

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação do perigo de inundação de áreas urbanas expostas à  
subida do nível do mar em Portugal continental**

**Andreia Alves da Silva**

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Dissertação orientada pelo Doutor Jorge Manuel do Rosário Trindade e pelo  
Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha

Universidade de Lisboa  
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Avaliação do perigo de inundação de áreas urbanas expostas à subida do nível do mar em Portugal continental**

**Andreia Alves da Silva**

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

Dissertação orientada pelo Doutor Jorge Manuel do Rosário Trindade e pelo Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha

Júri:

Presidente: Doutor Eusébio Joaquim Marques dos Reis, Professor Associado do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

Vogais:

- Doutora Susana da Silva Pereira, Professora Auxiliar da Faculdade de Letras da Universidade do Porto;
- Doutor Sérgio Manuel Cruz de Oliveira, Professor Auxiliar do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa.

## **Declaração de Autoria**

Eu Andreia Alves da Silva, declaro que a presente dissertação de mestrado intitulada Avaliação do perigo de inundação de áreas urbanas expostas à subida do nível do mar em Portugal continental, é o resultado da minha investigação pessoal e independente. O conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas na bibliografia ou outras listagens de fontes documentais, tal como todas as citações diretas ou indiretas têm devida indicação ao longo do trabalho segundo as normas académicas.

## Resumo

Portugal continental, durante a segunda metade do século XX, verificou uma procura generalizada pelo litoral, e um rápido e desordenado crescimento urbano. Foram artificializadas áreas perigosas face a inundações costeiras, expondo a população a riscos costeiros, perdurando até ao presente. Os resultados da dissertação sugerem que Portugal continental detém 62 km<sup>2</sup> de áreas perigosas a inundações episódicas costeiras, que podem amplificar-se, por influência da subida do nível do mar, em 24 km<sup>2</sup>, até 2100, dos quais 6,6 km<sup>2</sup> são territórios artificializados. Foram identificados níveis de prioridade de adaptação municipal face à perigosidade e à exposição urbana. Atualmente, os municípios de prioridade alta face ao perigo são Vagos, Faro, Olhão e Tavira, sendo que no ano de 2040 incluir-se-ão nesta prioridade os municípios de Ovar e Vila Real de Santo António. Os atuais municípios de prioridade alta face à exposição urbana são a Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Matosinhos e Grândola. Vila Nova de Gaia e Loulé serão incluídos em 2040 e 2070, respetivamente. As estratégias de adaptação identificadas consistem no investimento em soluções baseadas em ecossistemas, recuo planeado, adaptação de culturas agrícolas, literacia para os riscos e implementação de sistemas de alerta precoce.

**Palavras-Chave:** Adaptação, Exposição, Inundações, Ordenamento do Território, Subida do Nível do Mar.

## **Abstract**

In the second half of the 20th century, mainland Portugal underwent widespread coastal development and rapid and unregulated urban growth. Hazardous areas prone to coastal flooding were urbanised, exposing the population to coastal risks, a situation that persists today. The findings of this dissertation suggest that Mainland Portugal contains 62 km<sup>2</sup> of areas at risk from episodic coastal flooding, which could expand by an additional 24 km<sup>2</sup> until 2100 due to sea-level rise, including 6.6 km<sup>2</sup> of already urbanised territories. Municipal adaptation priorities were identified based on hazard levels and urban exposure. Currently, the municipalities classified as high priority level for adaptation due to hazard areas are Vagos, Faro, Olhão, and Tavira, with Ovar and Vila Real de Santo António expected to be included by 2040. The current municipalities with high priority level for adaptation due to the exposure of urban areas are Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Matosinhos, and Grândola, with Vila Nova de Gaia and Loulé projected to be included by 2040 and 2070, respectively. The identified adaptation strategies include investment in ecosystem-based solutions, planned retreat, agricultural adaptation, risk literacy, and the implementation of early warning systems.

**Keywords:** Adaptation, Exposure, Flooding, Sea Level Rise, Spatial Planning.

SO WHAT ARE YOUR  
COMMENTS ABOUT THE  
RISING SEA LEVEL?



BREILFFGAGLLFRGF2NNH!



*“O litoral é, por definição, um espaço móvel, onde se inter cruzam influências continentais e marinhas, com sistemas litorais muito diversos e de desigual complexidade. A sua mobilidade é, contudo, no cenário de subida eustática do nível do mar, uma propriedade que não pode ser esquecida sob pena de sermos obrigados a abandoná-lo ou a criar extensos troços litorais completamente artificializados (...).”*

Ana Ramos-Pereira, 2004

# AGRADECIMENTOS

Direciono o meu primeiro e sincero agradecimento à minha família, que com grande esforço me deu a oportunidade de prosseguir os estudos e redigir esta dissertação. Foram e são a minha maior fonte de força e inspiração. À minha irmã, Carolina, ao meu pai, José Carlos, e, sobretudo, à minha mãe, Matilde, agradeço por todo o carinho e apoio incondicional, mesmo com a distância e com a ausência de visitas, que foram sempre menos que as desejadas.

Aos meus queridos e estimados avós, Bárbara e Diogo, que diariamente me acompanham, e por quem nutro um enorme carinho.

À minha madrinha e tia, Célia, e à minha afilhada, Margarida, que estão sempre presentes na minha vida.

Agradeço à Diana o apoio incondicional e sua capacidade de tornar fáceis as coisas mais difíceis. Pela sua persistência, rigor e brio, que me incentivam a querer fazer sempre mais e melhor.

Agradeço o companheirismo dos meus grandes amigos Tomás, João e Pedro, que me apoiaram ao longo destes meses e que me ajudaram, direta ou indiretamente, a ultrapassar, com sucesso, os obstáculos que por vezes surgiam.

A todos os que me acompanharam nesta jornada, no Instituto de Geografia e Ordenamento do Território, partilhando conhecimentos nos espaços da sala de projetos e do GeoModLab.

Aos Bombeiros Voluntários de Castro Verde pelo entusiasmo e encorajamento que me transmitem, mesmo com a sobrecarga que tiveram, em consequência da minha ausência para o desenvolvimento desta dissertação. Um grande bem hajam.

Ao projeto “Andorinhas Fazem Castro Verde” e a todos os artistas que o integraram, permitindo que me fosse atribuído o computador que usei para digitar todos os caracteres da presente dissertação.

Aos meus colegas do Laboratório Colaborativo +Atlantic, que me acompanham nesta jornada de aprendizagem e implementação de

conhecimentos no mundo do trabalho. Em particular, um agradecimento ao Pedro Almeida pelas discussões em matéria de riscos costeiros.

A todos os familiares, amigos, e professores que injustamente não tem aqui o seu nome mencionado, mas que de alguma forma me apoiaram e continuamente me inspiram.

A todas as coisas boas e más que aconteceram e que permitiram estar aqui hoje. Que me permitem sonhar e ter ambição de viver num mundo mais justo, solidário e resiliente.

Esta dissertação foi realizada no âmbito do projeto HighWaters - “Avaliação de cenários de exposição e vulnerabilidade social à subida do nível do mar para o uso sustentável do território” - (Ref.: EXPL/GES-AMB/1246/2021), financiado pela Fundação para a Ciência e Tecnologia.

Agradeço ao meu orientador - Professor Doutor Jorge Trindade -, pelo apoio incansável. Pelas horas de dedicação, por todas as revisões detalhadas, comentários construtivos que me fizeram melhorar. Por todas as palavras de coragem e pela força que transmitiu em conversas de discussão da dissertação.

Ao Professor Doutor Jorge Rocha, coorientador, pela sua enorme paciência, mesmo nos processos mais duradouros e técnicos. Pelas correções e sugestões, e pela sua interminável lista de planos B, C, D (...), que permitiram que tudo desse certo, contornando agilmente todos os obstáculos e desafiando a capacidade computacional de forma audaz.

Agradeço à Professora Susana Pereira, pelas recomendações relacionadas com a aplicação da classificação hierárquica de clusters.

Os meus últimos agradecimentos são remetidos ao grupo de investigação RISKam, que me integrou enquanto bolsista de investigação, bem como ao Centro de Estudos Geográficos, que me facultou todas as condições de trabalho necessárias para a realização da presente dissertação.

O meu sincero e humilde agradecimento a todos vós.

# SIGLAS E ACRÓNIMOS

COS - Carta de Uso e Ocupação do Solo

IGT - Instrumentos de Gestão Territorial

LMPAVE - Linha Máxima Preia-Mar de Águas Vivas Equinociais

M€ - Milhões de euros

Ma - Mil anos

MA - Maré Astronómica

MDT - Modelo Digital de Terreno

NMM - Nível Médio do Mar

NMMG - Nível Médio do Mar Global

ODS - Objetivos de Desenvolvimento Sustentável

R - *Run-up*

SbE - Soluções baseadas em Ecossistemas

SNM - Subida do Nível do Mar

SNMM - Subida do Nível Médio do Mar

SS - *Storm surge*

UNSC - Comissão de Estatística das Nações Unidas

# ÍNDICE

CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Contextualização e Motivação.....	1
1.2. Objetivos e Estrutura .....	3
CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE .....	5
2.1. O Oceano e o Nível Do Mar .....	5
2.2. O Litoral .....	16
2.3. Ordenamento do Território no Litoral.....	22
CAPÍTULO 3 – ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO .....	31
3.1. Células Sedimentares .....	34
CAPÍTULO 4 – MÉTODOS E TÉCNICAS .....	39
4.1. Determinação das áreas perigosas face à SNM.....	41
4.2. Predição da evolução do tecido urbano do solo.....	49
4.3. Atribuição de Níveis de Prioridade à Adaptação Municipal .....	54
CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	57
5.1. Impacte da Inundação Episódica na Costa Portuguesa .....	57
5.2. Perfis Municipais de Perigosidade e de Exposição .....	64
5.3. Adaptação à perigosidade e exposição.....	84
CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	100
REFERÊNCIAS.....	108
ANEXOS .....	122

# ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Esquema geral da circulação termohalina. Fonte: UNEP and GRID-Arendal, 2016. Marine Litter Vital Graphics. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal. <a href="http://www.unep.org">www.unep.org</a> , <a href="http://www.grida.no">www.grida.no</a> .....	6
<b>Figura 2.</b> Primeira representação cartográfica do oceano enquanto unidade, realizada por Spilhaus em 1942. ....	7
<b>Figura 3.</b> Relação entre alterações eustáticas e isostáticas, e a sua influência no nível relativo do mar. Os eixos apresentam as taxas de variação (Haslett, 2001). ....	8
<b>Figura 4.</b> Evidências do recuo da linha de costa em Portugal continental. Localização: Parque de estacionamento de acesso à Praia de São Pedro de Maceda. Anos das imagens de Satélite, retiradas do <i>Google Earth</i> . A: 2003, B: 2009, C: 2013, D: 2018, E: 2023.....	12
<b>Figura 5.</b> Exemplo de espécies bioindicadores da subida do nível do mar. A: <i>Ammophila arenaria (L.) Link subsp. australis (Ma - bille) M.Laínz</i> . Fonte: ANTHOSart FLORINTESA; B: <i>Eryngium maritimum L.</i> ....	17
<b>Figura 6.</b> Dinâmicas de circulação de sedimentos dentro da célula sedimentar. Adaptado de: Duarte Santos <i>et al.</i> , 2014a.....	22
<b>Figura 7.</b> Estratégias de adaptação à SNM. Adaptado de Mukherji (2023). ....	27
<b>Figura 8.</b> Enquadramento geográfico de Portugal continental, e das respetivas células sedimentares (Santos <i>et al.</i> , 2014a).....	31
<b>Figura 9.</b> Ilha da Fuseta, Algarve. A – Habitações destruídas durante o temporal de 2007 na ilha da Fuseta. (Fonte: <a href="https://ariadaminhaaldeia.blogspot.com/2009/12/pais-casas-de-ferias-destruidas-na.html">https://ariadaminhaaldeia.blogspot.com/2009/12/pais-casas-de-ferias-destruidas-na.html</a> ); B – Núcleo urbano da ilha da Fuseta, ano de 2003. (Fonte: imagens de satélite do Google Earth); C – Ilha da Fuseta sem edificações, 2023. (Fonte: imagens de satélite do <i>Google Earth</i> ). ....	38
<b>Figura 10.</b> Esquema metodológico adotado para o desenvolvimento da presente dissertação. Encontra-se esquematizado em três Fases (I, II, e III). ....	40

