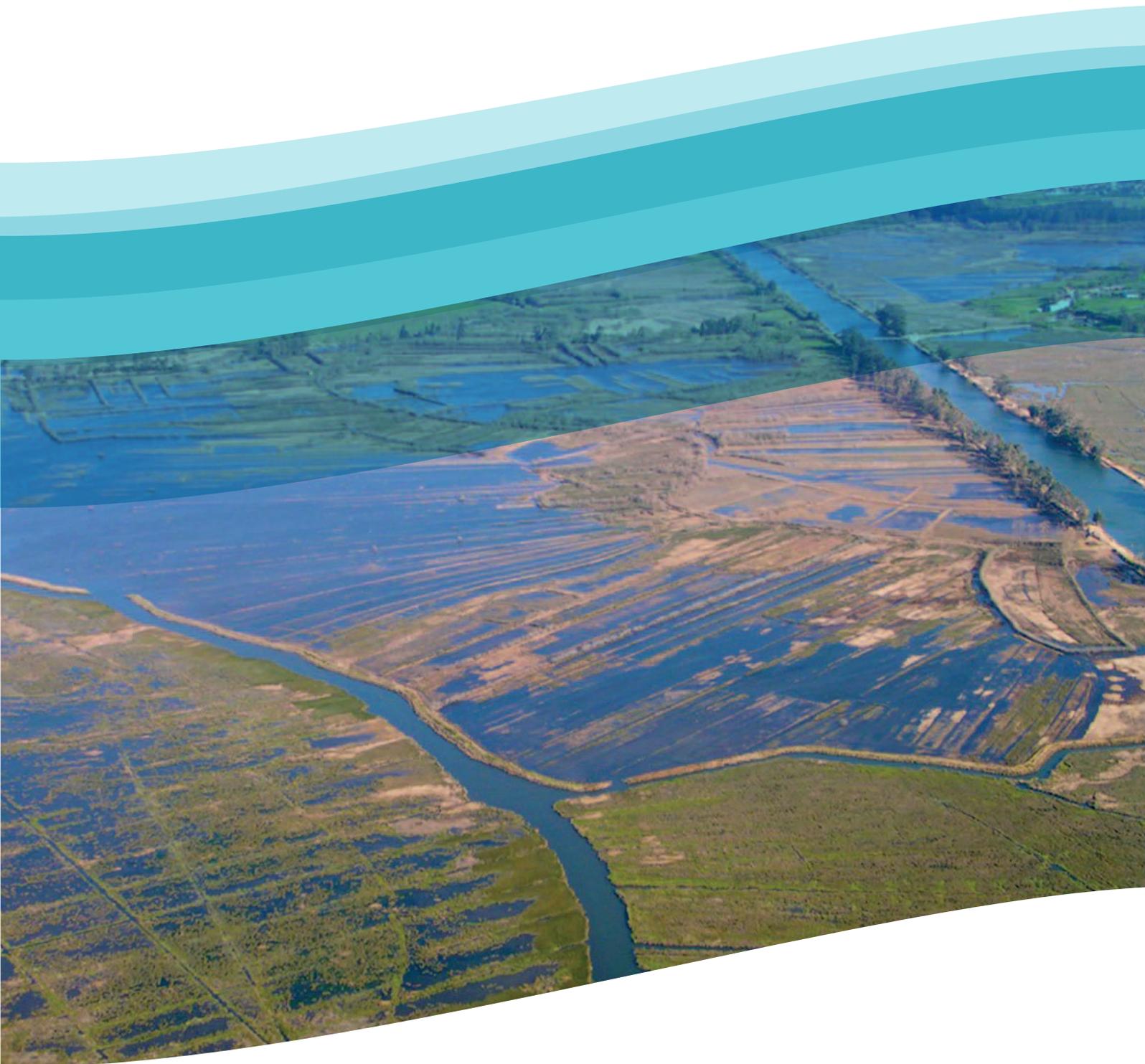


RISCO DE CHEIA

E ESTRATÉGIAS DE ADAPTAÇÃO PARA
A ZONA COSTEIRA E LAGUNAR DA RIA DE AVEIRO

Editores João M. Dias e Fátima L. Alves



- p.2 **Introdução**
- p.4 **Área de estudo**
- p.7 **Histórico de eventos**
Fátima L. Alves ⁽¹⁾; Carlos D. Coelho⁽²⁾; Carla Pereira⁽²⁾; João V. Silva⁽¹⁾; Lisa P. Sousa⁽¹⁾
- p.11 **Características dos agentes forçadores de cheias**
João M. Dias ⁽³⁾; Alfredo Rocha ⁽³⁾; André B. Fortunato ⁽⁴⁾; Carina L. Lopes ⁽³⁾;
Tiago Rodrigues ⁽³⁾; Nuno A. Ribeiro ⁽⁴⁾
- p.17 **Previsão de inundação marginal lagunar**
João M. Dias⁽³⁾; Carina L. Lopes⁽³⁾; Paulo A. Silva⁽³⁾; André B. Fortunato⁽⁴⁾
- p.22 **Previsão de recuo da linha de costa**
Carlos D. Coelho⁽²⁾; Carla Pereira⁽²⁾
- p.27 **Cartas globais de vulnerabilidade e risco**
Fátima L. Alves ⁽¹⁾; Lisa P. Sousa⁽¹⁾
- p.36 **Estratégias de adaptação**
Fátima L. Alves ⁽¹⁾; Carlos D. Coelho⁽²⁾; Inês C. Antunes⁽¹⁾; Lisa P. Sousa⁽¹⁾;
Carla Pereira⁽²⁾; M^a da Luz Fernandes⁽¹⁾; Peter C. Roebeling⁽¹⁾
- p.50 **Referências bibliográficas**
- p.51 **Lista de acrónimos**
- p.52 **Agradecimentos**

⁽¹⁾ CESAM, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁽²⁾ CESAM, Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁽³⁾ CESAM, Departamento de Física, Universidade de Aveiro, 3810-193 Aveiro, Portugal

⁽⁴⁾ Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Av. do Brasil, 101, 1700-066 Lisboa, Portugal

Prefácio

Flooding and coastal erosion are global concerns and the latest report from the Intergovernmental Panel on Climate Change, Fifth Assessment Report "Climate Change 2013: The Physical Science Basis" (IPCC, 2013) predicts an increase in the frequency and intensity of heavy precipitation and extreme high sea levels. European policymakers have already recognised the importance of these problems with European Directive (2007/60/EC) on the assessment and management of flood risk setting out how member states must plan for this threat and by supporting EUROSION, an initiative for sustainable coastal erosion management. The main goal of ADAPTARia project was to perform flood risk assessments and define adaptation strategies under different scenarios of climate change, for the Ria de Aveiro and littoral stretch of Esmoriz-Mira. Ria de Aveiro is a flood-prone urban region where there have been significant floods and the shoreline has experienced substantial coastal erosion which together with incidences of flooding had serious economic consequences. Therefore, from a regional perspective, ADAPTARia's importance cannot be understated. Objectives included the formulation of adaptation strategies which are now being disseminated via an end-users conference and this publication.

The multi-disciplinary ADAPTARia project team included experts from physics, environment and planning, earth sciences, civil engineering, and estuaries and coastal zone management. The team started reviewing 'state of the art', assessed hydrological and meteorological contributions to flooding, which was followed by wave analyses for shoreline impacts. Finally, results were used to map and perform detailed flood risk assessments for the Aveiro littoral and Ria de Aveiro.

Coastal morphodynamic models linked to global climate change models and sea-level rise scenarios were developed and used to determine flooding and erosion risk, while adaptation strategies and measures have been proposed for flooding prevention and mitigation. Evaluations of flooding and littoral risk maps and different climate scenarios enable the identification of vulnerable regions and highlighted the need for specific interventions to protect residents, important ecosystems and local economies. Consequently, hard engineering strategies (groynes and dykes), and soft engineering solutions (managing agricultural low land areas) are suggested. Lessons learned throughout the project have informed policy recommendations for decision-makers.

Impacts of ADAPTARia are clear and have been widely disseminated via scientific publications and public dissemination demonstrating the global relevance of ADAPTARia's risk and adaptation strategies for coastal and fluvial flooding. The team's methods, results, risk assessments, recommendations and strategies have been externally validated by international experts, evidenced by many publications in peer reviewed international journals. Numerous proceedings, as well as this publication have been produced to inform local and national citizens of project findings. Therefore, the multi-disciplinary academic team has enabled transfer of knowledge to inform climate change adaptation policies. I am proud to have been a consultant on the ADAPTARia project and can verify it has clearly met its objectives, providing mitigation strategies for coastal and fluvial flooding of the Ria de Aveiro and littoral stretch of Esmoriz-Mira.



A handwritten signature in black ink that reads "Michael Phillips". The signature is written in a cursive, flowing style.

Professor Michael Phillips, BSc, PGCE, MSc, PhD, MEnvSc, FRGS.
Pro Vice-Chancellor (Research, Innovation, Enterprise and Commercialisation)
University of Wales: Trinity Saint David (Swansea)

Introdução

A inundação nas regiões costeiras é um dos fenómenos naturais amplamente distribuído por toda a Europa, ameaçando populações, bens materiais e ecossistemas. Neste contexto deve ser salientado que o risco futuro de inundação nas regiões costeiras será em geral superior ao atual, conforme projetado nos últimos relatórios do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007; 2013). De facto, prevê-se que as zonas costeiras estejam mais expostas ao avanço do mar, aumentando o risco de erosão e de inundação, promovidas essencialmente pela subida do nível do mar. Antevê-se ainda que estas consequências sejam agravadas pela crescente pressão antropogénica no litoral. Assim, estima-se que futuramente exista um aumento significativo do número de pessoas que serão afetadas anualmente pelas inundações (IPCC, 2007).

Em 2007, a União Europeia reconheceu os riscos associados a este fenómeno e aprovou a Diretiva (2007/60/CE) relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações, dando orientações ao nível do ordenamento e gestão do território, assim como ao nível da gestão da água. Esta Diretiva vincula os Estados-Membros, não só nos procedimentos que devem seguir na avaliação de mapas de extensão de cheias, assim como na avaliação dos riscos humanos em todos os cursos de água e linhas de costa. Ainda de acordo com esta Diretiva, os Estados-Membros encontram-se obrigados a

apresentar medidas que visem a redução do risco. A transposição desta diretiva para a ordem jurídica interna encontra-se substanciada no Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro, conferindo às entidades regionais com competência na gestão dos recursos hídricos, a elaboração das cartas de zonas inundáveis e das cartas de risco de inundação, até 22 de dezembro de 2013 e, conseqüentemente, os respetivos planos de gestão até 2015. O referido diploma legislativo define que estes planos de gestão devem ser centrados na prevenção, proteção, preparação e previsão destes fenómenos, em estreita articulação com os planos de gestão das bacias hidrográficas. Mais ainda, refere que estes planos de gestão deverão ter em conta as características próprias das zonas a que se referem e prever soluções específicas para cada caso.

Foi neste contexto de alterações globais e de obrigações jurídicas, a que o Estado português se encontra obrigado, que em 2008 foi elaborada a proposta do projeto ADAPTARia (<http://climetua.fis.ua.pt/legacy/adaptaria/>). Esta teve como principais objetivos a avaliação do risco de cheia na Ria de Aveiro e de evolução da linha de costa no trecho costeiro Esmoriz-Mira, e posteriormente a definição de estratégias de adaptação e mitigação, tendo por base os resultados obtidos nas tarefas anteriores do projeto e as características da área de estudo.

No que reporta à região lagunar da Ria de Aveiro, parte significativa dos fenómenos de cheias ocorre em condições climáticas adversas: chuvas torrenciais com aumento dos caudais fluviais; baixas pressões a N/NW de Portugal e altas pressões a S/SW, associadas a ventos fortes de sul, que originam sobre-elevações do nível do mar (marés meteorológicas). Os maiores níveis de água associados às marés vivas equinociais têm também impacto na ocorrência e extensão de inundações, bem como a evolução do nível médio do mar e a variação morfológica dos canais da Ria de Aveiro, que depende da sua evolução natural e de ações antropogénicas. A evolução da linha de costa que se verifica nesta região costeira é determinada pela evolução do nível médio do mar, pelo regime de agitação marítima do nordeste Atlântico, e pela disponibilidade sedimentar.

É consensual para a comunidade científica que os fenómenos associados às alterações climáticas amplificam os efeitos destes forçamentos. É vasta a investigação internacional e nacional sobre esta temática, destacando-se o 4º e 5º Relatório do Painel Intergovernamental para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007; 2013) e o relatório do projeto SIAM II (Santos e Miranda, 2007). Prevalece, no entanto, alguma ambigüidade sobre o futuro das condições climáticas. No entanto, os resultados obtidos nos estudos realizados indicam que nas próximas décadas as alterações climáticas possam ser

responsáveis por transformações substanciais na hidro/morfodinâmica dos ambientes costeiros, estuarinos e fluviais. Estas incertezas evidenciam, claramente, a necessidade de abordagens complexas para a análise, avaliação e gestão do risco de inundações, no sentido de apoiar o desenvolvimento de planos de emergência e o processo de planeamento e gestão do território, considerados instrumentos fundamentais no processo de suporte à decisão.

Através da investigação desenvolvida no projeto ADAPTARia, pretendeu-se contribuir para aumentar o conhecimento técnico e científico da temática dos riscos de inundação e evolução da linha de costa, em Portugal e, em particular, na região costeira e lagunar da Ria de Aveiro. Neste sentido o projeto adotou uma perspetiva multidisciplinar, que permitiu à sua equipa de investigação desenvolver e aplicar uma abordagem científica integradora e diversificada de conhecimento para atingir os objetivos propostos.

Esta publicação apresenta os resultados da abordagem, integradora e multidisciplinar, adotada no sentido de prever e minimizar os efeitos negativos das cheias e evolução da linha de costa nos sistemas biofísicos e socioeconómicos da região lagunar e costeira da Ria de Aveiro. Deste modo, definiram-se estratégias e ações concretas de interven-

ção, tendo em consideração as necessidades e prioridades, a longo prazo, desta região e suportadas na avaliação dos efeitos das alterações climáticas.

Nos próximos capítulos faz-se uma breve descrição da área de estudo, seguindo-se a apresentação dos principais resultados obtidos através da execução do projeto ADAPTARia. Na sua realização foi efetuado um levantamento do histórico de cheias na região, indispensável para identificar e compreender os mecanismos que causam inundações e as suas características e consequências. De seguida, foram caracterizados os agentes forçadores de cheias na situação atual e em cenários futuros de alterações climáticas. Neste âmbito foram analisados índices de tempestades para o Atlântico norte e simulados valores meteorológicos diários (vento à superfície, precipitação, pressão atmosférica) para a zona costeira de Aveiro, para os períodos 1971-2000 e 2071-2100, com especial ênfase no cenário A2 SRES do IPCC. Os dados de vento foram utilizados para forçar os modelos de geração e propagação de ondas, que permitiram obter os regimes de agitação marítima atuais e futuros. A partir dos valores da precipitação foram determinados cenários atuais e futuros de descarga hídrica para os principais rios que desaguam na Ria de Aveiro, e efetuada a sua análise estatística. Dados de elevação da superfície livre da água medidos no marégrafo da Barra

foram analisados estatisticamente para definir os valores atuais do nível médio do mar, maré astronómica e maré meteorológica, e foram ainda definidas as alterações a estes valores em cenários de alterações climáticas. Seguidamente, foram desenvolvidos e aplicados modelos de hidro/morfodinâmica lagunar e costeira, para determinação das áreas inundáveis e evolução da linha de costa no presente e futuramente, sob diferentes condições dos agentes forçadores de cheias. Posteriormente, partindo dos resultados destes modelos e da análise de vulnerabilidade efetuada para a região, geraram-se cartas de risco, para os diferentes cenários. Finalmente foram propostas medidas concretas de adaptação, prevenção e mitigação do risco, com base nos resultados obtidos no exercício de cenarização efetuado para a região costeira e lagunar da Ria de Aveiro.

Área de estudo

A área de estudo (Fig. 1), objeto do projeto ADAPTARiA, corresponde à região da Ria de Aveiro localizada na costa noroeste de Portugal (40°38'N, 08°45'W) e inclui oito municípios (Ovar, Murtosa, Estarreja, Albergaria-a-Velha, Aveiro, Ílhavo, Vagos e Mira), com uma população residente de 270 575 habitantes (INE, 2013). Esta área foi definida tendo por base os seguintes pressupostos: i) áreas terrestres confinantes com o plano de água da laguna de Aveiro; ii) trechos costeiros adjacentes à laguna (Esmoriz – Mira); iii) histórico sobre cheias nas áreas adjacentes da Ria de Aveiro; e iv) escala de análise ajustada ao município. Este território singular suporta diversas atividades de importância económica significativa, que incluem

a agricultura, a pecuária, a pesca costeira, a pesca profissional local, o marisqueiro e a pesca lúdica (incluindo a apanha de casulo), bem como a aquacultura, a indústria de transformação de pescado, o seu armazenamento, transporte e distribuição, e ainda marketing, serviços de apoio às empresas, produção de sal, atividades portuárias, turismo, ecoturismo e restauração.

No registo censitário de 2011 (INE, 2013) a população empregada por setor de atividade económica na área de estudo era: 3 431 (3%) no setor primário, 40 346 (35%) no setor secundário e 72 724 (62%) no setor terciário.

A zona lagunar

Os territórios marginais da Ria de Aveiro são propensos a cheias devido às suas características topográficas e morfológicas, i.e. as áreas terrestres confinantes com o plano de água e canais principais apresentam cotas baixas. A laguna consiste numa complexa rede de canais pouco profundos. Tem 45 km

de comprimento e 10 km de largura e em maré viva cobre uma área que varia de 89.2 km² em preia-mar a 64.9 km² em baixa-mar. Os Canais de Ílhavo, S. Jacinto, Mira e Espinheiro são considerados os mais importantes em termos de hidrodinâmica lagunar. No Canal do Espinheiro desagua o Rio Vouga,

que representa cerca de 2/3 do total da descarga fluvial na laguna (Dias, 2001) (Fig. 1). Na bacia do Laranjo desagua o Rio Antuã, enquanto nas cabeceiras dos Canais de S. Jacinto - Ovar, Ílhavo e Mira as aflúncias de água doce se devem aos Rios Cáster e Boco e à Ribeira do Moinhos, respetivamente.

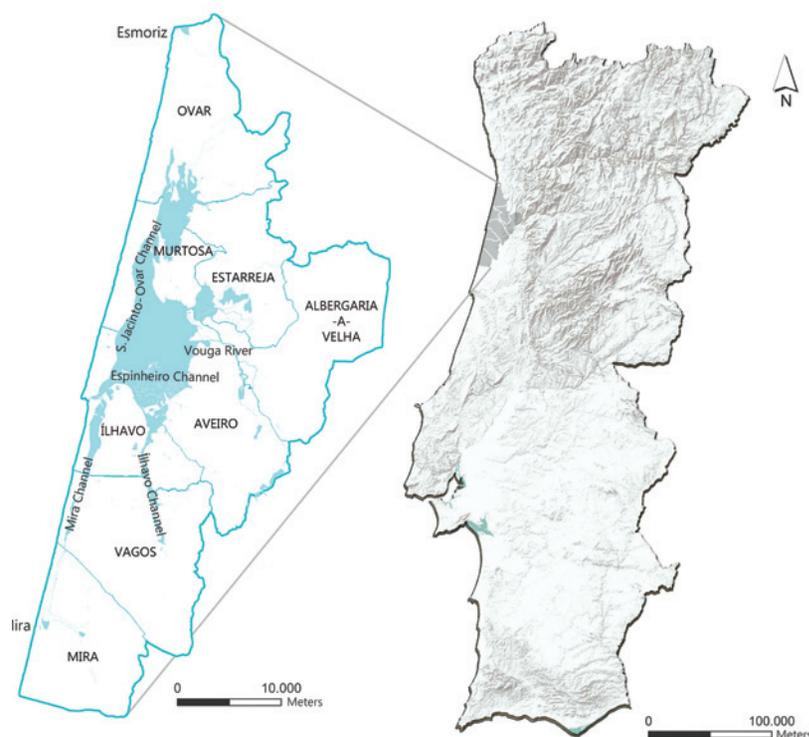


Fig. 1 - Área de estudo do projeto ADAPTARIA.

Quando o caudal fluvial é elevado a região adjacente à foz do Rio Vouga é alagada. Esta região constitui uma zona húmida de elevado valor ecológico e socioeconómico, designada Bloco do Baixo Vouga Lagunar (BBVL). Tem uma área de cerca de 4 600 ha e é composta por campos agrícolas usados na produção de milho e arroz, pastagens, e áreas de caniço e junco. O BBVL apresenta características biofísicas únicas que lhe conferem um elevado valor conservacionista e de biodiversidade (Leão, 2003). Esta circunstância possibilitou a classificação da Ria de Aveiro na rede Natura 2000, como Zona de Proteção Especial (ZPE) incluindo áreas classificadas como Sítios de Importância Comunitária (SIC). Muitas espécies são protegidas por convenções internacionais, tais como a Diretiva Aves e a Diretiva Habitats.

A zona costeira

A zona costeira noroeste portuguesa entre Esmoriz e Mira caracteriza-se por ser um sistema costeiro essencialmente arenoso, sujeito a um clima de agitação marítima muito energético. O clima de agitação apresenta uma altura de onda significativa média de 2 a 3 metros, com períodos de onda entre os 8 e os 12 segundos. A altura de onda significativa em período de tempestade excede os 8 metros, com períodos de onda de 16 a 18 segundos. As principais

A Ria de Aveiro, como sistema estuarino, encontra-se num estado de conservação medíocre a bom (duas massas de água em bom estado de conservação, duas massas de água em estado razoável e uma massa de água em estado medíocre; MAMAOT/ARHCentro, 2012). Contudo, mudanças na ecologia do sistema, nomeadamente, no prisma de maré, na velocidade da corrente e na turbidez da água estão a colocar em perigo habitats valiosos e bens e serviços associados (Sousa *et al.*, 2013).

A laguna liga-se ao oceano Atlântico através de uma única embocadura artificial construída em 1808 (Dias, 1994). Esta permite o acesso ao Porto de Aveiro, e por isso o canal de navegação é em média mais profundo (profundidade média de 15 m relativa-

mente ao *datum* local) que os restantes canais de navegação (~8 m de profundidade relativamente ao *datum local*). Os restantes canais apresentam uma profundidade muito reduzida (profundidade média de 1 m relativamente ao *datum local*) (Dias e Lopes, 2006). A amplitude da maré astronómica varia entre um máximo de 3.2 m em maré viva e um mínimo de 0.6 m em maré morta (Dias *et al.*, 2000). A maré meteorológica, apesar de pouco frequente, pode atingir uma altura máxima de ~1 m (Picado *et al.*, 2013). Em situações de marés vivas e/ou maré meteorológica significativa, determinadas zonas adjacentes à laguna são alagadas, a maioria das vezes por águas de salinidade elevada, colocando em risco a produtividade agrícola assim como a biodiversidade local.

tempestades atingem a zona noroeste da costa Portuguesa com agitação proveniente do quadrante noroeste, particularmente entre outubro e março. Como consequência do clima de agitação, as correntes de deriva litoral atuam principalmente no sentido norte-sul, apesar de alguns registos pontuais no sentido sul-norte. Este facto pode ser demonstrado facilmente pelas áreas de acreção a norte dos esporões e áreas de erosão a sul (Coelho e Veloso-Gomes, 2006).

Esta zona costeira apresenta um elevado défice sedimentar, pelo que o transporte de sedimentos induzido pela ação de ondas, correntes e ventos alimenta-se das areias das praias, o que origina a sua acentuada erosão e o consequente recuo da posição da linha de costa. Esta tende para uma nova configuração de equilíbrio, que corresponde a um menor volume de sedimentos em transporte para sotamar, propagando sucessivamente os efeitos erosivos para sul.



Fig. 2 - Obras de defesa costeira na área de estudo.

Se a quantidade de sedimentos disponível para a deriva litoral fosse igual à capacidade de transporte, a posição da linha de costa estaria em equilíbrio. No passado, o Rio Douro teria capacidade para praticamente sozinho fornecer a quantidade de sedimentos necessários ao equilíbrio (Coelho *et al.*, 2009). No entanto, são diversas e bem conhecidas as causas que se podem apontar para o problema da falta de sedimentos e consequente erosão costeira (Velooso-Gomes, 2010). Vários autores são unânimes em afirmar que, no troço em análise o enfraquecimento das fontes sedimentares é a causa maior dos problemas erosivos (CEHIDRO, 2010). De acordo com Mota Oliveira (1997), apenas a redução das fontes sedimentares pode explicar as taxas de erosão observadas, pois nenhum outro fenómeno explicaria só por si, a evolução registada nas últimas décadas e em especial nos últimos anos. Assim, no troço a norte de Aveiro, o défice sedimentar deve-se sobretudo à redução de sedimentos transportados pelo Rio Douro, ao qual se associam também os volumes de

sedimentos dragados pelo Porto de Leixões. O troço entre Esmoriz e o Furadouro define-se como uma das zonas mais críticas em termos de erosão. A sul da Barra de Aveiro, ao generalizado défice sedimentar existente, associa-se a retenção de sedimentos em deriva litoral por parte do quebramar norte do Porto de Aveiro e os volumes de sedimentos dragados pelo Porto de Aveiro. Assim, o troço costeiro a sul do quebramar sul do Porto de Aveiro apresenta problemas de erosão, particularmente na Praia da Barra e da Costa Nova e entre a Vagueira e Mira.

Associada ao défice sedimentar, a ocupação do litoral (pressão urbana e turística) tem sido crescente, levando à sua ocupação, nalguns casos sobre as dunas, destruindo uma defesa natural que representaria um volume de areia disponível para a interação dinâmica com o mar. As construções em zonas próximas da ação directa do mar resultam também na exposição de pessoas e bens, em zonas de risco.

O tipo e número de obras de defesa costeira implementados na área de estudo (Fig. 2) realçam a vulnerabilidade deste trecho costeiro. As praias de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro, no trecho Esmoriz-São Jacinto, apresentam 7 esporões e 6 obras longitudinais aderentes. Entre a Costa Nova e Mira, há 11 esporões e 4 obras longitudinais aderentes. Em geral, com o recurso aos esporões e obras longitudinais aderentes foi possível prevenir o recuo da linha de costa nas zonas urbanizadas, mas a política costeira de transferir os problemas de erosão para áreas de menor risco conduziu a uma antecipação do recuo da linha de costa nas áreas a sotamar (sul) das obras de defesa costeira (Costa e Coelho, 2013).

