\GeneralData\Discharges\Almourol.txt
!FLOW_COLUMN         : 2

<<beginproperty>>
NAME                 : cohesive sediment
UNITS                : mg/l
DESCRIPTION          : No description was given.
DEFAULTVALUE         : 1000
!!FILENAME           : ..\..\GeneralData\Discharges\Tagus2011.txt
!!TIME_SERIE_COLUMN : 3
<<endproperty>>
<enddischarge>

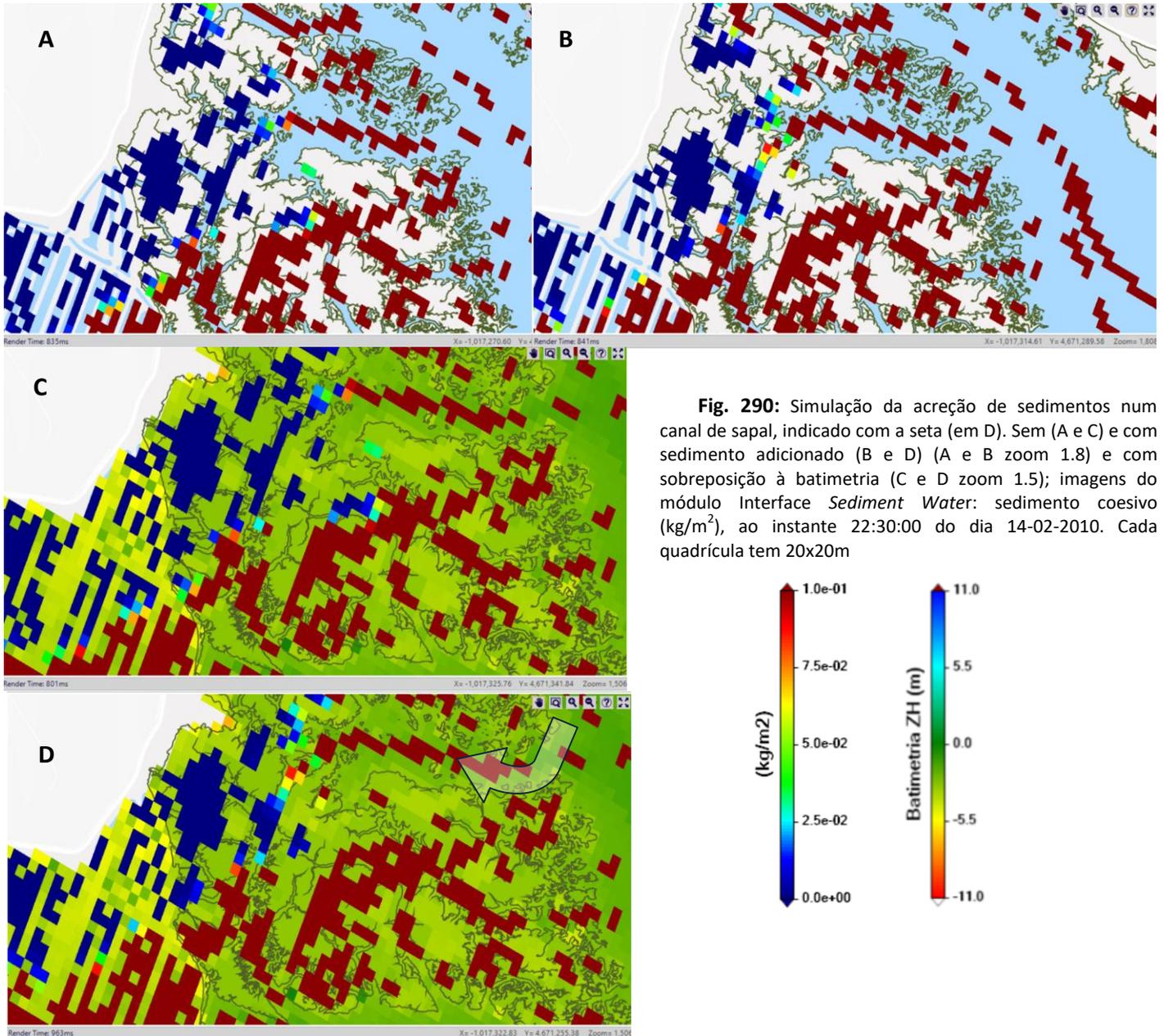
```

As imagens obtidas para o sedimento coesivo suspenso na coluna de água (fig. 289), permitem verificar que existe uma “pluma” de sedimento coesivo maior na vazante que na enchente, devido à assimetria de maré que se regista atualmente. Essa dominância da vazante sobre a enchente poderá implicar alguma perda de sedimento.



**Fig. 289:** Simulação da acreção de sedimentos, proposta em Loon-Steensma(2013) (11) num canal de sapal, indicado com a seta. Imagens do módulo Interface *Water properties*: sedimento coesivo (mg/l), num instante da enchente e da vazante, para o NMM atual.

No entanto, para saber se a experiência tem resultados, precisamos de analisar as imagens para o sedimento coesivo que se deposita no fundo. Através da comparação das imagens obtidas entre a simulação 15 (fig. 290 B e D) com adição de sedimento no canal do sapal e a simulação 4(9) sem essa adição (fig. 290 A e C), sobrepondo ao limite do sapal e à batimetria, respetivamente, obtemos:



**Fig. 290:** Simulação da acreção de sedimentos num canal de sapal, indicado com a seta (em D). Sem (A e C) e com sedimento adicionado (B e D) (A e B zoom 1.8) e com sobreposição à batimetria (C e D zoom 1.5); imagens do módulo Interface *Sediment Water*: sedimento coesivo ( $\text{kg}/\text{m}^2$ ), ao instante 22:30:00 do dia 14-02-2010. Cada quadrícula tem 20x20m

Note-se que houve efetivamente um acréscimo de sedimento coesivo no fundo dos canais do sapal e que o sedimento se deslocou para montante, revelando um ganho e não uma perda para fora do sistema.

A solução dada da acreção sedimentar, de forma a permitir que o sapal acompanhe a subida do nível do mar, parece ser uma então solução viável e que seria fácil de aplicar, com baixo custo e com resultados, se feito de uma forma continuada e monitorizada.

Como é uma zona muito localizada junto ao sapal de Corroios, tal como revela o modelo, não haveria complicações de assoreamento de outros canais navegáveis. No entanto, caso esta experiência fosse repercutida a uma maior escala se houvesse uma má divulgação e o não envolvimento dos diferentes atores nesta solução, poderiam surgir problemas. Efetivamente existem várias associações de náutica de recreio e canoagem ao longo da baía, assim como um número elevado de pessoas com barcos de recreio e de trabalho: os pescadores e mariscadores. Estas pessoas preocupam-se com o assoreamento da baía e querem precisamente dragar os canais tornando-os mais fundos e navegáveis. Isso teria consequências diretas em toda a dinâmica da baía. Por exemplo, existe uma intenção de execução de uma marina na Amora, para a qual ter-se-iam de dragar os canais até à marina, onde teria de haver uma dragagem profunda (cerca de 2 m) para possibilitar a atracagem dos barcos permanentemente em água. Esta obra poderia destabilizar o sistema atual, uma vez que a hidrodinâmica nos canais e a dinâmica de sedimentos iria alterar-se e muito provavelmente ter um efeito erosivo a nível da envolvente, principalmente nas margens e nas zonas de sapal.

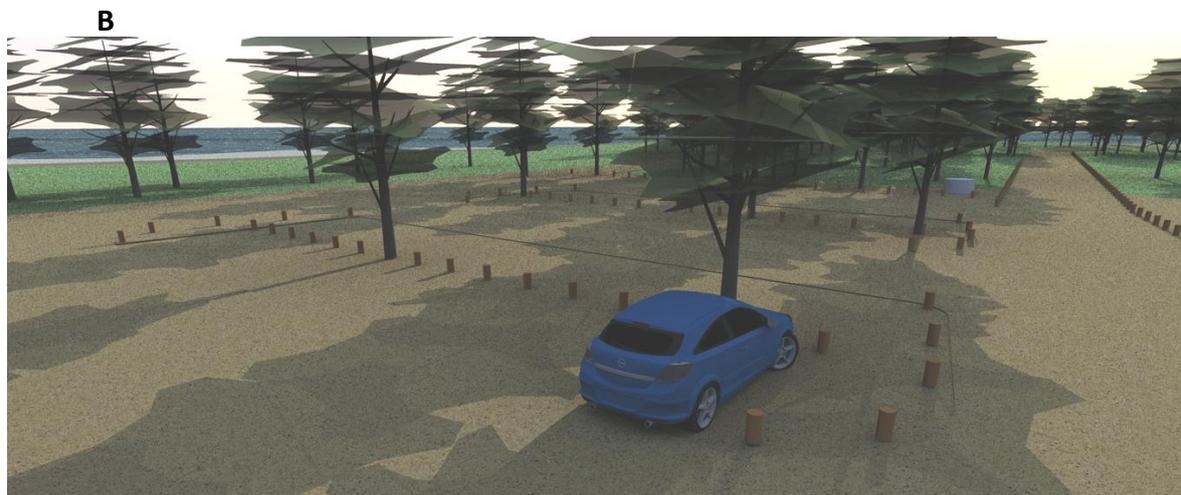
Hoje em dia, devido à Lei nº 49/2006, de 29 de Agosto, é proibida a retirada de sedimentos do ciclo natural, que deverão ser utilizados na alimentação artificial de praias, embora outras questões se levantem, como sejam a qualidade desses dragados e a sua compatibilidade com o local de depósito. Efetivamente, antes deste diploma, grande parte das areias extraídas eram utilizadas na construção civil. A retirada desses inertes era realizada não somente nos portos e seus acessos, mas também nos cursos de água que desaguam no litoral. Qualquer ação deste género terá necessariamente de ter o avalo do Porto de Lisboa, da Direção Regional de Lisboa Vale do Tejo e Alentejo e eventualmente da APA.

## 7.12 Propostas futuras

Perante os resultados desta tese e para dar continuidade ao estudo elaborado, de forma a reforçar a resiliência do Sapal e da proteção costeira da Baía do Seixal, sugerem-se diversas ações, para um futuro que se prevê não muito longínquo:

Na Ponta dos Corvos e ao longo da restinga do Alfeite, dever-se-ia efetuar o reforço dunar através de mobilização de areias para formação de uma duna primária e secundária, seguida de colocação de estruturas de contenção de areias e plantação de vegetação dunar; reforço de plantação de árvores e arbustos mediterrâneos nas zonas mais altas e junto à estrada; reforço de plantação localizada de vegetação de sapal no lado da baía; proibição e impedimento de circulação motorizada com estruturas físicas, propor zonas de estacionamento para carros, com faixas de dissuasores, de forma que estes não saiam das vias de circulação e zonas de estacionamento; o uso balnear deveria ser enquadrado e condicionado às zonas de maior capacidade de carga, garantido pela execução de passadiços de forma a canalizar as pessoas e não haver a dispersão e o pisoteio da vegetação/mobilização/destruição.

Estas medidas foram propostas por mim e pela Arq. Alexandra Castro, como pertencentes à equipe de projeto da CMS num projeto de intervenção na restinga, mas que ainda não teve continuidade (fig. 291).



**Fig. 291:** Imagens 3D do projeto de “Requalificação da Ponta dos Corvos”, Programa Base, memória descritiva, passadiços sobre a praia da Ponta dos Corvos e reforço de plantação dunar, arbórea e de sapal(A), e organização e delimitação com pilaretes do estacionamento e via de acesso (B). (imagens feitas em *AtoCAD* e *Scetch Up*, elaboradas por mim e pelo e Arq. Rui Coelho enquanto Técnicos da CMSeixal, com base no trabalho em *AutoCAD* e *Scetch Up* feito por mim para esta tese (delimitação e representação 3D da baía, fig. 78 e 140).