<b>Figura 11.</b> Ilustração das três fases metodológicas da presente dissertação. Fase I: Áreas perigosas face a inundações costeiras. Fase II: Predição do tecido urbano pelo modelo <i>CA-Markov</i> . Fase III: Áreas perigosas e expostas. Os cenários RCP não foram considerados na imagem. Figura meramente ilustrativa. A sigla TU representa uma abreviação de Tecido Urbano.....	41
<b>Figura 12.</b> Variação da LMPAVE, no período 1958-2010, em Portugal continental. Fonte: Ponte-Lira <i>et al.</i> , 2016. Legenda adaptada de Luijendijk <i>et al.</i> , 2018. A secção mapeada com detalhe, corresponde à Urbanização Foz do Neiva (Esposende), localizada junto à praia das Antas. A cartografia refere-se à delimitação da LMPAVE realizada por Ponte-Lira <i>et al.</i> , 2016, para os anos de 1958 e 2010; a LMPAVE delimitada no âmbito da presente dissertação (2008/11); e as projeções horizontais realizadas para 30, 60 e 90 anos, para os anos de 2040, 2070 e 2100, respetivamente.....	44
<b>Figura 13.</b> Ilustrativa dos limites correspondentes às áreas de inundação.....	46
<b>Figura 14.</b> Representação da área perigosa em Torreira (município de Murtosa). Caixa 1.1.3, correspondente à Etapa 1.1.3 da Figura 10, onde se pode verificar que a área perigosa se deve à área correspondente ao recuo horizontal associado à erosão costeira. Caixa 1.2.3, correspondente à Etapa 1.2.3 da Figura 10, onde a área perigosa se deve à área associada à inundação, em resultado da quantificação da altura da coluna de água.....	49
<b>Figura 15.</b> Exemplo de predição da evolução do uso do solo até ao fim do século, utilizando o modelo de <i>CA-Markov</i> . Moledo (município de Caminha).....	54
<b>Figura 16.</b> Áreas e áreas urbanas expostas em Amorosa (município de Viana do Castelo).....	55
<b>Figura 17.</b> Áreas perigosas e expostas na costa continental portuguesa, durante a ocorrência de eventos extremos, inundações episódicas e galgamentos costeiros. A: Área Perigosa. B: Área Exposta.....	58
<b>Figura 18.</b> Índice de Perigosidade municipal face à SNM, para os anos de 2018, 2040, 2070 e 2100, para 3 cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5). .....	62
<b>Figura 19.</b> Índice de Exposição de áreas urbanas face à Subida do Nível do Mar, para os anos de 2018, 2040, 2070 e 2100, para 3 cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5). .	64

<b>Figura 20.</b> Níveis de prioridade municipal à perigosidade e exposição, para os anos de 2018, 2040, 2070 e 2100, para 3 cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5). .....	66
<b>Figura 21.</b> Níveis de prioridade municipal à perigosidade e exposição, em tabela síntese.....	68
<b>Figura 22.</b> Nível de prioridade para a adaptação para impactos de inundações episódicas costeiras, para os municípios do litoral e respetivas NUTS II.....	70
<b>Figura 23.</b> Área perigosa face a inundações episódicas no município de Murtosa. ....	72
<b>Figura 24.</b> Vista aérea sobre o INATEL Albufeira Hotel. Fonte: Paulo Santos....	76
<b>Figura 25.</b> São Bartolomeu do Mar. Ortofotomapas de base provenientes da DGT. ....	78
<b>Figura 26.</b> Área perigosa face a inundações episódicas costeiras no troço arenoso entre a Praia do Furadouro e a Praia da Torreira. Considerada o cenário RCP4.5.....	82
<b>Figura 27.</b> Territórios artificializados no ano de 2018, e predição da expansão urbana para os horizontes temporais de 2040, 2070 e 2100. A: A-Ver-O-Mar; B: Póvoa de Varzim.....	84
<b>Figura 28.</b> Padrões genéricos de adaptação face à SNM (adaptado de Glavovic <i>et al.</i> , 2022). .....	85
<b>Figura 29.</b> Praia Internacional e Edifício Transparente, localizados no município do Porto. Fonte: <a href="https://www.idealista.pt/news/imobiliario/habitacao/2018/10/31/37803-edificio-transparente-no-porto-e-centenas-de-casas-junto-ao-mar-vao-ser-demolidos">https://www.idealista.pt/news/imobiliario/habitacao/2018/10/31/37803-edificio-transparente-no-porto-e-centenas-de-casas-junto-ao-mar-vao-ser-demolidos</a> .....	89
<b>Figura 30.</b> Vista direcionada para a Costa da Caparica e Oceano Atlântico.....	91
<b>Figura 31.</b> Península do Ancão limitada pela ria Formosa (esquerda) e pelo mar (direita). .....	92
<b>Figura 32.</b> Molhes da barra Faro-Olhão, núcleo urbano da ilha do farol e de Hangares.....	93
<b>Figura 33.</b> Áreas urbanas expostas a inundações episódicas. A - Edifícios da frente urbana de Vila do Conde; B - frente urbana de Quarteira, Loulé. ....	95

<b>Figura 34. Medidas de intervenção municipal e a sua prioridade para os distintos níveis de adaptação municipal. ....</b>	<b>96</b>
---	-----------

# ÍNDICE DE TABELAS

<b>Tabela 1.</b> Valores de SNM previstos por célula sedimentar, segundo as projeções da NASA/IPCC, para os anos de 2040, 2070 e 2100. Valores correspondentes à cota de inundação para o litoral arenoso (LA), e para o litoral rochoso/antrópico (LRA). Valores em metros. ....	48
<b>Tabela 2.</b> Variáveis utilizadas para a predição do tecido urbano para os anos de 2040, 2070 e 2100. A tabela expressa a denominação do dado (dados), o tipo de dado (tipo), o ano ao qual o dado é referente (ano), o tipo de variável (variável) e a resolução espacial do pixel (pixel).....	50
<b>Tabela 3.</b> Quantificação da perigosidade e da exposição das NUTS II de Portugal continental, face a inundações costeiras.....	60
<b>Tabela 4.</b> Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade I. ....	71
<b>Tabela 5.</b> Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade moderada, bem como dos municípios que apresentam variações entre os níveis de prioridade baixa e moderada, ao longo dos anos e/ou das projeções climáticas. ....	77
<b>Tabela 6.</b> Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade elevada para a perigosidade, bem como dos municípios que apresentam variações entre o nível moderada e alta para a perigosidade.....	81
<b>Tabela 7.</b> Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade alta para a exposição das áreas urbanas, bem como dos municípios que apresentam variações entre o nível de prioridade moderada e alta para áreas urbanas. ....	81

# ÍNDICE DE ANEXOS

<b>Anexo 1.</b> Identificação das áreas de transição (número de píxeis) que alteraram entre o uso do solo respectivo aos anos de 2007-2018, 2018-2040 e 2040-2070, que foram utilizados para a predição do uso do solo de 2040, 2070 e 2100, respetivamente. A dimensão de cada <i>pixel</i> é de 5 m <sup>2</sup> .....	122
<b>Anexo 2.</b> Identificação das probabilidades de transição (variam de 0 a 1), calculadas com base nas áreas de transição da Tabela 1 dos anexos. ....	123

# CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

## 1.1. Contextualização e Motivação

Globalmente existe uma grande procura pelas áreas costeiras por parte da população, quer seja para residir, quer seja para atividades sazonais de turismo e lazer. Estima-se que cerca de 40 % da população mundial vive perto de áreas costeiras (Mikhaylov & Plotnikova, 2021). Portugal, apresenta a mesma tendência, detendo 40 % da população nacional nos municípios do litoral, em 2022 (INE, 2023). Apesar da atual procura destas áreas, estes territórios nem sempre foram apelativos para a população, tendo sido outrora temidos e desprezados. Neles, apenas habitavam pequenas comunidades que se dedicavam a atividades piscatórias, à navegação e à defesa do território marítimo (Gaspar Freitas, 2007).

Sazonalmente, começaram a ser procurados nos meses de verão, pela família real, para fins terapêuticos, influenciando, também, as classes mais altas da sociedade: a aristocracia e a burguesia (Gaspar Freitas, 2007; 2013). Na segunda metade do século XX, verificou-se uma acentuada mudança de paradigma, sendo que estas áreas começaram a ser procuradas por toda a sociedade, independentemente da sua classe social (Dias, 2005). Foi durante este período que se deu uma rápida construção sobre territórios nas áreas litorais, onde foram formados e consolidados diversos núcleos urbanos costeiros. Este rápido crescimento urbano foi desordenado, uma vez que à luz da época planos de gestão e ordenamento sustentável do território eram inexistentes, pelo que. Áreas que já se encontravam suscetíveis à ocorrência de eventos perigosos como galgamentos e inundações costeiras foram artificializadas, gerando problemas de ordenamento do território que perduram até à atualidade (Zêzere, 2007; Ramos-Pereira, 2004).

O quadro de mudança climática atual e o contexto de subida do nível do mar (SNM) vem agravar os problemas previamente identificados no litoral. A maior regularidade de eventos geradores de inundações episódicas, como tempestades, vem tornar estes episódios mais frequentes no litoral português (Schleussner *et al.*, 2020). Além disso, até ao fim do século e considerando o

cenário de altas emissões de GEE (RCP8.5), a SNM pode ser de  $80 \pm 1$  cm na costa continental portuguesa (*IPCC AR6 Sea Level Projection Tool*), o que pode promover a exacerbação da dimensão das áreas perigosas e expostas a estes eventos.

O IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) foi criado no âmbito da Organização para as Nações Unidas (ONU), e tem como finalidade divulgar o conhecimento sobre mudança climática em todo o mundo. De acordo com o 6.º Relatório, caso as políticas públicas em vigor nos países do mundo em 2020 não sofram alterações, a subida da temperatura média global não será limitada a 2º C acima dos valores pré-Revolução Industrial. Independentemente da redução ou cessação de emissões de GEE, o nível médio do mar não ia parar de subir durante séculos, dado a sua resposta retardada de absorção de calor atmosférico, e respetiva influência do aumento de volume de água oceânica (quer pela introdução de água doce, quer pela expansão das moléculas de água, por resultado do aumento da temperatura). Por esses motivos, a SNM vai ser uma realidade nos países costeiros, tendo já vindo a ter significativos impactes em todo o mundo, nomeadamente em pequenos estados insulares (*e.g.* Tuvalu e Ilhas Marshall), em cidades costeiras (*e.g.* Nova York e Xangai), e até mesmo a alteração da capital de um país (*e.g.* Indonésia, em agosto de 2024), devido aos impactes da SNM. Baseado nas emissões de GEE, é possível estimar para diferentes locais do mundo a SNM e para diferentes cenários de emissões *Representative Concentration Pathway* (RCP).

Portugal é um país com 950 km de linha de costa, no seu território continental, e apresenta claras assimetrias entre o litoral e o interior do país. É no litoral que se encontram a maior densidade populacional e as variações positivas da população residente. Em termos económicos, são também estas áreas que detém o maior impacte positivo do PIB, e que detém maior receita turística. A riqueza do litoral português é única e detentora de diversas reservas naturais e património e parques naturais. No entanto, Portugal continental já sofre diversos impactes durante eventos extremos com inundações episódicas, e ainda com a erosão costeira (que se pode exacerbar com a SNM). Estes

motivos, tornam o estudo dos riscos costeiros no litoral português uma prioridade.

A presente dissertação revela-se pertinente no âmbito das prioridades estratégicas do Quadro de *Sendai*, que visam a Redução do Risco de Catástrofes. Enquadra-se na prioridade nº 1, que foca na compreensão do risco de desastres, especificamente no caso das inundações costeiras geradas por eventos extremos (*e.g.* tempestades). Aborda, ainda, a prioridade nº 2 - "Reforçar a governação do risco de desastres para gerir o risco -, na sua componente de classificação e priorização da intervenção municipal, considerando a perigosidade e a exposição face à ocorrência dos eventos perigosos acima mencionados. Por fim, destaca-se a prioridade nº 4 - Preparar uma resposta eficaz para desastres e 'reconstruir melhor' nas áreas afetadas -, o trabalho contribui ao fornecer cenários futuros relacionados com os riscos costeiros, fruto de uma investigação científica detalhada. Além disso, destaca-se ainda a pertinência no âmbito dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) adotados pela Organização das Nações Unidas, nomeadamente os ODS 11 - "Tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis"; ODS 13 - "Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactes"; e ODS 15 - "Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, gerir de forma sustentável as florestas, combater a desertificação, travar e reverter a degradação dos solos e travar a perda de biodiversidade.