Histórico de eventos

A zona costeira e lagunar da Ria de Aveiro é atingida, frequentemente, por eventos severos de cheias de origem marinha e fluvial cujas consequências ambientais e socioeconómicas se têm vindo agravar nas últimas décadas, não só devido ao aumento da frequência dos eventos mas também da sua magnitude e, conseqüentemente, pelos danos que causam. As referências encontradas sobre eventos desta natureza na área de estudo do projeto remontam a 1857 no caso da zona lagunar, e a 1858 na zona costeira, o que permitiu a análise de um período alargado. Contudo, na interpretação dos dados recolhidos foi tido em atenção que as informações de registos dos

eventos escasseiam quando se procuram referências do passado mais distante.

Tecnicamente, a análise cronológica de eventos constitui um dos elementos fundamentais na avaliação do risco de inundação (fluvial ou marinha), devendo incluir uma descrição das inundações ocorridas no passado que tenham tido impactos negativos importantes na saúde humana, no ambiente, no património cultural e nas atividades económicas (Diretiva 2007/60/CE do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de Outubro de 2007).

A zona lagunar

A análise do histórico de cheias teve por base os dados do projeto SECUR-Ria, entre 1957 e 2005. Para o período entre 2006 e 2011, o estudo foi complementado com recurso a pesquisas *online*, dados coligidos em jornais nacionais e locais e dados das ocorrências registadas pelo Comando

Distrital de Operações de Socorro de Aveiro (AMRIA/DAO, 2007; Alves *et al.*, 2011).

A análise temporal dos dados de cheias para o período entre 1857 e 2005 revela um número global escasso de eventos, sendo que o concelho de Ovar constitui exceção,

apresentando um histórico elevado, com significativa incidência territorial de cheias na freguesia de Ovar. Contudo, para o período entre 2006 e 2011 a informação recolhida permite constatar uma incidência territorial mais vasta nos eventos de cheias, surgindo os concelhos de Murtosa, Estarreja e Ílhavo

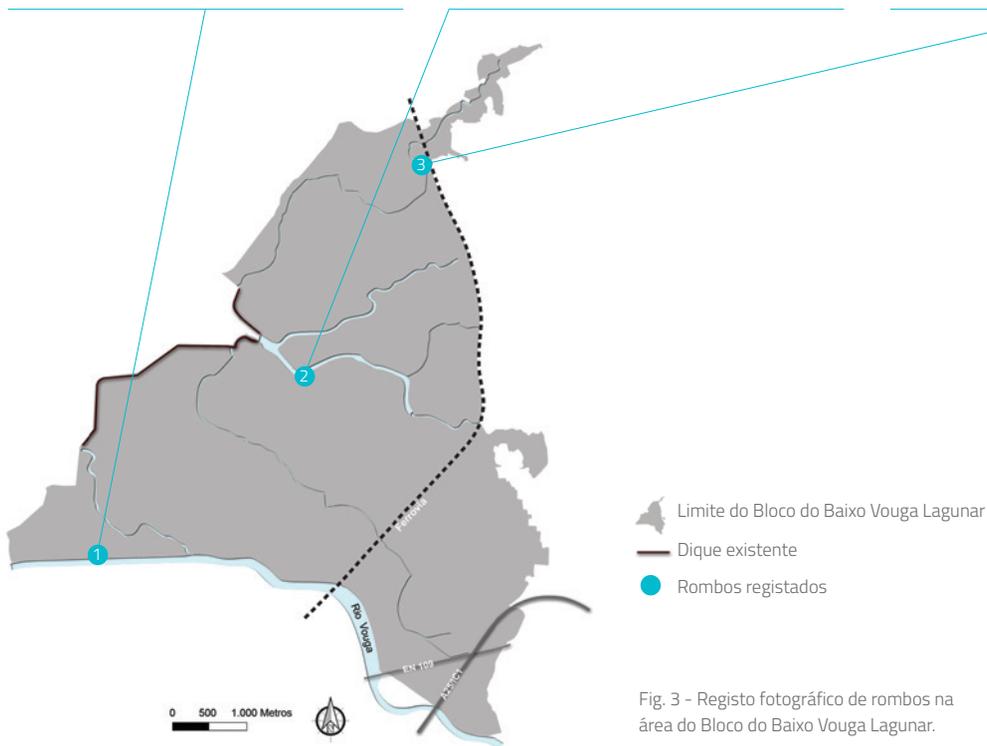
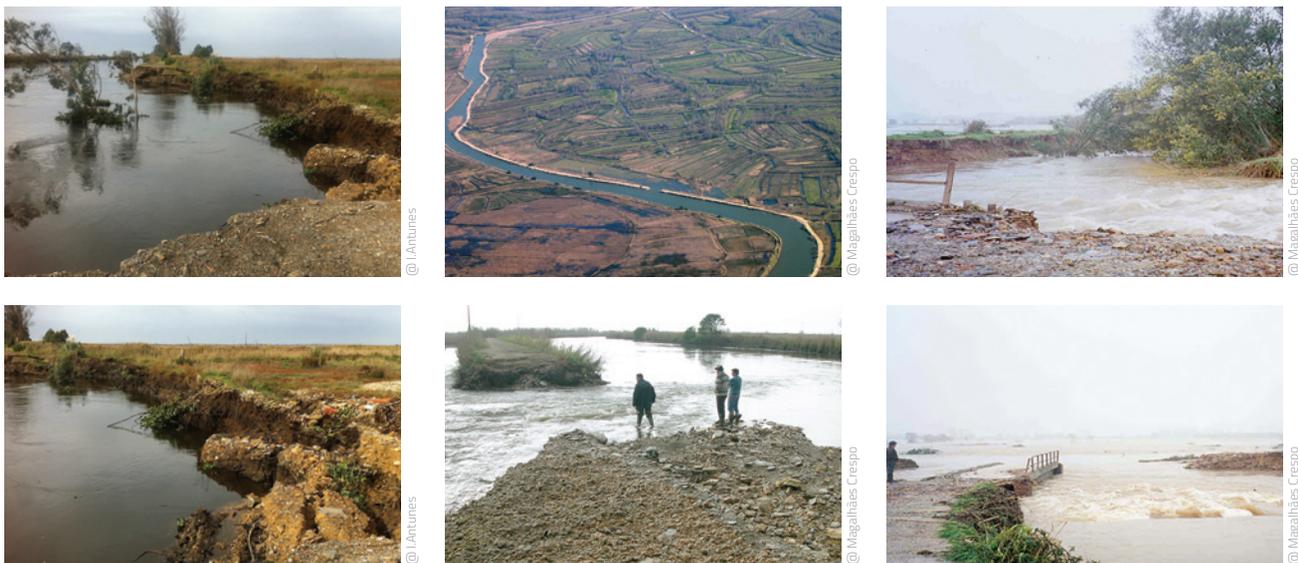


Fig. 3 - Registo fotográfico de rombos na área do Bloco do Baixo Vouga Lagunar.

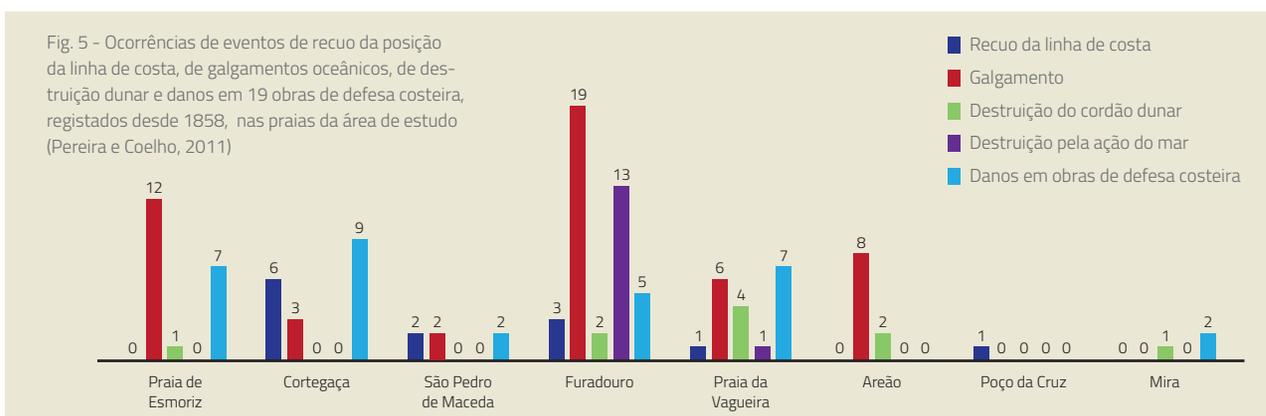
com ocorrências significativas de inundações marginais.

A recolha de informação referente a eventos de cheias nas áreas adjacentes da Ria de Aveiro apresenta um inventário com múltiplas ocorrências, não tendo sido possível definir com precisão o dia ou a altura da cheia, ficando-se apenas pelo mês de ocorrência ou estação do ano. Assim, é possível verificar que os meses com maior incidência de eventos são tipicamente os meses de inverno (dezembro a março). A análise do histórico de eventos de cheia revela, ainda, que durante o período de 2008 a 2010 as ocorrências foram em maior número.

As situações mais significativas de cheias nas áreas marginais da laguna foram identificadas nas zonas da Murtosa, Estarreja e Albergaria-a-Velha, onde os eventos são mais numerosos e as consequências ecológicas e socioeconómicas são, eventualmente, mais gravosas com danos nas atividades agrícolas (encharcamento e salinização dos campos agrícolas) e nas infraestruturas rodoviárias (colapso de pequenas pontes, rombos em estradas e caminhos agrícolas, rombos nos taludes) (Fig. 3). Contudo, na área mais a sul da Ria de Aveiro, no concelho de Ílhavo (Gafanha da Nazaré) há situações recorrentes de inundações com impactos significativos nas atividades tradicionais, como sejam agricultura e apanha de bivalves.



Fig. 4. Registo fotográfico de galgamento e rompimento do cordão dunar na Praia do Labrego, Vagueira, em outubro de 2011.



A zona costeira

Na região costeira adjacente à Ria de Aveiro, os casos mais graves de erosão costeira e inundação, por défice sedimentar ao longo do litoral, ocorrem em locais de intensa ocupação, onde a proteção das pessoas e bens se torna imprescindível. Nesta situação podem-se referir os casos das praias de Esmoriz, Cortegaça, Furadouro, Vagueira e Praia de Mira. No troço Vagueira – Mira, a situação na vizinhança das praias do Areão e do Poço da Cruz representa também aspectos ambientais preocupantes, devido à fragilidade da restinga de areia que separa o mar da Ria de Aveiro.

No sentido de caracterizar a zona costeira entre Esmoriz e Mira realizou-se um levantamento cronológico de eventos de ação marítima com consequências negativas na zona costeira (Fig. 4) e das intervenções de defesa costeira aí existentes (Pereira e Coelho, 2011). A base de dados resultante

compreende referências entre 1858 (primeiro registo encontrado) e 2010. A informação que foi considerada na base de dados engloba várias vertentes de proveniência (meios de socorro e proteção, bibliografia mais ou menos técnica, meios de comunicação social escrita ou falada, versões *online* de jornais e revistas). Na interpretação dos dados recolhidos deve-se ter em atenção que as informações de registos dos eventos escasseiam quando se procuram referências do passado mais distante. Da mesma forma, quando o evento não afeta diretamente as populações, nem sempre há relatos, pelo que eventos em locais com menor ocupação demográfica podem não ser identificados. Assim, a interpretação dos elementos apresentados deve ser considerada com o necessário cuidado.

A análise da evolução de indicadores ao longo do trecho costeiro entre os municípios

de Ovar e Mira, como as taxas de recuo da linha de costa e o número de ocorrências relacionadas com inundação ou galgamento provocadas pela ação energética do mar (com danos no cordão dunar, nas estruturas de defesa ou em infraestruturas), revelou as zonas de maior vulnerabilidade e quais os riscos mais evidentes na zona costeira da Ria de Aveiro.

A análise temporal do registo de eventos indicou uma forte tendência no aumento destes fenómenos ao longo do tempo, com particular incidência na última década. Analisando a distribuição mensal de eventos observou-se que a maior incidência destes ocorre durante os invernos marítimos: outubro a março.

A distribuição territorial revela que a maioria das ocorrências (Fig. 5), desde 1858, se localiza nas praias de Esmoriz, Cortegaça,

TIPO DE INTERVENÇÃO	NÚMERO DE INTERVENÇÕES
Obra longitudinal aderente	61
Esporão	75
Cordão dunar	10
Outras	5

Tabela 1.
Número de intervenções, entre 1958 e 2010, por tipologia para a área de estudo (Pereira e Coelho, 2011).

Furadouro, Vagueira e Areão, pelo que é possível caracterizar estes troços como de elevada vulnerabilidade às ações energéticas do mar.

Outro aspecto relevante na avaliação de risco consiste na análise às intervenções de defesa costeira realizadas ao longo do tempo, à respetiva frequência de manutenção, assim como às intervenções de emergência para reparação ou manutenção das estruturas. São várias as tipologias de intervenção que existem ao longo de todo o troço costeiro entre os concelhos de Ovar e Mira sendo de destacar as seguintes categorias: “obra longitudinal aderente”, “esporão”, “cordão dunar” e “outras” (esta última compreende intervenções com tipologias pouco usuais ou menos frequentes, como a alimentação artificial de areias).

A Tabela 1 resume o número de intervenções por tipologia de intervenção, no troço costeiro entre os concelhos de Ovar e Mira, sendo a tipologia mais utilizada o esporão seguida pela obra de defesa longitudinal aderente. À semelhança do registo de eventos, também neste parâmetro de análise se verifica uma tendência para o acréscimo do número de intervenções ao longo do tempo, com especial destaque para as últimas décadas. Esta tendência deriva do aumento da fragilidade e da vulnerabilidade deste trecho costeiro, mas também resulta da existência de um número cada vez maior de obras, que obrigam à respetiva manutenção. Assim, constata-se que a necessidade de defender o território já fragilizado da ação mar, vai aumentando ao longo do tempo, e que são cada vez mais os troços com estruturas de defesa costeira, sujeitas a intervenções de manutenção e de emergência. Note-se que

atualmente se preveem intervenções de manutenção mais frequentes e de menor dimensão, garantindo a permanente eficácia das obras e custos de reparação mais baixos.

A análise às intervenções de defesa costeira realizadas entre os concelhos de Ovar e Mira evidenciou como zonas de elevada vulnerabilidade e risco as praias de Esmoriz, Cortegaça e Furadouro, na parte norte do troço Ovar-Aveiro, onde estão implantados seis esporões e sete obras longitudinais aderentes. Também o troço costeiro entre Vagueira e Mira, com seis esporões e duas obras aderentes representa uma zona muito vulnerável (Pereira e Coelho, 2013a; Pereira e Coelho, 2013b). Estes resultados confirmam a apreciação realizada através do histórico de eventos representados na Fig. 5.

Características dos agentes forçadores de cheias

A análise do comportamento dos agentes forçadores de cheias é uma tarefa fundamental na análise do risco de inundações e insere-se na metodologia de análise de risco fonte-percurso-recetor (<http://www.floodsite.net/default.htm>). Neste contexto, e no sentido de definir os cenários mais significativos, é essencial caracterizar os agentes forçadores de cheias na região costeira de Aveiro, assim como na Ria de Aveiro.

A caracterização dos agentes forçadores de cheias é efetuada frequentemente através da análise estatística de séries temporais longas de observações e posterior determinação da sua magnitude para determinados períodos de retorno. No entanto, tendo em consideração a escassez de observações de algumas grandezas relevantes, e também a necessidade de definir cenários em

situações futuras resultantes de alterações climáticas, recorreu-se também à aplicação de modelos numéricos de previsão para a geração de informações complementares.

A definição de cenários para a zona costeira de Aveiro requer o conhecimento presente e futuro do nível médio do mar e dos regimes de agitação marítima, determinados por simulação numérica recorrendo a ventos previstos no âmbito deste estudo. Para a Ria de Aveiro a definição de cenários implica o conhecimento presente e futuro do nível do mar e dos caudais fluviais dos seus vários afluentes, determinados neste estudo através da utilização de um modelo de bacia hidrográfica que recorre a valores de precipitação previstos para esse objetivo.

Previsão de ventos, precipitação e pressão atmosférica

Os regimes de vento, precipitação e pressão atmosférica estão na origem do clima costeiro de agitação marítima, de descarga fluvial da bacia hidrográfica do Rio Vouga e de marés meteorológicas na costa portuguesa, cuja caracterização é essencial para o estudo das inundações na região costeira da Ria de Aveiro. Consequentemente, é necessário efetuar a caracterização do regime climático atual de vento, precipitação e pressão atmosférica, assim como das modificações previstas em cenários de alterações climáticas. Estas estão dependentes de eventuais alterações no regime de depressões no Atlântico norte, cujo impacto é relevante para a costa portuguesa, e em particular para a região costeira da Ria de Aveiro.

Para a caracterização dos regimes atuais e futuros de vento, precipitação e pressão atmosférica e análise de eventuais modificações induzidas por alterações climáticas deve-se estudar o regime de depressões no Atlântico norte. Com este objetivo foram selecionados os períodos de 1971-2000 como representativo do clima atual e de 2071-2100 para o estudo de um clima futuro. Para o clima futuro foi considerado o cenário A2 do quarto relatório do IPCC (IPCC, 2007). Este cenário é um dos mais extremos, pelo que estes resultados devem ser vistos como um cenário pessimista. Foram utilizados dados dos modelos climáticos ECHAM5 e CCSM3, tendo estes sido validados para o

clima presente através da comparação com dados de reanálises NCEP I e ERA40. A validação foi realizada aplicando aos resultados dos modelos e aos dados de reanálises um algoritmo para cálculo das características das depressões previstas numericamente e observadas no Atlântico norte, nomeadamente, intensidade, raio, profundidade, ciclogéneses, ciclólises, número total de tempestades, pressão central média e densidade de sistemas. A significância estatística das diferenças entre os dois climas foi avaliada ao nível de significância de 95% para as diferentes estações do ano.

Clima atual

O período ciclónico mais ativo ocorre durante o inverno, com grande parte das depressões que assolam a região do Atlântico norte a serem formadas junto da costa leste norte-americana. Posteriormente deslocam-se para nordeste sobre o oceano, intensificando-se até atingirem as latitudes mais elevadas em torno da Gronelândia, Islândia e Escandinávia, onde tendem a dissipar-se. Refira-se que enquanto nos locais onde ocorrem estas trajetórias típicas se registam valores superiores a 60 depressões/inverno, a região de Portugal Continental regista apenas entre 20 a 30 depressões/inverno. Durante o verão, a região de Portugal Continental, apresenta uma atividade ciclónica significativa,

fruto da formação de depressões térmicas, registando-se em média valores próximos das 30 depressões/verão. Estas depressões apresentam, no entanto, baixa intensidade e profundidade, raio reduzido e elevada pressão central por comparação com as verificadas durante o inverno.

A análise dos resultados obtidos para a Península Ibérica para o período de 30 anos revela que as tendências evolutivas das diversas variáveis são reduzidas/nulas e sem significado estatístico durante o inverno na região. No verão há tendência estatisticamente significativa para o aumento da intensidade dos ciclones.

Os resultados obtidos utilizando dados dos dois modelos climáticos mostram que os modelos reproduzem satisfatoriamente os resultados verificados com dados de reanálises, com melhor comportamento do modelo ECHAM5. Assim, foi considerada válida a utilização destes dois modelos para o estudo de um clima futuro.

Clima futuro

A análise ao período 2071-2100 mostra que, de uma forma geral, a atividade ciclónica permanece inalterável relativamente à verificada no período 1971-2000. Não se identificam alterações significativas no posicionamento dos locais de ciclogénese

e ciclólise. Não se identificam, igualmente, alterações significativas nas zonas onde eles são maiores, mais intensos, profundos e com menor pressão central. Na região de Portugal Continental, durante o inverno, o valor médio de depressões diminuiu para, aproximadamente, 15 a 20 depressões/inverno, registando-se um aumento no período de verão para valores superiores a 30 depressões/verão. Os valores de pressão no centro e profundidade não registam variações assinaláveis comparativamente ao clima atual. Porém, os modelos simulam uma diminuição do raio médio dos ciclones de aproximadamente 4.2 a 4.6° de latitude para as duas estações no modelo CCSM3 e no período de verão para o modelo ECHAM5, sendo que este último apresenta, para o inverno, valores entre 4.6 a 4.8° de latitude.

Em termos de tendências, os dois modelos apresentaram em alguns casos resultados contraditórios. No caso do número total de tempestades o modelo ECHAM5 mostra uma tendência geral para a sua redução, enquanto o modelo CCSM3 apresenta um resultado contrário. Para o inverno a tendência indica uma redução da intensidade das tempestades, diferindo entre os modelos

apenas o posicionamento onde se verificam estas diminuições. A maior concordância entre os dois modelos regista-se na tendência do raio médio, observando-se uma tendência para o aumento do tamanho das tempestades nas latitudes mais elevadas, sendo esse aumento mais expressivo no modelo CCSM3.

Uma análise aos perfis meridionais do número total de tempestades, raio e intensidade permitiu verificar mais algumas diferenças entre os dois climas. Para o número total de tempestades o modelo ECHAM5 mostra uma redução do número médio de ciclones (especialmente no período de inverno), enquanto o modelo CCSM3 mostra um aumento desse número, em todas as latitudes e em ambas as estações do ano e um deslocamento, para norte, de aproximadamente 3° de latitude, do máximo da média zonal de ciclones, no período de inverno.

Em síntese, os modelos ECHAM5 e CCSM3 reproduziram as climatologias do período 1971-2000, possibilitando o seu uso para o estudo de um clima futuro. Porém, os resultados obtidos para este período não indicaram alterações estatisticamente signi-

ficativas relativamente ao período 1971-2000, com as seguintes exceções:

- Ligeira redução da intensidade dos ciclones, e de um deslocamento, para norte, de aproximadamente 3° de latitude do máximo da média zonal de ciclones, no período de inverno no modelo CCSM3;
- Aumento do número de ciclones de origem térmica no sul da Península Ibérica.

Previsão

Consequentemente, foram aplicados os modelos CCSM3 e ECHAM5 para gerar para a região de estudo e oceano Atlântico dados de vento a 10 m, de precipitação e de pressão atmosférica, com uma frequência temporal de 6 em 6 horas, que foram utilizados para a previsão do clima costeiro de agitação marítima, da descarga fluvial da bacia hidrográfica do Rio Vouga e da maré meteorológica na costa portuguesa. Foram simuladas as experiências 20C3M (clima atual) para o período entre 01/01/1979 e 31/12/2000 e SRES A2 (cenário futuro) para o período entre 01/01/2071 e 31/12/2100.

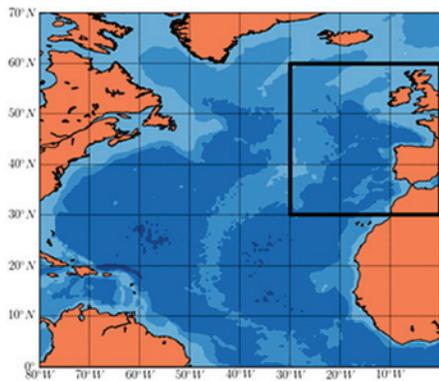


Fig. 6. - Domínio do modelo WW3 e batimetria utilizada. A caixa preta representa a zona de estudo.

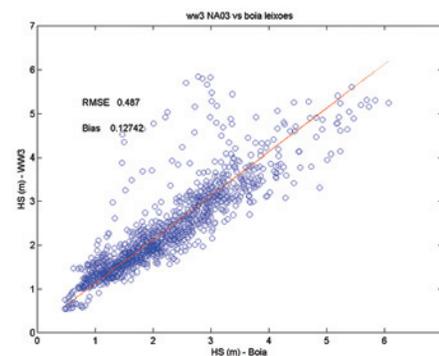


Fig. 7 - Comparação da altura significativa das ondas simuladas com as observadas na bóia de Leixões.

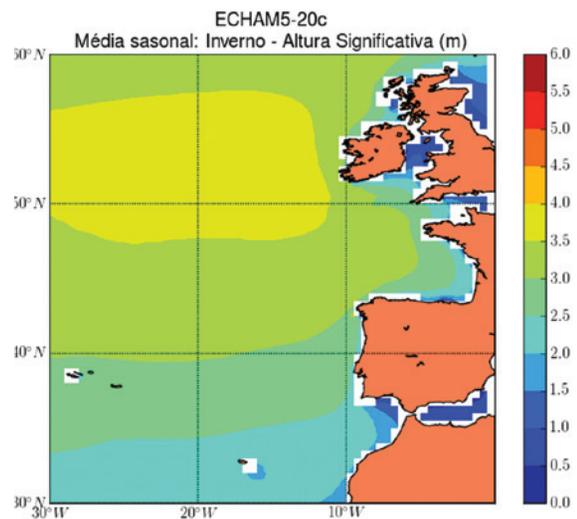


Fig. 8 - Média da altura significativa das ondas (m) no inverno para a situação de referência.

Previsão regime agitação marítima

A região costeira de Aveiro está sujeita a uma agitação marítima intensa, gerada no Atlântico NE. Esta agitação marítima é a principal responsável pela dinâmica sedimentar costeira, que está na origem da erosão costeira e conseqüente recuo da linha de costa, para além de poder causar danos em estruturas costeiras. Uma vez que as alterações climáticas estão a afetar a circulação atmosférica, e logo, indiretamente, a agitação marítima, é fundamental compreender a forma como esta será afetada.

A agitação marítima pode ser prevista atualmente com precisão através de modelos numéricos que resolvem equações que descrevem os processos de geração das ondas pelo vento, assim como a sua propagação e transformação. Exigem por isso informação detalhada sobre o vento à superfície do mar, que provém, ela própria, de outros modelos numéricos.