Na zona de sapal, deveriam ser efectuadas experiências de acreção de sedimento coesivo na vasa no sapal de Corroios, tal como foi simulado para esta tese, devidamente monitorizadas e enquadradas por equipa científica de forma a permitir que o sapal consiga acompanhar a subida do NMM.

Dever-se-ia garantir que as proteções costeiras pesadas não afetem ou comprimam mais o ecossistema de sapal (Mossman *et al.* 2013 e NE & RSPB, 2014). Dever-se-ia optar sempre que possível por estruturas híbridas, como as que foram aqui indicadas e outras que possam surgir no futuro. Desta forma, sempre que possível, todas as dragagens que fossem feitas deveriam depositar-se os sedimentos em rampa inclinada (10%), ao longo das margens, de forma a proteger as defesas costeiras existentes com sedimentos e vegetação de sapal que

naturalmente irá crescer nessas zonas, tornando as soluções de defesa pesada em soluções mistas ou híbridas, mais resilientes à ondulação e erosão estuarina e mais flexíveis e adaptáveis à subida do NMM.

A nível do ordenamento, dever-se-ia envolver os técnicos e os agentes políticos das Autarquias locais (Seixal e Almada, etc.) no sentido de evitar a legalização e o avanço de urbanizações pelo menos nas zonas inundáveis a 100 anos, de forma a minorar a sua vulnerabilidade e os futuros gastos em proteção costeira, assim como a destruição de zonas de sapal. E sempre que haja demolições, ou reconversões nessas zonas, sejam dadas compensações a montante e de preferência as áreas sejam renaturalizadas (sem construções). Esta medida de correto ordenamento do território, poderia ou deveria ser vinculativa a nível nacional através de DL.

Dadas as várias soluções possíveis de Ac, seria interessante num futuro próximo fazer entrevistas com atores locais de forma a estudar a sua aceitação para estas e outras medidas de adaptação costeira e a sua exequibilidade num futuro próximo.

Caso houvesse ainda mais capacidade técnica e meios, a proposta deveria ser baseada num Processo de Gestão Integrada da Zona Costeira (ICZM) onde seriam feitas entrevistas e *workshops* com os vários atores que intervêm nestes ecossistemas, através da avaliação participativa (Pankaj, 2011; CRF, 2013):

- Informar e envolver as diferentes partes interessadas (ou não) sobre as ACs e as diferentes formas de Ac;

- Envolver esses atores no processo de propostas e planeamento, tomando partido do conhecimento empírico local, do conhecimento técnico (fig. 292), e das diferentes perspetivas, tal como sugestão e debate de novas medidas para a proteção costeira e resiliência dos sistemas naturais (dunas e sapais).

- Efetuar uma avaliação participativa dos diferentes Serviços de Ecossistema de Sapal, e das diferentes formas de Ac, suaves e pesadas, de seus custos e benefícios do ponto de vista ambiental, social e económico, com vista a uma análise de custo/benefício simplificada (*Simplified Participatory Cost-Benefit Analysis -SPCBA*) (Tabela 20).

- Análise dos dados, alteração das soluções, incorporação da novas ideias, conclusões;

- Divulgação dos resultados da avaliação, estratégias, captação de recursos, e (se possível) um programa de implementação, monitorização e melhoria.

**Tab. 20:** Tabela exemplificativa para uma análise de custo/benefício simplificada sobre as possibilidades de Ac.

	CUSTO (0-5)				BENEFÍCIO (0-5)				B/C
	AMBIENTAL	ECONÓMICO	SOCIAL	TOTAL	AMBIENTAL	ECONÓMICO	SOCIAL	TOTAL	
MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO COSTEIRA									
SAPAL - ACREÇÃO DE SEDIMENTO NA VASA									
PROTEÇÃO DA VEGETAÇÃO DUNAR/ADIÇÃO DE AREIA									
CONSTRUÇÃO DE DIQUES (VERTICAIS)									
CONSTRUÇÃO DE COMPORTAS (FECHO DA BAÍA)									
SOLUÇÕES MISTAS (AREIA/SAPAL E DIQUE)									
OUTRAS									



**Fig. 292:** Fotografias do *Workshop* “Adaptação às ACs na AML”, promovido pelo Projeto BASE, CCIAM, FCT, FC(UL), AML, com técnicos das autarquias da AML (2 e 3 de Junho de 2014), onde participei (até aquela data, tinham sido realizadas experiências similares em Aveiro e Cascais). Atualmente a AML já realiza estas ações nas autarquias da Área Metropolitana de Lisboa.

Caso se tenha capacidade (meios) para se chegar a uma valoração dos diferentes SE de Sapal, poderá ser feita uma análise de custo/benefício “clássica” relativamente ao custo de manutenção do sapal de Corroios por deposição de sedimento, face aos benefícios que as pessoas vão poder continuar a usufruir graças à sua manutenção.

Espera-se assim que toda a comunidade esteja cada vez mais consciente e empenhada nesta defesa costeira e sobrevivência a longo prazo de todo este património ambiental, geológico, biológico, cultural, económico e social, podendo algumas destas ações serem feitas com a ajuda de voluntariado como no caso da Costa Este da Virgínia (EUA), VEEWCS (2011) (fig. 293).



**Fig. 293:** Imagens do voluntariado e workshops no caso da Costa Este da Virgínia (EUA), VEEWCS (2011).

Por fim, seria desejável a implantação de um centro de interpretação (estrutura em palafita e materiais reciclados/áveis), com mais locais para observação das aves (fig. 294), desenvolvendo o conhecimento e a divulgação científica, que ajude a dignificar todo este ecossistema e a protegê-lo, pois só através do conhecimento é que o homem poderá entender e respeitar os ecossistemas, sendo então ele próprio o seu maior defensor, contribuindo para a sua preservação e sobrevivência (fig. 295).

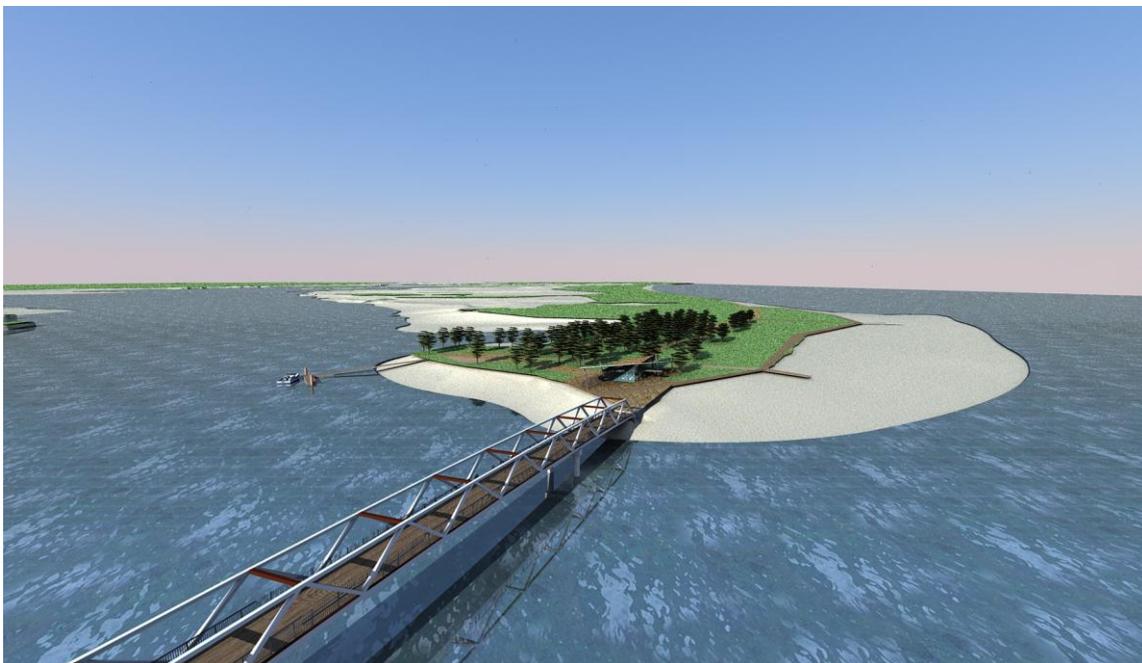


**Fig. 294:** Sala de exposições do centro de Interpretação: Espaço de Visitação e Observação de Aves (EVOA) (A), sito na Reserva Natural do Estuário do Tejo, e vista de um dos seus observatórios para as lagoas naturais (B) (Jun. 2014).



**Fig. 295:** Saída de educação ambiental no âmbito da Ciência Viva no Verão, organizada por uma ONGA (Núcleo de Lisboa da FAPAS), na qual dou o meu apoio, com o Biólogo João Morais, para a divulgação do conhecimento do ecossistema lacustre, vegetação do sapal e observação de aves, respetivamente, na restinga do Alfeite e Sapal de Corroios (Set. de 2013).

A nível das estruturas de defesa aderente de toda a zona ribeirinha, deverão ser colocadas campânulas de fim de linha, tal como se fez para o Seixal. A médio prazo terão de ser colocados sistemas de bombeamento temporários (eventos extremos) e que mais tarde serão permanentes (estratégia de acomodação). A médio prazo, terá também de se subir a cota de coroamento das estruturas costeiras aderentes, de preferência com sistemas híbridos (estratégia de defesa ) e/ou, a longo/médio prazo, poderá ter de se bloquear a entrada de água pela embocadura da baía com um sistema de comportas, sempre que o nível da água se aproxime da cota de coroamento das estruturas aderentes, e abrindo-se, assim que o nível baixe, permitindo a renovação da água da baía e a sua saída na maré baixa, preservando as estruturas de defesa costeiras e a coexistência dos ecossistemas do sapal e dos rasos de maré e detodos os seres vivos dependentes destes, assim como a manutenção das atividades sócio-económicas (fig. 296).

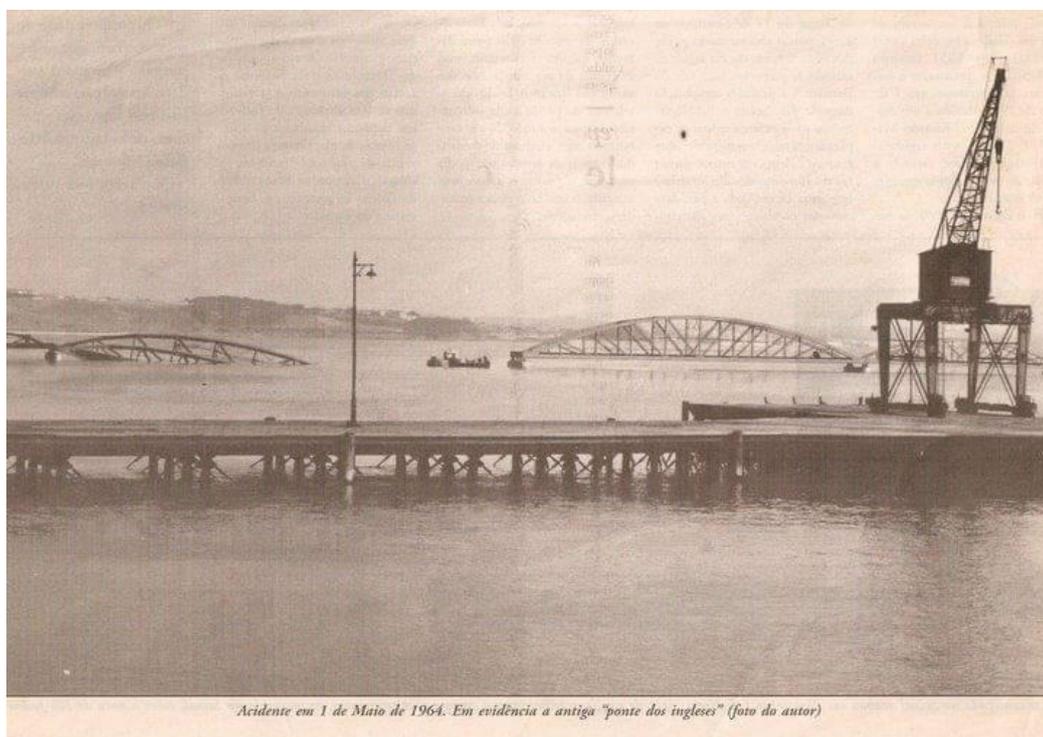


**Fig. 296:** Imagem 3D do projeto de “Requalificação da Ponta dos Corvos”, Programa Base, nomeadamente a proposta de ligação pedonal do Seixal à Ponta dos Corvos, que poderia ser dotada de um sistema de comportas que fechava sempre que o nível da água fosse considerado perigoso para a inundação das povoações da Baía do Seixal (imagens feitas em *AtoCAD* e *Scetch Up*, elaboradas por mim e pelo e Arq. Rui Coelho enquanto Técnicos da CMSeixal, com base no trabalho em *AutoCAD* e *Scetch Up* feito por mim para esta tese (delimitação e representção 3D da baía, fig. 78 e 140).