## **1.2. Objetivos e Estrutura**

A presente dissertação visa a identificação das atuais e futuras áreas perigosas face a inundações costeiras, bem como a identificação do território urbano que pode ser afetado por este evento perigoso. A quantificação para todos os municípios do litoral português é fundamental para definir níveis de prioridade municipal face à perigosidade e à exposição.

Nesse sentido, o presente trabalho combina um conjunto de objetivos, que se relacionam com componentes de geografia física de áreas litorais combinadas com ordenamento sustentável do território, de modo a melhorar a

interpretação dos impactes da SNM nas cidades e comunidades costeiras, e desta forma, categorizar os níveis de prioridade municipal para a adaptação. Para tal, foram definidos seis objetivos: 1) determinação da área perigosa a inundações episódicas costeiras, sem considerar a influência da SNM; 2) Determinação da área perigosa a inundações episódicas costeiras considerando três cenários de projeções climáticas consideradas pelo IPCC (RCP 2.6, 4.5 e 8.5); 3) Predição da ocupação do solo nas áreas perigosas face à subida do nível médio do mar (SNMM); 4) Determinação de índices de perigosidade e exposição municipal face a inundações episódicas costeiras; 5) Identificação e classificação dos sistemas litorais mais perigosos e expostos, mediante níveis de prioridade municipal face a intervenções; e 6) Avaliação da adequabilidade de medidas de ordenamento do território nas áreas expostas e propor medidas de adaptação.

Estes objetivos foram então distribuídos por três fases metodológicas intermédias: As fases visam I) a delimitação de áreas afetadas por inundações episódicas, que inclui os dois primeiros objetivos; II) a predição da evolução do tecido urbano exposto (objetivo 3); e III) a adaptação municipal face à SNM, que engloba os objetivos 4, 5 e 6.

A presente dissertação encontra-se organizada em seis capítulos. No Capítulo I, é realizada a introdução à temática discutida na presente dissertação, a motivação, os objetivos, e a estrutura da mesma. No Capítulo seguinte, é realizada a revisão da literatura, onde são analisadas as variações do nível do mar de curta e longa duração, os sistemas naturais presentes no litoral, e a ocupação do mesmo. No Capítulo III, é realizada a caracterização geográfica, geológica e climática de Portugal continental. São, ainda, identificadas e caracterizadas as células sedimentares e respetiva dinâmica, bem como as unidades geomorfológicas que compõem cada uma delas. O capítulo IV identifica a metodologia utilizada na presente dissertação, encontrando-se fragmentada em 3 fases. No capítulo V, são analisados e discutidos os resultados. Por fim, as considerações finais são apresentadas no Capítulo VI.

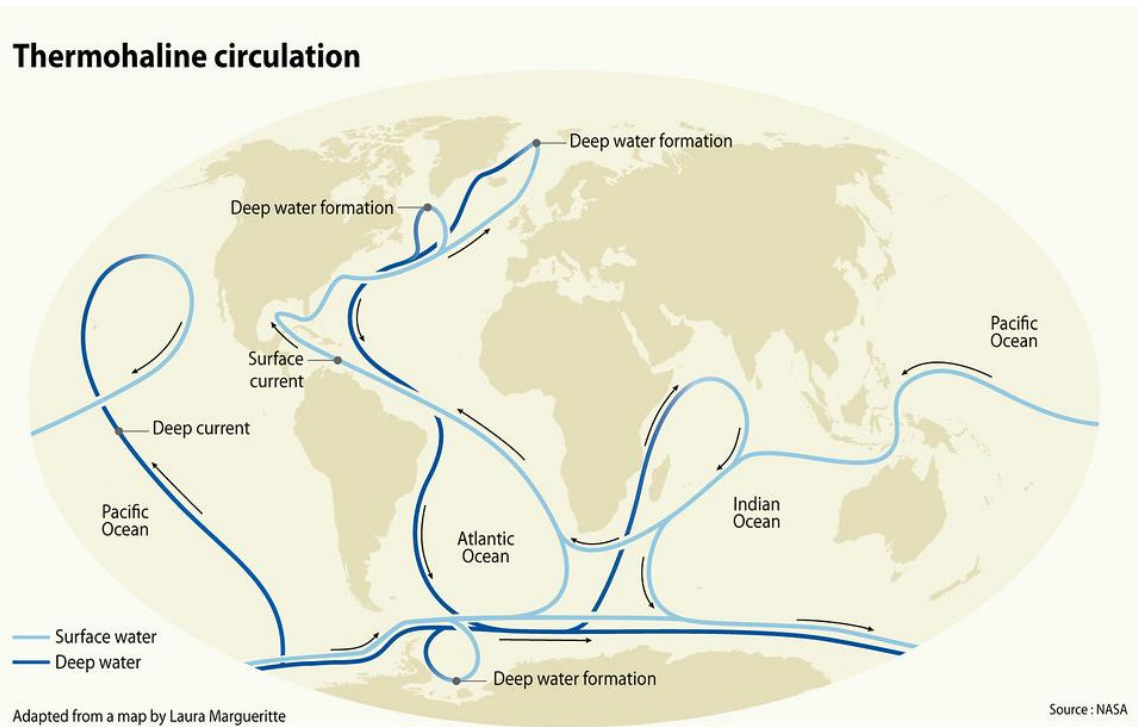
# CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

## 2.1. O Oceano e o Nível Do Mar

### 2.1.1. O Oceano

O planeta Terra, também denominado por planeta azul, é assim referido pela abundância de um recurso natural: a água. Os oceanos são corpos de água salgada, que detém 97 % da totalidade de água existente no planeta. A salinidade da água oceânica provem da meteorização física e química das rochas que chegam aos oceanos através dos rios. A salinidade quantifica os elementos químicos contidos nas águas oceânicas, sendo os dois sais mais abundantes o cloro (19 000 mg/l) e o sódio (10 500 mg/l), constituindo 85 % do total de substâncias (Ramos-Pereira 2001).

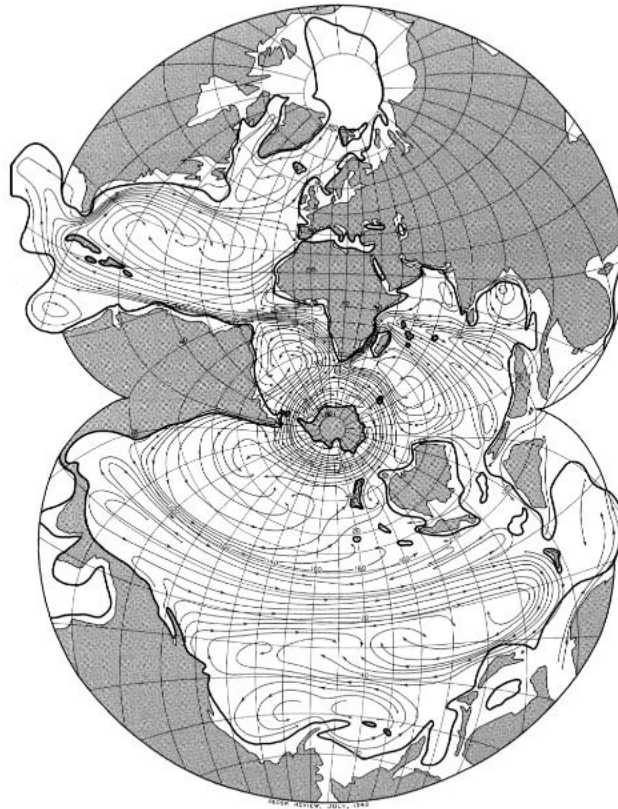
A salinidade e a temperatura são os principais parâmetros formadores de massas de água, apesar do teor de oxigênio, azoto ou dióxido de carbono também terem influência nas mesmas. O oceano é constituído por um conjunto de massas oceânicas de diferentes densidades, que se comportam de forma independente umas das outras, exceto quando interagem entre si e se misturam (Ramos-Pereira, 2001). A sua densidade é diferente, sendo mais densas as massas de água com maior salinidade e menor temperatura, e menos densas as que, por comparação, apresentam temperaturas mais elevadas e salinidade mais reduzida (Ramos-Pereira, 2001). As diferenças de densidade provocam movimentos verticais de subsidência das primeiras e emergência das segundas, o que é chamado de circulação termohalina (Figura 1). Por esse motivo, nas latitudes mais altas, onde a água se encontra mais fria, e nas latitudes tropicais, com maior salinidade, verifica-se a subsidência da água oceânica (Ramos-Pereira, 2001).



**Figura 1.** Esquema geral da circulação termohalina. Fonte: UNEP and GRID-Arendal, 2016. Marine Litter Vital Graphics. United Nations Environment Programme and GRID-Arendal. Nairobi and Arendal. [www.unep.org](http://www.unep.org), [www.grida.no](http://www.grida.no)

Os oceanos têm, ainda, um papel fundamental na regulação do sistema climático do planeta, por oferecerem uma resposta lenta à alteração da sua temperatura, face às mudanças atmosféricas. A sua resposta retardada potência um efeito atenuador sob o sistema climático, e por este motivo é considerado um regulador do sistema climático. As massas de água oceânicas interagem entre si, e os oceanos podem ser interpretados enquanto um corpo de água contínuo, que pode ser cartografado como uma unidade (Spilhaus, 1942; Figura 2). A sua extensão de 36.125.400 km<sup>2</sup>, equivale a 70,8 % da superfície terrestre (Stewart, 2002).

Em termos altimétricos, o planeta apresenta maior profundidade média e máxima nos oceanos (-3.700 m, -11.524 m, respetivamente), comparativamente às terras emersas (840 m e 8.848 m, de elevação média e máxima, respetivamente) (Ramos-Pereira, 2001). Esta medição está dependente da determinação do nível médio do mar (NMM), que é definido de acordo com a média dos valores locais das alturas de maré (Moreira, 1972). O NMM não é estático, sofrendo oscilações cíclicas e inconstantes, datadas até há 4 mil milhões de anos (Swapna *et al.*, 2020).

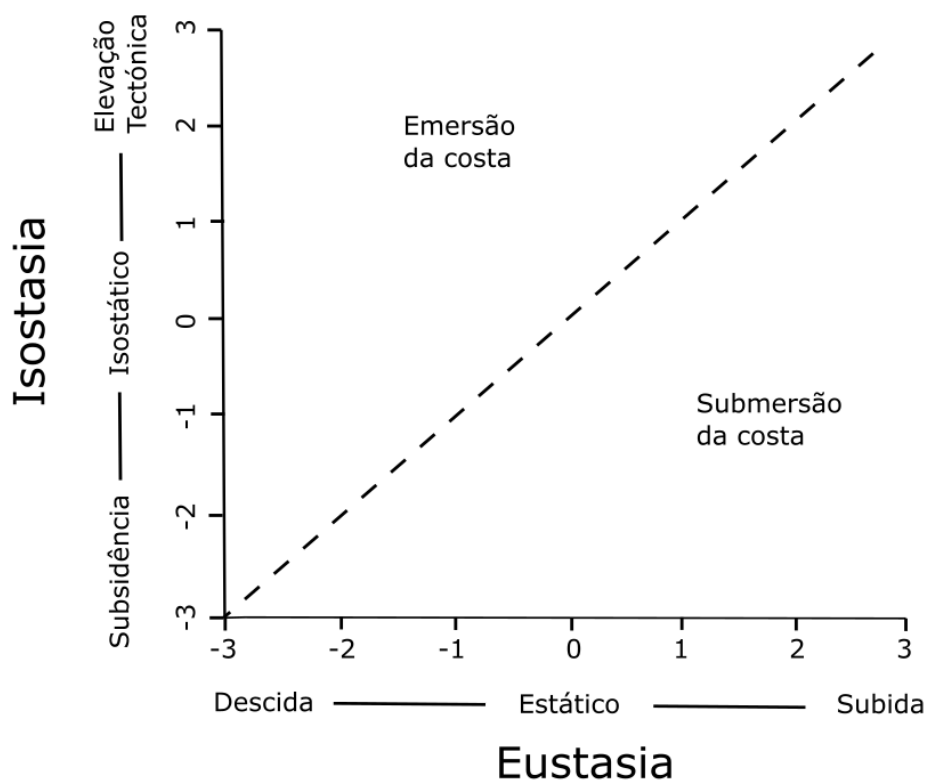


**Figura 2.** Primeira representação cartográfica do oceano enquanto unidade, realizada por Spilhaus em 1942.

As variações do nível do mar dependem de processos continentais e marinhos (Paskoff, 1985). Os processos continentais relacionam-se com a isostasia (Figura 3), onde se pode verificar a subsidência, a estabilidade e o levantamento da crosta terrestre ou de parte desta. Estes correspondem a movimentos lentos, de caráter local e interagem com o nível relativo do mar (NRM). Podem ter origem em vários fatores podendo salientar-se: i) a ação da atividade tectónica e a sua influência na espessura e densidade crustal (Siddall *et al.*, 2007), ii) a erosão ou sedimentação de grandes massas de sedimentos, por ação do peso que exercem sobre a crosta (Siddall *et al.*, 2007), iii) o efeito térmico de aquecimento/arrefecimento da crosta associado à atividade magmática (Siddall *et al.*, 2007), iv) a presença/ausência de grandes massas glaciares, por ação do peso que exercem sobre a crosta - glacio-isostáticos - (Stocchi *et al.*, 2005) , e v) a presença/ausência de grandes massas de água, por ação do peso que exercem sobre a crosta relacionadas com movimentos

transgressivos ou regressivos no nível do mar (Pirazzoli, 2005) ou com a sobre-exploração de aquíferos (Wu *et al.*, 2022).