Com vista a antecipar os possíveis efeitos das alterações climáticas sobre o regime de agitação marítima na costa ocidental portuguesa, simularam-se e compararam-se estes regimes para os períodos 1971-2000 e 2071-2100.

Os regimes de agitação marítima para as três últimas décadas dos séculos 20 e 21 foram determinados com o modelo de ondas WaveWatchIII (WW3; Tolman, 2009), devidamente validado no Atlântico NE. Uma aplicação anterior no mesmo domínio tinha já mostrado o excelente desempenho do modelo (Dodet *et al.*, 2010). Os campos de vento provêm do modelo ECHAM5, referido na secção anterior, e considerou-se um cenário pessimista (A2 SRES do IPCC). O domínio utilizado cobre o Atlântico Norte, de 0° a 70°N em latitude e de 0° a 80°W em longitude, com uma resolução de 0.5° (Fig. 6). O espectro de ondas foi dividido em 24 direções e 25 frequências e utilizou-se um passo de cálculo de 15 minutos. A batimetria foi determinada com base na topografia global do fundo do mar gerada a partir de dados de satélite e sondagens (Smith e Sandwell, 1997).

O modelo foi calibrado e validado, para a situação atual, através de simulações forçadas com campos de vento da reanálise do NCEP e comparadas com dados de parâmetros médios das ondas referentes às bóias de Leixões, Figueira da Foz e Sines (Ribeiro *et al.*, 2012). Os resultados mostram uma boa concordância entre os dados obtidos e as observações (Fig. 7).

Na região costeira oeste portuguesa, no inverno, a média da altura significativa para o período 1970-2000 é de 2 a 2.5 m (Fig. 8). As simulações indicam que esta poderá diminuir entre 3 e 4% (Fig. 9). Nas restantes estações do ano, com exceção do verão, onde existe um aumento na zona sul da costa oeste, também se prevê uma diminuição. A região costeira de Aveiro, no inverno, terá uma diminuição da média da altura significativa na ordem dos 4% (Fig. 9) e uma diminuição do percentil 95 na ordem dos 5% (Fig. 10). Os meses de primavera são os que apresentam uma maior diminuição que atinge 10% para a média e 9% para o percentil 95.

Relativamente à direção da agitação no inverno, não haverá alterações significativas na zona sul da região costeira oeste portuguesa, mas na zona norte haverá uma rotação no sentido anti-horário que poderá chegar a 3° (Fig. 11). Nos restantes meses do ano a rotação será no sentido horário, atingindo 4°. Na região costeira de Aveiro o cenário futuro sugere uma rotação no sentido anti-horário de 3° no inverno e uma rotação no sentido horário de 2.0°, 0.6° e de 2.4° na primavera, verão e outono, respetivamente.

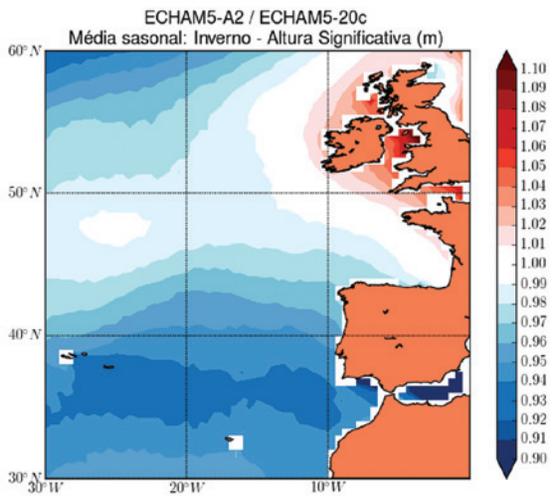


Fig. 9. - Razão entre as médias da altura significativa das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência.

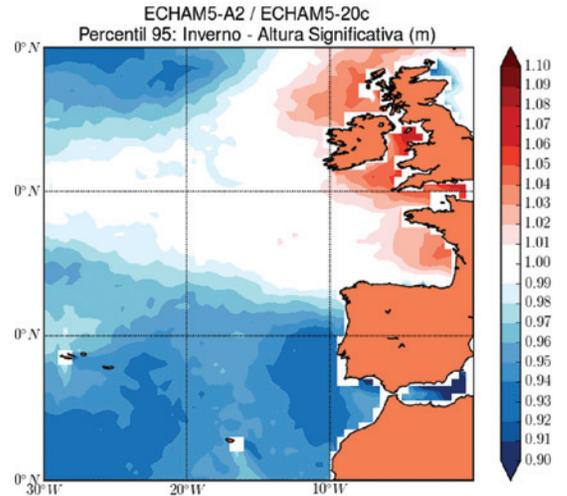


Fig. 10. - Razão entre os percentis 95 da altura significativa das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência.

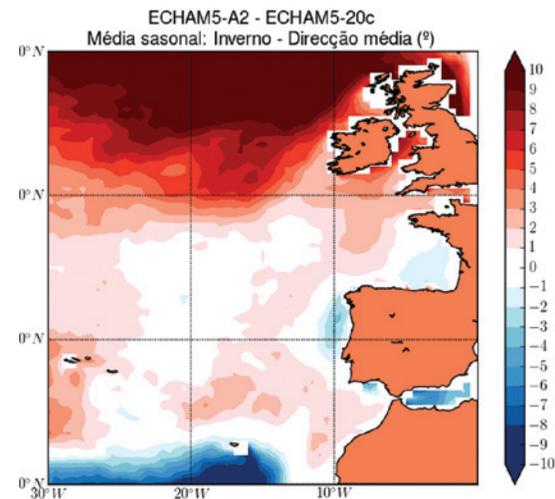


Fig. 11. - Diferença entre as médias da direcção média (°) das ondas no inverno do cenário futuro e da situação de referência. Valores positivos representam rotação no sentido horário e valores negativos no sentido anti-horário.

Caudais fluviais e elevação do nível do mar

Na Ria de Aveiro ocorrem inundações quando o nível do mar é elevado, quando o caudal dos seus afluentes é elevado ou por ação simultânea de ambos. A determinação da intensidade e periodicidade de caudais fluviais foi efetuada a partir da análise estatística de séries temporais de caudal fluvial dos cinco principais afluentes da Ria de Aveiro (Vouga, Antuã, Cáster, Boco e Ribeira dos Moinhos). O nível do mar (nível médio, maré astronómica e maré meteorológica) foi caracterizado a partir da análise da elevação da superfície livre observada no marégrafo da Barra, localizado na embocadura da laguna. Adicionalmente, investigaram-se alterações do nível médio do mar, da maré meteorológica e do caudal fluvial num contexto de alterações climáticas. Não há evidências de alterações da maré astronómica na costa portuguesa motivadas pelas alterações climáticas, pelo que não se procedeu à sua análise neste contexto.

Caudal fluvial

Devido à escassez de observações dos caudais de água doce que desaguam na Ria de

Aveiro, os dados de caudal fluvial analisados correspondem a previsões diárias do modelo de bacia SWAT efetuadas para os climas atual e futuro. Este modelo foi calibrado para os principais afluentes da Ria de Aveiro através da comparação de dados históricos de observações e previsões numéricas. Posteriormente o modelo foi alimentado por dados de precipitação observada para o clima atual (1932 a 2010) e por precipitação prevista pelo modelo de circulação global ECHAM5 para o clima futuro (2071 a 2100), considerando o cenário SRES A2, tendo sido previstas séries diárias de caudal fluvial para cada um dos cinco afluentes e para os períodos indicados.

As previsões diárias para cada afluente foram analisadas e determinaram-se os seus máximos anuais, que se ajustaram a distribuições estatísticas. Recorrendo à distribuição estatística que melhor representa cada série de máximos anuais determinaram-se os valores de caudal para os períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos, para os dois climas (Tabela 2).

Globalmente, os resultados evidenciam o Rio Vouga como a principal fonte de água doce da Ria de Aveiro, assim como maiores valores dos caudais para os maiores períodos de retorno e uma diminuição dos caudais para o clima futuro em relação ao presente para todos os afluentes.

Variações do nível do mar

Neste estudo considera-se o nível do mar resultante da soma do nível médio do mar local, da subida e descida periódica do nível das águas devida principalmente à atração gravitacional exercida pelo Sol e pela Lua sobre a Terra (maré astronómica) e dos efeitos meteorológicos (maré meteorológica), pelo que serão caracterizados separadamente cada um destes efeitos para a área de estudo.

Os dados de elevação da superfície do mar registados no marégrafo da Barra (localizado na embocadura da Ria de Aveiro), entre 1976 e 2005, foram analisados estatisticamente de forma a caracterizar o seu nível médio, a maré astronómica e a maré meteorológica

	PRESENTE			FUTURO		
	2	10	100	2	10	100
Ribeira dos Moinhos	113	221	381	33	73	141
Boco	33	63	108	8	19	37
Vouga	797	1032	1943	494	995	1485
Antuã	106	173	245	39	78	145
Câster	47	78	110	17	32	49

Tabela 2.
Caudal (m³/s) ... para períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos para os afluentes da Ria de Aveiro em condições de clima atual e futuro.

	AMPLITUDE (m)	NÍVEL MÁXIMO (m)
Maré Média	2.1	3.64
Maré Viva Média	2.9	3.74
Maré Equinocial	3.4	3.94

Tabela 3.
Amplitude de maré astronómica e nível máximo em condições de maré média, maré viva média e maior maré equinocial.

	2 anos	10 anos	100 anos
Altura (m)	0.58	0.84	1.17

Tabela 4.
Altura da maré meteorológica para períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos.

	NÚMERO		DURAÇÃO (horas)		INTENSIDADE	
	CLIMA ATUAL	CLIMA FUTURO	CLIMA ATUAL	CLIMA FUTURO	CLIMA ATUAL	CLIMA FUTURO
CCSM3	61	74	12.78	13.05	4.10	4.10
ECHAM5	47	51	15.45	15.27	3.90	3.95

Tabela 5. - Número, duração e intensidade média de eventos de maré meteorológica simulados pelos modelos CCSM3 e ECHAM5 para a região costeira de Aveiro, para os climas atual e futuro.

na região de Aveiro para o clima atual. Adicionalmente, foi também efectuada a análise dos diferentes componentes do nível do mar para o futuro.

Através da análise dos registos determinou-se o valor de 2.14 m (relativamente ao zero hidrográfico) para o nível médio do mar atual em Aveiro. A maré astronómica foi determinada por síntese harmónica para o período de 1976 a 2005, a partir dos constituintes harmónicos calculados para cada ano por análise harmónica. Estes valores foram analisados e determinada a amplitude e o nível máximo da maré média, da maré viva média e da maior maré equinocial (Tabela 3), salientando-se que a amplitude máxima das marés em águas vivas é ainda maior por ocasião dos equinócios. A maré meteorológica foi determinada fazendo a diferença entre os níveis observados e a maré astronómica para a totalidade do período indicado. As séries anuais da maré meteorológica foram posteriormente analisadas estatisticamente para determinação dos respetivos máximos. Os máximos anuais foram de seguida ajustados a uma distribuição GEV, determinando-se, a partir desta, a altura da maré meteorológica para períodos de retorno de 2, 10 e 100 anos (Tabela 4).

Num contexto de alterações climáticas torna-se crucial avaliar ainda as oscilações do nível do mar de longo período. Lopes *et al.* (2011) desenvolveram projeções de subida do nível médio do mar para Portugal, para 2100. Usando dados do modelo de circulação global GISS-ER usado pelo IPCC, e considerando o cenário de emissões SRES A2, estimaram uma subida de 0.42 m em relação ao nível médio atual. Efetuou-se ainda uma estimativa adicional, que considera uma subida de 0.62 m, resultante da incerteza associada ao modelo de circulação global (estimada em 0.14 m) e da incerteza associada aos cenários de emissão de gases de efeito de estufa (estimada em 0.08 m).

Relativamente à maré astronómica, estudos recentes (ex: Woodworth, 2010) indicam que não existe evidência de alterações significativas das constantes harmónicas principais na Europa, pelo que não se prevêem alterações significativas nas características da maré astronómica na área de estudo para o futuro.

As alterações na maré meteorológica foram também estudadas para a região costeira de Aveiro, utilizando os dados de pressão atmosférica e de vento próximo da superfície

previstos numericamente para os climas atual e futuro. Inicialmente, utilizando um modelo analítico calcularam-se as componentes hidrostáticas (dependente da pressão atmosférica) e dinâmica (forçado pela tensão do vento na superfície do mar) da maré meteorológica para o clima atual. Este modelo foi testado comparando as sobre-elevações calculadas com dados provenientes do marégrafo da Barra. O coeficiente de correlação entre as marés meteorológicas registadas pelo marégrafo e aquelas obtidas por aplicação do modelo analítico é de 0.74 (estatisticamente significativa a um nível de significância de 1%). Posteriormente, o modelo analítico foi aplicado utilizando dados atmosféricos simulados pelos modelos climáticos CCSM3 e ECHAM5 para os climas atual e futuro, tendo sido comparadas as estatísticas de eventos de sobre-elevação entre os dois climas (Tabela 5). Verifica-se que num clima futuro o número de eventos de maré meteorológica, a sua duração e a intensidade tendem a aumentar ligeiramente, não sendo estas diferenças estatisticamente significativas. Consequentemente, não se prevêem alterações nas características futuras da maré meteorológica na região costeira oeste de Portugal.

Previsão de inundação marginal lagunar

Os modelos numéricos constituem ferramentas essenciais para o estudo e previsão das condições físicas de sistemas estuarinos como a Ria de Aveiro, resolvendo equações matemáticas que descrevem e preveem as suas características. Mais concretamente, os modelos hidrodinâmicos resolvem as equações do movimento, que permitem descrever e prever a evolução da circulação de água num determinado sistema, e consequentemente a

determinação de níveis máximos, da extensão de cheia e da área alagada sob diferentes condições. Após a implementação e calibração para uma determinada região, através da sua aplicação é possível fazer o diagnóstico de cenários presentes e o prognóstico das consequências decorrentes de cenários futuros de alterações climáticas.

Dependência dos agentes forçadores de cheias

A previsão da inundação marginal da Ria de Aveiro foi efetuada através da aplicação do modelo hidrodinâmico ELCIRC (Zhang *et al.*, 2004). A presente implementação do modelo (Lopes *et al.*, 2013a) incorpora um modelo digital de terreno com dados de batimetria de 1987 (canais secundários), 2011 (canais principais) e 2012 (embocadura) e de topografia obtidos em 2006 (toda a região envolvente) e 2011 (margens dos canais principais) (Fig. 12). Foram ainda incorporadas na batimetria numérica a totalidade das estruturas de proteção existente na Ria de Aveiro, incluindo o troço do dique do Baixo Vouga já construído.

Para assegurar que o modelo reproduz adequadamente a hidrodinâmica da Ria de Aveiro foi efetuada a sua calibração e validação sob a ação de diferentes agentes forçadores de cheias. Este processo consistiu na definição e ajuste do atrito de fundo ao longo dos canais e margens da laguna, assim como de alguns parâmetros livres do modelo, no sentido de garantir que o modelo reproduz a realidade com a máxima precisão possível. No caso deste estudo o modelo foi calibrado para a propagação da maré astronômica comparando as previsões numéricas com dados de elevação da superfície livre medidos em 2002/03 em 18 estações

distribuídas pelos principais canais da laguna (Barra, Areão, Cacia, Carregal, Cires, Costa Nova, Cais da Pedra, Laranjo, Lota, Manchão, Pardilhó, Ponte do Cais II, Puxadouro, Rio Novo, São Jacinto, Torreira, Vagueira e Vista Alegre). A validação para eventos de maré meteorológica foi efetuada para períodos independentes onde foram previamente identificados eventos deste fenómeno na Ria de Aveiro, comparando as previsões numéricas com dados de elevação medidos em 2002 em 5 estações (Barra, Costa Nova, Vagueira e Areão), 2012 em 6 estações (Barra, Chegado, Rio Novo, Vagueira, Varela e Vista Alegre) e 2013 em 7 estações (Barra,

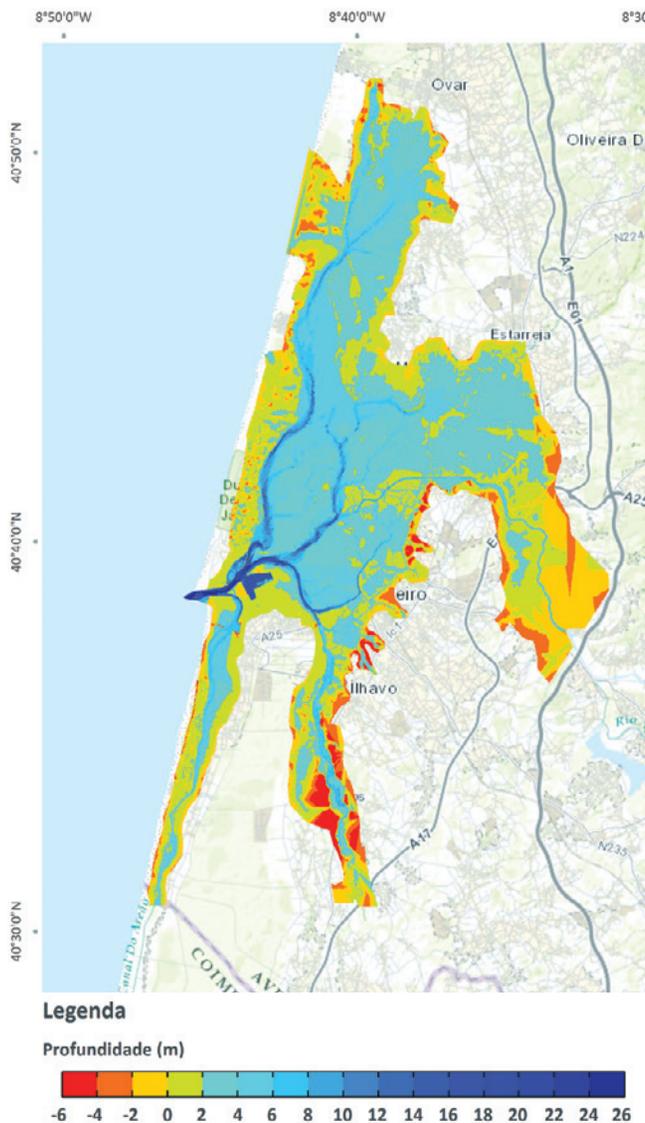


Fig. 12 - Modelo digital de terreno da Ria de Aveiro e área adjacente.

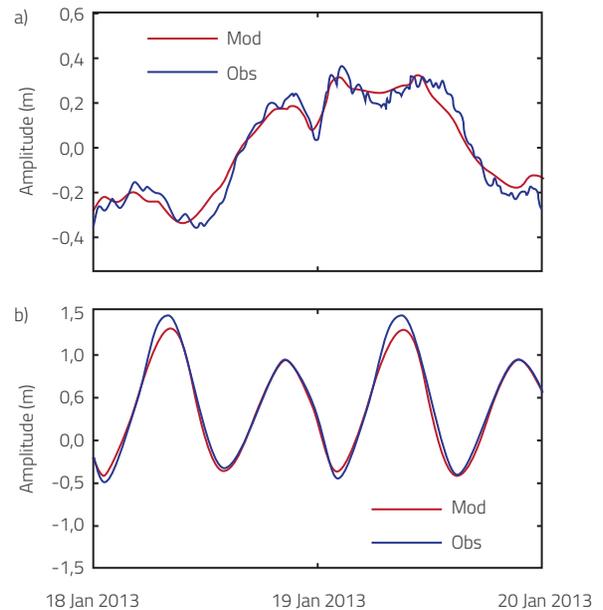


Fig. 13.
 a) Maré meteorológica prevista e observada em Janeiro de 2013, na Costa Nova.
 b) Maré astronômica prevista e observada em Janeiro de 2013, na Costa Nova.

Costa Nova, Chegado, Rio Novo, Vagueira, Varela e Vista Alegre). A propagação da maré astronômica foi ainda validada através de recurso ao último conjunto de dados indicado. O ajuste entre as previsões e as observações foi quantificado para todas as situações indicadas, e os resultados da calibração e da validação demonstram que o modelo reproduz rigorosamente a propagação da maré astronômica e meteorológica na Ria de Aveiro (Fig. 13).

Para a determinação da inundação marginal da Ria de Aveiro foram efetuadas várias simulações numéricas para situações presentes e futuras, sob diferentes condições dos agentes forçadores de cheias descritos anteriormente. Foram definidos doze cenários correspondentes a combinações de condições de caudal fluvial, nível médio do mar, maré astronômica e maré meteorológica (Tabela 6), de acordo com as características dos agentes forçadores de cheias descritas no Capítulo 3. As previsões numéricas foram utilizadas para calcular a extensão de cheia e a área alagada na Ria de Aveiro, assim como

os níveis máximos de inundação marginal, para cada um dos cenários.

A análise da extensão de cheia revela que diferentes condições nos agentes forçadores resultam na inundação de distintas regiões marginais da Ria de Aveiro (Fig. 14). Deve ser salientado que caudais fluviais elevados originam uma maior área inundada no Bloco do Baixo Vouga Lagunar, bem como nas regiões de cota inferior localizadas nas cabeceiras dos canais, onde se localiza a foz dos rios. De uma forma geral, conclui-se também que as regiões que apresentam topografia reduzida estão mais expostas a inundações, sendo por esta razão que as regiões adjacentes aos Canais de Mira e Ílhavo são inundadas com menor frequência do que as regiões adjacentes aos Canais de S. Jacinto e Espinheiro.

A área total alagada da laguna foi calculada para todos os cenários definidos, assim como a área marginal alagada (considerou-se a extensão de cheia em condições de maré média como referência) (Tabela 7), verificando-se que as maiores áreas de

inundação foram obtidas para o cenário 3, que combina as condições mais adversas de maré astronômica, maré meteorológica, subida do nível médio do mar e caudal fluvial. As menores áreas inundadas correspondem a condições de maré média (cenário 11), com um valor de menos de metade do obtido para o cenário mais adverso.

Os níveis máximos de inundação marginal são geralmente inferiores a 60 cm quando se considera apenas o forçamento da maré astronômica e o nível médio do mar atual (cenários 10, 11 e 12 – Fig. 15). Neste caso é evidente a inundação das margens da cabeceira do Canal de S. Jacinto e dos canais da zona central da laguna, assim como de uma pequena zona localizada no início do Canal de S. Jacinto. Quando se considera a totalidade do forçamento do nível do mar atual (maré astronômica média e maré meteorológica com período de retorno de 10 anos) conjuntamente com a descarga fluvial para um período de retorno de 10 anos (cenário 7), observam-se os níveis máximos de inundação marginal próximo da foz dos

CENÁRIO	MARÉ ASTRONÓMICA			CAUDAL FLUVIAL						MARÉ METEOROLÓGICA			NÍVEL MÉDIO DO MAR		
				PRESENTE			FUTURO								
	Média	Viva	Equinocial	2	10	100	2	10	100	2	10	100	Atual	+0.4.2m	+0.64m
1			•			•						•	•		
2			•						•			•		•	
3			•						•			•			•
4	•			•						•			•		
5	•						•			•				•	
6	•						•			•					•
7		•			•						•		•		
8		•						•			•			•	
9		•						•			•				•
10			•										•		
11	•												•		
12		•											•		

Tabela 6.
Definição dos cenários simulados com o modelo ELCIRC.

CENÁRIO	ÁREA TOTAL INUNDADA (km ²)	ÁREA MARGINAL INUNDADA (km ²)
1	200.8	129.4
2	203.4	130.0
3	209.9	136.5
4	128.7	55.3
5	130.7	57.3
6	143.6	70.2
7	165.5	92.1
8	174.8	101.4
9	185.8	112.4
10	96.4	23.0
11	73.4	0.0
12	90.2	16.8

Tabela 7.
Área inundada e respetiva inundação marginal para os cenários definidos na Tabela 6.

afluentes (Fig. 16), com valores normalmente inferiores a 60 cm. A zona marginal do Rio Vouga, onde se observam os níveis máximos de inundação constitui uma exceção, com valores superiores a 1.5 m.

A inundação marginal da Ria de Aveiro para os cenários futuros (alterações climáticas) comparativamente à observada atualmente depende das tendências previstas para os agentes forçadores de cheias, nomeadamente da subida do nível médio do mar e da diminuição dos caudais fluviais. Da análise efetuada concluiu-se que a extensão de cheia tende a aumentar com a subida do nível médio do mar nas regiões localizadas na região central da laguna e na cabeceira do Canal de S. Jacinto. Verificou-se ainda

que a extensão de cheia tende a diminuir nas zonas onde desaguam os afluentes fluviais devido à diminuição do seu caudal, com especial incidência no Bloco do Baixo Vouga Lagunar, onde se conjugam a previsão da diminuição do caudal do Rio Vouga e a topografia reduzida das áreas adjacentes. Analisando-se conjuntamente estes efeitos concluiu-se que a área total inundada da laguna aumenta em cenários de alterações climáticas, evidenciando que o incremento de área alagada motivado pela subida do nível médio do mar é superior à diminuição de área alagada motivada pelo decréscimo do caudal fluvial. Relativamente aos níveis máximos de inundação, verificou-se que tendem a aumentar para os cenários futuros na área central da laguna e na cabeceira do

Canal de S. Jacinto devido à subida do nível médio do mar. Nas cabeceiras dos Canais de Mira e Ílhavo e no Bloco do Baixo Vouga Lagunar verifica-se uma diminuição dos níveis máximos de inundação devido ao decréscimo das aflúncias fluviais.