Esta proposta não é inteiramente original, lembre-se que a baía já teve uma ponte ferroviária que ligava o Seixal à Ponta dos Corvos, mas que nunca chegou a ser concluída (fig. 218), devido à ruína da “Ponte dos Ingleses” que ligava o Seixal ao Barreiro (fig. 297).

No entanto, para esta medida ser viável/eficaz, terá de ser feito também o reforço de toda a restinga do Alfeite com aterros, à medida que o NMM for subindo.

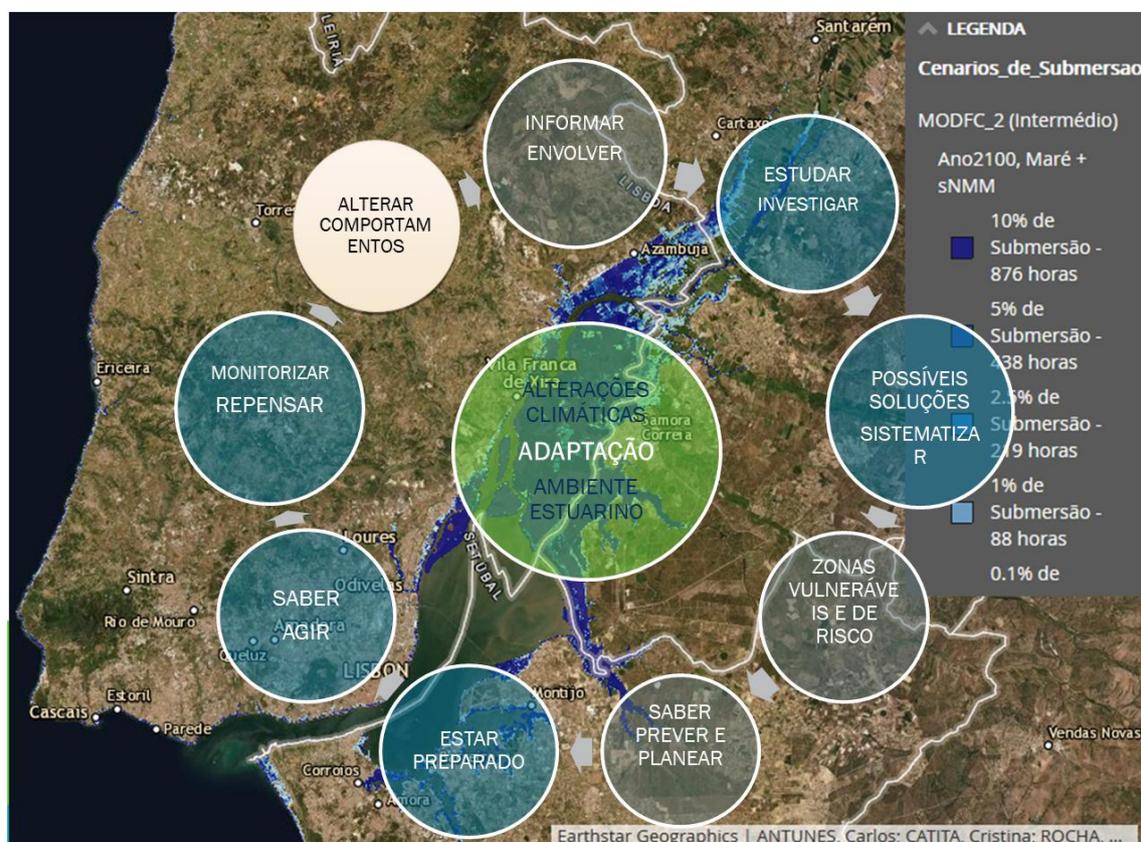
Se alargarmos a escala espacial para a vulnerabilidade à inundação de todo o Estuário do Tejo (fig. 90 A), esta soluço de comportas poderia ser feita, (  semelhança de Londres) no próprio Estuário do Tejo (zona mais estreita a jusante ou aproveitando os pilares da Ponte 25 de Abril), protegendo assim todos os Concelhos da AML. No entanto, esta não   uma obra fácil, dada a profundidade do gargalo do Tejo e as elevadas velocidades das correntes, com caudais muito elevados e dificeis de controlar. Devemos também ter em conta que por melhor que seja a estrutura de engenharia, ela pode falhar e aí as consequências seriam catastróficas. Lembremo-nos que já houve problemas nas comportas de Veneza e mesmo no Seixal, quando ru u a ponte ferroviária que ligava ao Barreiro (fig. 297).



**Fig. 297:** Ruína da Ponte ferroviária “dos Ingleses” que ligava o Barreiro ao Seixal, a 1 de Maio de 1964, por uma colisão de uma embarca o. Foto de arquivo CMS.

Com as previsões da contínua e acelerada subida do NMM, a estratégia de retirada e deslocaliza o das povoa es para cotas mais elevadas, ou a acomoda o (casas flutuantes, etc.), poderão ser as única soluço e as mais seguras, a longo prazo (> 100 anos).

Por último, e de uma forma esquemática, temos de pensar e agir para a atual e futura adaptação à subida do NMM (aplicando-se também às restantes consequências das ACs), sempre de uma forma integrada, participativa, monitorizada, cíclica e contínua (fig. 298).



**Fig. 298:** Sobreposição de esquema de adaptação às ACs, sobre o cenário de submersão em 2100 para o Estuário do Tejo, simulação com aumento do NMM de 1,15m. In <http://www.snmportugal.pt/>.

## 8. Conclusões

Podemos concluir pelos resultados da investigação desta tese que, as conclusões do estudo de Silva (2013) relativamente ao Sapal de Corroios se verificam, isto é o Sapal de Corroios está em risco de desaparecer com a subida do NMM, facto que já se constata pelo recuo acentuado das frentes de sapal mais expostas, e o avanço para terra (restinga), através da análise dos ortofotomapas dos últimos anos. Houve uma perda efetiva de sapal entre 1998 e 2013, de 23,7 ha, isto é, em 15 anos perderam-se 18,7% da área que existia em 1998 (126,7 ha). Este recuo poderá estar relacionado não só com a subida do NMM, mas também com a perda de sedimento e/ou a muito baixa taxa de sedimentação, registada *in situ*, para algumas estações em raso de maré, o que implica o aumento do tempo de submersão do baixo sapal, a erosão dos taludes de sapal verificada, etc. por sua vez também relacionada com o aumento da intensidade e frequência de eventos extremos.

Os valores fornecidos e a constatação *in situ* do recuo de sapal e da linha de costa da praia da restinga do Alfeite, ao longo da execução desta tese (2015-2019) pela análise comparativa

de fotografias tiradas *in situ*, em anos diferentes e verificação nos ortofotomapas, são alarmantes e reveladoras da rápida evolução que a subida do NRM está a ter, e as suas consequências, sobretudo na primeira frente: o sapal e a faixa arenosa da Restinga do Alfeite.

No entanto, na maior parte dos casos da baía o recuo e a sobrevivência do sapal não é possível, e se não forem propostas medidas de proteção costeira suave e/ou híbridas, levará ao desaparecimento do sapal e erosão acentuada das estruturas de defesa costeira existentes, que poderão deixar de ser eficazes num futuro não muito longínquo, com a subida do NMM estimada em 1,14 m para 2100 (Antunes, 2019) e que continuará a subir, segundo um perfil que se aproxima do exponencial, devido à prevista e já registada aceleração da velocidade da subida do NMM.

As propostas apresentadas não são exaustivas e não representam o universo possível de soluções, havendo necessidade de uma monitorização constante das medidas propostas e a sua própria reavaliação, segundo um processo de EBM. Desta forma será sempre inesgotável a necessidade continuada de investigação, monitorização e imaginação para nos adaptarmos continuamente ao futuro.

Segundo Krugman (2010), poderíamos pensar que a incerteza que se instala nestas questões debilita o argumento a favor da ação, no entanto, na realidade, só o reforça. Martin Weitzman, Professor de Economia na Univ. de *Harvard* argumenta que se há uma possibilidade significativa que ocorra uma catástrofe absoluta, essa possibilidade (mais do que a questão de que é mais provável que suceda) deveria dominar os cálculos dos custos frente aos benefícios. Este risco de catástrofe, mais que os detalhes dos cálculos dos custos/benefícios, é o argumento mais poderoso a favor de uma política climática rigorosa. Esta postura em relação à [Mi](#), também se aplica à [Ad](#), veja-se o caso dos sapais em que a simples deposição de sedimento seria suficiente para os manter resilientes face à subida do NMMG e evitar futuros custos de proteção costeira muito mais dispendiosos. Desta forma, as políticas e ações de [Mi](#) e [Ad](#) têm de ser mais fortes e eficazes.

Em resumo, uma grande variedade de opções e ações de [Ad](#) já pode ser observado na faixa costeira, dependendo da tecnologia, política, suporte financeiro e constitucional e são apoiadas por documentação sobre boas práticas. Assim, a ICZM e os SE poderão ser importante meios e ferramentas para proteger e reforçar os Ecossistemas naturais tais como os sapais, mas também as dunas, os mangais e os recifes de coral (nas zonas tropicais), e as pradarias de ervas marinhas, que naturalmente nos protegem destas ameaças, e garantem uma série de muitos outros serviços/benefícios.

Apesar da riqueza das ações de [Ad](#) no litoral, deve, no entanto, ser enfatizado que o cumprimento das metas e objetivos múltiplos de [Ac](#), a melhoria da governação, representando as populações mais vulneráveis e os setores, e integrando plenamente os ecossistemas naturais, ainda é em grande parte uma aspiração. Enquanto isso, o desenvolvimento continua em zonas costeiras de alto risco, os ecossistemas costeiros continuam a ser degradados em muitas regiões, os recursos de água doce do litoral estão a ser super explorados em muitas áreas densamente povoadas e a vulnerabilidade a desastres costeiras cresce (IPCC (2007a); Jentoft, 2009).

Segundo o IPCC (2007a), a informação sobre as diferentes opções de A não poderá servir, se não estiver suportada por assistência financeira e tecnológica, assim como organizações que sirvam de interface entre a ciência e a prática (Tribbia & Moser, 2008). A A e os processos de decisão devem ser participados e inclusivos, integrando todos os atores (partes interessadas) de uma forma culturalmente apropriada (Milligan *et al.*, 2009; Nunn, 2009). O processo de A deverá fomentar a aprendizagem mútua, a experimentação e deliberação entre as partes interessadas e investigadores (Fazey *et al.*, 2010; Kenter *et al.*, 2011). O conhecimento científico e empírico (indígena) não deverão ser considerados isoladamente (Sales, 2009; Dodman & Mitland, 2011). Finalmente, os sistemas costeiros como são complexos, diversificados e dinâmicos, a sua governança precisa de experimentação e aprendizagem pela ação, monitorizando e repensando (Jentoft, 2007).

A gestão sustentável destes Ecosistemas através de planos participativos, que incluam a educação ambiental, a pesquisa colaborativa ecológica e económica na valoração e valorização dos SE é muito importante, de forma a melhorar as estruturas institucionais e legais de gestão, fazer o controlo e regulação das atividades económicas, e desenvolvendo opções de defesa e restauração ecológica.