Por outro lado, os processos eustáticos (Figura 3) estão diretamente dependentes das variações de volume de água no oceano, nomeadamente: a) a expansão térmica oceânica, gerada pela amplificação das moléculas de água, em resultado da absorção de calor atmosférico pelo oceano; b) a dinâmica das calotes polares (glacio-eustáticos), que proporcionam ciclos de gelo-degelo, contribuindo com a redução/aumento da quantidade de água oceânica; e c) alterações nas bacias oceânicas (tectono-eustáticos), que resultam de movimentações das placas tectónicas, associadas a movimentos distensivos, nomeadamente a expansão do fundo do mar, e das dorsais oceânicas (Siddall *et al.*, 2007; Meyssignac & Cazenave, 2012).



**Figura 3.** Relação entre alterações eustáticas e isostáticas, e a sua influência no nível relativo do mar. Os eixos apresentam as taxas de variação (Haslett, 2001).

## 2.1.2. Nível do mar e variações de curta escala temporal

As variações de carácter local do nível do mar ocorrem, geralmente, em curtas escalas de tempo (dia, horas, minutos ou segundos), e são influenciadas pela maré astronómica (MA), pela sobrelevação do nível do mar de origem meteorológica (*storm surge*) e pela ondulação.

A maré pode variar numa escala de dezenas de centímetros a metros, sendo que o máximo de amplitude de maré verificado no planeta são 17 metros, na Baía de Fundy (Canadá). A amplitude de maré é não só influenciada por fatores astronómicos, mas também por fatores morfológicos (*e.g.* variações no formato, dimensão e profundidade da bacia oceânica), pela elevação do nível do mar, e por mudanças climáticas (Haigh *et al.*, 2020). Além disso, as variações de longo prazo na órbita da Lua, que originam o ciclo nodal lunar de 18,6 anos, influenciam a dinâmica da maré (Cherniawsky *et al.*, 2010). Em termos astronómicos, a maré reage em resposta à atração gravítica que o Sol e a Lua exercem sobre a Terra. A Lua, por estar mais próxima, tem uma influência mais significativa, induzindo variações locais, em concordância com o ciclo lunar (28 dias). Estes movimentos da água são periódicos, previsíveis e cíclicos, sendo mais sensíveis junto à costa (Brum Ferreira, 2005). Durante os ciclos de maré, quando a amplitude de maré é mais reduzida, verificam-se as marés mortas (a baixa-mar e a preia-mar). Estas ocorrem quando a Terra, a Lua e o Sol formam a quadratura (ou *neap tides*), ou seja, um alinhamento ortogonal, em triângulo retângulo, fazendo com que se anule uma parte da energia gravitacional da Lua com a do Sol. Por outro lado, quando o Sol e a Lua se encontram em linha reta com o planeta Terra - sizígia (ou *spring tides*) -, intensifica-se a gravidade e, em resposta, verifica-se um aumento da amplitude de maré, criando baixa-mar viva e preia-mar viva. Apesar de tanto a Lua cheia quanto a Lua nova influenciarem as marés vivas, durante a primeira as marés vivas são máximas, ao passo que na Lua nova, as marés vivas são menores (Brum Ferreira, 2005). As marés podem ainda sofrer oscilações por influência das diferenças na posição do planeta Terra face ao sol (periélio e afélio). Em Portugal continental, a MA tem amplitude média de 2,1 metros, sendo classificada como mesotidal, e ocorre 2 vezes por dia (semidiurna). O seu período médio é de 12h25min (Antunes, 2013;

Brum Ferreira, 2005). O alcance em terra atingido pelas marés pode ser ampliado por influência da subida do NMMG (Bird, 1991).

Outro fator que influencia localmente o nível do mar é o *storm surge* ou sobre-elevação do nível do mar de origem meteorológica, que corresponde a uma subida temporária do nível do mar não atribuível à subida da maré astronômica. Este ocorre quando se verificam condições atmosféricas anômalas que influenciam a pressão atmosférica e geram ventos fortes e prolongados. É medido confrontando os níveis de marés previstos com os níveis registados. Segundo Ramos-Pereira (2000), existem quatro fatores que influenciam esta subida temporária: a) o efeito barométrico inverso; b) a intumescência da água devido à ação de ventos fortes; c) a ressonância de ondas de longo período; e d) a acumulação de água junto à costa derivada de ondas de curto período. A intensidade do *storm surge* está relacionada com fatores associados à frequência e magnitude de tempestades (intensidade, velocidade, proximidade à costa, dimensão, pressão barométrica, ângulo de aproximação à costa), bem como com fatores relacionados com a morfologia do litoral (*e.g.* estuários e baías) (Carvalho, 2013; NOAA, 2022). Estas áreas são afetadas por eventos atmosféricos extremos (tropicais ou extratropicais), que passam ocasionalmente ou com regularidade pelo litoral, gerando perdas de vidas e bens (Von Storch & Woth, 2008). Este fenómeno, ao ocorrer em simultâneo com a maré alta, gera uma *storm tide*. A conjugação das correntes formadas pelas marés com as ondas podem provocar a erosão do litoral, com potencial para causar danos.

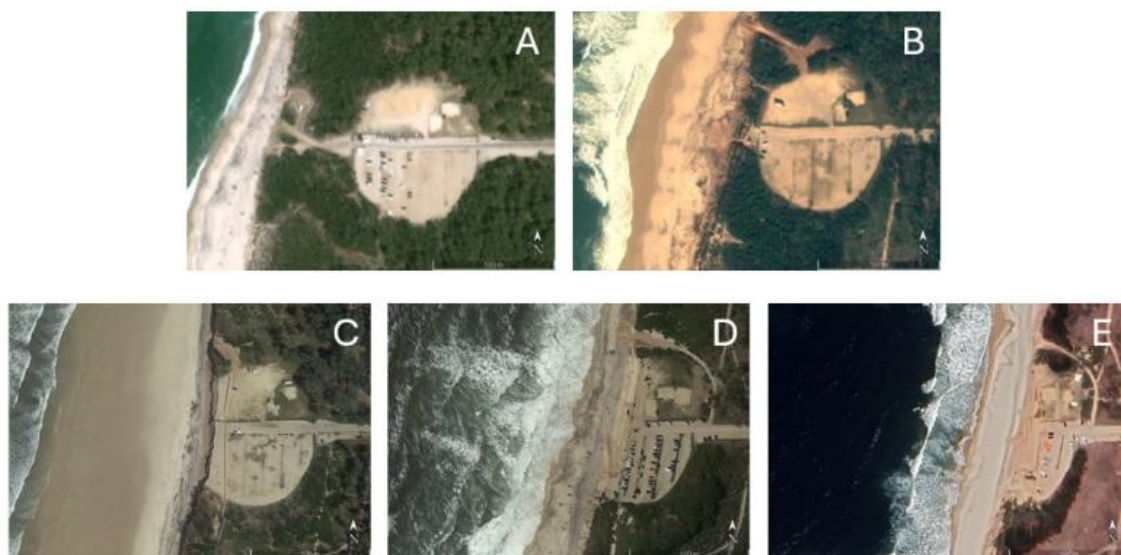
As ondas também influenciam o nível do mar local. Propagam-se por ação do vento, o seu principal agente forçador, formando um movimento harmónico simples (ou movimento sinusoidal), mediante movimentos oscilatórios/circulares de transporte de energia. Esta energia é emitida para a linha de costa e retorna para mar aberto (Haslett, 2000; Masselink *et al.*, 2014). A altura das ondas varia numa escala de centímetros até (dezenas de) metros (*e.g.* ondas de tempestade), dependendo da intensidade e direção do vento e dimensão do varrido (*fetch*) (Soares-Gomes & Figueiredo, 2002). A distribuição global da ondulação é fundamental para a classificação de ambientes costeiros,

por ser a principal fonte responsável pelos processos de transporte, deposição e erosão (Woodroffe, 2002; Masselink *et al.*, 2014). A sua incidência na linha de costa pode originar perfis de praia dissipativos, intermédios e refletivos. De forma geral, as praias dissipativas são caracterizadas por ter areia fina, ondas com maior energia e curtos períodos de onda. O grão médio a fino é encontrado muitas vezes em praias intermédias, em que as ondas que atingem a linha de costa são moderadas a altas. As praias caracterizadas por ondas de baixa energia e/ou com períodos de onda longos, têm sedimentos grosseiros, e podem corresponder às praias refletivas (Short, 1999).

O espraio de onda (*run-up*) corresponde à diferença de altura entre o nível da água medido na costa e o nível de água que ocorreria na ausência de ondas. Esse fenómeno resulta de dois processos distintos: a) o *set-up*, que corresponde à superelevação da água perto da linha de costa; e b) o *swash*, o desequilíbrio na propagação da onda, fazendo com que esta seja projetada ascendentemente em direção à costa (Stockdon *et al.*, 2006). O *run-up* é fundamental no contexto do estudo do nível do mar local, sendo a sua magnitude um forçador em processos de galgamento costeiro. Quando este ocorre em simultâneo com o máximo de MA, e/ou *storm surge*, pode causar impactes significativos na costa.

Os fenómenos locais de variação do nível do mar conjugados com a tendência global de subida do NMMG promovem a atuação e acentuação de fenómenos erosivos (Ramos-Pereira, 2004). Um dos principais fatores que interferem com a erosão costeira (Figura 4), associada a processos marinhos em Portugal, relacionam-se com a redução de sedimentos que chegam à foz dos rios, como resultado da intensificação de construção de barragens desde 1950, bem como das extrações de inertes nos estuários. Estima-se que os aproveitamentos hidroelétricos e hidroagrícolas sejam responsáveis pela redução de mais de 80 % dos sedimentos que poderiam chegar à foz dos rios, revelando-se um empobrecimento do transporte sedimentar pela deriva litoral (Ramos-Pereira, 2004; Dias, 2005). Outro fator que potencia a erosão relaciona-se com a atividade antrópica e a sua distribuição e concentração ao longo do litoral. A construção de habitações e infraestruturas, que impermeabilizam e

fixam áreas arenosas, interferem com os sistemas biofísicos litorais e com o seu funcionamento (Ramos-Pereira, 2004). A subida eustática do nível do mar também é um fator que acentua a erosão costeira, porque mobiliza para o interior os processos costeiros que originam e intensificam a erosão e a inundação com origem marinha (Ramos-Pereira, 2004).



**Figura 4.** Evidências do recuo da linha de costa em Portugal continental. Localização: Parque de estacionamento de acesso à Praia de São Pedro de Maceda. Anos das imagens de Satélite, retiradas do *Google Earth*. A: 2003, B: 2009, C: 2013, D: 2018, E: 2023.