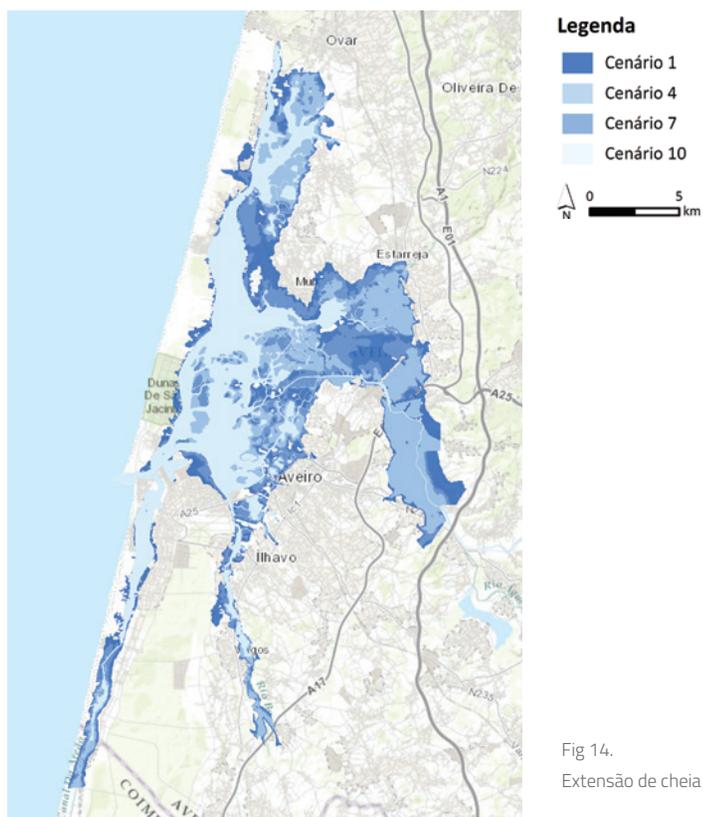


Fig 14. Extensão de cheia para os cenários 1, 4, 7 e 10.

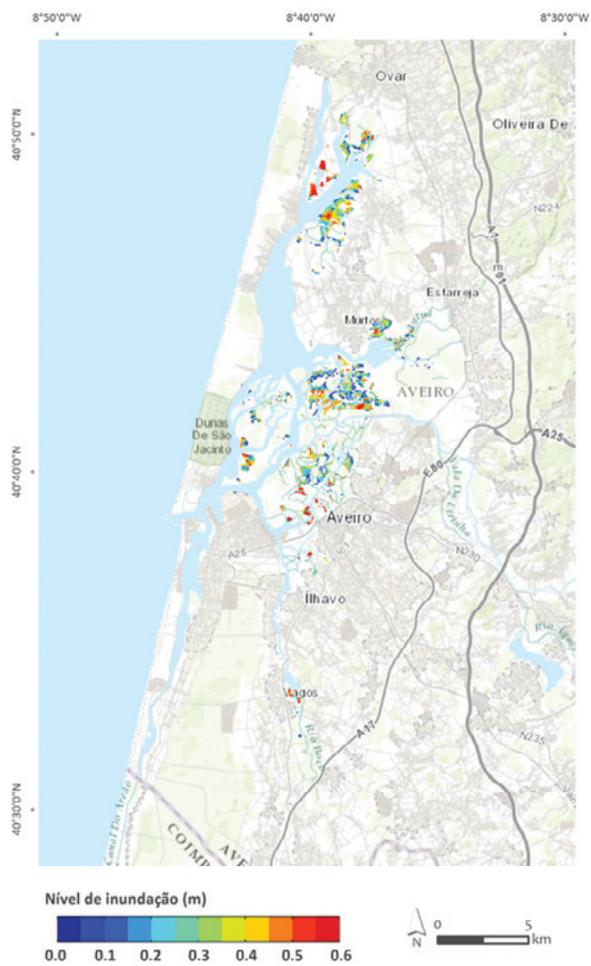


Fig 15. - Níveis máximos de inundação em condições de maré equinocial (cenário 10).

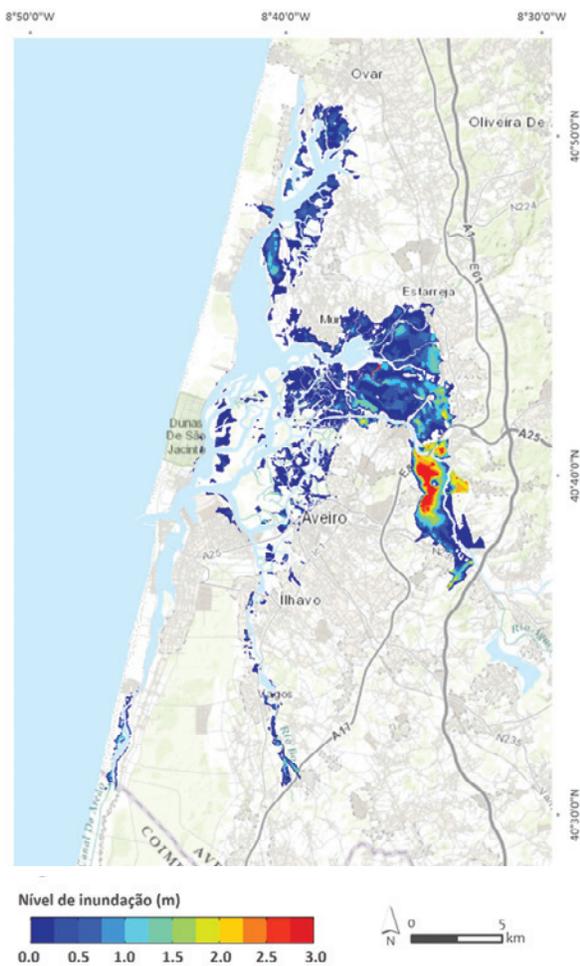


Fig 16 - Níveis máximos de inundação para o cenário 7.

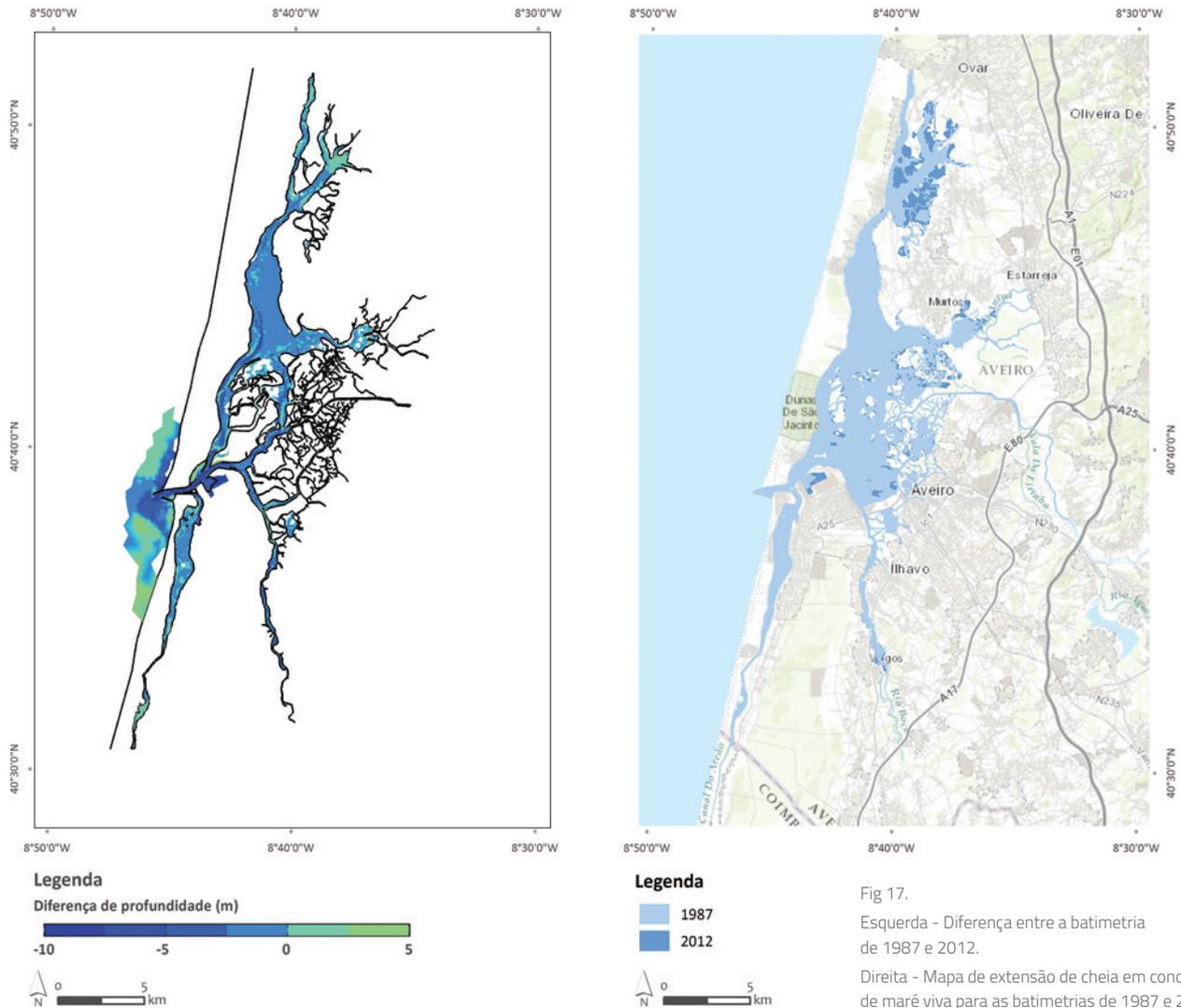


Fig 17.

Esquerda - Diferença entre a batimetria de 1987 e 2012.

Direita - Mapa de extensão de cheia em condições de maré viva para as batimetrias de 1987 e 2012.

Dependência da morfologia

Foi efetuado um estudo de sensibilidade da inundação marginal da laguna em resposta à variação da sua morfologia (Lopes *et al.*, 2013b), tendo em consideração as alterações batimétricas decorrentes de 1987 até ao presente. Neste âmbito elaborou-se uma segunda configuração numérica utilizando os dados batimétricos de 1987 para a totalidade da Ria de Aveiro. Na Figura 17 representa-se a diferença entre as duas configurações, verificando-se que existiu um aprofundamento geral dos canais de navegação de 1987 até ao presente, devido a diversas operações de dragagem efetu-

das, assim como à tendência natural da Ria de Aveiro para a exportação de sedimentos para o oceano adjacente.

Para analisar o efeito das variações morfológicas durante o período referido efetuaram-se duas simulações, uma com a batimetria de 1987, e outra com a batimetria atual, ambas considerando apenas condições de maré viva. A extensão de cheia foi determinada utilizando os resultados obtidos para as duas simulações. Os resultados mostram que o aprofundamento generalizado da laguna durante o período em análise conduziu

a um aumento de cerca de 16% da área total alagada em condições de maré viva (Fig. 17). As maiores alterações foram identificadas nas regiões marginais da cabeceira do Canal de S. Jacinto e da região central da laguna.

Previsão de recuo da linha de costa

No sentido de estabelecer tendências e projetar cenários futuros, os modelos numéricos de evolução da linha costeira podem ser validados pela simples observação do comportamento real dos sistemas naturais sob a influência de determinada agitação, nível médio do mar, obras de defesa costeira, etc. O modelo numérico teórico mais simples baseia-se na análise do balanço sedimentar, num

determinado período de tempo e sistema de controlo. Se o volume de sedimentos que entra no sistema for maior que o volume de sedimentos que sai, observa-se acreção, caso contrário, verifica-se erosão. Neste estudo foram utilizados dois tipos de modelos de simulação da evolução da linha de costa: GENESIS (*U.S. Army Corps of Engineers*) e LTC (*Long-Term Configuration*).

No processo de modelação, os dados batimétricos utilizados para a definição da área a modelar foram recolhidos de duas cartas da série de pescas do Instituto Hidrográfico, a n.º 24201 (Caminha-Aveiro), editada em Outubro de 1999, e a n.º 24202 (Aveiro Peniche), editada em Outubro de 2000. Em termos de condições de agitação e de definição do nível médio do mar foram estabelecidos quatro cenários distintos:

C1 – tendo por base a agitação de 1971-2000 e o nível atual da superfície do mar;

C2 – tendo por base a agitação estimada para 2071-2100 e o nível médio atual do mar;

C3 – tendo por base a agitação estimada para 2071-2100 e o nível médio do mar 42 cm acima do atual;

C4 – tendo por base a agitação estimada para 2071-2100 e o nível médio do mar 64 cm acima do atual.

Para avaliação da evolução da linha de costa, na área de estudo, foram definidos quatro trechos costeiros (Pereira e Coelho, 2012): Esmoriz – Furadouro; Furadouro – São Jacinto; Barra – Vagueira; Vagueira – Mira.

O trecho Esmoriz-Furadouro desenvolve-se numa extensão de aproximadamente 12 km, apresentando se num alinhamento médio que descreve um ângulo de cerca de 11° com o norte (sentido horário). Neste trecho

existem 6 esporões, que se distribuem pela frente urbana de Esmoriz (2 esporões), frente urbana de Cortegaça (1 esporão), Maceda (1 esporão) e frente urbana do Furadouro (2 esporões). A posição da linha de costa também se encontra fixa através de obras de defesa aderente, essencialmente localizadas nas frentes urbanas, com extensões de cerca de 2100 m entre Esmoriz e Cortegaça e cerca de 1100 m no Furadouro.

O trecho Furadouro-São Jacinto desenvolve-se numa extensão de aproximadamente 26 km, apresentando se num alinhamento médio que descreve um ângulo de cerca de 14.5° com o norte (sentido horário). Este trecho tem evoluído de forma natural, já que beneficia da erosão das praias a norte. Este trecho está limitado a norte pelos 2 espo-

rões e pela frente urbana do Furadouro, e a sul pelo quebra-mar portuário. Na Torreira existe também um esporão.

O trecho Barra-Vagueira, com cerca de 9 km de extensão, apresenta um alinhamento médio que define um ângulo de cerca de 12° em relação ao norte (no sentido horário). Este trecho é limitado a norte pelo quebra-mar portuário, e apresenta ainda os 5 esporões que constituem o campo de esporões da Costa Nova e as defesas aderentes localizadas na Costa Nova. A sul, o trecho é limitado pela frente urbana da Vagueira e pelo esporão da Vagueira.

O trecho Vagueira-Mira, com cerca de 16 km de extensão, apresenta um alinhamento médio que define um ângulo de cerca de 14° em relação ao norte (no sentido horário). Este trecho apresenta 6 esporões e cerca de 850 m de defesa aderente, localizada na frente urbana da Vagueira. Os esporões distribuem-se pela frente urbana da Vagueira (1 esporão), Labrego (1 esporão), Areão (1 esporão), Poço da Cruz (1 esporão) e Mira (2 esporões). Destaca-se neste troço, a pressão urbana sobre a linha de costa nas zonas da Vagueira e de Mira, e a proximidade à Ria de Aveiro, em especial na zona do Labrego.

Para cada um dos trechos em análise, procedeu-se à simulação da evolução da linha de costa, considerando como posição inicial a situação que se registava em 2010 (posição aproximada da linha de costa e obras de defesa costeira existentes à data). Considerou-se que não haveria variações da posição da

linha de costa nas zonas artificializadas por esporões e obras aderentes. Tentando obter a melhor calibração possível, foram testados todos os parâmetros dos modelos GENESIS e LTC, através da execução de diversas simulações com recurso a ambos os modelos, tendo em consideração as taxas de recuo da linha de costa registadas no passado, nos trechos em análise

Após calibração, foram obtidas projeções da posição da linha de costa a 90 anos, com representações intermédias após cada 30 anos de evolução, correspondendo às situações em 2040, 2070 e 2100. Em cada trecho foi avaliada a posição da linha de costa, permitindo a análise das correspondentes taxas de recuo, assim como das áreas inundadas por efeito da erosão e perda de território. Em termos genéricos, observa-se que a tendência erosiva é comum aos quatro cenários, com forte perda de território. Numa análise ao longo do tempo, vão-se registando perdas à medida que se comparam as linhas de costa de 2010, 2040, 2070 e 2100, verificando-se esta evolução em todos os cenários, apenas com poucas exceções em curtas extensões da linha de costa, muito localizadas. Em qualquer dos cenários, os valores médios das taxas de erosão vão diminuindo ao longo do tempo, por aproximação da posição da linha de costa a situações de equilíbrio.

Quando se comparam os cenários C1 e C4 (Fig. 18, 19 e 20), verifica-se o agravamento da situação de erosão, com acréscimo de erosão para os cenários que apresen-

tam o clima de agitação projetado para 2071-2100, havendo também mais erosão quando o nível médio do mar é mais elevado. Avaliando apenas os trechos considerados mais vulneráveis (Esmoriz – Furadouro e Vagueira – Mira), verifica-se que as taxas mais altas de recuo da posição da linha de costa registam-se na zona entre o Labrego e o Areão e as mais baixas nas zonas de Cortegaça-Maceda e Vagueira-Labrego, correspondendo a extensões mais curtas e localizadas mais a norte das áreas modeladas. Os cenários de alterações climáticas nestes trechos resultam num agravamento do recuo da linha de costa entre 6% (cenários C2 e C3) e 11% (cenário C4), quando comparados com os recuos obtidos no cenário C1.

Os diferentes cenários mostram que para o trecho Maceda-Furadouro, as alterações climáticas conduzem a uma ligeira rotação (sentido horário) da linha de costa, relativamente à linha de costa projetada através de condições atuais de agitação marítima. Em termos de agravamento das taxas de recuo de acordo com os cenários definidos, observa-se que o troço que mais sofre o efeito da alteração da agitação característica atual para uma agitação típica de alterações climáticas é o troço Vagueira-Labrego. A subida do nível médio do mar de 42 cm, implica que o troço Vagueira-Areão se apresente como o que sofre maior influência desta alteração, enquanto os trechos Vagueira-Labrego e Areão-Poço da Cruz se apresentam como aqueles com maior resposta em termos de taxas de recuo, devido à subida do nível médio do mar de 64 cm.

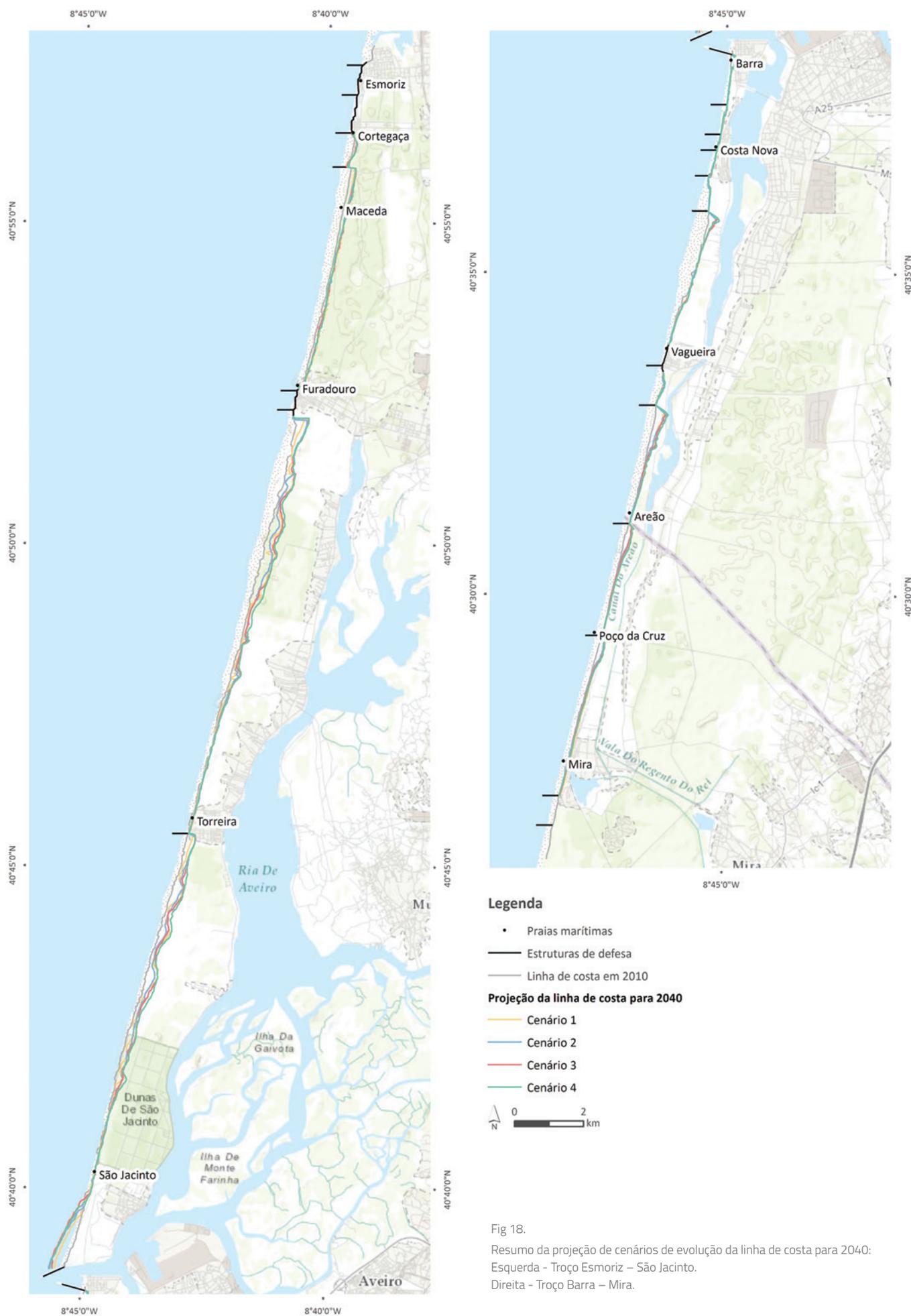
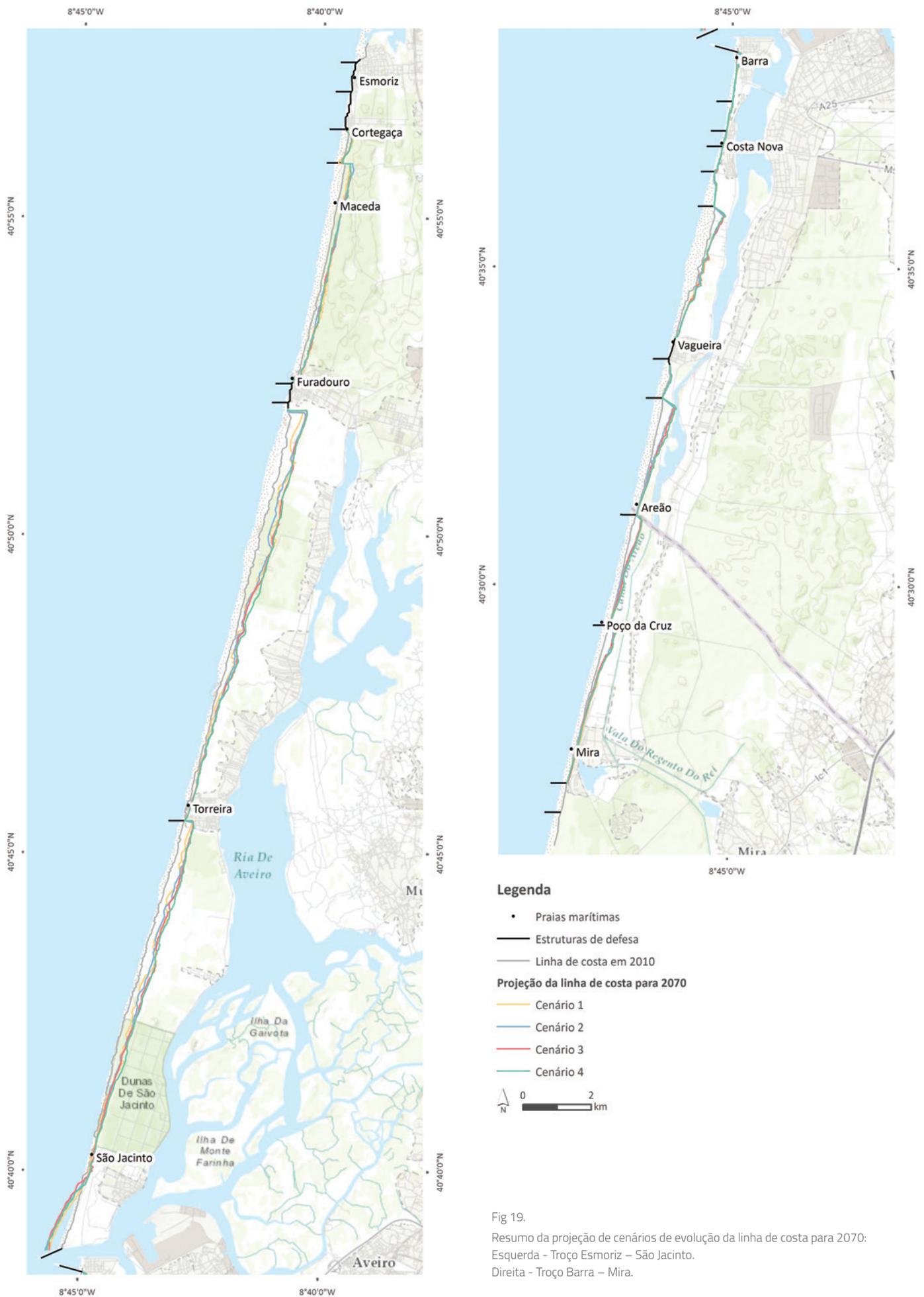


Fig 18. Resumo da projeção de cenários de evolução da linha de costa para 2040: Esquerda - Troço Esmoriz – São Jacinto. Direita - Troço Barra – Mira.



Legenda

- Praias marítimas
- Estruturas de defesa
- Linha de costa em 2010
- Projeção da linha de costa para 2070**
- Cenário 1
- Cenário 2
- Cenário 3
- Cenário 4



Fig 19. Resumo da projeção de cenários de evolução da linha de costa para 2070: Esquerda - Troço Esmoriz – São Jacinto. Direita - Troço Barra – Mira.