Segundo Schwartz (1991) é importante estabelecer vários cenários futuros e com eles refletir e estabelecer as nossas ações, “Experience has shown that *looking into the future is most useful when it is the beginning, not the end, of a significant conversation.*”

Não nos podemos centrar apenas na alteração de políticas, planos e ações de municípios e instituições (“top-down”, precisamos de reconhecer que as possibilidades de conseguir a Mi e a Ad podem vir de várias formas (Bulkeley, 2013), incluindo a mudança de paradigma e a alteração dos nossos próprios comportamentos (fig. 299), para uma Mi e Ad por transformação que será a resposta para um futuro mais sustentável e resiliente.

**Fig. 299:** A minha pequena contribuição para a Mi, deixei de beber leite, de comprar carne (↓ MH4 e CO2) e sempre que posso, desloco-me para o trabalho numa bicicleta elétrica (↓ CO2), tendo-me deslocado durante 3 anos numa bicicleta convencional (30 kms/dia ↓↓ CO2).



## 9. Lista de Siglas

Nota: Algumas siglas estão em Inglês de forma a facilitar o paralelismo com as siglas Inglesas, uma vez que fica muito diferente na tradução para Português e deixa de haver correspondência intuitiva.

A	Adaptação
Ac	Adaptação costeira
ACs	Alterações Climáticas
AAE	Avaliação Ambiental Estratégica
AI	Avaliação de Impacte
AIA	Avaliação de Impacte Ambiental
AML	Área Metropolitana de Lisboa
ANPC	Autoridade Nacional de Proteção Civil
AOGCM	<i>Atmosphere-Ocean General Circulation Model</i> - Modelos tridimensionais de circulação geral da atmosfera-oceano
APA	Agência Portuguesa do Ambiente
APL	Área Portuária do Porto de Lisboa
AR4	<i>Fourth Assessment Report (2007)</i> - Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC 2007)
AR5	<i>Fifth Assessment Report (2014)</i> - Quinto Relatório de Avaliação do IPCC (2014)
BMAM	Baixa-mar de águas-mortas
PMAM	Preia-mar de águas-mortas (preia-mar ou maré alta)
CCDR-LVT	Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo
CMS	Câmara Municipal do Seixal (também referenciada no texto como CMSeixal)
CMIP5	<i>Coupled Model Intercomparison Project 5</i> - Projeto 5 de Intercomparação de Modelo Acoplado
CNES	Centre National d' Études Spatiales – Centro Nacional de Estudos Espaciais
CSIRO	<i>Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation</i> - órgão nacional para pesquisa científica na Austrália gerencia o programa espacial australiano.

DL	Decreto Lei
DR	Diário da República
DGPS	<i>Diferencial Global Positioning System</i> – Sistema de Posicionamento Global Diferencial
DRALVT	Direção Regional de Ambiente de Lisboa e Vale do Tejo
EBM	Ecosystem based management - Gestão baseada em ecossistemas
ES	Ecossistema de Sapal
EVOA	Espaço de Visitação e Observação de Aves
FAPAS	Fundo para a Proteção da Vida Selvagem (ONGA)
FEDER	Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional
FR	Forçamento radiativo (FRN - FR negativo e FRP -FR positivo)
GEE	Gases de efeito estufa
GMSL	<i>Global mean sea level</i> - Nível Médio do Mar Global
GPS	<i>Global Positioning System</i> - Sistema de Posicionamento Global
GWP	<i>Global Warm Potencial</i> - Potencial de Aquecimento Global
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e Florestas
ICZM	<i>Integrated coastal zone management</i> - Gestão Integrada da Zona Costeira
IH	Instituto Hidrográfico
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i> - Painel Intergovernamental sobre ACs
ISA	Instituto Superior de Agronomia (Universidade de Lisboa)
IST	Instituto Superior Técnico (Universidade de Lisboa)
LIG	<i>Last Interglacial</i> - Último Período Interglacial
LNEC	Laboratório Nacional de Engenharia Civil
M	Mitigação
MDT	Modelo digital de terreno
MORFEED	<i>Morphodynamic Feedback of Estuarine Margins to Climate Change</i> - Resposta morfodinâmica das margens estuarinas às Alterações Climáticas
MPS	Material particulado em suspensão (concentração expressa em mg/l)

MSL	<i>Mean sea level</i> - Nível Médio do Mar
NASA	National Aeronautics and Space Administration
NMM	Nível Médio do Mar
NMMG	Nível Médio do Mar Global (ou Mundial)
NOAA	<i>National Oceanic Atmospheric Administration</i>
ONGA	Organização não Governamental de Ambiente
PDM	Plano Diretor Municipal
PMAAC-AML	Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas da AML
POOC	Plano de Ordenamento da Orla Costeira
POE	Plano de Ordenamento Estuarino
PP	Plano de Pormenor
POC	Programa de Orla Costeira
QREN	Quadro de Referência Estratégico Nacional)
REN	Reserva Agrícola Nacional
RUSLE	<i>Revised Universal Soil Loss Equation</i> - Equação Universal de Perda de Solo, revista
SE	Serviços de Ecossistema
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SWAN	<i>Simulating Waves Nearshore</i> ~ Simulação de ondas em zonas perto da costa
ZPE	Zona Especial de Proteção
ZH	Zero Hidrográfico
ZT	Zero Topográfico

## 10. Lista de Símbolos e Unidades

$H_2O$	Água
$CaCO_3$	Carbonato Cálcio
$CO_2$	Dióxido de Carbono
$SF_6$	Hexafluoreto de Enxofre
$^{14}N$	Isótopo radioativo do Azoto ou Nitrogénio
$^{14}C$	Isótopo radioativo Carbono
$CH_4$	Metano
$N_2O$	Óxido nitroso
$O_3$	Ozono
~30 m	Valor aproximado de 30 metros
Ma	Milhões de anos
ma	Mil anos
$W$	Peso dos blocos
$H$	Altura da onda
$K_D$	Coefficiente de Estabilidade
$\gamma$	Peso volúmico do material dos blocos
$\gamma_w$	Peso volúmico da água
$\alpha$	Ângulo do talude

## 11. Referências Bibliográficas

- AESE (2009): “Avaliação Empresarial dos Serviços dos Ecossistemas. Diretrizes para a Identificação de Riscos e Oportunidades Empresariais Decorrentes da Alteração dos Ecossistemas” traduzido de “The Corporate Ecosystem Services Review (Version 1.0), published in 2008 by World Resources Institute, and World Business”, Council for Sustainable Development. [http://www.wri.org/sites/default/files/corporate\\_ecosystem\\_services\\_review\\_pt.pdf](http://www.wri.org/sites/default/files/corporate_ecosystem_services_review_pt.pdf)
- Alcoforado, M. J. (1987): “Brisas estivais do Tejo e do Oceano na região de Lisboa”. *Finisterra*, Revista Portuguesa de Geografia, Lisboa, XXII, 43, pp. 71-112.
- Allen, J.R.L. (2000): “Morphodynamics of Holocene salt marshes: a review sketch from the Atlantic and southern North Sea coasts of Europe”. *Quaternary Science Reviews* 19 (12), 1155–1231.
- Almeida, T. (2009): “Flora e vegetação dos salgados de Coima, Corroios e Alcochete”. Tese de mestrado em Engenharia Agrónoma, Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- AML (2018): “Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas. Volume I - Definição do cenário base de adaptação para a AML Avaliação de Impactes e de Vulnerabilidades” Área Metropolitana de Lisboa, Lisboa.
- AML (2019): “Plano Metropolitano de Adaptação às Alterações Climáticas. Avaliação de Impactes e de Vulnerabilidades. Anexoll” Área Metropolitana de Lisboa, Lisboa.
- Amorim, A. (2015): “Deteção remota e geoprocessamento automático no estudo da evolução de margens estuarinas (Estuário do Tejo)”. Dissertação de Mestrado em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território, Departamento de Geologi, Faculdade de ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Andrade, D. C. & Romeiro, A. R. (2009): “Serviços ecossistémicos e sua importância para o sistema económico e o bem-estar humano”, Texto para Discussão IE/UNICAMP, n. 155, ISSN 0103-9466.
- Antunes, C. & Taborda, R., (2009): “Sea level at Cascais tide gauge: data, analysis and results”. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 56, pp. 218 - 222.
- Antunes, C. (2014): “A subida do NMM e a necessidade de revisão dos referenciais verticais”. *Actas das 3as Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Instituto Hidrográfico, Lisboa, pp. 37-40
- Antunes, C. (2019): “Assessment of Sea Level Rise at West Coast of Portugal Mainland and Its Projection for the 21st Century”, *Journal of Marine Science and Engineering*, 7, 61.
- ANPC (2009): “Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal”. Autoridade Nacional de Proteção Civil. Direção Geral do Ordenamento do Território e Desenvolvimento Urbano e Instituto Geográfico Português, Lisboa.
- Archer, D., et al. (2009), “Atmospheric lifetime of fossil fuel carbon dioxide”, *Annual Reviews of Earth and Planetary Sciences*, 37, pp. 117-134.
- ARH do Tejo & GOT (2009): “Plano de Ordenamento do Estuário do Tejo. Saberes e reflexões”; Administração da Região Hidrográfica do Tejo, I. P. e Gabinete de Ordenamento do Território, Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.  
<http://www.apambiente.pt/zdata/Divulgacao/Publicacoes/Tagides/tagidespoe.pdf>
- Barbier, E. B., et al. (2011): “The value of estuarine and coastal ecosystem services”, *Ecological Monographs*, Reviews, 81 (2), pp.169-193.
- Barbier, E. B. (2012): “A spatial model of coastal ecosystem services”, *Ecological Economics*, 78, pp.70-79.
- Bell, F. W. (1997): “The economic valuation of saltwater marsh supporting marine recreational fishing in the southeastern United States”. *Ecological Economics* 21, pp. 243-254.
- Birol, K. & Cox, V. (2007): “Using choice experiments to design wetland management programmes: the case of the Severn Estuary Wetland”, UK. *Journal of Environmental Planning and Management* 50, pp. 363-380.
- Breaux, A., Farber, S., Day, J. (1995): “Using natural coastal wetlands systems for wastewater treatment: an economic benefit analysis”. *Journal of Environmental Management* 44, pp. 285-291.
- Boesch, D. F. & Turner R. E. (1984): “Dependency of fishery species on salt marshes: the role of food and refuge”, *Estuaries and Coasts*, 7 pp. 460-468.
- Boettle, M., Rybski, J., Kropp, J. P. (2016): “Quantifying the effect of sea level rise and flood defence - a point process perspective on coastal flood damage”, *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 16, pp.559-576.  
[www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/16/559/2016/](http://www.nat-hazards-earth-syst-sci.net/16/559/2016/)

- Booij, N., Ris, R.C., Holthuijsen, L.H. (1999): "A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation", *J. Geophysical Research*, 104 (C4), pp. 7649-7666.
- Bijlsma, L., *et al.* (1996): "Coastal zones and small islands" in R.T. Watson, M.C. Zinyowera and R.H. Moss (eds) *Impacts, Adaptations and Mitigation of Climate Change: Scientific-Technical Analyses. (The Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Working Group II)*. Cambridge University Press, Cambridge, pp. 289-324.
- Brito, J. (1999): "Muros de gravidade correntes", Trabalho para a cadeira de Construção de edifícios", do Mestrado Avançado em Construção e Reabilitação, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Bryars, R., *et al.* (2016): "Living Shorelines: A Technical Guide for Contractors in Alabama and Mississippi". Prepared for the Gulf of Mexico Alliance, Habitat Resources Priority Issues Team under a grant to the Baldwin County Soil and Water Conservation District. p. 43.