### 2.1.3. Dinâmicas recentes do nível do mar

O nível do mar é considerado dinâmico ao longo do tempo geológico, sofrendo múltiplas oscilações. No período temporal de há 130-115 Ma (Era Cenozoica, Período Cretáceo), aquando do último período interglaciário, o nível do mar esteve superior ao atual em pelo menos 5 m, como consequência das temperaturas médias que seriam superiores às pré-industriais em pelo menos 2°C (IPCC, 2013). No Cenozoico (Eoceno, 34 Ma), o nível do mar global registou uma descida de 50 m, relacionada com a formação do manto de gelo da Antártida (Meyssignac & Cazenave, 2012). Ainda na era Cenozoica, mas durante o máximo glacial de há 20 Ma (no Mioceno), o NMMG encontrava-se cerca de 120-130 metros abaixo do nível atual, tendo subido 1 metro por século após este período (Lamberk *et al.*, 2002 in Smith *et al.*, 2011; Shepherd *et al.*, 2018; Peltier e Fairbanks, 2006 in Swapna *et al.*, 2020). Estes são exemplos das oscilações do

nível do mar relacionados com a dinâmica das calotes polares. As variações do NMMG de maior amplitude relacionam-se com as dinâmicas dos ciclos glaciais e interglaciais. São geradas em resposta às alterações de insolação do planeta, em consequência de alterações da órbita e obliquidade do planeta (Berger, 1988; Meyssignac & Cazenave, 2012). É o caso das mudanças de insolação resultantes da variação da órbita e do ângulo de rotação da Terra, que ocorreram há cerca de 3 Ma, e influenciaram particularmente as variações das calotes polares do Hemisfério Norte, proporcionando uma descida superior a 100 metros no NMMG (Meyssignac & Cazenave, 2012).

Durante o Holocénico, iniciado há cerca de 11.650 anos, verificou-se uma abrupta subida do nível do mar, face ao período anterior - "*Younger Dryas*" (12.900 - 11.650 anos). Nos primeiros 1.500 anos, a temperatura aumentou 15 °C, o que fomentou a rápida desintegração das plataformas de gelo e a aceleração das correntes de gelo marinho. Em consequência, numa escala global, estima-se que foram inundados 10.000 milhões de km<sup>2</sup> de plataforma continental (Smith *et al.*, 2011). Nesta fase inicial, o nível médio do mar aumentou 60 metros. A posterior estabilização da temperatura global (há 7.000 anos), permitiu a estabilização do nível do mar e da linha de costa global (Smith *et al.*, 2011).

Recentemente (numa escala de dezenas a centenas de anos), tem-se verificado uma tendência generalizada de subida do NMMG, predominantemente por eustasia, denominada por subida eustática do nível do mar. Após a revolução industrial, a expansão térmica dos oceanos tem influenciado significativamente a subida do NMMG. Esta expansão das moléculas de água ocorre em resultado do seu aquecimento, que proporciona um aumento do volume das mesmas. Atualmente, estima-se que a expansão térmica oceânica contribua em 42 % para a subida do NMMG, constituindo-se como o principal fator responsável pela perda de territórios costeiros a nível global (Wigley & Raper, 1987 *in* Siddall *et al.*, 2007; Ramos-Pereira, 2001; Storno *et al.*, 2019). Outros fatores podem ser considerados na subida do NMMG (*e.g.* perdas de massa de gelo dos glaciares de montanha [21 %], do manto de gelo da Gronelândia [15 %] e do manto de gelo da Antártida [8 %]) (Storno *et al.*, 2019).

No período de 1901-2010, estima-se que o NMMG tenha subido 0,19 ±0,02 m, equivalente a uma média de cerca de 1,7 mm/ano. Denota-se ainda uma intensificação do fenómeno, verificando-se um aumento no ritmo de subida, reportado por vários autores (Josey *et al.*, (2013) constataram uma subida de 3,2 mm/ano e Ablain *et al.*, (2019) indicam uma subida de 3,35 mm/ano para o período de 1993-2017). Atualmente, o IPCC (*Intergovernmental Panel on Climate Change*) prevê que se mantenha a tendência de subida do NMMG, para além do ano de 2100 (Church *et al.*, 2013), baseando as suas previsões em *Representative Concentration Pathways* (RCP), associadas à quantificação das emissões de gases de efeito de estufa (GEE) emitidos para a atmosfera. A cessação total e imediata de todas as emissões de GEE não impedirá a subida do NMMG, uma vez que se assiste atualmente à resposta do sistema global às anteriores emissões de poluentes para a atmosfera e à ação retardada dos seus efeitos no oceano. Gormiti *et al.* (1982), citado em Dias & Taborda (1988), estima que este desfasamento seja cerca de 18 anos.

#### **2.1.4. Nível médio do mar em Portugal**

No caso de Portugal, o NMM já esteve 120 a 140 metros abaixo do atual, aquando do último máximo glaciário, ocorrido há 18 Ma, tendo a linha de costa estado próxima do bordo da plataforma continental, a dezenas de quilómetros da atual (Alveirinho-Dias, 2004). Em 2.000 anos, o NMM subiu e estabilizou no limite que equivale a 100 metros de profundidade atualmente, permanecendo estável durante 3 Ma. A inversão climática “*Younger Dryas*” (~13 – 11 Ma) gerou uma subida do NMM na ordem dos 60 metros. No milénio seguinte, a oscilação foi negativa, descendo 20 metros, em resultado da relocalização da frente polar sobre a Galiza (Alveirinho-Dias, 2004). Há 10 Ma, estabeleceram-se condições interglaciares em Portugal, e o NMM subiu progressiva e aceleradamente durante dois milénios, continuando a subir até há 3 Ma, mas num ritmo menos acelerado, estabilizando num nível próximo do atual (Alveirinho-Dias, 2004).

Em tempos mais recentes, têm-se verificado episódios de transgressão do litoral português, desde 1869. Em cerca de 43 anos (1869-1912), a linha de costa regrediu 350 metros, em Espinho (Maia, 1912 in Freitas & Dias, 2015).

Ponte-Lira *et al.* (2016) delimitaram para toda a costa de Portugal continental as taxas de erosão costeira entre os anos 1958-2010. Destaca-se uma tendência erosiva desde a foz do rio Douro até Torreira (Murtosa), que apresenta uma taxa máxima de  $-7,38 \pm 0,2$  m/ano, igual à observada entre Aveiro e Praia de Mira. Evidencia-se ainda a erosão máxima de Esmoriz ( $-4,4$  m/ano), Ovar ( $-5,6$  m/ano), Lavos ( $-3,77 \pm 0,2$  m/ano) e na Costa Nova ( $-5,8$  m/ano). O setor norte da Costa da Caparica apresenta taxas de regressão que atingem os  $-4,57$  m/ano, tendo sido verificada erosão superior no período 1958-1966 ( $-12,5$  m/ano) (Freire, 1986 in Ponte-Lira *et al.*, 2016). Na costa meridional portuguesa, a área que mais sofre erosão atinge uma taxa regressiva de  $-8,96 \pm 0,2$  m/ano e ocorre no setor Oeste da Cacela Velha (Ponte-Lira *et al.*, 2016).

Em 8 anos (2010-2018), Portugal continental perdeu 13,13 km<sup>2</sup> de território para o oceano. Apesar da evidência erosiva para o interior, a extensão territorial afetada por erosão costeira, que é de aproximadamente 180 km, mantém-se praticamente inalterada, estando limitada aos locais anteriormente identificados (Rodrigues *et al.*, 2021). Entre os vários tipos de litoral, o litoral arenoso é o mais vulnerável e, conseqüentemente, o que mais perde território face à invasão do mar. Em Portugal continental, 40 % da costa é composta por sistemas praia-duna, cuja regressão média é de  $-0,24$  m/ano (Ponte-Lira *et al.*, 2016).

Ainda que a erosão costeira não seja um indicador preciso de SNMM, esta é tendencialmente mais acentuada onde se verifica anomalia positiva de SNMM. Para o futuro, prevê-se que os troços costeiros que atualmente testemunham erosão sofram uma revigoração da mesma, e que as que não presenciam, possam vir a iniciar processos erosivos, relacionando-se com a SNMM (Bird, 1996).

Em Portugal, desde o início do século passado, o nível médio do mar tem observado uma tendência de subida. Entre 1920 e 2000, a SNMM teve uma variação positiva de 155 mm em Cascais, equivalente a uma taxa anual de 1,94 mm (Antunes, 2019). Entre 1992 e 2016, a variação foi 3,3 mm/ano, englobando um primeiro período (1992-2004) em que a taxa de subida foi de 2,2 mm/ano e um segundo (2005-2016), onde se registou 4,1 mm/ano. A aceleração registada

foi de 0,079 mm/ano (Antunes, 2016; 2019). Segundo Picoto *et al.* (2022), entre 1997 e finais de 2020 (~24 anos), o nível do mar apresentou uma subida de 106 mm em Sines, equivalente a um aumento de 4,67 mm/ano, valor acima do registado por Antunes (2016; 2019).

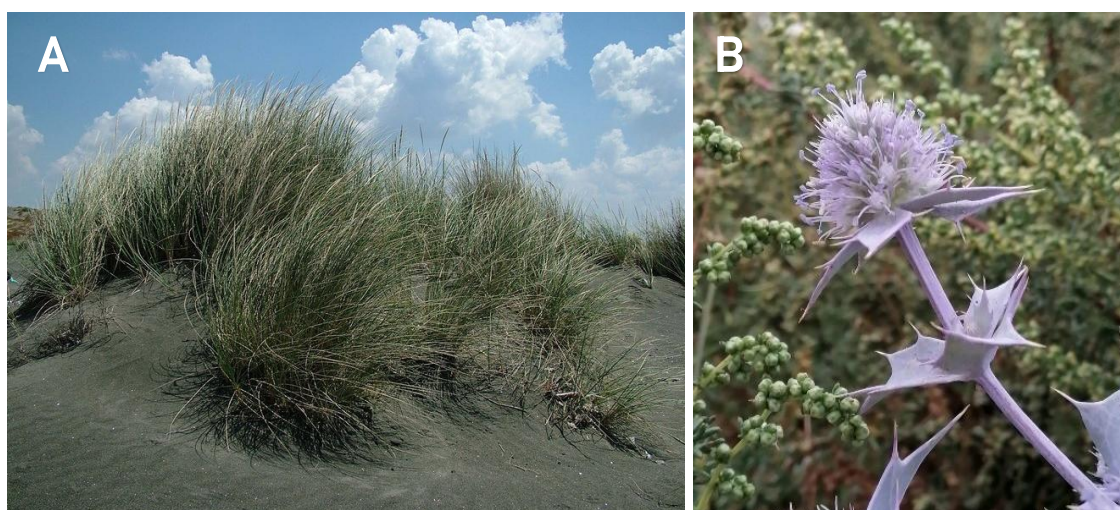
## 2.2. O Litoral

### 2.2.1. Sistemas Litorais

Enquanto sistema litoral, a praia pode subdividir-se em: (1) pré-praia; (2) praia (praia propriamente ou zona de praia); e (3) ante-praia. A primeira desenvolve-se logo após a plataforma continental, iniciando no ponto de profundidade de fecho - que marca o início das trocas sedimentares ao longo do perfil, promovidas pela interação de ondas geradas pelo vento e o fundo oceânico. Estende-se até à praia propriamente dita, e apresenta um declive fraco, encontrando-se totalmente submersa. Esta área pode dividir-se em três zonas hidrodinâmicas: a) a faixa de transformação ou empolamento, b) a faixa de rebentação, e c) a faixa de *surf*. A aproximação das ondas de largo e a sua interação com o fundo oceânico provoca um empolamento da superfície com aumento da altura visível da onda. Nesta faixa, não se regista o colapso da onda, ocorrendo apenas quando o aumento de altura gera um desequilíbrio por ação da gravidade, permitindo o seu colapso na faixa de rebentação. Por fim, na faixa de *surf*, é onde se verificam correntes de retorno, também denominadas por agueiros, ocorrendo, aqui, a maior parte do transporte sedimentar mediante a ação energética da rebentação das ondas (Short *et al.*, 1999; Ramos-Pereira, 2008; Trindade, 2010). Em termos morfológicos, a praia é compreendida como a área entre o nível médio de baixa-mar e estende-se até ao limite mais interior da atividade marítima (Harlett, 2000). Engloba dois setores: a praia baixa e a praia média. Os limites da praia baixa interseitam também com os limites da faixa/zona de ressaca, onde se verifica o espraio (*run-up*), em situações sem ocorrência de tempestade. A praia média estende-se até à ante-praia, onde se estabelece a praia alta. Esta está emersa, apenas podendo interagir com a

atividade marítima em eventos de tempestade. O limite mais interior deste subsistema é a possível transição para sistemas dunares e/ou rochosos (Ramos-Pereira, 2008; Trindade, 2010).