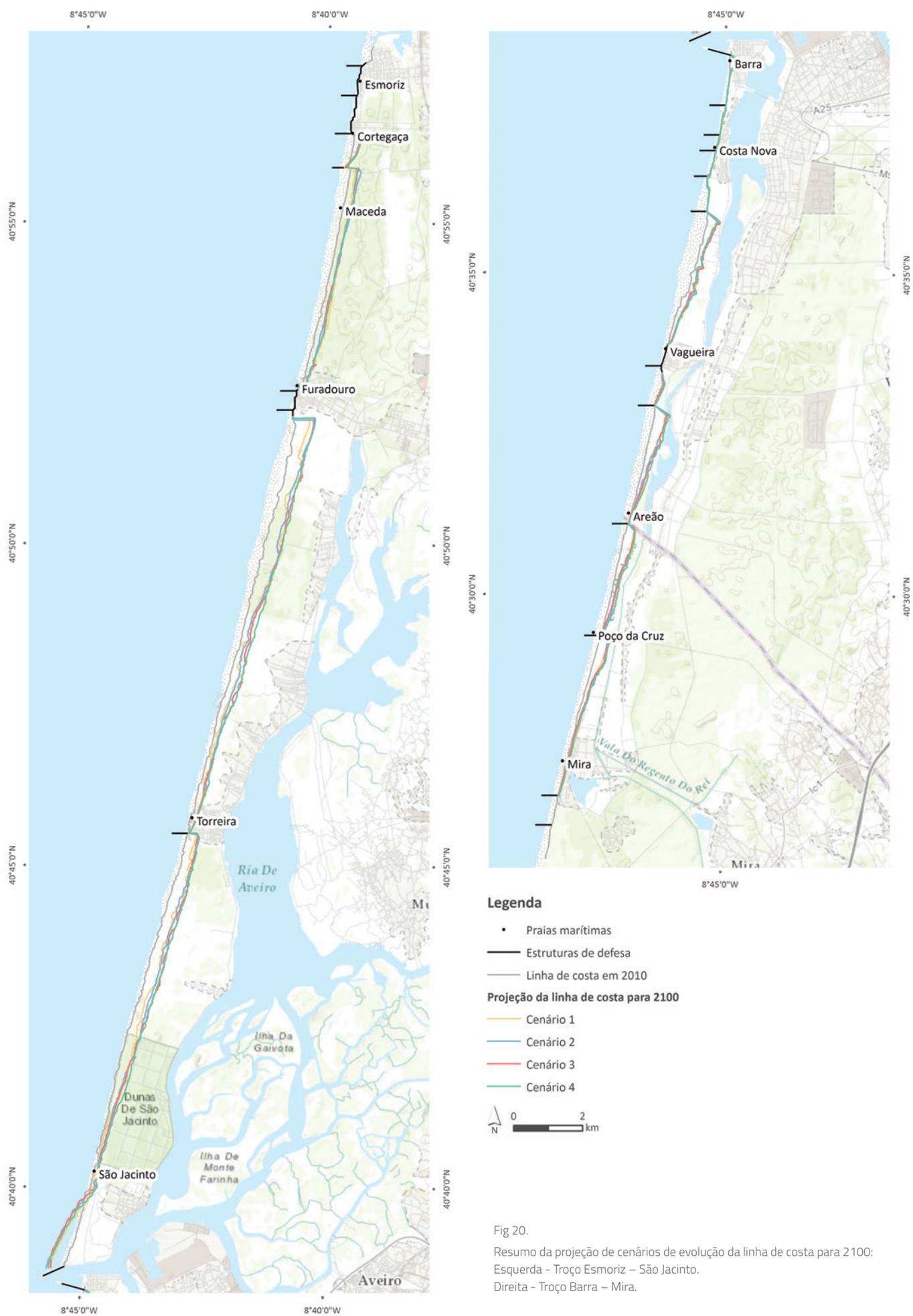


Fig 20.
Resumo da projeção de cenários de evolução da linha de costa para 2100:
Esquerda - Troço Esmoriz – São Jacinto.
Direita - Troço Barra – Mira.

Cartas globais de vulnerabilidade e risco

A fim de estabelecer prioridades e suportar decisões técnicas, financeiras e políticas em matéria de gestão de riscos de inundações, a Diretiva 2007/60/CE, de 27 de outubro – relativa à avaliação e gestão dos riscos de inundações – exige, aos Estados-Membros, a elaboração de cartas de zonas inundáveis, bem como de cartas de riscos de inundações indicativas das potenciais consequências prejudiciais associadas a diferentes cenários de inundações, incluindo informações sobre

fontes potenciais de poluição ambiental resultante das inundações.

Assim, e considerando os diferentes cenários de cheia e evolução da linha de costa desenvolvidos para a Ria de Aveiro e zona costeira adjacente, foram elaboradas cartas de vulnerabilidade, risco de inundação e de recuo da linha de costa e analisados os elementos expostos.

Abordagem metodológica

Seguindo as diretrizes do Decreto-Lei n.º 115/2010, de 22 de outubro – que transpõe para a ordem jurídica interna a Diretiva 2007/60/CE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de outubro – referentes à elaboração de cartas de zonas inundáveis e de risco de inundações, e tendo em conta os resultados obtidos no exercício de cenarização efectuado com recurso à modelação lagunar e costeira, adotou-se a metodologia descrita e esquematizada na Figura 20.

Do exercício de cenarização efectuado, no âmbito da previsão de inundação marginal lagunar e de recuo da linha de costa resultaram, para a área de estudo dezasseis cenários. Doze cenários de extensão de cheia na laguna (Tabela 6, Capítulo 5) e quatro cenários de evolução da linha de costa (Capítulo 6). No sentido de tornar o processo de análise e avaliação de risco mais objetivo e integrador optou-se por reduzir o número total de cenários e, posteriormente, analisá-

-los de forma agregada, de modo a que o resultado final apresente a combinação da informação para a região lagunar e costeira. Assim, foram desenvolvidos três cenários integrados (A, B e C), esquematizada na Figura 22, que decorreram da combinação dos agentes forçadores de inundação marginal lagunar e de recuo da linha de costa: nível médio do mar; maré astronómica; maré meteorológica; caudal fluvial e agitação marítima.



Fig 21. - Roteiro metodológico.

Em síntese, o cenário A resulta da combinação dos cenários 1, 4 e 7 para a zona lagunar e do cenário C1 para a zona costeira, e tem em consideração as condições atuais dos agentes forçadores de inundação marginal lagunar e de recuo da linha de costa. Os restantes cenários integram condições futuras de caudal fluvial, agitação marítima, maré meteorológica e nível médio do mar. O cenário B considera uma subida de 42 cm do nível médio do mar e o cenário C considera uma subida de 64 cm. Deste modo, o cenário B deriva da integração dos cenários 2, 5 e 8 para a zona lagunar e do cenário C3 para a zona costeira, e o cenário C resulta da conjugação dos cenários 3, 6 e 9 para a zona lagunar e do cenário C4 para a zona costeira. Os cenários 10 e 12 para a zona lagunar não foram espacializados, uma vez que representam a extensão de cheia atual em maré equinocial e viva, respetivamente. Como situação de referência foi utilizado o cenário 11, que corresponde à maré média, e a linha de costa de 2010. A extensão máxima de cheia e recuo da linha de costa para cada cenário integrado está representada na Figura 23.

A probabilidade de ocorrência (Fig. 24) de cheia para a zona lagunar teve por base os períodos de retorno dos caudais fluviais e das marés meteorológicas. Considerou-se probabilidade elevada para períodos de retorno de 2 anos, probabilidade média para 10 anos e probabilidade baixa para 100

anos. Entende-se por período de retorno o tempo médio, em anos, em que um evento é igualado ou superado pelo menos uma vez. Para a zona costeira, assumiu-se que os maiores recuos têm menor probabilidade de ser atingidos, pois obrigam a uma evolução mais prolongada no tempo. Assim, considerou-se que a linha de costa em 2040 terá uma probabilidade elevada de ser atingida, em 2070 uma probabilidade média e em 2100 uma probabilidade baixa.

A vulnerabilidade à cheia e ao recuo da linha de costa (Fig. 25) é entendida como as características de um território, que o tornam suscetível à degradação ou dano causado por um evento de cheia e/ou pelo recuo da linha de costa (Barroca *et al.*, 2006; UNISDR, 2009). Tendo em consideração a escala geográfica de análise e os resultados obtidos nos diferentes exercícios de modelação, definiu-se uma correspondência entre o grau de vulnerabilidade e as classes de uso do solo do CORINE Land Cover 2006 (Caetano *et al.*, 2009). Assumiu-se como vulnerabilidade:

- elevada – as zonas artificializadas inundadas, incluindo tecido urbano; zonas industriais, comerciais ou de transportes; e áreas em construção;
- moderada – as zonas agrícolas, florestais e seminaturais potencialmente sujeitas a inundações por água salgada, e sempre

que a linha de costa alcança as zonas húmidas litorais;

- baixa – as zonas agrícolas, florestais e seminaturais potencialmente sujeitas a inundações por água doce (assumindo que o efeito da água salgada se faz sentir de modo diferenciado na área do Bloco do Baixo Vouga Lagunar);
- residual – as zonas húmidas e corpos de água.

O análise do risco de cheia e recuo da linha de costa, neste projeto integra tanto a vertente social e económica, como a vertente ecológica do território, e é determinado em função do grau de probabilidade de ocorrência de um evento e do grau de vulnerabilidade do território afetado. Neste contexto, a espacialização do risco de cheia e de recuo da linha de costa (Fig. 26) resulta da sobreposição das cartas de probabilidade e vulnerabilidade, em função da matriz de risco, apresentada na Tabela 8. Isto significa que o risco é superior nos territórios que, tendo sido identificados com grau elevado de probabilidade de ocorrência, também apresentam características que os tornam mais vulneráveis (adaptado de ANPC, 2009).

Complementarmente à elaboração da carta de risco de cheia e de recuo da linha de costa, é necessário proceder à identificação cartográfica dos elementos expostos (Fig. 27

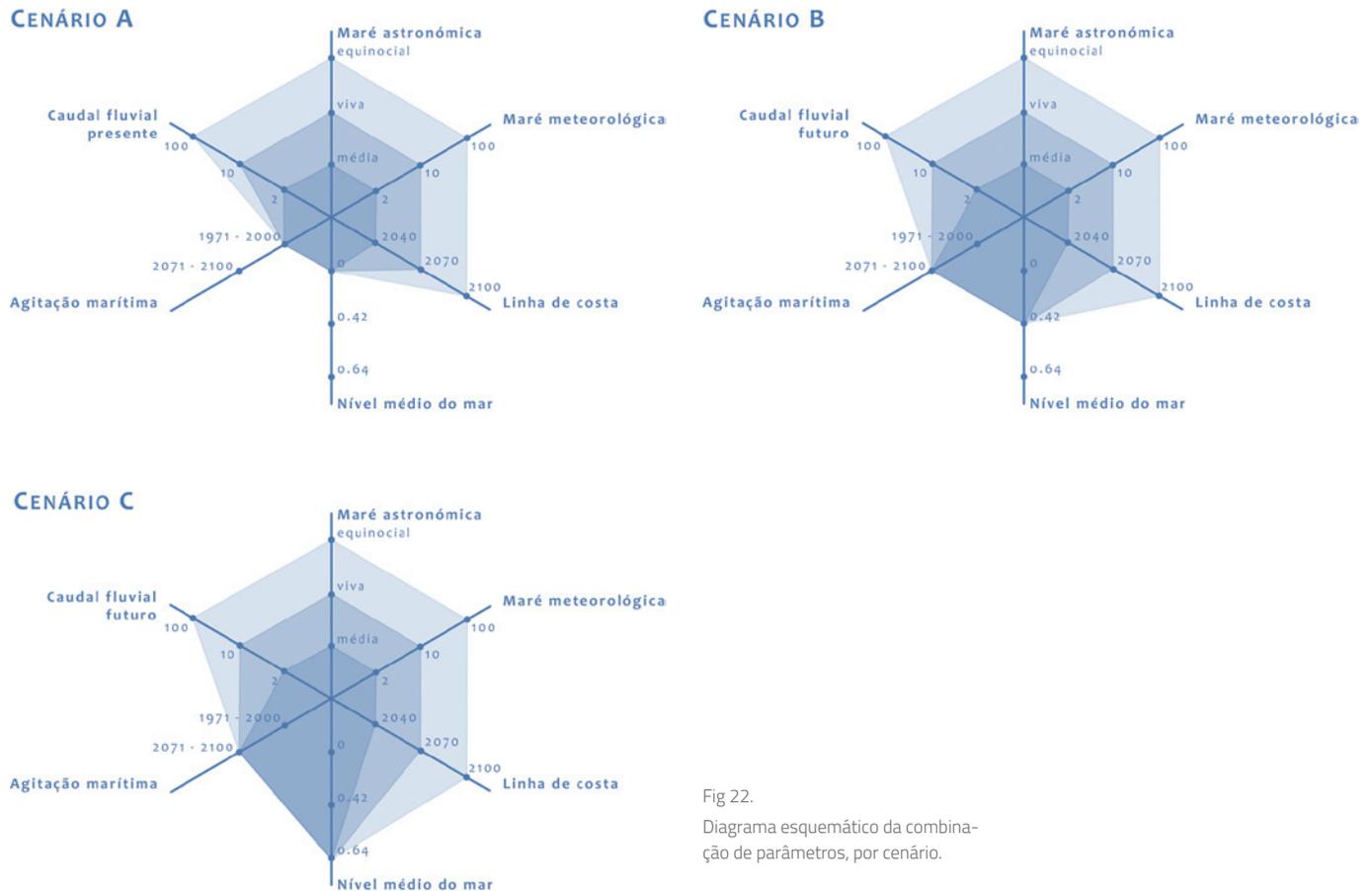


Fig 22. Diagrama esquemático da combinação de parâmetros, por cenário.

e 28), de acordo com a Diretiva 2007/60/CE (Fig. 24 e Fig. A-7 do Anexo2), que se encontram divididos em três blocos (ANPC, 2009):

- elementos estratégicos, vitais e/ou sensíveis, definidos como o conjunto de elementos expostos de importância vital ou estratégica, fundamentais para a resposta à emergência (rede hospitalar e de saúde, rede escolar, quartéis de bombeiros e instalações de outros agentes de proteção civil e autoridades civis e militares) e de suporte básico às populações (origens e redes principais de abastecimento de água, rede elétrica, centrais e retransmissores de telecomunicações);
- elementos indiferenciados, composto pelas edificações e vias de comunicação não abrangidas pelo bloco anterior; e
- elementos humanos, como por exemplo população residente total e por grupos etários, número de edifícios e alojamentos por tipologia, função e ocupação. De

forma a obter a distribuição espacial desta informação estatística, deve-se usar a Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGR1).

Atendendo ao disposto no Decreto-Lei n.º 115/2012, de 22 de outubro, a carta de elementos expostos pode conter, ainda, informação relativa:

- aos estabelecimentos abrangidos pelo Decreto-Lei n.º 254/2007, de 12 de julho, que estabelece o regime de prevenção de acidentes graves que envolvam substâncias perigosas e de limitação das suas consequências para o homem e o ambiente;
- às atividades económicas da zona potencialmente afetada (por exemplo atividade agrícola, industrial, infraestruturas de abastecimento público de água, infraestruturas rodoviárias e ferroviárias, e património cultural);

- às zonas protegidas identificadas nas subalíneas i), ii) e iv) da alínea j) do artigo 4.º da Lei da Água, potencialmente afetadas.

Com o objetivo de melhorar a legibilidade da carta de elementos expostos, optou-se por utilizar como base a extensão máxima de cheia em detrimento das classes de risco, que foi apenas utilizada na carta de detalhe (Fig. 28).

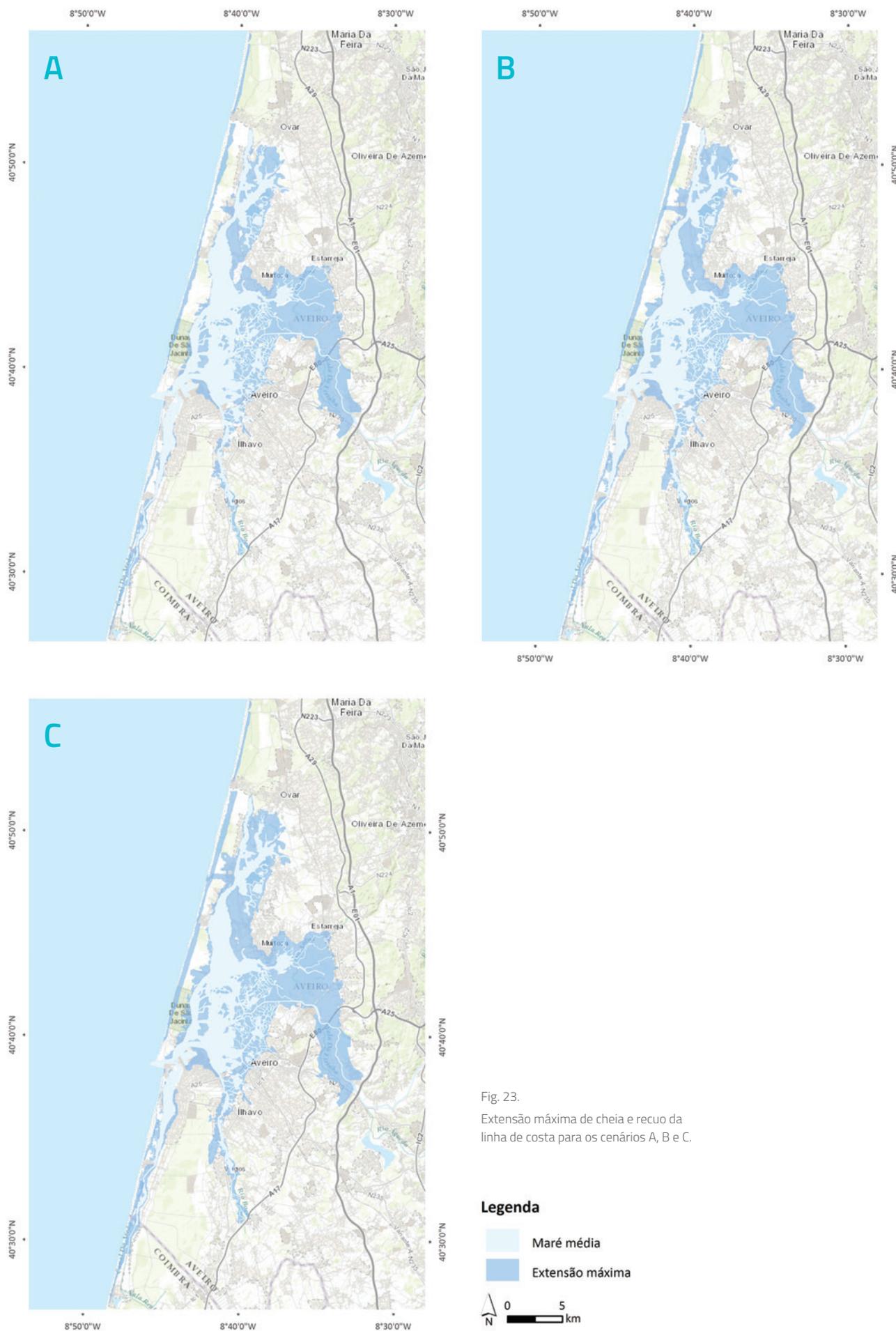


Fig. 23.
Extensão máxima de cheia e recuo da linha de costa para os cenários A, B e C.

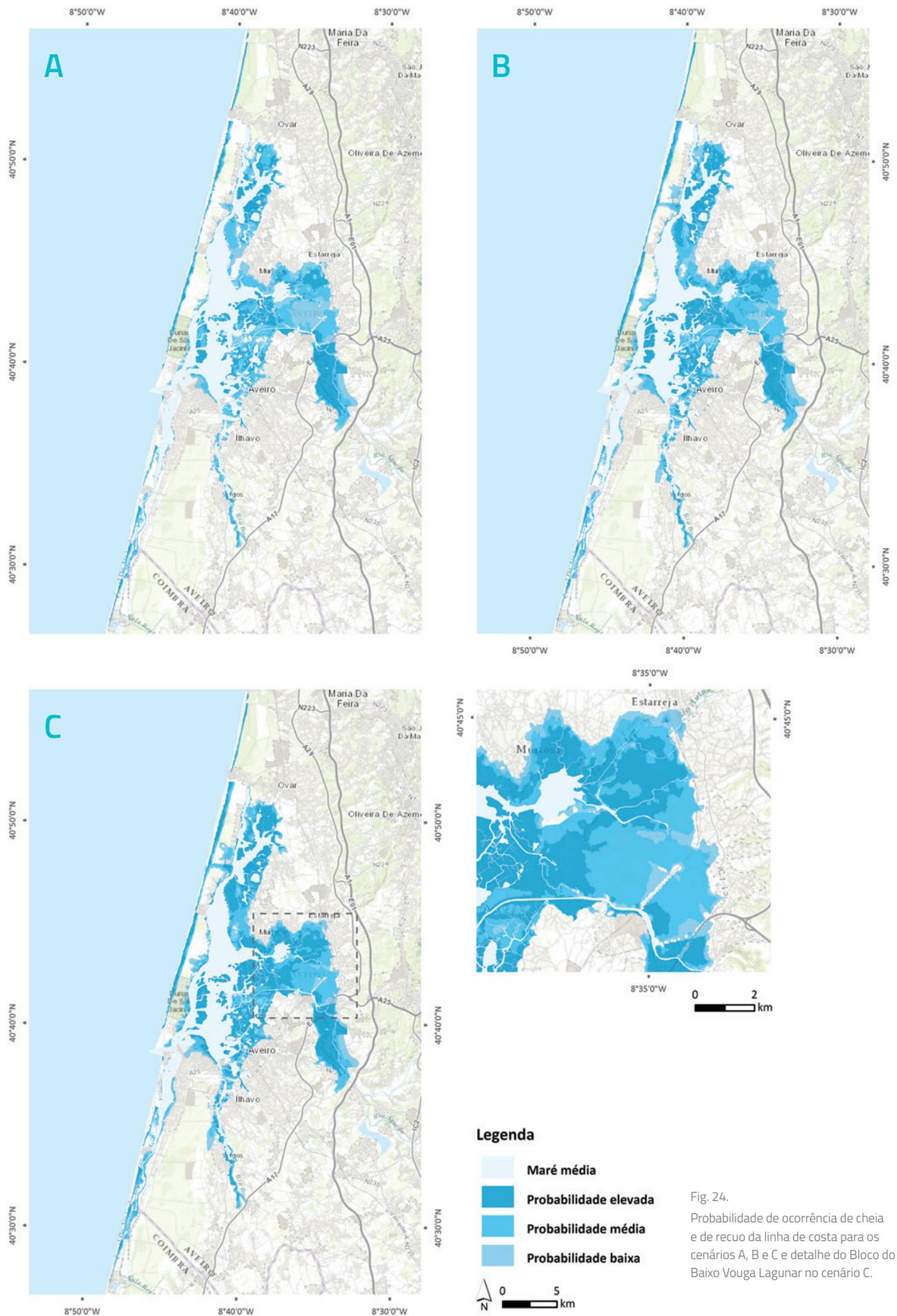


Fig. 24. Probabilidade de ocorrência de cheia e de recuo da linha de costa para os cenários A, B e C e detalhe do Bloco do Baixo Vouga Lagunar no cenário C.

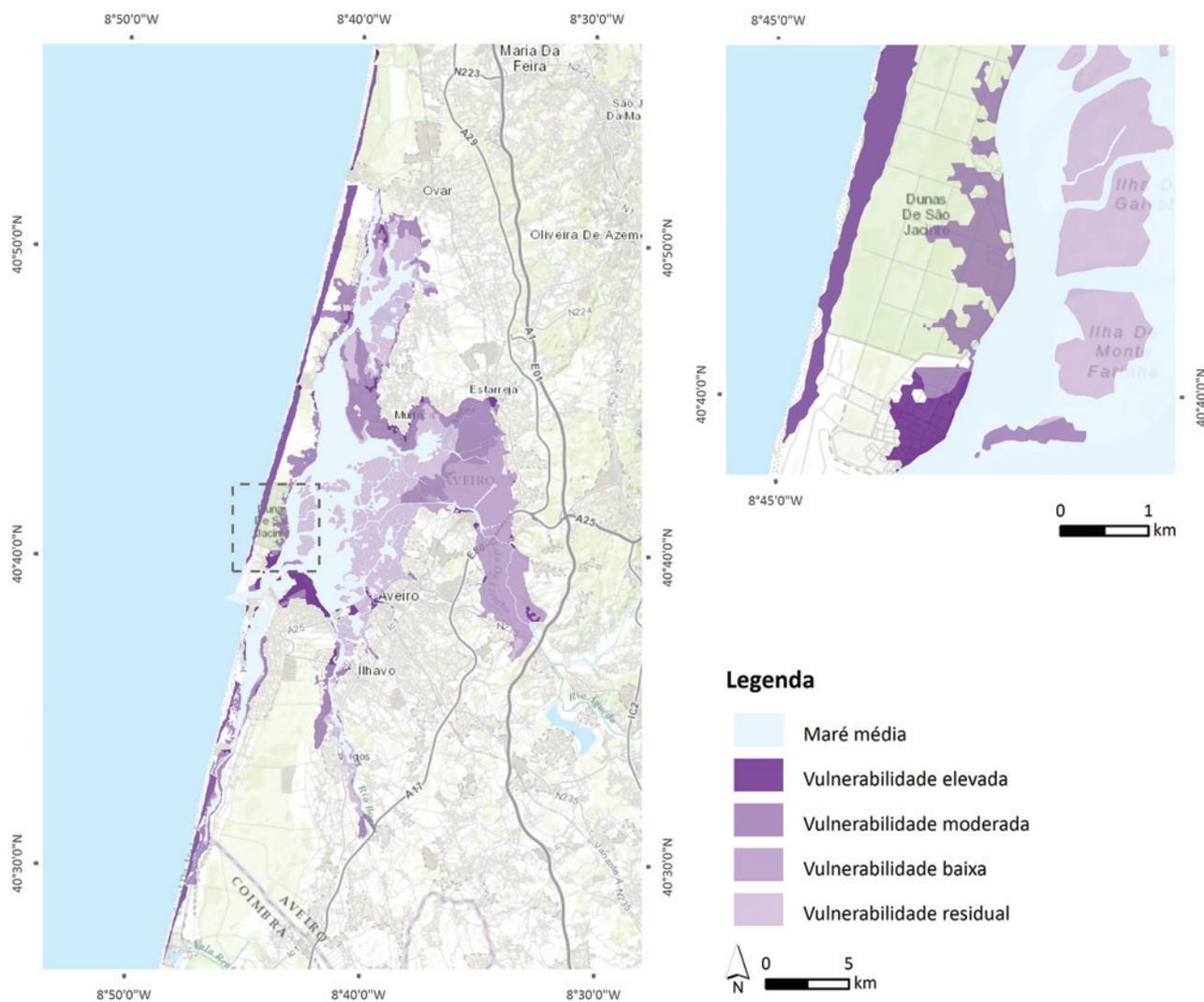


Fig. 25. Vulnerabilidade à cheia e recuo da linha de costa (esquerda) e detalhe de São Jacinto (direita).