- Bulkeley, H. (2013): "Understanding urban vulnerability, adaptation and resilience in the context of climate change", *Local Environment: The International Journal of Justice and Sustainability*, Vol. 18, N<sup>o</sup>. 6, pp. 646-662. <http://dx.doi.org/10.1080/13549839.2013.788479>
- Cabral, H. N., Costa, M. J., Salgado, J.P. (2001): "Does the Tagus estuary fish community reflect environmental changes?". *Clim Res.* 18, pp. 119-126.
- Cabral, J. (1995): "Neotectónica em Portugal Continental". *Inst. Geol. Min. Mem.*, 31, 265.
- Caçador, I. (1986): "Estrutura e Função das manchas de Sapal do Estuário do Tejo", Relatório de provas de aptidão pedagógica e capacidade científica, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Caçador, I., Vale, C., Catarino, F. (1995): "Composição e estrutura da vegetação dos sapais: sua importância na descontaminação dos ecossistemas estuarinos". *Actas do Congresso Nacional de Conservação da Natureza*, pp. 41-46, Lisboa.
- Caçador, I. & Vale, C. (2001): "Retention of Heavy Metals in Salt Marshes and Estuarine Water Quality Metals In The Environment: Analysis by Biodiversity", *MNV, Prasad* (ed.) Marcel Dekker, Inc, *New York*, pp. 95-116.
- Caçador, I., Costa, A. & Vale, C. (2004): "Carbon Storage In Tagus Salt Marsh Sediments". *Kluwer Academic Publishers*. 4, pp. 701-714.
- Caçador, I., *et al.* (2005): "Heavy metal concentration in sediment, benthic invertebrates and fishes in three saltmarsh areas subjected to different pollution loads in the Tagus estuary", *Baseline/Marine Pollution Bulletin* 50, pp. 993-1008.
- Caçador, I., Caetano, M., Duarte, B., Vale, C. (2009): "Stock and losses of trace metals from salt marsh plants". *Marine Environmental Research*. 67, pp. 75-82.
- Caçador, I., *et al.* (2011): "Estudo de Investigação, Caracterização e Valorização Ambiental da Baía do Seixal. Comunidades Biológicas. Relatório final", Centro de Oceanografia, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Caetano, M., Nunes, V., Nunes, A. (2009): "CORINE Land Cover 2006 for Continental Portugal", Technical report, Instituto Geográfico Português, Lisboa.
- Cahoon, D.R., Lynch, J.C., Perez, B.C., Segura, B., Holland, R.D., Stelly, C., Stephenson, G., Hensel, P. (2002): "Highprecision measurements of wetland sediment elevation: II. The Rod Surface Elevation Table", *J Sediment Res* 72(5), pp. 734-739.
- Caldeira Cabral, F. (1993): "Fundamentos da Arquitetura Paisagista", Ed. Instituto da Conservação da Natureza, 220p, Lisboa.
- Caldeira Cabral, F. & Ribeiro Telles, G. (1999): "A Árvore em Portugal" Assírio & Alvim, Odivelas, p. 203.
- Carter, J.G. (2011): "Climate change adaptation in European cities". *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 3(3), pp. 193-198.
- CCDR-LVT (2005): "Lisboa Vale do Tejo" Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional de Lisboa e Vale do Tejo, nº3, pp 8-15. Lisboa. <http://www.ccdr-lvt.pt/files/2b0092d2fd7f68200d88d2eebc44773a.pdf>
- Cervino, J., Gjoza, D., Lin, C., Weeks, R., Goreau, T. J. (2012): "Electrical fields increase salt marsh survival and growth and speed restoration in adverse conditions", in T. J. Goreau & R. K. Trench (Editors), *Innovative Technologies for Marine Ecosystem Restoration*, CRC Press.
- Chmura, G. L., Anisfeld, S. C., Cahoon, D. R., Lynch, J. C. (2003): "Global carbon sequestration in tidal, saline wetland soils", *Global Biogeochemical Cycles* 17, pp. 1111.

- Circle-2 (2013): "Circle-2. Adaptation inspiration book. 22 implemented cases of local climate change adaptation to inspire European citizens", Climate Impact Research & Response Coordination for a Larger Europe, Drukkerij Tienkamp, the Netherlands.  
[http://www.circleera.eu/np4/%7B\\$cientServletPath%7D/?newsId=432&fileName=BOOK\\_150\\_dpi.pdf](http://www.circleera.eu/np4/%7B$cientServletPath%7D/?newsId=432&fileName=BOOK_150_dpi.pdf)
- Ciscar, J.C., *et al.* (2011): "Physical and economic consequences of climate change in Europe", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 108(7), pp. 2678-2683.
- Church, J. A., P. L. Woodworth, T. Aarup, and W. S. Wildon, (2010): "Understanding Sea-Level Rise and Variability", *Nature* 428, pp.74-77.
- Church, J. A., Monselesan, D., Gregory, J. M., Marzeion, B. (2013): "Evaluating the ability of process based models to project sea-level change". *Environmental Research Letters*, 8, 015051.
- Clark, J. A. & Lingle, C. S. (1977): "Future sea-level changes due to West Antarctic ice sheet fluctuations". *Nature*, 269, pp. 206-209.
- Cogley, J. G., (2009): "A more complete version of the World Glacier Inventory". *Annals of Glaciology*, 50, pp. 32-38.
- Concelho Nacional da Água CNA (2012): "Planos de Ordenamento dos Estuários Contributos para a sua elaboração e implementação", pp. 151, Lisboa.
- Conrad, C. P. & Hager, B. H. (1997): "Spatial variations in the rate of sea level rise caused by the present-day melting of glaciers and ice sheets". *Geophysical Research Letters*, 24, pp. 1503-1506.
- Costanza, R., Pérez-Maqueo, O., Martinez, M. L., Sutton, P., Anderson, S. J., Mulder, K. (2008): "The value of coastal wetlands for hurricane protection". *Ambio* 37, pp. 241-248.
- Costa, J.L. (2004): "A biologia do xarroco *Halobatrachus didactylus* (Bloch & Schneider, 1801) e o seu papel na estrutura e funcionamento dos ecossistemas em que se insere; referência especial à população do estuário do Mira". Tese de Doutoramento, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Costa, A.I., Carolino, M., Caçador, I. (2007): "Microbial activity profiles in Tagus estuary salt marsh sediments". *Hydrobiologia*, 587, pp.169-175.
- Costa, J. P. (2013): Urbanismo e adaptação às alterações climáticas, as frentes de água", Livros Horizonte, 4ª edição.
- Costa, M. (2017): "Desenvolvimento de uma metodologia de avaliação de risco costeiro face aos cenários de alterações climáticas: aplicação ao Estuário do Tejo e à Ria de Aveiro." Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, pp. 99.
- CRF (2013): "Implementing a Simplified Participatory Cost-Benefit Analysis", Climate Resilience Framework, ISET International, series 3 "Building Resilience", 3.6.1,  
[http://training.i-s-e-t.org/wp-content/uploads/modulesContent/pdfs/ISET\\_CRFTM\\_Set3-6-1\\_v1.pdf](http://training.i-s-e-t.org/wp-content/uploads/modulesContent/pdfs/ISET_CRFTM_Set3-6-1_v1.pdf)
- Davy, A., Figueroa, E., Bakker, J. (2009): "Human modification European salt marshes". Pages 311–336 in B. R. Silliman, T. Grosholz, and M. D. Bertness, editors. "Human impacts on salt marshes: a global perspective", University of California Press, Berkeley, California, USA.
- Davis, R.A & Fitzgerald, D.M. (2004): "Beaches and Coasts", 1ª edição, Blackwell Publishing Company. Austrália.
- Delta Committee (2008): "Working together with water. A living land builds for its future. Findings of the Deltacommissie 2008", Holanda. [http://deltacommissie.com/doc/deltareport\\_full.pdf](http://deltacommissie.com/doc/deltareport_full.pdf)
- Dias, A. A. & Marques, J. M. (1999): "Estuários. Estuário do Tejo: o seu valor e um pouco da sua História". Reserva Natural do Estuário do Tejo. Alcochete.
- Dodman, D. & Mitlin, D. (2011): "Challenges to community-based adaptation". *Journal of International Development*, 23(3).
- Goreau, T. J. F. & Prong, P. (2017): "Biorock reefs grow back severely eroded beaches in months", *Journal of Marine Science and Engineering, Special Issue on Coastal Sea Levels, Impacts, and Adaptation*, 5(4), 48.
- DRARO - Direcção Regional de Agricultura do Ribatejo e Oeste (1993): "Plano de desenvolvimento Agrícola Regional do Baixo Sorraia. Zona Agrária de Coruche". Ministério da Agricultura.
- EEA (2013): "Adaptation in Europe - Addressing Risks and Opportunities From Climate Change in the Context of Socio-Economic Developments", European Environment Agency, Copenhagen, Denmark, pp. 1-136.
- Environmental Agency (2009): "Thames Estuary 2100, Consultation Document Environmental Agency, UK", United Kingdom, pp. 214.
- ESCL (2008): "Estratégia de Sustentabilidade do Concelho de Loulé", Equipa Técnica: CESUR/IST, Maria do Rosário Partidário (Coordenação Geral); C. M. Loulé, Leonel Silva (Coordenação interna).

- Farrell, W. E., & Clark, J. A. (1976): "On postglacial sea level". *Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society*, 46, pp. 647-667.
- Fazey, I., Gamarra, J.G.P., Fischer, J., Reed, M.S., Stringer, L.C., Christie, M. (2010): "Adaptation strategies for reducing vulnerability to future environmental change", *Frontiers in Ecology and the Environment*, 8(8), pp. 414-422.
- Ferrão, J. (2014): "Estratégias de Adaptação às Alterações Climáticas: resiliência, transição e transformação" disciplina de Alterações Climáticas e Ordenamento do Território, Programa Doutoral em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável, ICS, UL, Lisboa.
- Ferreira, J. G., Wolff, W. J., Simas, T., C., Bricker, S. B. (2005): "Does biodiversity of estuarine phytoplankton depend on hydrology?", *Elsevier, Ecological Modelling* 187, pp. 513-523.
- Figueiredo, P.M., Cabral, J., Rockwell, T.K. (2013): "Recognition of Pleistocene marine terraces in the Southwest of Portugal (Iberian Peninsula): Evidences of regional Quaternary uplift". *Ann. Geophys.*, 56.
- 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), pp. 31-44.
- Fortunato, A.B., Portela, L., Sanco, F.E., Oliveira, A. (2005): "Revisão do Plano de Gestão Ambiental da Lagoa de Óbidos - Relatório 3: Plano de Intervenção. Volume 2: Dragagens e Dique de Guiamento, Rel. 24/05 - NEC, LNEC, Lisboa.
- Flowers, T. J. *et al.* (1997): "The mechanism of salt tolerance in halophytes". *Ann. Rev. Plant Physiol.* 28, pp. 89-121.
- Franz, G., Pinto, L., Ascione, I., Mateus, M., Fernandes, R., Leitão, P., Neves, R. (2014): "Modelling of cohesive sediment dynamics in tidal estuarine systems: Case study of Tagus estuary, Portugal". *Elsevier, Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 151, pp. 34-44.
- Franz, G. (2016): "Numerical modelling of hydrodynamics and sediment transport in coastal systems", Tese de Doutoramento em Engenharia Ambiental, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Franz, G., Leitão, P., Pinto, L., Jauch, E., Fernandes, L., Neves, R. (2017): "Development and validation of a morphological model for multiple sediment classes". *Elsevier, International Journal of Sediment Research*, 32 pp. 585-596.
- Freeman, A. M. (1991): "Valuing environmental resources under alternative management regimes", *Ecological Economics*, 3, pp. 247-256.
- Freire, P. & Andrade, C. (1994): "Sedimentation in channel systems of the upper Tagus Estuary. Cala do Norte". *In Proceedings "Littoral 94 – Second International Symposium EUROCOAST"*, *Eurocoast Portugal*, pp. 523-532, Lisboa.