As praias são, ainda, o principal fornecedor de sedimentos, por ação do vento, às dunas costeiras. Estas são depósitos de areias com grão fino (<0,15 mm), que progridem para o interior. A longevidade da duna mantém uma relação inversa com a sua altura, uma vez que a mesma decresce ao longo dos anos (Davidson-Arnot, 2009; Millet *et al.*, 2009). A vegetação dunar estabelece um papel fundamental enquanto estabilizador, influenciando a consolidação e a morfologia da duna. As comunidades florísticas presentes no sistema praia/duna podem ser bioindicadores de erosão marinha, quando se verificarem espécies florísticas que são características de alta praia e da duna frontal na duna secundária e cinzenta (*e.g. Ammophila arenaria* (L.) Link subsp. *australis* (Ma - bille) M.Laínz (Figura 5.A); *Cakile maritima* Scop. (subsp. *integrifolia* Hyl. ex Greuter & Burdet and subsp. *maritima* Scop.; *Calystegia soldanella* (L.) Roem. & Schult.; *Elymus farctus* (Viv.) Runemark ex Melderis; *Eryngium maritimum* L. (Figura 5.B); *Euphorbia paralias* L.; *Medicago marina* L.; *Otanthus maritimus* (L.) Hoffmanns. & Link; *Pancratium maritimum* L.; *Polygonum maritimum* L) (Martins *et al.*, 2014).



**Figura 5.** Exemplo de espécies bioindicadoras da subida do nível do mar. A: *Ammophila arenaria* (L.) Link subsp. *australis* (Ma - bille) M.Laínz. Fonte: ANTHOSart FLORINTESA; B: *Eryngium maritimum* L.

O litoral rochoso é formado geralmente por arribas que, por definição, são formadas por declives abruptos (verticais ou próximos da verticalidade). A base da arriba pode ou não estar emersa ou coberta por depósitos resultantes da atividade de vertentes. As arribas são classificadas como ativas, inativas ou fósseis. Esta denominação é atribuída de acordo com a sua exposição face à ação das ondas. São consideradas ativas se a ação das ondas determina parte ou a totalidade da sua dinâmica. Quando tal não se verifica, são consideradas inativas e junto à sua base podem ter uma acumulação de sedimentos, cujo talude pode ter um declive de 25° a 30°, onde se desenvolve vegetação. As arribas fósseis são arribas inativas resultantes de uma descida relativa do nível do mar, que se encontram distantes da linha de costa atual, dominando a erosão sub-aérea (Emery & Kuhn, 1982; Woodroffe, 2002). A predominância de processos erosivos marinhos e subaéreos molda o perfil da arriba. Em arribas compostas por materiais homogêneos, quando há predominância de processos marinhos, a estrutura da arriba é vertical ou próxima da verticalidade. Quando se verifica a ação de processos marinhos como a erosão subaérea, esta apresenta um perfil convexo. Nos casos de dominância de processos subaéreos denota-se uma concavidade na base da arriba e uma convexidade no seu topo. Em função das assimetrias de resistência da litologia da arriba, o seu desenvolvimento relativamente aos processos erosivos pode assumir outras tendências. No caso do material do topo ser mais resistente que o da base, ou no caso de se verificar um predomínio de processos subaéreos, esta não vai apresentar a convexidade do caso da igualdade de interação dos processos, mas sim uma estrutura tendencialmente vertical (Emery & Kuhn, 1982).

Nem todos os ambientes litorais se encontram diretamente expostos à ação do oceano. Os deltas, os estuários e as lagunas costeiras são importantes ecossistemas litorais que compreendem uma transição entre o ambiente marinho e fluvial (Tagliapietra, 2009). Todos correspondem a ambientes de elevada produtividade e importantes do ponto de vista económico (Freitas, 1996; Agardy *et al.*, 2005; Elliott, 2019). Os deltas correspondem à acumulação de sedimentos, predominantemente terrígenos (Masselink *et al.*, 2014), e segundo Galloway, citado em Masselink *et al.* (2014), podem categorizar-se em 3

tipologias: 1) dominados por ação fluvial, 2) por marés, e 3) por ondas. Os primeiros têm mais influência fluvial face à ação das marés; os deltas dominados por marés, têm maior influência à ação das marés face ao regime fluvial, os últimos - dominados por ondas - têm uma grande exposição ao mar aberto. Os fatores que controlam a morfologia e a sedimentação nos deltas são geralmente descritos com fatores associados: i) aos processos costeiros dominantes associados ao regime de ondas, à tipologia de marés que, no essencial, determina a direção e velocidade das correntes litorais e, por conseguinte, o transporte sedimentar; ii) ao regime fluvial na medida em que este influencia a quantidade, o tipo, dimensão e seleção de sedimentos; iii) às características climáticas regionais e locais, influenciando não só o regime de escoamento dos cursos de água bem como a capacidade erosiva associada à disponibilidade de sedimentos para transporte; iv) às características geológicas, nomeadamente à presença de estruturas ou a dinâmica tectónica de subsidência que facilitem a instalação do corpo deltaico. À escala geológica, o que distingue os deltas dos estuários é a evolução do transporte sedimentar e da sua deposição. Os deltas caracterizam-se por uma intensa deposição sedimentar, geralmente suficiente para colmatar a forma de base que aloja os sedimentos (Masselink *et al.*, 2014).

Os estuários desenvolvem-se no setor terminal de um curso de água que possui a sua embocadura sem colmatação total da forma de vale. As características do vale que dá origem à formação do estuário regem a sua morfologia atual (Bird, 2011). Os estuários recentes formaram-se devido à transgressão marinha pós-glacial do Holoceno, há 6 000 anos (Masselink *et al.*, 2014), assim como as atuais lagunas costeiras (Bird, 2011).

As lagunas costeiras estão protegidas por barreiras e mantêm um contacto parcial ou total com o oceano. Verificam-se quando as taxas de sedimentação na embocadura da laguna superam as taxas de avanço do nível do mar (Bird, 2011). Em termos geomorfológicos, o conceito de laguna costeira é aplicado quando, em maré alta, a entrada das lagunas é inferior a 20 % do comprimento das suas barreiras envolventes (Bird, 1992). A extensão das lagunas costeiras desenvolve-se maioritariamente de forma paralela ao litoral.

Quando tal não se verifica e a sua extensão se desenvolve perpendicularmente ou obliquamente ao litoral, significa que estas resultam da inundação de vales glaciares ou de pequenos estuários (Freitas, 1996). Mundialmente, as lagunas costeiras representam 13 % do litoral, mas a nível europeu, a expressão de ocupa o de lagunas costeiras no litoral equivale a 5,3 % (Barnes, 1980). Em Portugal podem assinalar-se alguns exemplos de lagunas costeiras, como a Barrinha de Esmoriz, Ria de Aveiro, Concha de S. Martinho do Porto, Lagoa de  bidos, Lagoa de Albufeira, Lagoa de Melides, Lagoa de Santo André, Ria de Alvor e Ria Formosa (Freitas, 1996).

### **2.2.2. A regra de Bruun**

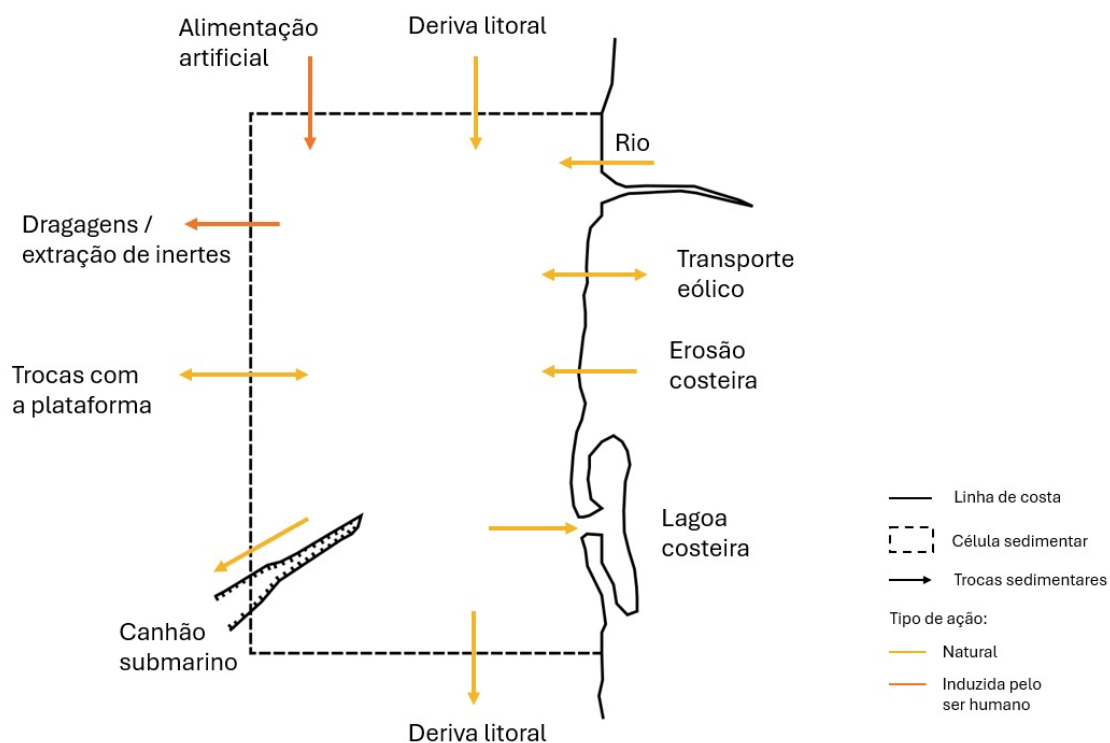
Em 1962, *Bruun* estabeleceu um modelo que relaciona a SNMM com a evolu o do perfil litoral. A regra de *Bruun* representa um modelo geométrico da magnitude de recuo da linha de costa resultado da SNMM, partindo do conceito de perfil transversal de equilíbrio em litorais arenosos. Em rea o ao disequil brio gerado pela SNMM, o litoral reajusta-se de forma natural, de modo a atingir um novo equilíbrio, permanecendo o perfil de praia entre o ponto da profundidade de fecho e a praia emersa, com as mesmas características morfológicas ao longo da sua transla o para o interior. A amplifica o do nível do mar inunda permanentemente áreas da linha de costa que anteriormente não se encontravam submersas, provocando a erosão dos sedimentos presentes na parte da praia que foi submersa. As areias e os cascalhos que a compõem são transferidos em profundidade para a zona de rebenta o (zona de *surf*), sendo o volume retirado da praia igual ao volume acrescentado na zona de rebenta o. Para além disso, a altura de sedimentos acrescentada nesta área   equivalente   altura da SNMM, num contexto local de longo prazo. Desta forma, o litoral mant m o seu declive constante, apenas sofrendo altera o no perfil, que passa a estar mais deslocado para o interior. Nos litorais rochosos com perfil semelhante aos litorais arenosos, o recuo não   tão intenso (Rosen, 1978; Bird, 2011).

No entanto, nem sempre a regra de *Bruun* pode ser aplicada. Cooper & Pilkey (2004) apontam três limitações a esta regra: 1) suposições restritivas improváveis na natureza (*e.g.* a inexistência de transporte longitudinal, e a pressuposição que a SNMM causa sempre erosão e nunca acreção), fazendo com que o modelo seja restringido na sua aplicabilidade; 2) omite variáveis importantes para a dinâmica costeira, como as correntes oceânicas e a inclinação da costa, podendo tornar inviável a sua aplicação; e 3) apresenta conceitos desatualizados e generalizações (*e.g.* considera que a inclinação da costa se relaciona com a erosão costeira, apesar de não existirem evidências científicas que o comprovem). Assim, o modelo está limitado para uma aplicação universal.

### **2.2.3. Dinâmica sedimentar no litoral**

Considerando a importância do transporte sedimentar ao longo do litoral, é essencial compreender o conceito de célula sedimentar. Esta corresponde a um setor litoral onde se pode observar um ciclo completo de erosão, transporte e deposição de sedimentos que circulam entre a plataforma continental interna, até à profundidade de fecho, e a faixa entre marés. Portugal continental detém 8 células sedimentares, sendo que a primeira célula se encontra ainda subdividida em três sub-células sedimentares (a, b e c) (Figura 8, Capítulo 3).