Tabela 8. Matriz de risco de inundação (adaptado de ANPC/DNPE, 2009).

		Probabilidade BAIXA	Probabilidade MÉDIA	Probabilidade ELEVADA
Vulnerabilidade	Elevada	Risco Elevado	Risco Elevado	Risco Extremo
	Moderada	Risco Moderado	Risco Elevado	Risco Elevado
	Baixa	Risco Baixo	Risco Moderado	Risco Moderado
	Residual	Risco Residual	Risco Baixo	Risco Baixo

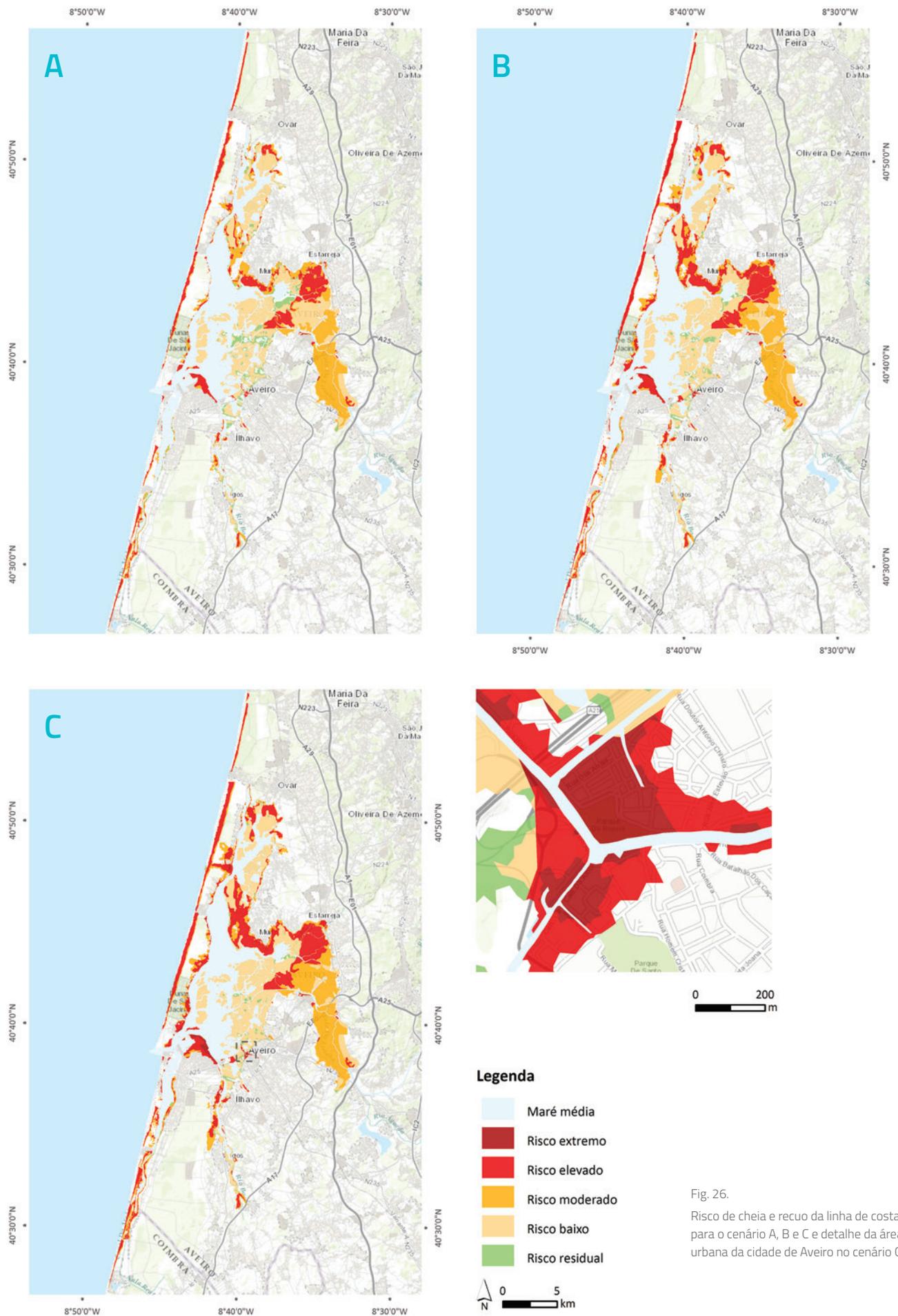


Fig. 26. Risco de cheia e recuo da linha de costa para o cenário A, B e C e detalhe da área urbana da cidade de Aveiro no cenário C.

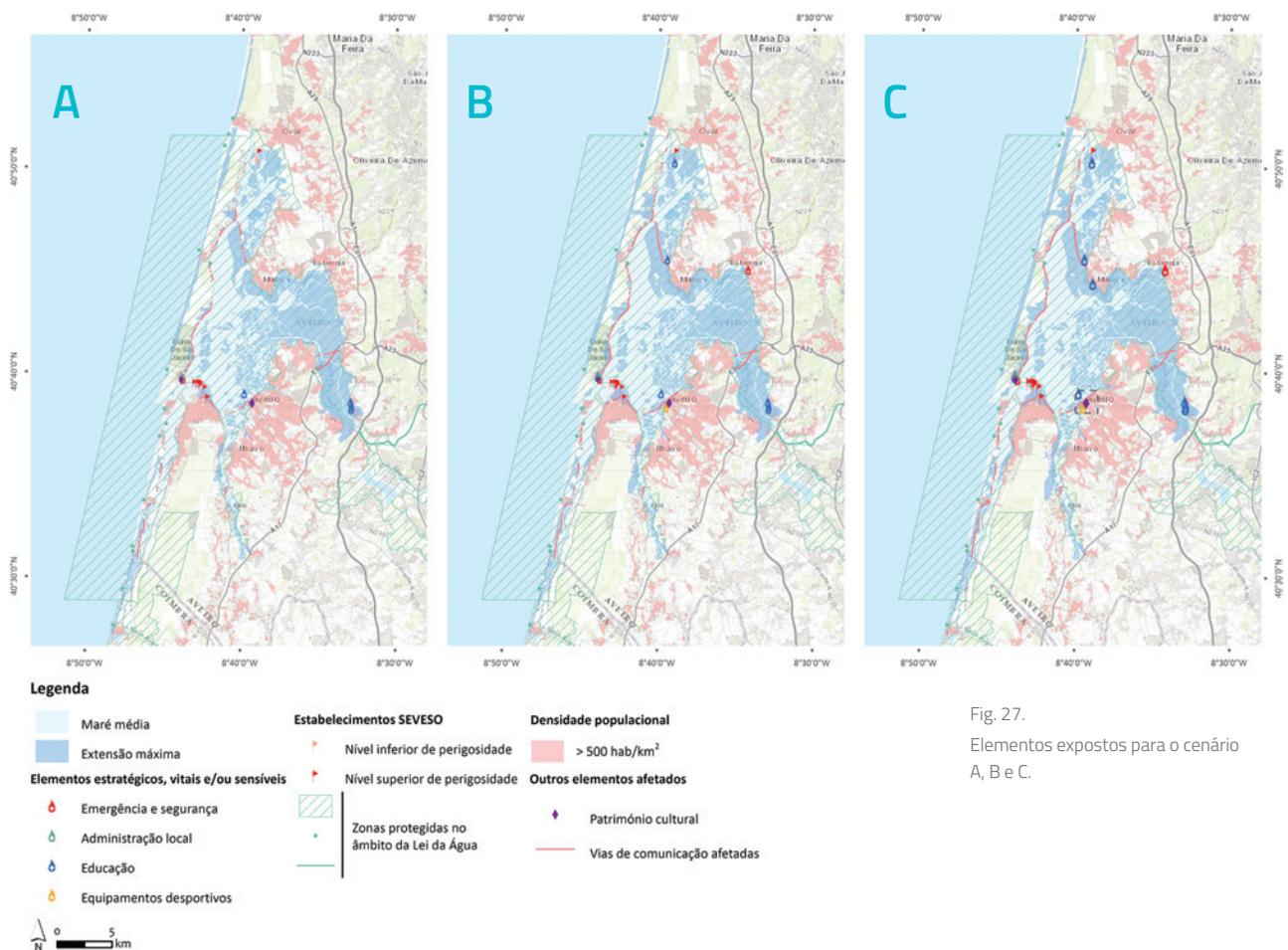


Fig. 27. Elementos expostos para o cenário A, B e C.

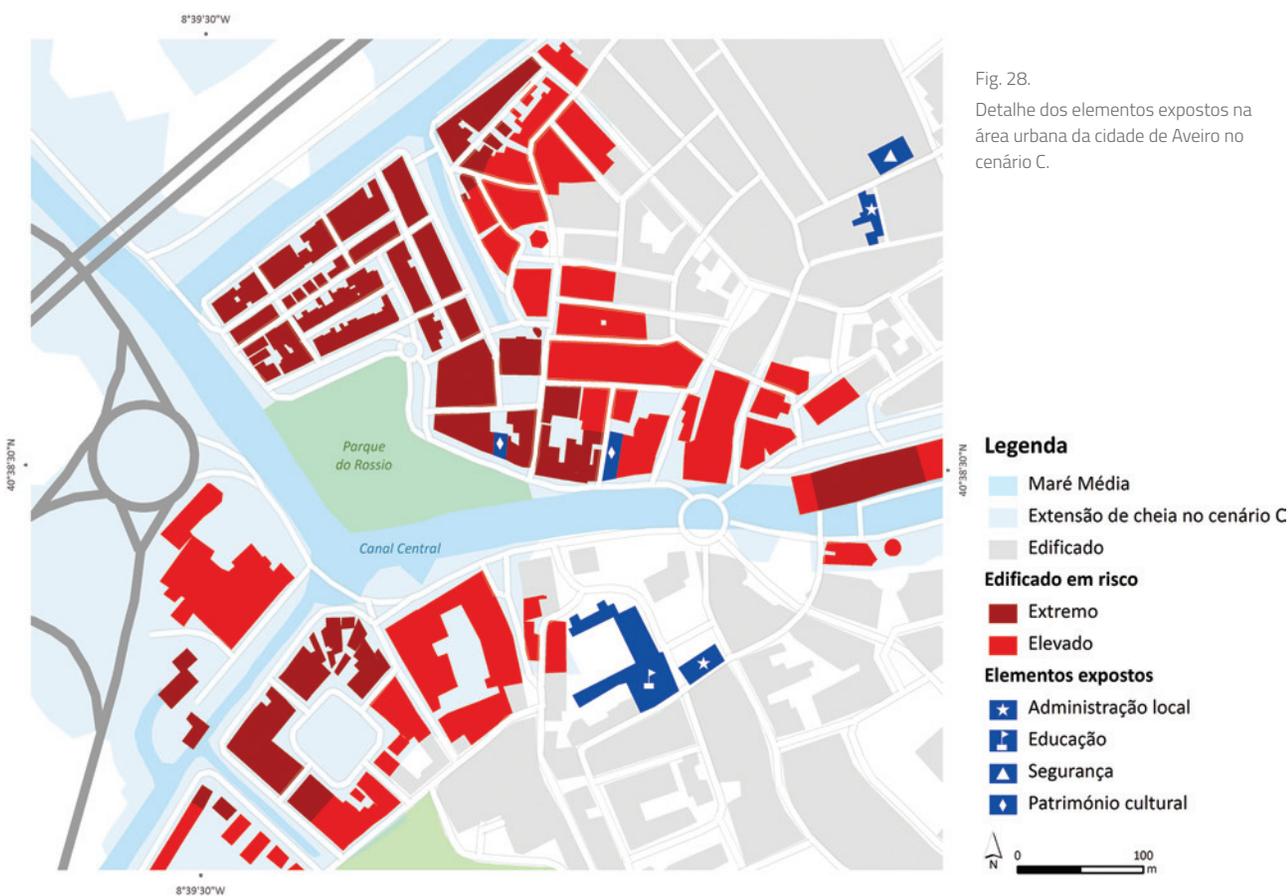
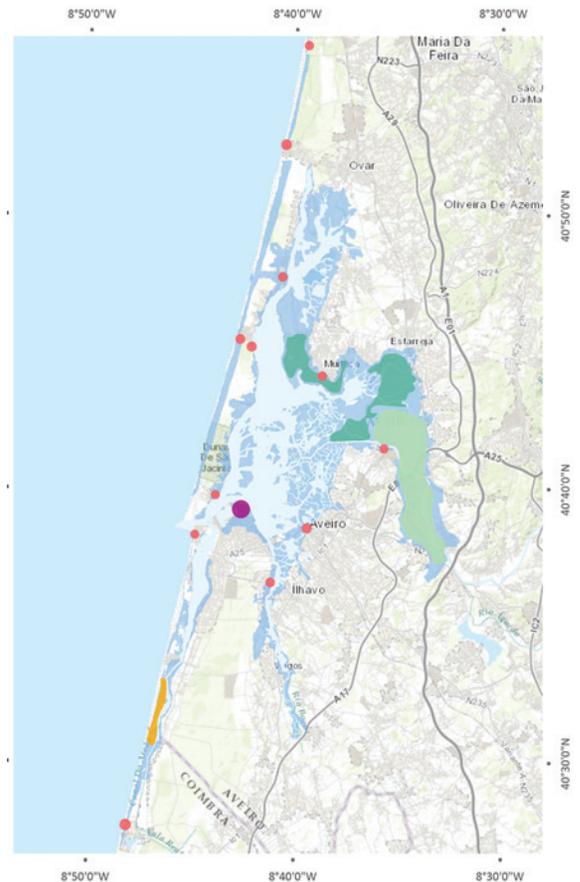


Fig. 28. Detalhe dos elementos expostos na área urbana da cidade de Aveiro no cenário C.

Fig. 29. Tipologias de risco na área de estudo.

- Legenda**
- Maré média
 - Extensão máxima no cenário C
- Tipologias de risco**
- Risco de poluição acidental
 - Risco de rutura do cordão dunar
 - Risco de cheia em áreas urbanas
 - Risco de intrusão salina nos campos agrícolas
 - Risco de cheia em áreas agrícolas



Análise de risco

A análise do risco de cheia e de recuo da linha de costa permitiu identificar diferentes tipologias de risco na área de estudo, especializadas na Figura 29: risco de poluição acidental, risco de rutura do cordão dunar, risco de cheia em áreas urbanas, risco de intrusão salina nos campos agrícolas e risco de cheia (por água doce) em áreas agrícolas.

Como referido no Capítulo 5, a inundação marginal da Ria de Aveiro e do Rio Vouga em cenários futuros (B e C) está dependente das tendências previstas para os agentes forçadores de cheia, nomeadamente da subida do nível médio do mar e da diminui o dos caudais fluviais.

Quando comparada a extensão de cheia nos cenários A, B e C, para um mesmo período de retorno (Fig. 23), observa-se que a inunda o da área agrícola marginal do Rio Vouga (entre Angeja, Frossos, Taboeira e Eixo), para o cenário A, é bastante significativa devido às características topográficas da região (planícies aluviais), que apresenta cotas baixas (Fig. 12). No entanto, não se prevê um aumento da área inundável nesta região nos cenários de altera es climáticas (B e C), uma vez que o efeito da diminui o previsível dos caudais fluviais contraria o efeito da previsão da subida no nível médio

do mar. Quando se analisam as áreas agrícolas marginais   Ria de Aveiro (nomeadamente nas freguesias da Murtoza, Bunheiro e na zona oeste do BBVL), observa-se que a área inundável aumenta com o valor previsto para a subida do nível médio do mar (42 cm no cenário B e 64 cm no cenário C). Esta situa o agrava-se pelo facto de estas áreas apresentarem cotas topográficas baixas.

Apesar de serem frequentemente inundadas, estas planícies agrícolas apresentam diferentes graus de vulnerabilidade e risco. Isto é, as áreas agrícolas marginais   Ria são mais vulneráveis uma vez que estão sujeitas à intrusão salina, apresentando, assim, um risco elevado. Por sua vez, as áreas agrícolas marginais ao Rio Vouga apresentam um risco moderado, em consequência também do seu afastamento da área lagunar (Fig. 25 e 26).

A análise particularizada do território costeiro, relativo   evolu o da linha de costa nos cenários A, B e C, mostra o agravamento dos fen menos de erosão num clima de agita o t pico de altera es climáticas (do cenário A para os cenários B e C). Por outro lado, observa-se, cumulativamente, um agravamento devido à subida do nível médio do mar, entre os cenários B e C. Focando a

análise na região sul do Canal de Mira, em particular no trecho Labrego – Areão, e considerando a posi o da linha de costa para o ano de 2100, observa-se uma perda significativa de território que, no cenário C, poderá corresponder a uma situa o de rutura do cordão dunar (Fig. 29). Analisando, de forma integrada, a extensão máxima de cheia e o recuo da linha de costa previsto para 2100 neste trecho, observa-se a existência de situa es em que o limite da área inundada pela Ria de Aveiro ultrapassa a linha de costa para oeste. Esta situa o particular   observada no cenário A, agravando-se nos cenários B e C.

Na  rea urbana marginal   Ria de Aveiro observa-se um aumento da área inundada, como resultado da subida do nível médio do mar. As principais áreas afectadas são Torreira (incluindo Quintas do Norte), Murtoza (toda a frente ribeirinha), São Jacinto (frente Ria), Aveiro (frente urbana ribeirinha, Fig. 28) e Gafanha de Aquém (Fig. 29). Na zona costeira, as principais áreas urbanas são atualmente protegidas por estruturas de defesa costeira. No entanto, a sua vizinhança é ainda afectada, como por exemplo na área urbana sul de Cortegaça, norte do Furadouro, sul da Torreira, Barra e Mira (Fig. 29).

Estratégias de adaptação

A resposta ao problema das alterações climáticas envolve, essencialmente, duas linhas de atuação: mitigação e adaptação. De acordo com a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAA), a mitigação é o processo que visa reduzir as emissões de gases com efeito de estufa, e a adaptação está associada à tomada de medidas que procuram minimizar os efeitos negativos das alterações climáticas, bem como preparar a

sociedade para lidar com os seus impactos biofísicos e socioeconómicos. As medidas de adaptação podem ter como objetivo anular ou reduzir o risco, potenciar os benefícios, e/ou reduzir ou mitigar as consequências de fenómenos resultantes das alterações do clima, como por exemplo as cheias e o recuo da linha de costa (RCM n.º 24/2010, de 1 de abril de 2010; APA, 2013; Alves *et al.*, 2013).

A definição de estratégias de mitigação e adaptação às cheias e ao recuo da linha de costa requer a análise prévia do risco, tendo em conta os exercícios de cenarização, o que permite melhorar o conhecimento sobre a vulnerabilidade do território a um determinado evento, os elementos expostos, a probabilidade de ocorrência e o risco associado, bem como identificar áreas prioritárias de intervenção. Adicionalmente, é necessário identificar a capacidade atual de adaptação, à escala local, ter em conta as lições aprendidas e as recomendações de adaptação às alterações climáticas, de um modo global. O conhecimento destes fatores é crucial para apoiar a tomada de decisão sobre estratégias de mitigação e adaptação

ao risco de cheia e recuo da linha de costa a adotar no sentido de prevenir os seus efeitos e aumentar a resiliência do território a este tipo de fenómenos (ANPC, 2009).

Dependendo da situação, o risco de cheia e recuo da linha de costa pode ser diminuído através da redução de fatores como a probabilidade de ocorrência, extensão de cheia, e/ou vulnerabilidade do território. Existem várias ações que permitem minimizar e adaptar ao risco (Klijn *et al.*, 2009):

- medidas estruturais, que intervêm diretamente no meio biofísico. Estas podem ser 'pesadas' (por exemplo diques, barragens, regularização fluvial e taludes

para a região da bacia, e esporões e obras aderentes para a zona costeira) ou 'ligeiras' (por exemplo reflorestamento para o controlo da erosão, recuperação de cursos de água, ou alimentações artificiais para a região costeira);

- medidas não-estruturais, que têm como objetivo influenciar a definição de políticas, estratégias e comportamentos, como por exemplo instrumentos regulamentares e normativos (como restrições à construção, utilização e gestão do solo, legislação sobre o armazenamento de produtos tóxicos ou químicos), financeiros (como incentivos e coimas) e de comunicação (como ações de informação e sensibilização públicas, sistemas de alerta).

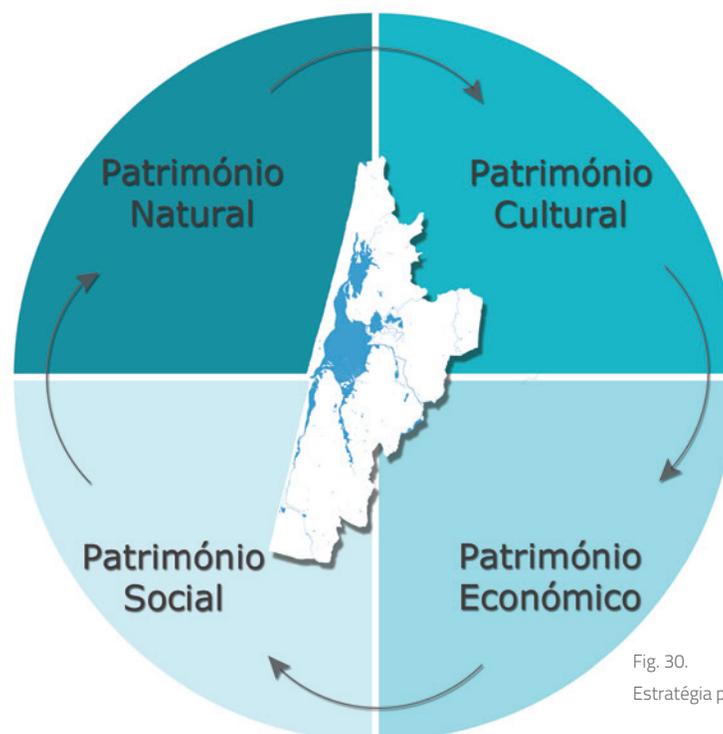


Fig. 30.
Estratégia para a área de estudo.

Considerando a importância ecológica e socioeconómica da região lagunar e costeira da Ria de Aveiro, adotou-se uma estratégia que visa integrar as múltiplas vertentes do território, sem colocar em causa a sua identidade e singularidade, propondo intervenções que permitam minimizar os efeitos das cheias e do recuo da linha de costa e, ao mesmo tempo, manter e valorizar o património cultural, natural, social e económico desta região (Fig. 30).

Pretende-se, portanto, identificar um conjunto de recomendações para a gestão e prevenção de perigos de cheia e recuo da linha de costa, e para a formulação de

políticas referentes a futuros planos de desenvolvimento regional, gestão de recursos naturais e de ecossistemas, uso dos solos e gestão ambiental.

Tendo por base os objetivos e metas referidos, e no sentido de melhor ilustrar as estratégias de adaptação preconizadas no projeto, optou-se por identificar, ao nível local, orientações e boas práticas para a prevenção, gestão e adaptação às cheias e à evolução da linha de costa na região costeira da Ria de Aveiro.

Sendo assim, e tendo subjacente o histórico de eventos, as previsões de diversos agen-

tes forçadores, a análise do risco de cheia e de recuo da linha de costa para cada cenário, foi possível nomear duas áreas prioritárias de intervenção, onde o risco de perda efetiva de recursos ecológicos, socioeconómicos e territoriais é uma realidade.

A Tabela 9 resume as intervenções globais de adaptação, controlo e prevenção/gestão propostas para a área de estudo. Seguidamente apresentam-se propostas concretas de intervenção para adaptar e minimizar o risco de cheia no Bloco do Baixo Vouga Lagunar, e uma análise de custo-benefício de diferentes intervenções de defesa costeira no troço Barra – Mira.