- Freire, P. (2003): "Evolução Morfo-Sedimentar de Margens Estuarinas. Estuário do Tejo, Portugal". Tese de Doutoramento, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Freire, P., Taborda, R., Andrade, C. (2006): "Caracterização das praias estuarinas do Tejo", artigo preparado no âmbito do Projeto "Berna – Evolução de praias em zonas de *fetch* restrito: análise experimental e numérica" (POCTI/CTA/45431/2002), Associação Portuguesa de Recursos Hídricos.  
<http://www-ext.lnec.pt/LNEC/bibliografia/DHA/freire-et-al%2006.pdf>
- Freire, P., Taborda, R., Silva, A. (2007): "Sedimentary Characterization of Tagus Estuarine Beaches (Portugal): A contribution to the sediment budget assessment". *Journal of Soils and Sediments*, Vol. 7, n.º 5, pp. 296-302.
- Freire, P., Ferreira, O., Taborda, R., Oliveira, F., Carrasco, A., Silva, A., Vargas, C., Capitão, R., Fortes, C., Braga, A., Santos, J. (2019): "Morphodynamics of fetch-limited beaches in contrasting environments", *Journal of Coastal Research*, Vol. SI 56, pp. 183-187.
- Freire, P., Rilo, A., Santos, P. P., Fortunato, A. B., Tavares, A. O., Cardoso, M.A., (2015): "Risco de inundação em estuários. Caracterização das componentes de perigo a diferentes escalas espaciais", MEC 2015 - Conferência sobre morfodinâmica estuarina e costeira Universidade do Algarve, 14-1, pp. 19-20, Algarve.
- 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)", *in*: 46º Congresso Brasileiro de Geologia e 1º Congresso de Geologia dos Países de Língua Portuguesa, Santos, Brasil.
- Garaulet, L. (2011): "Estabelecimento do bivalve exótico *Ruditapes philippinarum* (Adams & Reeve, 1850) no estuário do Tejo: caracterização da população atual e análise comparativa com a congénere nativa *Ruditapes*

*decussatus* (Linnaeus, 1758) e macrofauna bentónica acompanhante”, Dissertação de Mestrado em Ecologia Marinha, Faculdade de Ciências, Universidade de Lisboa, Lisboa.

Gao, S., (2009): “Geomorphology and sedimentology of tidal flats”, in: Perillo, G.M.E., Wolanski, E., Cahoon, D.R., Brinson, M.M. (Eds.), *Coastal Wetlands: “An Ecosystem Integrated Approach”*, Elsevier, pp. 293-316.

Gehrels, R. & Woodworth, P. L. (2013): “When did modern rates of sea-level rise start?” *Global and Planetary Change*, 100, pp. 263-277.

Gomes, F. V. (2004): “Apontamentos de Trabalhos Marítimos 1 e 2 “. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Granek, E. F., et al. (2009): “Ecosystem Services as a Common Language for Coastal Ecosystem-Based Management”, *Conservation Biology*, Vol. 24, n.º 1, pp. 207-216.

Gracia, A., Rangel-Buitrago, N., Oakley, J. A., Williams, A.T. (2018): “Use of ecosystems in coastal erosion management”, *Ocean & Coastal Management*, 156, pp. 277-289.

Graham, G.W. & Manning, A.J. (2005): “Floc size and settling velocity within a *Spartina anglica* canopy”, ScienceDirect, *Continental Shelf Research* 27 (2007), pp. 1060-1079.

Guerreiro, M., Fortunato, A.B., Freire, P., Rilo, A., Taborda, R., Freitas, M.C., Andrade, C., Silva, T. (2012): “Implications of sea level rise on the hydrodynamics of the Tagus estuary”, Actas das 2<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 341-344, Instituto Hidrográfico, ISBN – 978-989-705-035-0.

Guerreiro, M., Fortunato, et al. (2013): “Impacte da subida do nível médio do mar na inundaçãõ 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 a 30 de Maio de 2013, p. 19, Maputo, Moçambique.

Guerreiro, M., Oliveira, Freire, P., Rilo, A. (2013a): “Evolução recente da praia do Alfeite do Estuário do Tejo”, MORFEED: Morphodynamic feedback of estuarine margins to climate change. Relatório técnico. LNEC Proc: 604/14/17331, Lisboa.

Guerreiro, M., Fortunato, A. B., Freire, P., Rilo, A., Taborda, R., Freitas, M. C., Andrade, C., Silva, T., Rodrigues, M., Bertin, X., Azevedo, A. (2015): “Evolution of the hydrodynamics of the Tagus estuary (Portugal) in the 21st century”, *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 15, 65-80. DOI: 10.5894/rgci515.

Hinkel, J., R. Nicholls, A. Vafeidis, R. Tol, and T. Avagianou, (2010): “Assessing risk of and adaptation to sea-level rise in the European Union: an application of DIVA”, *Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change*, 15(7), pp. 703-719.

Hardaway, J., Milligan, A., Duhring, K. (2010): “Living Shoreline Design Guidelines for Shore Protection in Virginia’s Estuarine Environments” Versão 1.2, Virginia Institute of Marine Science College of William & Mary Gloucester Point, Virginia. [https://www.vims.edu/research/departments/physical/programs/ssp/docs/living\\_shorelines\\_guidelines.pdf](https://www.vims.edu/research/departments/physical/programs/ssp/docs/living_shorelines_guidelines.pdf)

Hughes, R. (2004): “Climate change and loss of saltmarshes: consequences for birds”. *Ibis* 146, pp. 21–28.

IPCC CZMS (1990): “Strategies for Adaptation to Sea Level Rise. Report of the Coastal Zone Management Subgroup, Response Strategies. Working Group of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Ministry of Transport, Public Works and Water Management”, *The Hague*.

IPCC (2007): “Contributions of Working Groups I, II and III to the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Fourth Assessment Report (AR4), Climate Change 2007: The Physical Science Bases”, *Cambridge University Press*.

IPCC (2007a): “Further work on scenarios report from the IPCC expert meeting towards new scenarios for analysis of emissions, climate change, impacts, and response strategies”, Noordwijkerhout, Holanda.

IPCC (2013): “Working Group I Contribution to the IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) Fifth Assessment Report (AR5), Climate Change 2013: The Physical Science Bases”, Anexo I, II e III, Organização das Nações Unidas (ONU), Estocolmo.

IPCC (2014): “IPCC Fifth Assessment Report, Working Group II (AR5 WG II), Volume I: Global and Sectoral Aspects”, “SlideDeck”, Organização das Nações Unidas (ONU), Estocolmo.

IPCC (2014a): “IPCC Fifth Assessment Report, Working Group II (AR5 WG II), Volume I: Global and Sectoral Aspects”, capítulo 5: “Coastal systems and low-lying areas”, Organização das Nações Unidas (ONU), Estocolmo.

IPCC (2014b): “IPCC Fifth Assessment Report, Working Group II (AR5 WG II), Volume II: Regional Aspects”, capítulo 3: “Europe”, Organização das Nações Unidas (ONU), Estocolmo.

- Jentoft S. (2007): "Limits of governability: Institutional implications for fisheries and coastal governance", *Marine Policy* 31, pp. 360-370.
- Jentoft, S. (2009): "Future Challenges in Environmental Policy Relative to Integrated Coastal Zone Management", *Integrated Coastal Zone Management*, pp. 155-169, Wiley-Blackwell.
- Kabat, P., et al. (2009): "Dutch coasts in transition", *Nature Geosciences*, 2, pp. 450-452.
- Kettle, N. P., (2012): "Exposing compounding uncertainties in sea level rise assessments", *Journal of Coastal Research*, 28 (1), pp. 161-173.
- Kenter, J. O., Hyde, T., Christie, M., Fazey, I. (2011): "The importance of deliberation in valuing ecosystem services in developing countries-Evidence from the Solomon Islands", *Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions* 21(2, SI), pp. 505-521.
- King, S. E. & Lester, J.N. (1995): "The value of Salt Marsh as a sea defense", *Pollution Economics, Marine Pollution Bulletin*, Elsevier Science Ltd. Vol. 30, No. 3, pp. 180-189.
- Klein, R.J.T. et al. (2001): "Technological options for adaptation to climate change in coastal zones", *Journal of Coastal Research* 17, pp. 531-543.
- Koch, E.W., Barbier, E.B., Silliman, B. R., Reed, D. J., Perillo, G. M. E., Hacker, S. D., Granek, E. F., Primavera, J. H., Muthiga, N., Polasky, S., Halpern, B. S., Kennedy, C. J., Kappel, C. V., Wolanski, E. (2009): "Non-linearity in ecosystem services: temporal and spatial variability in coastal protection". *Frontiers in Ecology and the Environment*, 7, pp. 29-37.
- Krugman, P. (2010): "How to Build a Green Economy?", *The New York Times*, 5 de Abril de 2010
- Lambeck, K., & Nakiboglu S. M. (1984): "Recent global changes in sea level". *Geophysical Research Letters*, 11, pp. 959-961.
- Lambeck, K., Anzidei, M., Antonioli, F., Benini, A., Esposito, A. (2004): "Sea level in Roman time in the Central Mediterranean and implications for recent change". *Earth and Planetary Science Letters*, 224, pp. 563-575.
- Leclercq, P. W., Oerlemans, J., & Cogley, J. G., (2011): "Estimating the glacier contribution to sea-level rise for the period 1800-2005". *Surveys in Geophysics*, 32, pp. 519-535.
- Lira, C., Silva, A., Taborda, R., & Andrade, C. (2016): "Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach", *Earth System Science Data*, 8, pp. 265-278.
- Loon-Steensma, J. M. (2013) "Trade-Offs between biodiversity and flood protection services of coastal salt marshes", Current opinion in environmental sustainability, *SciVerse Science Direct, Elsevier*, 5, pp. 320-326.
- Lorbacher, K., Marsland, S. J., Church, J. A., Griffies, S. M., & Stammer, D. (2012): "Rapid barotropic sea-level rise from ice-sheet melting scenarios", *Journal of Geophysical Research*, 117, C06003.
- Lourenço, J. (2017): "Etapas e Metodologias de Produção de Ortofotomapas Digitais", Tese de Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial Aplicados ao Ordenamento, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Lousã, M. (1986): "Comunidades halófitas da Reserva de Castro Marim", Tese de Doutoramento. Instituto Superior de Agronomia, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- MacKenzie, R. A. & Dionne, M. (2008): "Habitat heterogeneity: importance of salt marsh pools and high marsh surfaces to fish production in two Gulf of Maine salt marshes", *Marine Ecology Progress Series*, 368, pp. 217-230.
- Magalhães, M. (2001): "A Arquitectura Paisagista, morfologia e complexidade", Editorial Estampa, Lisboa.
- Marques, B. (2010): "Dinâmica do mercúrio bioacumulado na parte subterrânea de plantas de sepal", dissertação de Mestrado em Química Analítica e Controlo de Qualidade para a Universidade de Aveiro.
- Marzeion, B., Jarosch, A. H., Hofer, M. (2012): "Past and future sea-level changes from the surface mass balance of glaciers", *The Cryosphere*, 6, pp. 1295-1322.
- MEA (2005): "Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and Human Well-being: Opportunities and Challenges for Business and Industry", Washington, DC: World Resources Institute; ISIS. 2004. Is Biodiversity a Material Risk for Companies? London: ISIS Asset Management plc.
- MEA (2005a): "Millennium Ecosystem Assessment. Ecosystems and human Well-being: Biodiversity synthesis", World resources Institute. Island Press, Washington D.c.  
<http://www.millenniumassessment.org/documents/document.354.aspx.pdf>
- Milligan J., O'Riordan, T., Nicholson-Cole, S.A., Watkinson, A.R. (2009): "Nature conservation for future sustainable shorelines: Lessons from seeking to involve the public", *Land Use Policy*, 26. pp. 203-213.

- Milne, G. A. & Mitrovica, J. X. (1998): "Postglacial sea-level change on a rotating Earth", *Geophysical Journal International*, 133, pp. 1-19.
- Milne, G. A., Gehrels, W. R., Hughes, C. W., Tamisiea, M. E. (2009): "Identifying the causes of sea-level change", *Nature Geoscience*, 2, pp. 471-478.