Do ponto de vista do balanço sedimentar (Figura 6), estas células são autónomas e os sedimentos são autocontidos, não interferindo com a dinâmica das células que lhe são adjacentes (Salman *et al.*, 2004). Verifica-se a entrada e saída de sedimentos, quer por ação natural do sistema, quer por influência da atividade humana. Os rios, a erosão litoral e dos sistemas associados e a alimentação artificial disponibilizam carga sedimentar para transporte, sendo esta transportada pela deriva litoral, cujo principal mecanismo de transporte são as ondas. Os sedimentos podem ficar retidos no sistema litoral, estuários e lagunas costeiras, em estruturas antrópicas de engenharia pesada (*e.g.* molhes portuários e quebra-mares) ou em sumidouros naturais (*e.g.* canhão submarino e dunas) (Salman *et al.*, 2004; Duarte Santos *et al.*, 2014a; IPMA, 2018).



**Figura 6.** Dinâmicas de circulação de sedimentos dentro da célula sedimentar. Adaptado de: Duarte Santos *et al.*, 2014a.

Apesar do seu conceito teórico consistente, a célula sedimentar, na prática, apresenta duas limitações. Numa ampla escala cronológica, os sedimentos não são absolutamente autocontidos, e interagem com as células vizinhas. Outra limitação é o facto de o conceito de célula sedimentar restringir os processos à linha de costa, rejeitando a influência da erosão costeira, a redução de sedimentos fluviais, e as alterações nas descargas dos rios e nos níveis de água estuarinos (Salman *et al.*, 2004).

## 2.3. Ordenamento do Território no Litoral

### 2.3.1. Evolução da Ocupação Antrópica no litoral

Apesar de, atualmente, a orla costeira ser um espaço desejado pela população, historicamente, nem sempre o foi, pois sofreu várias alterações na sua perceção e utilização. A sociedade do século XIV ao século XVIII considerava o litoral um local repleto de ameaças, perigoso, periférico e inabitável. As condições meteorológicas mais severas predominantes neste território (*e.g.*

insolação e ventos fortes), tornavam o litoral pouco apetecível para ser habitado. Quando combinado com o difícil acesso a água doce, ocorrência de eventos extremos oceânicos (*e.g.* tempestades, maremotos e galgamentos costeiros), interpretados por uma sociedade extremamente religiosa, que temia o mar por ser um local desconhecido e mistificado, potenciava a aversão e distanciamento face a este território (Gaspar de Freitas, 2007; 2013; Dias, 2005). Os seus habitantes eram uma minoria na sociedade e dedicavam-se: 1) à pesca, que era uma fonte de sustento e permitia a fixação de comunidades piscatórias em habitações precárias; 2) à navegação, que contribuiu para a desmistificação parcial deste espaço na época dos descobrimentos; e 3) à defesa da fronteira marítima, que possibilitava o usufruto de regalias militares, como incentivo por parte dos monarcas portugueses para que a população habitasse este local (Gaspar de Freitas, 2007; 2013).

Só no século XVIII, na Inglaterra e França, se começaram a perceber as vantagens que o litoral poderia trazer à população, ao nível da saúde e medicina. Os chamados “banhos de mar” eram reconhecidos pelos seus benefícios médico-terapêuticos, o que proporcionou uma aproximação da população ao litoral, especialmente por parte da aristocracia e burguesia. Em Portugal, este fenómeno foi tardio comparativamente aos países do norte da Europa, sendo impulsionado pela família real, no fim do século, seguido pelas famílias mais nobres e abastadas, num período pós-industrial (Gaspar de Freitas, 2007; 2013). Este processo sofreu grande democratização no século XX, a partir de 1974, com tendência crescente, à medida que entravam em vigor medidas políticas que visavam a melhoria de condições de vida das classes mais baixas da sociedade. Foi, ainda, na segunda metade deste século, que se deu o *boom* do turismo de praia, com maior influência na costa meridional portuguesa (Dias, 2005).

O litoral sofreu, assim, uma grande mudança de paradigma, deixando de ser percebido como um espaço marginal, e passando a representar um local central e socialmente desejado. A procura generalizada deste território motivou uma rápida e preocupante construção sobre os ecossistemas litorais, iniciada no século XIX, e exacerbada no século XX. As consequências desta construção desordenada são irreversíveis e agravam-se no atual quadro de mudança

climática (Dias, 2005; Gaspar de Freitas, 2007; 2013). Os litorais arenosos foram o principal foco de procura para edificação, especialmente para empreendimentos do setor do turismo. Em cadeia, ao se desenvolverem infraestruturas, linhas férreas, hotéis, espaços lúdicos, sociais e de lazer, proporcionam-se mais condições para a expansão dos aglomerados populacionais do litoral. Em poucas décadas, as pequenas povoações do litoral transformaram-se em núcleos urbanos desenvolvidos, e os locais que não tinham histórico de povoamento rapidamente passaram a estar densamente ocupados, especialmente nos meses mais quentes, por influência do turismo, tanto nacional, como internacional (Dias, 2005; Gaspar de Freitas, 2007; 2013).

### **2.3.2. Riscos no litoral**

O repentino crescimento populacional e patrimonial no litoral causou uma pressão antrópica sobre os sistemas costeiros, especialmente no litoral arenoso que se encontra sujeito a erosão costeira mais intensa (Dias, 2005; Zêzere *et al.*, 2006). Outras consequências foram o aumento da exposição das cidades costeiras a inundações por galgamentos e erosão (Hallegate *et al.*, 2013), e o aumento da vulnerabilidade passiva a que se sujeitam, em resultado da expansão das áreas urbanas para locais que sempre estiveram expostos a perigos naturais (Zêzere, 2007). Esta combinação de fatores resulta numa propensão para os riscos da população residente no litoral, capaz de gerar novos impactes que variam em escalas locais, regionais e globais, desde consequências locais geradas pela impermeabilização dos solos ou obstrução da rede de drenagem, até à escala global de mudanças climáticas resultantes de emissões de gases de efeito de estufa para a atmosfera (Zêzere, 2007).

O conceito mundialmente aceite de riscos no território foi definido em 2016 na Assembleia Geral das Nações Unidas (UNGA), e consiste na predisposição que um sistema, sociedade ou comunidade tem para sofrer danos (*e.g.* perda de vidas, vítimas feridas, bens destruídos ou danificados), num período específico. Os riscos podem ser calculados estocasticamente com base em 4 variáveis fundamentais: Capacidade de Suporte, Exposição, Perigo e Vulnerabilidade. A Capacidade de Suporte representa um conjunto de fatores

que estão inseridos numa comunidade e que permitem gerir e reduzir os riscos, promovendo a resiliência. A exposição refere-se às pessoas, infraestruturas, edifícios (entre outros) que se encontrem localizados em áreas potencialmente perigosas. O perigo é um processo gerador de perdas de vida, vítimas feridas, impactes na saúde, danos materiais, perturbações socioeconómicas ou degradação ambiental. Por fim, a Vulnerabilidade é classificada como o conjunto de condições (físicas, sociais, económicas e ambientais) que aumentam a vulnerabilidade do indivíduo/comunidade ou sistemas aos impactes dos perigos (UNGA, 2016).

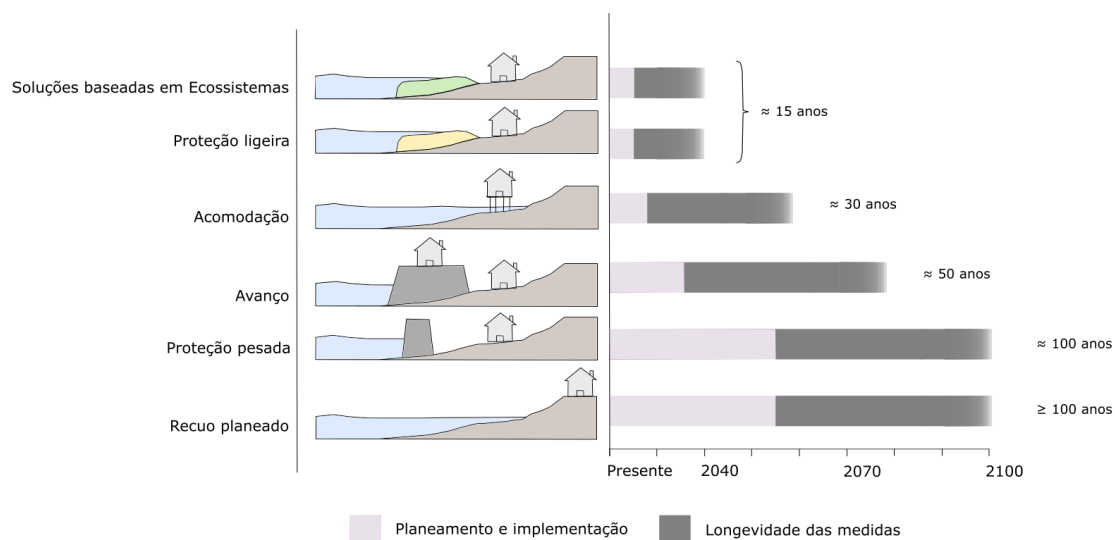
No âmbito dos riscos, os perigos naturais assumem uma relação intrínseca com a atividade antrópica, que não pode ser ignorada do ponto de vista do ordenamento do território e dos organismos competentes para tomadas de decisão. Os riscos territoriais associados à mudança climática motivaram o surgimento do conceito de “refugiado climático”, aplicado às pessoas que são forçadas a migrar por motivos consequentes destas mudanças. Globalmente, estima-se que, até 2050, existam 216 milhões de refugiados climáticos, sendo que destes, 350.000 a 1,2 milhões (dependendo de cada cenário) serão forçados a migrar por influência da SNMM (Clemente *et al.*, 2021).

Uma das soluções para mitigar os riscos do território passa pela redução da exposição e da vulnerabilidade (IPCC, 2012). Por esse motivo foram desenvolvidas várias intervenções na Europa, nomeadamente entre 1999-2002, 250 a 300 casas foram abandonadas, e 3 mil perderam 10 % do seu valor de mercado, devido à erosão costeira (Doody *et al.*, 2004). Em Portugal, durante as décadas de 80 e 90 do século passado, assistiram-se a mais de 2.000 demolições de habitações. Estas decorreram maioritariamente entre 1986-1989 em locais específicos na costa portuguesa: Parque Natural da Arrábida (cerca de 650 em 1986), Arriba Fóssil da Costa da Caparica (cerca de 225 em 1987), Lagoa de Albufeira (cerca de 500 em 1987), Parque Natural Sintra-Cascais (131 em 1987), Alcobaça (508 em 1988), Baleal, Peniche (120 em 1987) e São Pedro de Moel (750 em 1988) (Calor & Magarotto, 2018). Outras demolições já foram implementadas e estão previstas de modo a renaturalizar a linha de costa.

### **2.3.3. Ordenamento do território na orla costeira e estratégias de adaptação**

Foram elaborados 9 Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC), enquadrados no DL nº309/93, de 02/09, alterado pelo DL nº159/2012, de 24/07, que define os POOC como planos “que visam a salvaguarda de objetivos de interesse nacional com incidência territorial e estabelecem regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais e o regime de gestão compatível com a utilização sustentável do território”. Os POOC estão também enquadrados na Lei de Bases Gerais da Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo, de 2014, no Artigo 45º. O DL nº80/2015, de 14/05, altera o Regime Jurídico dos Instrumentos de Gestão Territorial, passando os POOC a serem designados como POC - Programas da Orla Costeira. Estes são instrumentos de gestão do litoral, que condicionam estrategicamente o uso e ocupação do solo, quando prejudicial à biodiversidade e aos sistemas litorais. Estes aplicam, ainda, as estratégias de defesa costeira a implementar no território, permitindo a possibilidade de realizar um balanço das intervenções que devem ser aplicadas no litoral.

As estratégias de adaptação do território urbano à SNM são: o recuo planeado, a acomodação, a proteção e o ataque (Figura 7). O recuo é uma solução que pretende reajustar o uso do solo em função da futura linha de costa, promovendo uma migração planeada de todas as estruturas e infraestruturas para áreas de reduzido risco. Esta solução também tem em consideração que a construção de novos empreendimentos deve ser feita fora das áreas de perigo. Em contrapartida, as limitações inerentes a esta estratégia prendem-se com dificuldades e custos associados a esta migração para áreas seguras, podendo, por vezes, não ser possível de se aplicar para determinados contextos. Outra desvantagem que pode ser apontada é a perda de território e impedimento para o desenvolvimento.



**Figura 7.** Estratégias de adaptação à SNM. Adaptado de Mukherji (2023).

O recuo é subcategorizado em migração, deslocação e realocação. As categorias, embora diferentes, podem confundir-se na aplicação teórico-prática. A migração trata um conceito de movimento que é realizado voluntariamente, podendo este ser permanente ou semipermanente de uma pessoa, por pelo menos um ano, ao passo que a deslocação trata de um movimento involuntário gerado em consequência de impactes ambientais (Oppenheimer *et al.*, 2019). A realocação é implementada pelo governo e autarquias, e realiza-se em situações localizadas de pequenas comunidades expostas ao risco (Oppenheimer *et al.*, 2019).