MEDIDAS ESTRUTURAIS DE ADAPTAÇÃO				INTERVENÇÃO
1.	SISTEMA DE DEFESA CONTRA AS MARÉS			
1.1.	Esteiros	Recuperação e estabilização biofísica do leito, margens e zona adjacente dos Esteiros de Canelas e Salreu, através de técnicas de engenharia biofísica e constituição de orlas arbustivas de carácter ribeirinho por forma a controlar a subida das marés	Ocorrências: Galgamento e rombos Danos: Intrusão salina nos campos do Baixo Vouga Lagunar e consequente destruição de culturas e destruição das margens dos esteiros	Combinada
2.	SISTEMA DE ADAPTAÇÃO ÀS CHEIAS			
2.1.	Rio Vouga	Recuperação e estabilização biofísica do leito, margens e zona adjacente dos Rios Velho e Antuã, através de técnicas de engenharia biofísica e constituição de orlas arbustivas de carácter ribeirinho por forma a evitar o galgamento descontrolado e os rombos característicos em época de cheias.	Ocorrências: Galgamento, rombos, encharcamento; Danos: Alagamento dos campos do Baixo Vouga Lagunar, rombos nas margens de proteção do rio, deposição de sedimentos indesejados, destruição de caminhos agrícolas e encharcamento dos solos (caso a drenagem não seja feita atempadamente)	Combinada
2.2.	Outros rios	Recuperação e estabilização biofísica do leito, margens e zona adjacente dos Rios Velho e Antuã, através de técnicas de engenharia biofísica e constituição de orlas arbustivas de carácter ribeirinho por forma a evitar o galgamento descontrolado e os rombos característicos em época de cheias	Ocorrências: Galgamento, rombos, encharcamento Danos: Alagamento dos Campos do Baixo Vouga Lagunar, rombos nas margens de proteção do rio, deposição de sedimentos indesejados, destruição de caminhos agrícolas e encharcamento dos solos (caso a drenagem não seja feita atempadamente)	Ligeira
MEDIDAS ESTRUTURAIS DE CONTROLO				INTERVENÇÃO
3.	SISTEMA DE DEFESA CONTRA AS MARÉS			
3.1.	Diques	Prolongamento do dique de proteção conjugando técnicas de engenharia civil e biofísica, contra o avanço da água salgada sobre os campos do Baixo Vouga Lagunar	Ocorrências: Galgamento e rombos Danos: Intrusão salina nos campos do Baixo Vouga Lagunar e consequente destruição de culturas e consequente destruição de culturas e destruição das propriedades do solo	Pesada
3.2.	Estruturas hidráulicas	Construção de estruturas hidráulicas constituídas por comportas de maré, que permitem a gestão da água no Bloco do Baixo Vouga Lagunar e criam uma barreira à entrada da água salgada	Ocorrências: Alagamento, encharcamento e salinização dos solos Danos: Encharcamento e salinização nos campos do Baixo Vouga Lagunar e consequente destruição de culturas.	Pesada
4.	SISTEMA DE PROTEÇÃO CONTRA A EROSÃO COSTEIRA			
4.1.	Alimentações artificiais de praias e reforço dos cordões dunares	Adição de areia nas praias da Barra, Costa Nova e Vagueira, e no sistema dunar a sul da Costa Nova, a sul da Vagueira e a sul do Areão, por forma a manter o valor recreativo e ambiental da praia e preservar os sistemas naturais de defesa costeira (praias e dunas)	Ocorrências: Perda de areal Danos: Diminuição da área útil de praia, com perda do valor recreativo e balnear	Ligeira
4.2.	Esporões	Construção ou prolongamento de um esporão na praia da Barra, por forma a fixar a posição da linha de costa e permitir a reconstrução de praias erodidas, por interseção do transporte longitudinal de sedimentos, com acumulação de areias a barlar	Ocorrências: Recuo da linha de costa e perda de areal Danos: Perda de território, com prejuízo da atividade de uso recreativo e balnear, danos em infraestruturas e bens	Pesada
4.3.	Obras longitudinais aderentes	Construção ou prolongamento de obras longitudinais aderentes nas praias da Costa Nova, Vagueira, Labrego, Areão e Poço da Cruz, por forma a fixar a posição da linha de costa e reduzir a ação das ondas por absorção da energia nas faces e espaços vazios das rochas	Ocorrências: Recuo da linha de costa e galgamentos oceânicos Danos: Perda de território, rutura da restinga de areia, galgamentos e inundações, danos em infraestruturas e bens	Pesada
MEDIDAS NÃO-ESTRUTURAIS				INTERVENÇÃO
5.	SISTEMA DE DRENAGEM PRIMÁRIO E SECUNDÁRIO			
5.1.	Estruturas hidráulicas	Construção de estruturas hidráulicas constituídas por comportas de maré, que permitem a gestão da água no Bloco do Baixo Vouga Lagunar, isto é, armazenar ou drenar a água em excesso, em época de seca ou cheias respectivamente	Ocorrências: Alagamento, encharcamento e salinização dos solos Danos: Encharcamento e salinização nos campos do Baixo Vouga Lagunar e consequente destruição de culturas.	Gestão
5.1.	Valas	Limpeza das valas de drenagem	Ocorrência: Valas obstruídas e encharcamento dos campos Danos: Deficiente escoamento das águas em excesso na época de cheia.	Gestão
6.	ESTRUTURA VERDE PRINCIPAL			
6.1.	Sebes	Poda	Ocorrência: Caminhos obstruídos Danos: Deficiente circulação	Gestão
6.2.	Sebes e Galeria ripícola	Reforço das galerias ripícolas e das sebes de compartimentação	Ocorrência: Áreas mal ou não protegidas contra o avanço das águas devido à falta de revestimento arbóreo e/ou arbustivo Danos: Destruição de taludes/motas, maior rapidez na intrusão de água salgada ou doce nos campos	Gestão

Tabela 9. Proposta de intervenções para a área de estudo.

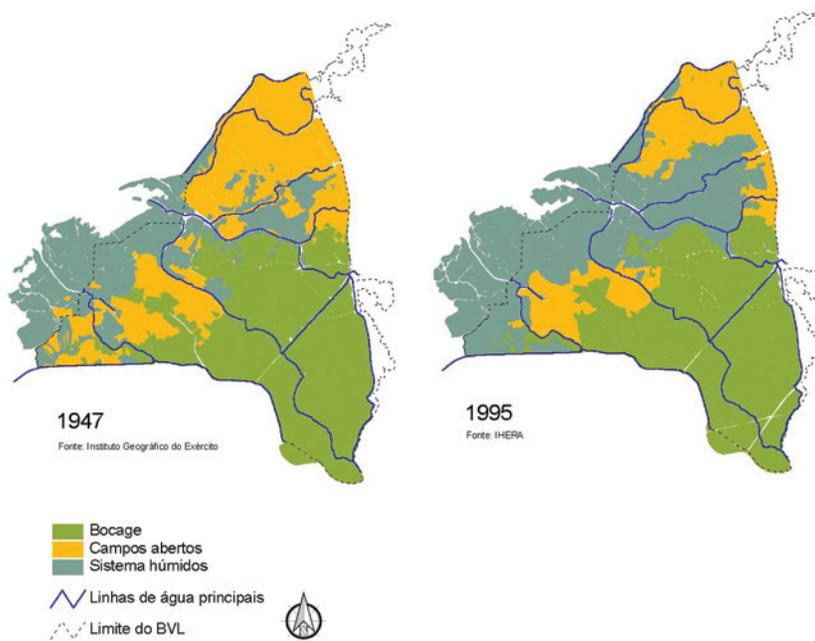


Fig. 31.
Evolução dos sistemas húmidos vs área agrícola entre 1947 e 1995 (Andresen e Curado, 2001).

Bloco do Baixo Vouga Lagunar

Na Ria de Aveiro ocorrem inundações quando o nível do mar é elevado, o caudal dos seus afluentes é elevado ou por ação simultânea de ambos.

O Bloco do Baixo Vouga Lagunar situa-se numa área crítica, de confluência entre a foz do Rio Vouga e a Ria de Aveiro, encontrando-se permanentemente sob ameaça de cheias, sejam elas de origem marítima e/ou fluvial. O histórico de cheias nesta área e a magnitude dos danos têm sido, ao longo das últimas décadas, largamente documentados, e serviram de suporte para a sua identificação como área prioritária de intervenção na região da Ria de Aveiro, aquando do planeamento, em 1995, da construção de uma obra de defesa contra as marés – o dique do BBVL (IHERA, 1996/97). Tal intervenção foi apenas realizada em parte, tendo sido construído 4 km dos 10 km previstos no projeto inicial.

Os estudos técnicos efetuados em 1996/97 e em 2001 (IHERA 1996/97; Andresen e Curado, 2001) mostram a evolução das unidades de paisagem (Fig. 31), antes do início da construção do dique do Baixo Vouga

Lagunar, salientando que as áreas outrora agrícolas foram transformadas em áreas de juncaal. Entre 1947 e 1995 perderam-se aproximadamente 340 ha de áreas agrícolas, constatando-se uma significativa alteração das características de um meio de água doce para água salgada, com perda expressiva de habitats dulçaquícolas que foram, sucessivamente, sendo substituídos por habitats de transição, resistentes à salinização do meio, como caniçais e juncaais (Andresen e Curado, 2001).

Por outro lado, a análise recente da evolução do uso do solo para os períodos de 1990, 2000 e 2006 (Fig. 32 e Silva, 2011), mostra, inequivocamente, que a construção do dique, iniciada em 1995, permitiu conter o avanço das águas marinhas (i.e. nível do mar elevado), e o desenvolvimento de culturas temporárias de regadio, verificando-se que em 2006 há uma substituição dos espaços agrícolas por espaços naturais e seminaturais.

De acordo com os resultados obtidos na previsão de inundação e na elaboração da cartografia global de vulnerabilidade e risco,

para a área do BBVL salienta-se que na situação presente: i) os caudais fluviais elevados originam uma maior área inundada no Bloco do Baixo Vouga Lagunar; ii) na zona marginal do Rio Vouga, observam-se os níveis máximos de cheia, com valores superiores a 1.5 m. Na situação futura (alterações climáticas): i) a extensão de cheia tende a aumentar com a subida do nível médio do mar nas regiões localizadas na área central da laguna; ii) a extensão de cheia tende a diminuir nas zonas onde desaguem os afluentes fluviais devido à diminuição do caudal, com especial incidência no Bloco do Baixo Vouga Lagunar.

Em síntese, em cenários de alterações climáticas, verifica-se um incremento de área alagada motivado pela subida do nível médio do mar que será superior à diminuição de área alagada motivada pelo decréscimo do caudal fluvial.

Da análise das cartas globais de vulnerabilidade e risco constata-se, de um modo geral, para os cenários A, B e C, um agravamento do risco de cheia nas planícies aluviais. No caso concreto do BBVL podem-se evidenciar os seguintes aspectos: i) extensa área de

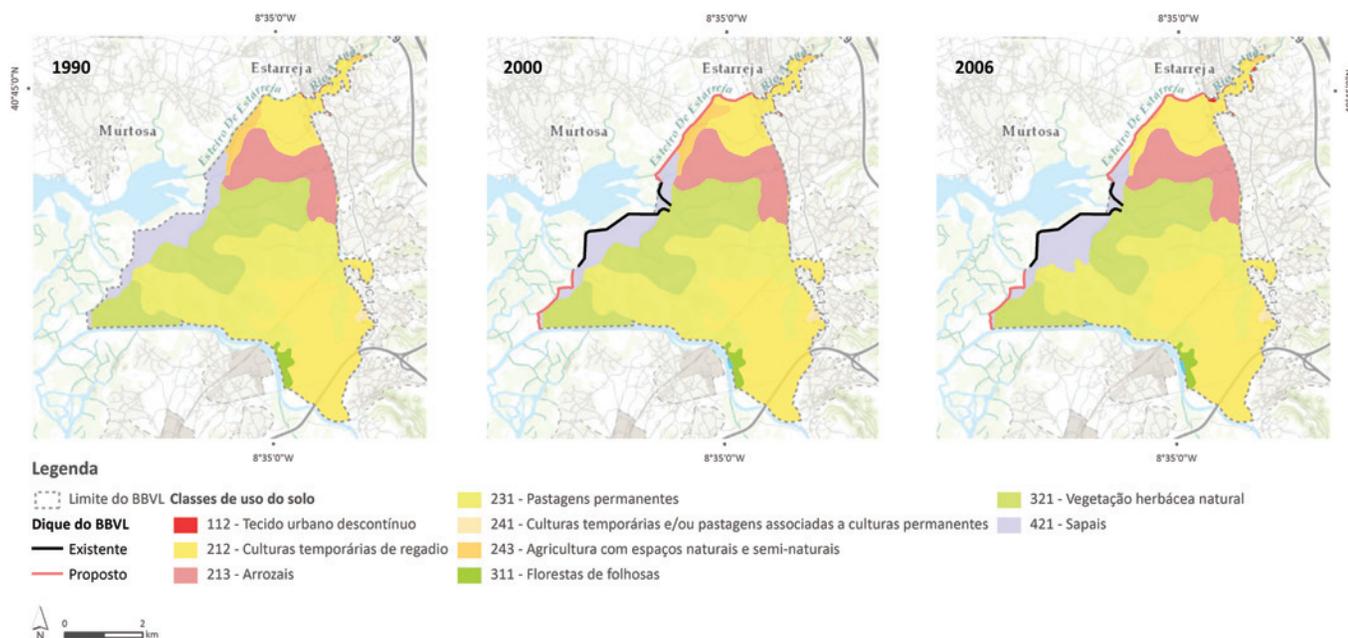


Fig. 32.

Evolução do uso do solo no Bloco do Baixo Vouga Lagunar entre 1990 e 2006 (Dados de base: CORINE Land Cover de 1990, 2000 e 2006).

probabilidade elevada e média de ocorrência de cheia (Fig. 24); ii) significativa área de vulnerabilidade baixa e moderada (Fig. 25); e iii) extensa área de risco moderado e elevado (Fig. 26).

Estes resultados confirmam e reforçam a necessidade de adoção de medidas que minimizem o avanço das águas, marinhas e fluviais, que resulta na perda de ecossistemas importantes do ponto de vista ecológico, mas também do ponto de vista económico e social. A Figura 33 ilustra com detalhe a situação do BBVL, apresentando a dinâmica das águas, as áreas históricas onde frequentemente têm ocorrido rombos sucessivos nos taludes e margens de proteção, e a área de probabilidade elevada de ocorrência de cheia.

As estratégias de intervenção, apresentadas para este local, têm em conta as particulari-

dades do Bloco do Baixo Vouga Lagunar, que se distingue pela "diversidade e especificidade" resultantes da "interação do homem com o clima, da intensa relação terra/água, dos terrenos suaves de formação recente, da fertilidade dos solos e da água em abundância." O BBVL é uma área, não só de elevado valor agrícola e económico, como também ambiental, que, no entanto, se encontra num estado contínuo de degradação (IHERA, 1996/97; Andresen e Curado, 2001) e sob o qual pende uma forte ameaça futura de risco de cheia, conforme comprovado neste estudo.

Acresce a estas características o reconhecimento internacional dos elevados níveis de biodiversidade, comprovados pela inclusão desta área na Zona de Proteção Especial da Ria de Aveiro, ao abrigo da Diretiva Aves (Diretiva n.º 79/409/CEE).

Assim, para a sua proteção e conservação, as medidas de adaptação às cheias terão de garantir o desenvolvimento equilibrado do BBVL, tendo em conta não só a manutenção, mas também o incremento do seu valor ecológico, estético, cultural, turístico e recreativo. Reforça-se com as propostas de intervenção identificadas, a indispensabilidade de "promover um desenvolvimento sustentável e socialmente aceite para toda a zona; e preservar os ecossistemas existentes através da defesa e conservação dos recursos naturais e da manutenção da atividade agrícola" visando "construir uma alternativa de atuação que tivesse simultaneamente em consideração a necessidade de desenvolver a agricultura e de preservar o património ambiental existente" (IHERA 1996/97).

Seguindo esta lógica, as estratégias de intervenção basearam-se no conceito internacional de infraestruturas verdes,

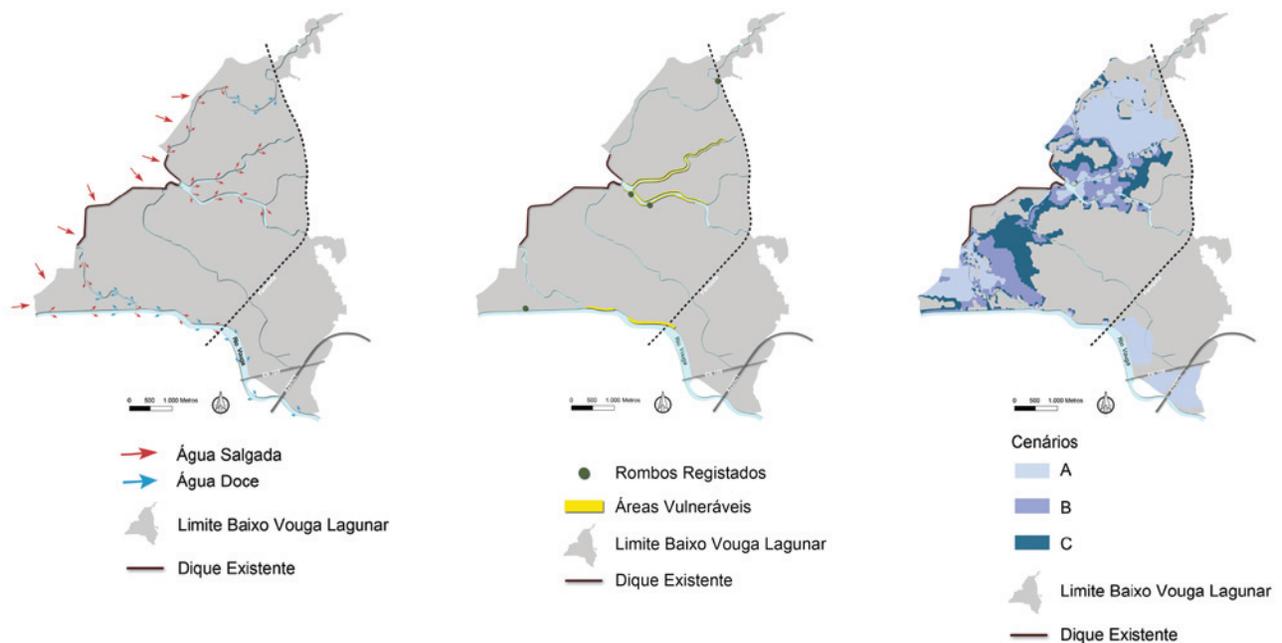


Fig. 33.

Esquerda - Dinâmica das águas no BBVL (adaptado de IHERA, 1996/97).

Centro - Áreas vulneráveis.

Direita - Probabilidade elevada para os cenários A, B e C.

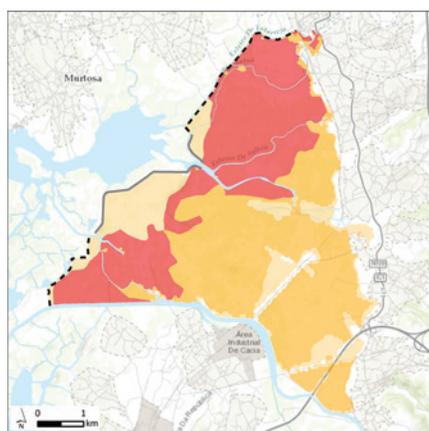
conhecido, em Portugal, como 'corredor verde' ou '*continuum naturale*'. Este conceito prende-se com a proteção e integração dos elementos biofísicos, culturais, recreativos e paisagísticos do território, bem como com a orientação das intervenções antrópicas no sentido de reconhecer, conservar e promover elementos naturais e culturais que, por terem características únicas, deverão ser sujeitos a um ordenamento e planeamento ambientalmente sustentável (Ferreira, 2010). Este conceito visa, assim, assegurar que a melhoria dos processos naturais é sistematicamente tida em conta no domínio do ordenamento do território (EEA, 2011).

A infraestrutura verde é definida por uma rede de áreas naturais e áreas abertas fundamentais para o funcionamento ecológico do território (Ferreira e Machado, 2010).

É, portanto, um instrumento que recorre à natureza para criar benefícios ecológicos, económicos e sociais, dando resposta aos problemas ambientais de uma forma ecologicamente sustentável e aumentando a resiliência dos ecossistemas. Os ecossistemas desempenham, por exemplo, um papel fundamental no combate às alterações climáticas, protegendo-nos de inundações e de outros efeitos negativos das variações meteorológicas. De salientar ainda que as infraestruturas verdes tornaram-se fundamentais no Plano Estratégico de Biodiversidade 2011-2020, para atingir o objetivo global de restauração de ecossistemas (EEA, 2011).

Neste contexto são apresentadas estratégias de intervenção para quatro áreas no Bloco do Baixo Vouga Lagunar, consideradas

prioritárias, com vista à sua defesa contra as marés e/ou adaptação às cheias. Estas medidas poderão ser aplicadas e adaptadas a outras áreas da Ria de Aveiro que apresentem características semelhantes às exemplificadas.



Legenda
 Maré média Risco moderado -- Proposta de intervenção
 Risco elevado Risco baixo — Dique existente

Antes



Depois



Perfil



Objetivo

Proteção do património natural e cultural dos campos do Bloco do Baixo Vouga Lagunar através do prolongamento da estrutura física principal existente, contra a intrusão das águas salgadas da Ria.

Tipologia de Intervenção

Sistema de Defesa contra as Marés – Intervenção pesada

Localização

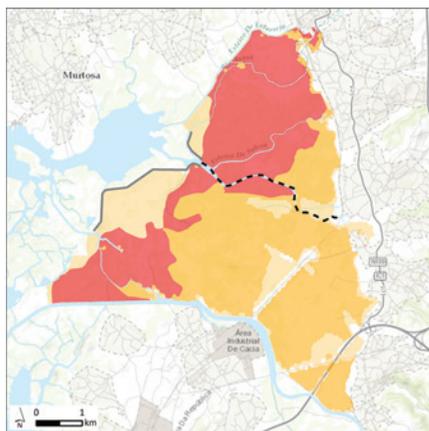
Bloco do Baixo Vouga Lagunar

Danos

Intrusão salina nos campos do Bloco do Baixo Vouga Lagunar e consequente destruição de culturas e destruição de motas de proteção.

Descrição da Intervenção

Prolongamento do dique de proteção conjugando técnicas de engenharia civil e biofísica, contra o avanço da água salgada, permitindo o estabelecimento de uma área salobra intermédia entre a Ria e os campos agrícolas do Baixo Vouga. Na ligação entre os esteiros do Bloco e a Ria são propostas estruturas hidráulicas com comportas de maré, permitindo o bloqueio à entrada da água salgada e a drenagem para a Ria da água doce em excesso (reforço das ações previstas no projeto de Desenvolvimento Agrícola do Baixo Vouga Lagunar (Andersen e Curado, 2001).

**Legenda**

■ Maré média ■ Risco moderado - - Proposta de intervenção
■ Risco elevado ■ Risco baixo — Dique existente

Antes

© I. Antunes

Depois

© I. Antunes

Perfil

© I. Antunes

Objetivo

Recuperação e estabilização das margens do Esteiro de Canelas com vista à sua proteção e posterior valorização tendo em conta a utilização turística e recreativa.

Tipologia de Intervenção

Sistema de Defesa contra as Marés
– Intervenção combinada

Localização

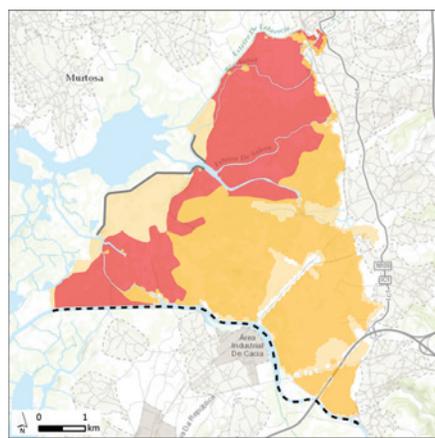
Bloco do Baixo Vouga Lagunar,
Esteiro de Canelas

Danos

Intrusão salina nos campos do Bloco do Baixo Vouga Lagunar e consequente destruição de culturas e destruição de motas de proteção.

Descrição da Intervenção

Recuperação e estabilização biofísica do leito, margens e zona adjacente do Esteiro de Canelas, através de técnicas de engenharia biofísica e constituição de orlas arbustivas de carácter ribeirinho por forma a controlar a subida das marés.



Legenda
 Maré média Risco moderado - - Proposta de intervenção
 Risco elevado Risco baixo — Dique existente

Antes



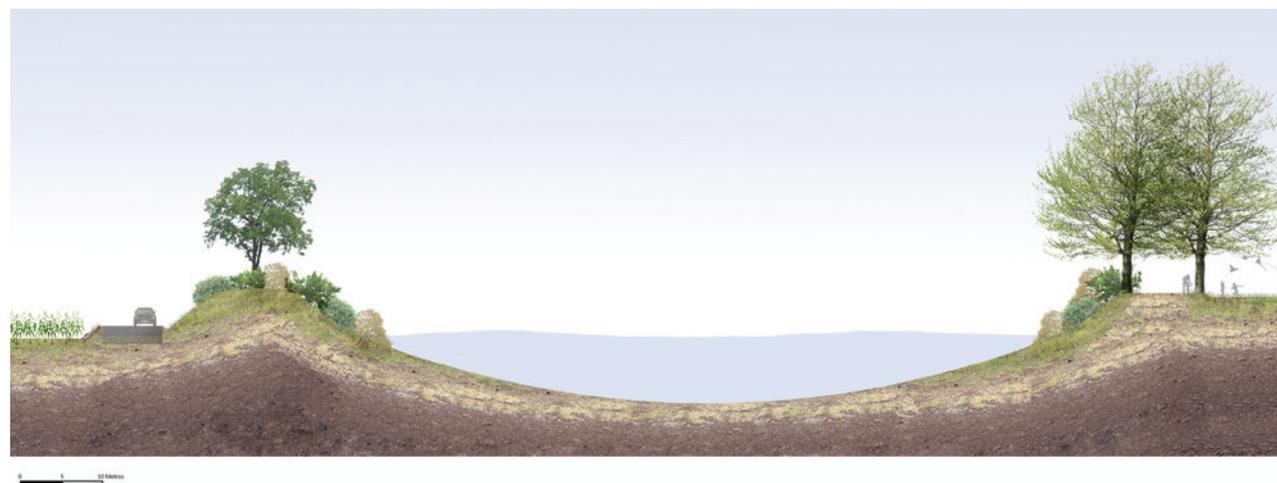
© I Antunes

Depois



© I Antunes

Perfil



© I Antunes

Objetivo

Recuperação e estabilização das margens do Rio Vouga com vista à sua proteção e posterior valorização tendo em conta a utilização turística e recreativa.

Tipologia de Intervenção

Sistema de Adaptação às Cheias
 – Intervenção combinada

Localização

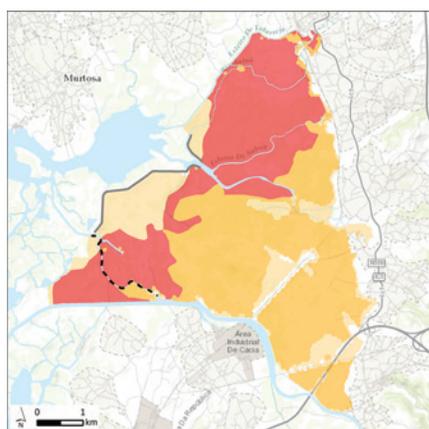
Bloco do Baixo Vouga Lagunar, Rio Vouga

Danos

Alagamento dos campos do Bloco do Baixo Vouga Lagunar, rombos nas margens de proteção do rio, deposição de sedimentos indesejados, destruição de caminhos agrícolas e encharcamento dos solos (caso a drenagem não seja feita atempadamente).

Descrição da Intervenção

Recuperação e estabilização biofísica do leito, margens e zona adjacente do Rio Vouga, através de técnicas de engenharia biofísica e constituição de orlas arbustivas de carácter ribeirinho por forma a evitar o galgamento descontrolado e os rombos característicos em época de cheias.



Legenda
 Maré média Risco moderado - - Proposta de intervenção
 Risco elevado Risco baixo — Dique existente

Antes



@ I Antunes

Depois



@ I Antunes

Perfil



@ I Antunes

Objetivo

Recuperação e estabilização das margens do Rio Velho com vista à sua proteção e posterior valorização tendo em conta a utilização turística e recreativa.