- Mira, N.M.C.S. (2011): "Determinação do ajustamento glacial isostático com GPS", Tese de mestrado em Engenharia Geográfica, apresentada à Universidade de Lisboa, através da Faculdade de Ciências. Lisboa.
- Miranda, L.B., Castro, B.M., Kjerfve, B., (2002): "Princípios de Oceanografia Física de Estuários". *EdSUP*, São Paulo, Brasil.
- Mitrovica, J. X., Tamisiea, M. E., Davis, J. L., Milne, G. A. (2001): "Recent mass balance of polar ice sheets inferred from patterns of global sea-level change", *Nature*, 409, pp. 1026-1029.
- Mitsch, W. J. & Gosselink, J. G. (2000): "The values of wetlands: Landscapes and institutional perspectives. The value of wetlands: importance of scale and landscape setting", *Elsevier, Ecological Economics, USA*, 35 (200) pp. 25-33.
- Mitsch, W. J., & Gosselink, J. G. (2008): "Wetlands", Van Nostrand Reinhold, New York, New York, USA.
- Moreira, M. E. S. A. (1987): "Estudo Fitogeográfico do Ecossistema de Sapal de Estuário do Sado", *Finisterra*, Lisboa, XXII, 44, pp. 247-296.
- Moreira M.E. (1992): "Recent Salt Marsh Changes and Sedimentation Rates in the Sado Estuary", *J Coastal Res* 8(3), pp. 631-640.
- Mossman, H. L., Grant, A., Davy, A. J. (2013): "Terrestrial biodiversity climate change impacts report card technical paper 10. Implications of climate change for coastal and inter-tidal habitats in the UK", Biodiversity Report Card paper 10, *Coastal*, p. 22.
- Mostafavi, M. *et al.* (2010): "Ecological Urbanism". Harvard University Graduate School of Design. Lars Müller Publishers, Cambridge (Mass.). Baden; (2014): edição em Português; pp. 568,569 (Carbonell, A. "Mudanças climáticas, água, desenvolvimento e adaptação: como planejar com a incerteza (Almere, Países Baixos)"; pp.324-329 (Reed, C. "A agência da Ecologia"; pp. 282-291 (Kongjian, Yu "A revolução do pé grande").
- Naess (1972): "The Shallow and the Deep, Long-Range Ecology Movement". A Summary. *Inquiry*, 16, pp. 95-100.
- NE (Natural England) & RSPB (Royal Society for the Protection of Birds) (2014): "Climate Change Adaptation Manual", ISBN 978-1-84754-106-9.  
<https://www.klimatilpasning.dk/media/838675/Climate%20Change%20Adaptation%20Manual%20-%20Evidence%20to%20support%20nature%20conservation%20in%20a%20changing%20climate.pdf>
- Neves da Silva, R. P. (2008): "Estudo da Erosão de Pilares de Pontes", Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil, Especialização em Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- NOAA (National Oceanic and Atmosph Administration) (2015): "Guidance for Considering the Use of Living Shorelines" [https://www.habitatblueprint.noaa.gov/wp-content/uploads/2018/01/NOAA-Guidance-for-Considering-the-Use-of-Living-Shorelines\\_2015.pdf](https://www.habitatblueprint.noaa.gov/wp-content/uploads/2018/01/NOAA-Guidance-for-Considering-the-Use-of-Living-Shorelines_2015.pdf)
- Nolte, S., Koppenaal, E. C., Esselink, P., Dijkema, K. S., Schuerch, M., Groot, A. V., Bakker, J. P., Temmerman, S. (2012): "Measuring sedimentation in tidal marshes: a review on methods and their applicability in biogeomorphological studies" *Journal of Coastal Conservation, Planning and Management*, Vol. 16, *Springer* <https://mail.yahoo.com/d/folders/1/messages/112660/ANc9t1N8ToowX7RlgQWZmCwt8Gg:2?.lang=pt-BR&intl=br>
- Nordstrom, K. (1992): "Estuarine Beaches". *Elsevier Science Publishers*, New York.
- Nybakken, J. W. (1993): "Marine biology: an ecological approach". 3<sup>th</sup> edition, California State University at Hayward and the Moss Landing Marine Laboratories, New York.
- Nunn, P.D. (2009): "Responding to the challenges of climate change in the Pacific Islands: management and technological imperatives", *Climate Research*, 40(2-3), pp. 211-231.
- Nunes, P.A.L.D. & Ghermandi, A. (2013): "The Economics of Marine Ecosystems: Reconciling Use and Conservation of Coastal and Marine Systems and the Underlying Natural Capital", *Environment Resource Economy, Springer Science+Business* 56, pp. 459-465.
- Okumura, Y. M., Deser, C., Hu, A., Timmermann, A., Xie, S. P. (2009): "North Pacific climate response to freshwater forcing in the Subarctic North Atlantic: oceanic and atmospheric pathways", *Journal of Climate*, 22, pp. 1424-1445.
- O'Riordan, T.& Lenton, T. (2011): "Tackling tipping points", *British Academy*, 18, pp. 21-27.

- Pankaj, V., Welsh, M., Ostenson, L. (2011): "Participatory Analysis Expanding Stakeholder Involvement in Evaluation", Innovation Network, Transforming Evaluation for Social Change  
[http://www.innonet.org/client\\_docs/innovation\\_network-participatory\\_analysis.pdf](http://www.innonet.org/client_docs/innovation_network-participatory_analysis.pdf)
- Parry, M. *et al.* (2009): "Assessing the Costs of Adaptation to Climate Change: A Review of the UNFCCC and Other Recent Estimates", International Institute for Environment and Development and Grantham Institute for Climate Change, Londres.
- Partidário, M. R., Vicente, G., Belchior, C. (2010): "Can New Perspectives on Sustainability Drive Lifestyles?" *Sustainability*, 2, pp. 2849-2872, ISSN 2071-1050. [www.mdpi.com/journal/sustainability](http://www.mdpi.com/journal/sustainability)
- Partidário, M. R. (2012): "Guia de melhores práticas para Avaliação Ambiental Estratégica – orientações metodológicas para um pensamento estratégico em AAE". Agência Portuguesa do Ambiente. Lisboa.
- Partidário, M. R. & Sheate, W. R. (2012): "Knowledge brokerage – potential for increased capacities and shared power in impact assessment", *Environmental Impact Assessment Review*, 39 (2013), pp.26-36.
- POCACE (2017): "Avaliação Ambiental Estratégia do Programa da Orla Costeira Alcobaca – Cabo Espichel", CEDRU – Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano, Lda. e Biodesign, Ambiente e Paisagem Lda. , Lisboa.
- POCACE (2018): "Programa de Execução e Plano de Financiamento do Programa da Orla Costeira Alcobaca – Cabo Espichel", CEDRU – Centro de Estudos e Desenvolvimento Regional e Urbano, Lda. e Biodesign, Ambiente e Paisagem Lda. , Lisboa.
- Pye, K. & French, P.W. (1992): "Targets for coastal habitat creation. Technical Report", F72-04-22/ES22, *English Nature*, UK.
- QREN (2012): "Relatório de Avaliação e Controlo dos Efeitos no Ambiente decorrentes da Aplicação dos Apoios do QREN 2010", Observatório do QREN. [http://www.qren.pt/np4/file/1384/1\\_Relatorio\\_de\\_AAE\\_do\\_QREN\\_2010.pdf](http://www.qren.pt/np4/file/1384/1_Relatorio_de_AAE_do_QREN_2010.pdf)
- Pereira, R. M. (2012): "Estudos Iniciais sobre o cultivo da Halófito *Sarcocornia perennis* em Santa Catarina", Trabalho de final de curso, Universidade de Florianópolis. Brasil.
- Pedro, S. S. F. (2014): "Metal cycling in salt marshes and intertidal mudflats: influence of plants, invertebrates and fishes", Tese de Doutoramento em Biologia, especialidade de Ecologia, para a Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Peltier, W. R. & Tushingham, A. M. (1991): "Influence of glacial isostatic-adjustment on tide gauge measurements of secular sea-level change". *Journal of Geophysical Research-Solid Earth and Planets*, 96, pp. 6779-6796.
- Pereira, M. C. V. V. (2015): "Estudo Laboratorial do Comportamento de uma Estrutura de Defesa Costeira Aderente com Alimentação de Areias". Dissertação de Mestrado Integrado em Engenharia Civil, Especialização em Hidráulica, Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Piehler, M. F. & Smyth, A. R. (2011): "Habitat-specific distinctions in estuarine denitrification affect both ecosystem function and services", *Ecosphere* 2(1): art.12.
- Pilkey, O. H. & Young, R. (2009): "The rising sea" Washington, D. C., Island Press, Shearwater Books, pp. 159-182.
- Pritchard, D. W. (1976): "What is an Estuary: Physical view point". *Estuaries*. Publ. Amer. Ass. Advanc. Sci. 3-5 83.
- Psuty, N. & Moreira, M. (2000): "Holocene Sedimentation and Sea Level Rise in the Sado Estuary, Portugal". *J. Coastal Research* 16(1), pp. 125-138.
- Ribeiro, O. (1935): "A Arrábida. Esboço Corográfico", Dissertação de Doutoramento em Ciências Geográficas apresentado à Fac. de Letras da Uni. de Lisboa e posteriormente editado em 1986. Edição da Câmara Municipal de Sesimbra.
- Rignot, E., Casassa, G., Gogineni, P., Krabill, W., Rivera, A., Thomas, R. (2004): "Accelerated ice discharge from the Antarctic Peninsula following the collapse of Larsen B ice shelf". *Geophysical Research Letters*, 31, L18401.
- 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". In: Conley, D.C., Masselink, G., Russell, P.E. and O'Hare, T.J. (eds.), Proceedings 12th International Coastal Symposium (Plymouth, England), *Journal of Coastal Research*, Special Issue 65, pp. 820-825, ISSN 0749-0208.
- Rocha, C. (2016): "Estudo e análise da vulnerabilidade costeira face a cenários de subida do nível do mar e eventos extremos devido ao efeito das alterações climáticas.", Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- Rott, H., Muller, F., Nagler, T., Floricioiu, D. (2011): "The imbalance of glaciers after disintegration of Larsen-B ice shelf, Antarctic Peninsula", *The Cryosphere*, 5, pp. 125-134.

- Sahagian, D. (2000): "Global physical effects of anthropogenic hydrological alterations: sea level and water redistribution", *Global and Planetary Change*, 25, pp. 39-48.
- Sales, R. F. M. (2009): "Vulnerability and adaptation of coastal communities to climate variability and sea-level rise: Their implications for integrated coastal management in Cavite City, Philippines", *Ocean and Coastal Management*, 52(7), pp. 395-404.
- Sampaio, M. J. R. T. (2008): "Aplicação do modelo SWAN na caracterização da agitação marítima na zona adjacente a Pinheiro da Cruz", dissertação para a obtenção do grau de mestre em Eng. Civil, Instituto Superior Técnico, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Santos, F. D. (2007): "A Física das Alterações Climáticas", *Gazeta da Física*, Sociedade Portuguesa de Física, Vol. 30, Fasc. 1, pp. 48-57.
- Santos, F. D. (2012): "Alterações Globais: Os desafios e os riscos presentes e futuros", Fundação Francisco Manuel dos Santos, Lisboa.
- Santos, F. D., Lopes, A. M., Moniz, G., Ramos, L., Taborda, R. (2017): "Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança", Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes e António Mota Lopes (Eds), Lisboa ISBN: 978-989-99962-1-2.
- Santos, P. R. S. (2009): "Palinoestratigrafia do Turoniano da Área de Laranjeiras, na Bacia de Sergipe; Inferências Paleoambientais e Paleoclimáticas", dissertação de Mestrado em Geociências, Uni. Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre 2009.
- Scambos, T. A., Bohlander, J. A., Shuman, C. A., Skvarca, P. (2004): "Glacier acceleration and thinning after ice shelf collapse in the Larsen B embayment, Antarctica", *Geophysical Research Letters*, 31, L18402.