Tipologia de Intervenção

Sistema de Adaptação às Cheias
 – Intervenção ligeira

Localização

Bloco do Baixo Vouga Lagunar, Rio Velho

Danos

Alagamento dos campos do Bloco do Baixo Vouga Lagunar, rombos nas margens de proteção do rio, deposição de sedimentos indesejados, destruição de caminhos agrícolas e encharcamento dos solos (caso a drenagem não seja feita atempadamente).

Descrição da Intervenção

Recuperação e estabilização biofísica do leito, margens e zona adjacente do Rio Velho, através de técnicas de engenharia biofísica e constituição de orlas arbustivas de carácter ribeirinho por forma a evitar o galgamento descontrolado e os rombos característicos em época de cheias.

Troço Barra – Mira

Na perspetiva de definir as melhores estratégias de mitigação dos problemas de erosão costeira, procedeu-se à análise custo-benefício ambiental de diferentes cenários de intervenção de defesa costeira. O objetivo geral desta análise passou pelo estudo de cenários de evolução da linha de costa considerando diferentes opções de intervenções de defesa costeira, com recurso ao modelo de evolução de linha de costa LTC (*Long-Term Configuration*), aliado a uma abordagem de transferência de benefícios para a avaliação económica de recursos costeiros naturais e urbanos. Mais especificamente pretendeu-se:

1. Avaliar a evolução da linha de costa, com base em parâmetros físicos adaptados à região costeira de Aveiro, através da simulação de vários cenários de intervenção;
2. Estimar os custos da proteção costeira, pela avaliação de custos associados à construção e manutenção das defesas costeiras;
3. Estimar os benefícios da proteção costeira, com a identificação de bens e serviços costeiros (naturais e urbanos) e definição do valor das áreas urbanas, dos serviços e dos ecossistemas.

O estudo custo-benefício propriamente dito foi feito com base nos resultados dos cená-

rios desenvolvidos e consistiu na determinação de parâmetros de avaliação económica, e posteriormente na otimização dinâmica dos dados resultantes da análise custo-benefício. A otimização dinâmica procurou encontrar o cenário com a melhor relação entre os benefícios e os custos.

Os tipos de intervenção considerados (Fig. 34) no estudo foram os esporões, as obras longitudinais aderentes e as alimentações artificiais de praias. Sumariamente, um esporão permite a reconstrução de praias erodidas, por interseção do transporte longitudinal de sedimentos, com acumulação de areias a barlamar. No entanto, os esporões antecipam o processo erosivo a sotamar, têm impacto visual e obrigam a manutenção constante. As obras longitudinais aderentes são estruturas paralelas à costa, realizadas ao longo de uma face da duna ou num talude inclinado da praia, reduzindo a ação das ondas, por absorção da energia nas faces e espaços vazios das rochas. No entanto, esta solução degrada o valor da praia, por diminuição da área útil da praia, por impacto visual negativo e por introdução de dificuldades de acesso à própria praia. A adição de areia permite manter o valor recreativo e ambiental da praia. A escolha do material a transferir deve considerar a granulometria e densidade da areia já existente no local. No entanto, as alimentações artificiais de praias obrigam à existência de uma fonte

sedimentar (dragagens) e podem gerar erosões superiores às praias naturais, já que o perfil não está em equilíbrio com o clima de agitação, originando também períodos de recarga curtos, com custos de manutenção elevados. Há a possibilidade de conjugar esta técnica com outras, de forma a reduzir as necessidades de recarga.

Para o estudo do balanço custo-benefício ambiental, importa definir valores de custos e de benefícios, traduzido em termos económicos. Torna-se fundamental conhecer o valor económico do território envolvido na análise, e o custo atribuído às intervenções de defesa costeira em estudo.

A atribuição de um valor económico ao território deve ter em conta os vários ecossistemas que existem e os correspondentes serviços e benefícios que este pode trazer. Na interface entre o meio terrestre e o meio marinho, a zona costeira revela frequentemente um elevado valor ambiental, resultado da conjugação de características geomorfológicas, ecológicas e de ocupação humana do seu território. De acordo com as diferentes utilizações do território da zona costeira, e na sequência de uma abordagem de transferência de benefícios utilizada por Alves *et al.* (2009), Roebeling *et al.* (2011) e Alves (2012), foram estimados os valores presentes na Tabela 10.



Fig. 34.

Exemplo de tipos de intervenção considerados:

Esquerda - Esporão da Costa Nova;

Centro - Obra aderente a sul do esporão da Costa Nova;

Direita - Duna artificial a sul do esporão do Labrego;

TIPO DE ÁREA	CUSTO €/ha/ano
Agrícola	688.10
Floresta	458.50
Praia e duna	29 755.34
Urbana	619 524.88

Tabela 10.

Valor dos ecossistemas/utilizações das zonas costeiras (Alves, 2012).

TIPO DE INTERVENÇÃO	CUSTO DE CONSTRUÇÃO	CUSTO DE MANUTENÇÃO
Alimentação artificial de praias	6 €/m ³	
Esporão (análise em volume)	30 €/m ³	10 €/m ³
Esporão (análise por metro linear)	10 000€/m	2 000 €/m (cada 2.5 anos)
Defesa Aderente	8 000 €/m	1 800 €/m (cada 2.5 anos)

Tabela 11.

Preços adotados para a análise custo-benefício (Reis, 2010; Roebeling *et al.*, 2011; Pereira e Coelho, 2013c).

Os valores indicados na Tabela 11 foram adotados, como representativos dos custos da construção e manutenção de obras de proteção costeira.

De seguida são apresentadas, de forma sucinta, as principais conclusões retiradas dos cenários estudados (Reis, 2010; Pereira, 2010; Almeida, 2011; Alves, 2012; Oliveira, 2012), considerados como as melhores soluções de intervenção para defesa da zona costeira da área de estudo.

Simularam-se diversos cenários de alimentação artificial de praias em que apenas o volume da alimentação artificial realizada sofreu variação. Qualquer dos cenários simulados prevê melhorias, resultando em menor área perdida do que no cenário de referência (cenário de não intervenção). Em termos de distribuição espacial, as duas regiões vizinhas à zona onde é realizada a alimentação artificial são as que registam maior área não perdida. Foram estudados

dois cenários de valor de território. Do ponto de vista económico, os principais resultados mostram que, para a situação de praias e dunas, apenas o cenário com alimentação de 0.5 Mm³ é viável, por ser o único com resultado positivo para o Valor Atual Líquido e Taxa Interna de Retorno superior à taxa de desconto. Para áreas urbanas, qualquer cenário de alimentação artificial surge como recomendável. A otimização dinâmica efetuada para áreas de praias e dunas permitiu determinar um volume ótimo de 0.1 Mm³, e para áreas urbanas, o volume ótimo determinado foi de 90 Mm³. Estes valores traduzem o volume de alimentação artificial para o qual é possível maximizar os benefícios das áreas protegidas, em relação ao investimento efetuado nas intervenções (Almeida, 2011).

Fez-se, também, o estudo genérico de otimização do comprimento de esporões. Independentemente do comprimento do esporão ou da altura de onda incidente, a construção

de esporões representa sempre um ganho de território costeiro em relação ao cenário de referência (menor área perdida), tanto maior quanto maior for o comprimento de esporão aplicado. É possível estabelecer que quanto maior o comprimento do esporão, maior será a área de território não perdida. No entanto, os custos dos esporões aumentam de forma exponencial, com o aumento do seu comprimento. Pode-se concluir que o processo de manutenção periódica dos esporões representa uma parte importante dos custos de funcionamento ao longo do tempo. Os benefícios são superiores nos cenários que sofrem a incidência de ondas de maior altura. Conclui-se que a construção de esporões não é uma opção viável do ponto de vista económico na proteção de cenários expostos a ondulação de pouca altura (Oliveira, 2012).

A análise da localização, comprimento e número de esporões no trecho Barra-Mira demonstra a dependência do orçamento dis-

ponível. Para um orçamento de 4.5 M€, os cenários mais viáveis são os que possuem dois esporões de 300 metros (em frente às áreas urbanas) e oito esporões de 200 metros de comprimento (em frente às áreas naturais). Caso o orçamento seja de 3 M€, os comprimentos ótimos correspondem aos cenários que consideram um esporão de 300 metros (em frente às áreas urbanas) e nove de 100 metros (em frente às áreas naturais), ou dois esporões de 200 metros (em frente às áreas urbanas) e oito de 100 metros (em frente às áreas naturais). Finalmente, se houver somente 1.5 M€ disponíveis para a proteção costeira no trecho Barra-Mira, os cenários mais viáveis são muito variáveis, dependendo da área que se pretende proteger. Verificou-se que com um orçamento de 1.5 M€ a situação atual é a mais viável (esporões em frente às áreas urbanas), com um Valor Atual Líquido de aproximadamente 63 M€. No entanto, investindo mais 2 M€, a zona costeira seria protegida integralmente, aumentando o Valor Atual Líquido determinado em mais 80M€ (Alves, 2012).

Na análise do caso real do trecho a sul da Barra, verificou-se pelos resultados obtidos

que a opção de não intervir (situação de referência) leva a grandes perdas de território, que vão evoluindo ao longo do tempo. Todos os tipos de intervenção testados representam uma melhoria em relação à situação de não intervenção, reduzindo o balanço negativo entre custo e benefício. No entanto, o balanço ao fim do tempo de análise é sempre negativo, pelo que qualquer tipo de solução levará a uma situação pior que a atual, mas melhor que a situação de referência, que corresponde a não intervir (Reis, 2010; Roebeling *et al.*, 2011).

A linha de costa tende a recuar, evoluindo no sentido de inevitáveis perdas de território. A evolução da linha de costa, com as atuais obras de defesa costeira, apresentará sempre maiores perdas de território do que um cenário em que se opte por algum tipo de intervenção de defesa costeira. A escolha de uma solução de intervenção é plenamente condicionada pelo orçamento disponível para a sua execução e manutenção.

Em síntese, os resultados indicam que as obras de defesa aderentes são mais eficientes que os esporões, já que conduzem

a maiores benefícios. Esta situação pode resultar do menor volume de sedimentos em transporte ao longo do tempo, o que reduz a eficácia dos esporões. Intervir na defesa costeira com recurso à alimentação artificial de praias é sempre favorável, já que um grande volume de sedimentos é introduzido na costa. As áreas vizinhas acabam por usufruir dessa entrada de sedimentos no sistema. No troço a sul da Barra, a localização mais favorável à realização de uma alimentação artificial de praia é o mais a norte do troço, com um volume de 1 Mm³, a cada 5 anos. Os resultados obtidos considerando a realização desta alimentação artificial, são mais favoráveis que os resultados obtidos considerando o aumento ou construção de novos esporões.

Nos últimos anos têm-se vindo a observar o interesse crescente pelo desenvolvimento de políticas e estratégias de adaptação às alterações climáticas um pouco por todo o globo. Portugal, no âmbito das suas obrigações internacionais elaborou, em 2010, a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (RCM n.º 24/2010, de 1 de abril de 2010), que visa aumentar a consciencialização sobre as alterações climáticas, manter atualizado e disponível o conhecimento científico sobre as mesmas e os seus impactos e, ainda, reforçar as medidas que Portugal terá de adotar com vista ao controlo dos seus efeitos. No âmbito dos objetivos do projeto ADAPTARia: Modelação das Alterações Climáticas no Litoral da Ria de Aveiro - Estratégias de Adaptação para Cheias Costeiras e Fluviais torna-se obrigatório terminar esta publicação técnico-científica relembando os quatro objectivos principais da política nacional, nestas matérias:

- Informação e conhecimento – constitui a base de todo o exercício de adaptação às alterações climáticas e foca-se sobre a necessidade de consolidar e desenvolver uma base científica e técnica sólida;
- Reduzir a vulnerabilidade e aumentar a capacidade de resposta – constitui o fulcro desta estratégia, e corresponde ao trabalho de identificação, definição de prioridades e aplicação das principais medidas de adaptação;

- Participar, sensibilizar e divulgar – identifica o imperativo de levar a todos os agentes sociais o conhecimento sobre alterações climáticas e de transmitir a necessidade de ação e, sobretudo, suscitar a maior participação possível por parte desses agentes na definição e aplicação desta estratégia;
- Cooperar a nível internacional – aborda as responsabilidades de Portugal em matéria de cooperação internacional na área da adaptação às alterações climáticas, bem como no acompanhamento das negociações levadas a cabo nos diversos *fora* internacionais.

É neste contexto que o atual processo de planeamento e ordenamento do território se deve posicionar. Por um lado antecipando as consequências das intervenções planeadas, e por outro, desenvolvendo a capacidade de incorporar ‘a incerteza’ inerente ao perigo e, conseqüentemente, ao risco. Só através desta antecipação é possível aumentar o grau de confiança no processo de tomada de decisão. Esta circunstância é particularmente relevante na adopção de decisões de desenvolvimento socioeconómico, quando áreas habitadas, de elevado valor ambiental e económico, estão em risco, como no caso da região costeira e lagunar da Ria de Aveiro.

Referências bibliográficas

- Almeida, P. (2011). *Análise económico-ambiental de alimentação artificial de praias*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 85 pp.
- Alves, T. (2012). *Análise económico-ambiental espacial de esporões no centro de Portugal*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 119 pp.
- Alves, F., Roebeling, P.C., Pinto, P., Batista, P. (2009). Valuing ecosystem service losses from coastal erosion along the central Portuguese coast: a benefits transfer approach. *Journal of Coastal Research*. SI 56, 1169-1173.
- Alves, F.L., Coelho, C., Coelho, C.D., Pinto, P. (2011). Modelling coastal vulnerabilities – tool for decision support system at inter-municipality level. *Journal of Coastal Research*, SI 64, 966-970.
- Alves, F.L., Sousa, L.P., Almodovar, M., Phillips, M.R. (2013). Integrated coastal zone management (ICZM): a review of progress in Portuguese implementation. *Regional Environmental Change*, 13:1031-1042.
- AMRIA/DAO (2007) Definição das condições de risco de cheia, incêndios florestais, erosão costeira e industriais na área de intervenção da AMRIA. Risco de Cheia; Volume I Relatório Final. Coordenação C.A. Coelho e F.L. Alves. Aveiro, Portugal, 22 pp.
- ANCP (2009). Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e para a criação de sistemas de informação geográfica (SIG) de base municipal. Autoridade Nacional de Protecção Civil, 91 pp., ISBN: 978-989-96121-4-3.
- ANPC/DNPE (2009). Guia para a caracterização de risco no âmbito da elaboração de emergência de protecção civil. Cadernos Técnicos PROCIV # 9. Autoridade Nacional de Protecção Civil/Direcção Nacional de Planeamento de Emergência, 27 pp., ISBN: 978-989-96121-6-7.
- Andresen, T., Curado, M.J. (2001). Estudo de impacte ambiental do projecto de desenvolvimento agrícola do Vouga: bloco do Baixo Vouga Lagunar, Departamento de Ambiente e Ordenamento, Universidade de Aveiro, Portugal.
- APA (2013). Agência Portuguesa do Ambiente, www.apambiente.pt acessado a Novembro de 2013.
- Barroca, B., Bernardara, P., Mouchel, J.M., Hubert, G. (2006). Indicators for identification of urban flooding vulnerability. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 6, 553-561.
- Caetano, M., Nunes, V., Nunes, A. (2009). CORINE land cover 2006 for continental Portugal, Relatório técnico, Instituto Geográfico Português.
- CEHIDRO (2010). Parecer “Exigência do elemento prévio nº1 da DIA do projecto de reconfiguração da Barra do Porto de Aveiro”, Administração do Porto de Aveiro.
- Coelho, C., Conceição, T., Ribeiro, B. (2009). Coastal erosion due to anthropogenic impacts on sediment transport in Douro River – Portugal. Proceedings of *Coastal Dynamics, Impacts of Human Activities on Dynamic Coastal Processes*, Tóquio, Japão, 15 pp., ISBN 978-981-4282-46-8.
- Costa, S., Coelho, C. (2013). Northwest coast of Portugal – Past behavior and future coastal defense options. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 921-926.
- Dias, J.M.A. (1994). Estudo sintético e diagnóstico da geomorfologia e da dinâmica sedimentar nos troços costeiros entre Espinho e Nazaré (<http://w3.uaig.pt/~jdias/JAD/ebooks>).
- Dias, J.M. (2001). *Contribution to the study of the Ria de Aveiro hydrodynamics*. Aveiro. Portugal, Universidade de Aveiro. PhD Thesis, 288 pp.
- Dias, J.M., Lopes, J.F. (2006). Implementation and assessment of hydrodynamic, salt and heat transport models: the case of Ria de Aveiro lagoon (Portugal). *Environmental Modelling and Software*, 21, 1-15.
- Dias, J.M., Lopes, J.F., Dekeyser, I. (2000). Tidal propagation in Ria de Aveiro lagoon, Portugal. *Physics and Chemistry of the Earth, Part B-Hydrology Oceans and Atmosphere*, 25, 369-374.
- Dodet, G., Bertin, X., Taborda, R. (2010). Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling*, 31, 120-131.
- EEA (2011). Green infrastructure and territorial cohesion. The concept of green infrastructure and its integration into policies using monitoring systems. Technical report No 18/2011. Luxembourg: Luxembourg: Publications Office of the European Union. 136 pp.
- Ferreira, L.C. (2010). Estrutura ecológica e corredores verdes: estratégias territoriais para um futuro urbano sustentável. In: Ramos, R.A.R., Silva, A.N.R., Souza L.C.L., Rosa, M.M.P., Rodrigues, D.S. (eds.). Atas do 4.º Congresso Luso-Brasileiro para o Planeamento Urbano, Regional, Integrado, Sustentável. Universidade do Algarve.
- Ferreira, J.C., Machado, J.R. (2010). Infra-estruturas verdes para um futuro urbano sustentável. O contributo da estrutura ecológica e dos corredores verdes. *Revista LABVERDE*, Edição 01: 69-90, ISSN: 2179-2275.
- IHERA (1996/97). Princípios e orientações das intervenções do MADRP nos campos do Baixo Vouga Lagunar. Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente.
- INE (2013). Instituto Nacional de Estatística, Censos de 2011. www.ine.pt, acessado a Outubro de 2013.
- IPCC (2007). *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of the Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., Qin, D., Manning M., Chen, Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, USA, 996 pp.
- IPCC (2013). *Summary for Policymakers. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V., Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Klijin, F., Bruijn, K., Ölfert, A., Penning-Rowsell, E., Simm, J., Wallis, M. (2009). Flood risk assessment and flood risk management – an introduction and guidance based on experiences and findings of FLOOD-site (an EU-funded Integrated project). Report Number T29-09-01, 127 pp.
- Leão, F. (2003). Percursos Pedestres no Baixo Vouga Lagunar. Quercus A.N.C.N. Aveiro.
- Lopes, C.L., Silva, P.A., Dias, J.M., Rocha, A., Picado, A., Plecha, S, Fortunato, A.B. (2011). Local sea level change scenarios for the end of the 21st century and potential physical impacts in the lower Ria de Aveiro (Portugal). *Continental Shelf Research*, 31, 1515-1526.
- Lopes, C.L., Azevedo, A., Dias, J.M. (2013a). Flooding assessment under sea level rise scenarios: Ria de Aveiro case study. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 766-771.
- Lopes, C.L., Plecha, S., Silva, P.A., Dias, J.M. (2013b). Influence of morphological changes in a lagoon flooding extension: case study of Ria de Aveiro (Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1158-1163.

MAMAOT/ARHCentro (2012) Plano de Gestão das Bacias Hidrográficas dos rios Vouga, Mondego e Lis Integrados na Região Hidrográfica 4. Ministério da Agricultura, Mar, Ambiente e Ordenamento do Território / Administração da Região Hidrográfica do Centro I.P.

Mota Oliveira, I.B. (1997). Proteger ou não proteger ou sobre a viabilidade das diferentes opções face à erosão da costa portuguesa. Colectânea de Ideias sobre a zona Costeira de Portugal. Associação EUROCOAST – Portugal, 205-227.

Oliveira, A. (2012). *Discussão do custo e benefício das intervenções de defesa costeira*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 90 pp.

Pereira, C. (2010). *Risco de Erosão para Diferentes Cenários de Evolução do Litoral de Aveiro*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 78 pp.

Pereira, C., Coelho, C. (2011). Base de dados da ação marítima sobre o litoral: trecho Espinho-Mira. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 41 p. Não publicado.

Pereira, C., Coelho, C. (2012). Projeção de cenários de evolução da linha de costa, no litoral de Aveiro. Estudos em modelos numéricos. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 29 p. Não publicado.

Pereira, C., Coelho, C. (2013a). Erosion risk map at Aveiro coast – Portugal, for different scenarios of climate change. *Natural Hazards*, Springer, DOI 10.1007/s11069-012-0154-0.

Pereira, C., Coelho, C. (2013b). Mapas de risco de exposição das zonas costeiras à ação energética do mar. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 13, DOI: 10.5894/rgci325.

Pereira, C., Coelho, C. (2013c). Estudo do custo-benefício de intervenções de defesa costeira – Litoral de Aveiro. Departamento de Engenharia Civil, Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 48p. Não publicado.

Picado, A., Lopes, C.L., Mendes, R., Vaz, N., Dias, J.M., (2013). Storm surge impact in the hydrodynamics of a tidal lagoon: the case study of Ria de Aveiro. *Journal of Coastal Research*, SI 65, 796-801.

Reis, E. (2010). *Evolução da linha de costa e defesa das zonas costeiras – análise custo/benefício*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, 105 pp.

Ribeiro, N.A., Fortunato, A.B., Rocha, A.C. (2012). Efeito das alterações climáticas no regime de agitação marítima no Atlântico Norte e costa portuguesa, Atas das 2^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica, Instituto Hidrográfico, 163-166.

Roebeling, P.C., Coelho, C.D., Reis, E.M. (2011). Coastal erosion and coastal defense interventions: a cost-benefit analysis. *Journal of Coastal Research*, SI64, 1415-1419.

Santos, F.D., Miranda, P. (2007). *Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e Medidas de Adaptação*, Projecto SIAM II, Gradiva, Lisboa, 506 pp.

Silva, J.V. (2011). *Contributo para o estudo da valoração económica da Ria de Aveiro*. Tese de Mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro, 95 pp.

Smith, W.H.F., Sandwell, D.T. (1997). Global seafloor topography from satellite altimetry and ship depth soundings. *Science*, 277, 1957-1962.

Sousa, L.P., Lillebø A.I., Gooch G.D., Soares J.A., Alves F.L. (2013). Incorporation of local knowledge in the identification of Ria de Aveiro lagoon ecosystem services (Portugal). *Journal of Coastal Research*, SI 65, 1051-1056.

Tolman, H. L. (2009). User manual and system documentation of WAVEWATCH III version 3.14.

UNISDR (2009). UNISDR Terminology on Disaster Risk Reduction. United Nations International Strategy for Disaster Reduction, 13 pp.

Veloso-Gomes, F. (2010). Desafios no planeamento e gestão de um sistema costeiro muito dinâmico. Debate ARH Centro – Planeamento Territorial e Gestão do Risco no Litoral da ARH Centro, IP – Contributos para a Revisão do POOC, Figueira da Foz.

Woodworth, P.L. (2010). A survey of recent changes in the main components of the ocean tide. *Continental Shelf Research*, 30, 1680-1691.

Zhang, Y.L., Baptista, A.M., Myers, E.P. (2004). A cross-scale model for 3D baroclinic circulation in estuary-plume-shelf systems: I. Formulation and skill assessment. *Continental Shelf Research*, 24, 2187-2214.

Lista de acrónimos

ANPC - Autoridade Nacional de Proteção Civil

ARH - Administração da Região Hidrográfica

BBVL – Bloco do Baixo Vouga Lagunar

BGRI – Base Cartográfica de Referência de Informação

CCSM3 – Community Climate System Model v3.0

CE – Comissão Europeia

CEE - Comunidade Económica Europeia

CEHIDRO - Centro de Estudos de Hidrossistemas

DNPE - Direção Nacional de Planeamento de Emergência

ECHAM5 – 5ª geração do modelo de circulação geral desenvolvido no Max Planck Institute for Meteorology

EEA - European Environment Agency

ENAC - Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

ERA40 - re-análises de condições atmosféricas globais e superficiais para um período de 45 anos

GEV - Generalized Extreme Value

GISS-ER – Goddard Institute for Space Studies Model E-R

IHERA – Instituto de Hidráulica, Engenharia Rural e Ambiente

IHRH - Instituto de Hidráulica e Recursos Hídricos

INE – Instituto Nacional de Estatística

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change

LTC – Long Term Configuration

MAMAOT - Ministério da Agricultura, do Mar, do Ambiente e do Ordenamento do Território

N/WNCEP – National Centers for Environmental Predictions

RCM – Resolução do Conselho de Ministros

SIC – Sítios de Importância Comunitária

SMPC - Serviço Municipal de Proteção Civil

SRES – Special Report on Emissions Scenarios

SWAT – Soil and Water Assessment Tool

UNISDR - United Nations International Strategy for Disaster Reduction

WW3 – WaveWatchIII

ZPE – Zona de Proteção Especial

Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia e pela União Europeia (COMPETE, QREN, FEDER) no âmbito do projeto de investigação ADAPTARia (PTDC/AAC-CLI/100953/2008).

Carina Lopes (SFRH/BD/78345/2011) e Lisa Pinto de Sousa (SFRH/BD/79170/2011) beneficiaram de bolsas concedidas pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Agradece-se à Administração do Porto de Aveiro, S.A., à Polis Litoral Ria de Aveiro – Sociedade de Requalificação e Valorização da Ria de Aveiro S.A., à Direção Regional de Agricultura e Pescas do Centro, ao Comando Distrital de Operações de Socorro de Aveiro, à Comunidade Intermunicipal da Região de Aveiro e à Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. a cedência de dados indispensáveis à realização deste trabalho.

Esta publicação apresenta os resultados da abordagem, integradora e multidisciplinar, adotada no sentido de prever e minimizar os efeitos negativos das cheias e evolução da linha de costa nos sistemas biofísicos e socioeconómicos da região lagunar e costeira da Ria de Aveiro. Deste modo, definiram-se estratégias e ações concretas de intervenção, tendo em consideração as necessidades e prioridades, a longo prazo, desta região e suportadas na avaliação dos efeitos das alterações climáticas.