- Shepard, F. P. (1954): "Nomenclature based on sand-sil-clay ratios", *Journal of Sedimentary Petrology*, 24, pp. 151-158.
- Schmidt, L., Delicado, A., Guerreiro, S., Gomes, C. (2012): "Mudanças Climáticas e Económicas na Costa Portuguesa: percepções das comunidades, justiça social e democratização", V II Congresso Português de Sociologia, Sociedade Crise e Reconfigurações [http://www.aps.pt/vii\\_congresso/papers/finais/PAP0829\\_ed.pdf](http://www.aps.pt/vii_congresso/papers/finais/PAP0829_ed.pdf)
- Schmidt, L., Santos, F.D., Prista, P., Saraiva, T., Gomes, C. (2012): "Alterações climáticas, sociais e políticas em Portugal: Processos de governança num litoral em risco", *Ambiente & Sociedade*, São Paulo, V. XV, n.º 1, pp. 23-40.
- Schwartz, P. (1991): "The Art of the Long View: Planning for the Future in an Uncertain World", New York, Doubleday.
- SIAM (2002): "Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures - SIAM Project", F. D. Santos, K. Forbes, R. Moita (editors), Gradiva, Lisboa.
- SIAM II (2006): "Projeto SIAM II, Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação", F.D. Santos e P. Miranda (eds.), Gradiva, Lisboa.
- Silva, M.C. (1999): "Estuários - critérios para uma classificação ambiental", Recursos Hídricos. APRH., 2, pp. 49-58.
- Silva, A. J., Borges, C., Palma, C., Gama, A. (2011): "Terceiro Relatório Técnico: Observações hidro-oceanográficas para caracterização e valorização da Baía do Seixal Janeiro 2009 - Dezembro 2010", Instituto Hidrográfico, Lisboa.
- Silva, T. 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, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Simas, T., Nunes, J. P., Ferreira, J. G. (2001): "Effects of global climate change on coastal salt marshes", IMAR, FCT, UNL, *Elsevier, Ecological Modelling* 139, pp. 1-15.
- Sharma, S., Goff, J., Cebrian, J., Ferraro, C. (2016): "A hybrid shoreline stabilization technique: Impact of modified intertidal reefs on marsh expansion and nekton habitat in the northern Gulf of Mexico", *Elsevier, Ecological Engineering*, 90, pp. 352-360.
- Smith, R. L. & Smith, T. M. (1998): "Elements of Ecology", 4ª ed., Benjamin Cummings, Sand Hill Road.
- Sousa, A.I., Lillebo, A.I., Caçador, I., Pardal, M.A. (2008): "Contribution of *Spartina maritima* to the reduce of eutrophication in estuarine systems". *Environmental Pollution*, pp. 1-8.
- Souza Pinto, C. (2000): "Curso Básico Mecânica Dos Solos", Ed. Oficina de Textos, Brasil.
- Stammer, D., (2008): "Response of the global ocean to Greenland and Antarctic ice melting", *Journal of Geophysical Research - Oceans*, 113, C06022.

- Stammer, D., Agarwal, N., Herrmann, P., Kohl, A., Mechoso, C. R. (2011): "Response of a coupled ocean-atmosphere model to Greenland ice melting", *Surveys in Geophysics*, 32, pp. 621-642.
- Sukhdev, P. (2008): "The Economics of Ecosystems and Biodiversity", Interim Report of the Convention on Biological Diversity, European Communities, Cambridge, Reino Unido.
- Syvitski, J. P. M. & Kettner, A. (2011): "Sediment flux and the Anthropocene", *Philosophical Transactions of the Royal Society of London A*, 369, pp. 957-975.
- Tábara, J. D. & Chabay, I. (2012): "Coupling Human Information and Knowledge Systems with social-ecological systems change: Reframing research, education, and policy for sustainability", *Environmental Science & Policy, Elsevier*, 28, pp. 71-81.
- TEEB (2010): "A Economia dos Ecossistemas e da Biodiversidade: Integrando a Economia da Natureza", Uma síntese da abordagem, conclusões e recomendações do TEEB.
- TEEB (2011): "The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for National and International Policy Making", Edited Patrick ten Brink, Routledge. <http://www.teebweb.org>
- TEEB (2012): "The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for Oceans and Coasts", Edited by Heidi Wittmer, HariPriya Gundimeda.
- TEEB (2013): "The Economics of Ecosystems and Biodiversity (TEEB) for Water and Wetlands". <http://www.teebweb.org>
- Tibério, A. S. P. (2004): "Biodiversidade, Ecologia e Produtividade do Sapal de Corroios - Um Contributo no Âmbito da Educação Ambiental", Tese de Mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Tobey, J., Rubinoff, P., Robadue Jr., D., Ricci, G., Volk, R., Furlow, J., Anderson, G. (2010): "Practicing coastal adaptation to climate change: lessons from integrated coastal management", *Coastal Management*, 38, pp. 317-335.
- Tribbia, J. & Moser, S. C. (2008): "More than information: What coastal managers need to plan for climate Change", *Environmental Science and Policy* 11(4), pp. 315-328.
- UNWWAP (2003): "United Nations World Water Assessment Programme. Water for People, Water for Life", Dados de 2009. [http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts\\_figures/protecting\\_ecosystems.shtml](http://webworld.unesco.org/water/wwap/facts_figures/protecting_ecosystems.shtml)
- USACE (The United States Army Corps of Engineers) (2008): "Dredged Material Management Plan (NY,NJ): Environmental Impact Statement", Volume 1, New York, USA.
- UKBAP (1999): "UK Biodiversity Group, tranche 2 action plans. Volume v: Maritime species and habitats. Technical Report", English Nature, UK.
- Válega, M., Lillebø, A.I., Caçador, I., Pereira, M.E., Duarte, A.C., Pardal, M.A. (2008): "Mercury mobility in a salt marsh colonised by *Halimione portulacoides*", *Chemosphere*, 72, pp. 1607-1613.
- Valente, C.; Freire, P.; Taborda, R. (2006): "Evolução morfológica da praia estuarina do Alfeite à Mesoescala". VII Congresso Nacional de Geologia, Estremoz. <http://www-ext.lnec.pt/LNEC/bibliografia/DHA/cgeologia06.pdf>
- Van der Wal, D. & Pye, K.(2004): "Patterns, rates and possible causes of saltmarsh erosion in the Greater Thames area (UK)", *Geomorphology*, 61, pp. 373-391.
- Van Koningsveld, M., et al. (2008): "Living with sea-level rise and climate change: A case study of the Netherlands", *Journal of Coastal Research* 24, 367-379.
- Vargas, C., Oliveira, F.S.B.F., Oliveira, A., Charneca, N. (2008): "Análise da Vulnerabilidade de uma Praia Estuarina à Inundação: aplicação à restinga do Alfeite (Estuário do Tejo)", *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 8 (1), pp. 25-43.
- VEEWCS (2011): "The Eastern Shore of Virginia: Strategies for Adapting to Climate Change. Report from the Eastern Shore Climate Change Adaptation Strategies workshop", Virginia Environmental Endowment and the Wildlife Conservation Society the Nature Conservancy in Virginia, EUA. <https://www.conservationgateway.org/ConservationByGeography/NorthAmerica/UnitedStates/virginia/Documents/VA%20Eastern%20Shore%20CC%20Adaptation%20Report%20Final.pdf>
- Vinagre, C., Santos, F. D., Cabral, H., Costa, M. J. (2011): "Impact of climate warming upon the fish assemblages of the Portuguese coast under different scenarios", *Reg Environ Change*, 11, pp. 779-789.
- Wada, Y., Van Beek, L. P. H., Van Kempen, C. M., Reckman, J. W. T. M., Vasak, S., Bierkens, M. F. P. (2010): "Global depletion of groundwater resources", *Geophysical Research Letters*, 37, L20402.
- WCED-World (Commission on Environment and Development) (1987): "Our Common Future", "Relatório de Brundtland", ONU.

Woodruff, J. D., Irish, J. L., Cmargo, S. J. (2013): "Coastal Flooding by Tropical Cyclones and Sea Level Rise", *Nature* 12855, 5, pp 44-52.

Yin, J. J., Schlesinger, M. E., Stouffer, R. J. (2009): "Model projections of rapid sea-level rise on the northeast coast of the United States". *Nature Geoscience*, 2, pp. 262-266.

Zimmerman, R. J., Minnillo, T. J., Rozas, L. P. (2000): "Salt marsh linkages to productivity of Penaeid shrimps and blue crabs in the Northern Gulf of Mexico", pp. 293-314 in M. P. Weinstein and D. A. Kreeger, editors. "Concepts and controversies in marsh ecology". Kluwer Academic, Amesterdão, Holanda.

#### **Outras fontes e elementos consultados:**

Cartografia do Concelho do Seixal 1:1000 e 1:10000 da CMS - Datum ETRS89 PT-TM06 elipsoide GRS80 voo Abril 2002, (Instituto Geográfico do Exército).

Cartografia militar 1:25000 - Série M888 Datum: Lisboa Projeção: Gauss elipsoide: Internacional de Hayford (Instituto Geográfico do Exército), Folhas 442, 443, 453 e 454 (1993).

Batimetria da Baía do Seixal - 1:2500 - Datum ETRS89 PT-TM06 elipsoide GRS80 (elaborada pelo Instituto Hidrográfico) (Fevereiro 2009).

Ortofotomapas da CMS voos de 1998, 2001 2005 2009 2013 e 2018 Datum ETRS89 PT-TM06 elipsoide GRS80.

Carta dos Solos de Portugal (Serviço de Reconhecimento e Ordenamento Agrário), à escala 1:50 000; Folhas 34-D e 38-B (1969).

Carta Geológica da Área Metropolitana de Lisboa (Junta Metropolitana de Lisboa, junho 2005) – Folha 34-D Lisboa, baseada na Edição de 1950 da Folha 34-D Lisboa, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, dos Serviços Geológicos de Portugal; Folha 38-B Setúbal, baseada na 2.ª Edição (1994) da Folha 38-B Setúbal, da Carta Geológica de Portugal, à escala 1:50 000, do Instituto Geológico e Mineiro.

Zbyszewsky, G. (1963): "Notícia explicativa da Folha 4 - Lisboa, da Carta Geológica dos arredores de Lisboa", escala 1/50 000. Serviços Geológicos de Portugal, Lisboa.

Ferrão, J. (2014): "Apontamentos de Alterações Climáticas e Ordenamento do Território" Programa Doutoral em Alterações Climáticas e Políticas de Desenvolvimento Sustentável", ICS, UL, Lisboa.

#### **Documentos da CMSeixal consultados:**

CMS (2012): "Riscos e Proteção Civil", estudo elaborado no âmbito da revisão do PDM do Seixal, Seixal.

CMS (2014): "Delimitação da Reserva Ecológica Nacional", memória descritiva da Carta Ecológica Nacional do Seixal, no âmbito da revisão do PDM do Seixal, Seixal.

DEC (Departamento de Equipamentos Coletivos) (1991): "Nova muralha e aterro da Zona Ribeirinha do Seixal/Amora", (05.04.08.23-1/1991).

DEC (1995): "Reparação da Muralha em calcário do Cais da Mundet", (27/95).

DOM (Divisão de Obras Municipais) (1995): "Execução da Nova Muralha e Ampliação do Parque da Associação Naval Amorense", (05.02.07/95).

DEC (1998): "Arranjos Exteriores da Frente Ribeirinha Arrentela/Fraternidade", Projeto de Execução, (10.01.15.2/98)

DEC (2004a): "Passeio Ribeirinho Seixal- Arrentela", Projeto de Execução.

DEC (2004b): "Passeio Ribeirinho, Quinta da Fidalga", Projeto de Execução.

DEC (2010): "Beneficiação da Muralha da Frente Ribeirinha do Seixal", (45/2010).

DEP (Divisão de Estudos e Projetos) (2015): "Requalificação da Ponta dos Corvos", Programa Base.

DEP (2016): "Frente Ribeirinha Amora Norte", Projeto de execução.