A acomodação pretende ajustar o uso do solo através da implementação de medidas resilientes a inundações, que permitam um ajuste do uso do solo e da vegetação ao cenário de SNMM. A elevação dos edifícios, a construção sobre plataformas flutuantes e a impermeabilização de infraestruturas são exemplos de medidas a tomar. A adoção desta medida abre portas para um desenvolvimento urbano em áreas que possam vir a sofrer inundação no futuro e se mantenham lá após a modificação. Para que tal seja feito, é necessário alterar as construções já existentes e implica ainda dificuldades e custos, o que pode ser visto como uma desvantagem face a esta abordagem. Complementarmente, devem ser implementados seguros de proteção populacional, sistemas de alarme e emergência, bem como áreas de evacuação. A acomodação pressupõe ainda que haja uma alteração nas culturas agrícolas

praticadas localmente, nomeadamente para espécies tolerantes ao sal, devido à intrusão de água salgada (Nicholls, 2018; Oppenheimer *et al.*, 2019; Petek, 2019). O recuo e a acomodação têm em comum a migração natural dos habitats (Nicholls, 2018; Petek, 2019).

Existem três tipos de proteção: 1) proteção pesada, 2) proteção suave, ou 3) adaptação baseada em ecossistemas. A proteção pesada consiste na construção de estruturas físicas como molhes, diques, paredões, esporões e quebra-mares, de modo a impedir a propagação da água para terra. Apesar das vantagens, a sua implantação apenas minimiza os riscos no local onde é implementado, acentuando os problemas e consequências da erosão costeira no sentido oposto ao da deriva litoral. As areias que circulavam livremente ao longo da costa ficam retidas na parte a barlamar destas estruturas, acentuando a erosão a sotamar. Quando a acumulação dos sedimentos a barlamar excede o comprimento do esporão, estes são movidos para fora da trajetória da deriva litoral, diminuindo, assim, o transporte sedimentar, e representando uma perda de território na área adjacente às construções pesadas (Freitas, 2010; Silva, 2014; Pinto *et al.*, 2018; Oppenheimer *et al.*, 2019; Petek, 2019). Também é gerador de impactes paisagísticos e comporta elevados custos de manutenção (Silva, 2014). Por outro lado, a proteção suave consiste em aumentar a capacidade natural de defesa costeira, através de alimentações artificiais de sedimentos. Esta técnica é considerada ambientalmente aceitável e tem efeito mais imediato comparativamente à proteção pesada, mas a sua implementação modifica a paisagem natural e representa uma solução de curto prazo (Freitas, 2010; Pinto *et al.*, 2018). Por isso, a adoção desta estratégia torna-se pouco viável quando se pretende assegurar proteção suave num contexto de SNMM, principalmente para cenários de subida mais elevada que a projetada (Nicholls, 2018; Petek, 2019). A adaptação baseada em ecossistemas, pretende estabelecer uma proteção costeira através da restauração/regeneração de ecossistemas costeiros. Esta é vantajosa, uma vez que estes ecossistemas estabilizam os sedimentos e dissipam a energia das ondas, e atenuam o efeito das tempestades. Ambas as estratégias de proteção têm em comum o facto de

permitirem reduzir custos associados às deslocações ou modificações necessárias nos edifícios e nas infraestruturas.

Por fim, o ataque é uma estratégia que, enquanto mitiga os riscos no litoral, promove o desenvolvimento económico nesta área, ao expandir o território em direção ao mar, sobrelevando-o. Esta solução já foi aplicada em Singapura, Hong Kong, Dubai e Maldivas (Nicholls, 2018).

Na costa portuguesa, a proteção é a estratégia que tem mais expressão. Portugal foi o primeiro país europeu a implementar a alimentação artificial de praias no seu território, mas as estratégias de defesa que dominaram durante o século XX foram intervenções de engenharia pesada. Até à década de 90, foram impostas, no total, 120 obras de engenharia pesada, sendo a década de 80 a que teve maior construção destas defesas (71 intervenções). Em 1990, assistiu-se a uma alteração desta tendência, observando-se um predomínio da alimentação artificial, que tem vindo a assumir um crescimento década após década (Abecasis 2014 in Pinto *et al.*, 2018; Pinto *et al.*, 2018).

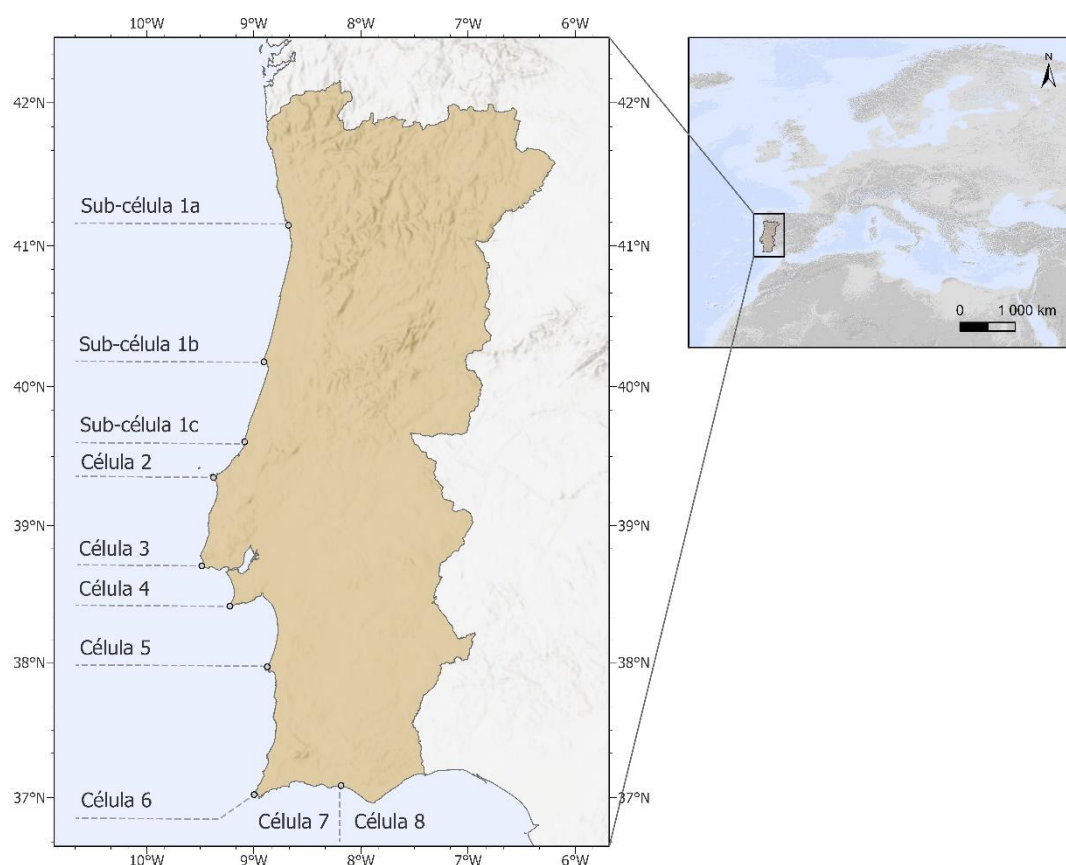
Num balanço orçamental do investimento feito em defesa costeira, para o período 1995-2014, Magalhães (2020) estimou um custo total de 196 M€, dos quais 44 % (89 M€) correspondiam à primeira década, e os restantes 56 % (110 M€) correspondiam à segunda década. Silva (2014) verificou que, para o mesmo período em análise, os concelhos abrangidos por zonas baixas costeiras retiveram um investimento de 118 M€, sendo 71 % despendido para proteção pesada. A maior fatia orçamental foi para os concelhos de Almada (31,2 %), Ovar (16,4 %) e Espinho (15,3 %) (Silva, 2014). É de destacar que 81 % do investimento das intervenções das zonas baixas costeiras foi direcionado para medidas reativas e somente 15 % estavam previstas nos POOC, e os restantes 4 % estavam planeados pelo Plano de Ação de Proteção e Valorização do Litoral (Silva, 2014).

Do investimento total, quando avaliado por POOC, deduz-se que os maiores investimentos foram realizados nos POOC Ovar - Marinha Grande (34,6 %), Caminha - Espinho (19,0 %) e Sintra - Sado (18,8 %). Em contrapartida, os POOC Sado - Sines e Sines-Burgau foram os que tiveram menos investimento (Magalhães, 2020).

O último Plano de Ação Litoral de 2017 pretende estabelecer as medidas a tomar no litoral português, com o objetivo de mitigar os riscos costeiros. Nele foram identificadas, para o futuro, cerca de 1.000 ações, das quais 745 são consideradas de prioridade elevada, que se traduzem num investimento global de aproximadamente 881 M€. Em 2017, 119 ações de prioridade elevada já estavam a ser desenvolvidas, resultando num investimento de 143 M€.

## CAPÍTULO 3 – ENQUADRAMENTO DA ÁREA DE ESTUDO

Geograficamente localizado no extremo Sudoeste do continente europeu (Figura 8), Portugal é um país voltado para o Oceano, com o qual faz fronteira a Oeste e Sul. A Norte e a Este, do rio Minho ao Guadiana, é com Espanha que se desenvolve a fronteira. A geometria do país assume uma forma retangular compreendida entre os paralelos de 37° N aos 42° N, e os meridianos de 6° a 9,5° Oeste, com um comprimento máximo de 561 km e largura variável entre os 112 e 218 km (Medeiros, 1987). Portugal consagra duas regiões autónomas - o Arquipélago dos Açores e o Arquipélago da Madeira - que não são consideradas para análise da presente dissertação. Quando é feita a referência a Portugal, refere-se somente à sua vertente continental.



**Figura 8.** Enquadramento geográfico de Portugal continental, e das respetivas células sedimentares (Santos *et al.*, 2014a).

Portugal apresenta três unidades morfológicas: 1) O Maciço Antigo; 2) Bacia Cenozóica do Baixo Tejo e Alvalade; e 3) Orla Mesocenozóica Ocidental e

Meridional. O Maciço Antigo (ou Maciço Ibérico), corresponde à extremidade ocidental do Maciço Hespérico. Esta é a unidade morfológica que ocupa maior área no território português, equivalente a cerca de 70 % da parte continental (Pereira *et al.*, 2014). As rochas que o compõem são paleozoicas e essencialmente granitoides (Brum Ferreira, 2005). O Maciço Antigo subdivide-se em 4 unidades: Planaltos e montanhas do NW peninsular, Sistema central; Planaltos do SW peninsular; e Berlengas (Pereira *et al.*, 2014). As Bacias Mesozoicas ibéricas são duas: a Bacia Lusitânica (inserida na Orla Ocidental) e a Bacia Algarvia (na Orla Meridional). Estas unidades ocupam 8% do território continental português, e correspondem a unidades mesozoicas que foram intensamente deformadas. A Bacia Lusitânica representa 7 % do território português, tem uma espessura máxima de 5km, e dispõe-se ao longo de 300 km de comprimento, no sentido NNO-SSE e E-O. É composta por sedimentos clássicos aluviais e margas, estando 66 % alocados na área emersa, e o restante na plataforma continental (Pereira *et al.*, 2014). Por outro lado, a Bacia do Algarve (1% do território português) desenvolve-se ao longo de cerca de 140 km, desde o Cabo de São Vicente ao rio Guadiana, numa largura que varia entre os 3 e 25 km (Pereira *et al.*, 2014). As Bacias Cenozoicas ibéricas são representadas em três subunidades: Bacia do Tejo e Alvalade, Bacia do Douro e Bacia do Guadiana; e ocupam mais de 15 % do território português. Estas bacias resultam do preenchimento de materiais arenosos feldspáticos nas depressões existentes, de orientação NE-SO (Pereira *et al.*, 2014). Nelas incluem-se as planícies costeiras, áreas aplanadas de baixa altitude cobertas por sedimentos arenosos, e que contemplam 7 % do território continental. Existem em Portugal 9 planícies costeiras: Planície Litoral Douro-Mondego, Planície Litoral Mondego-Nazaré, Planície Litoral Nazaré-Peniche, Planície Litoral Peniche-Lisboa, Península de Setúbal, Costa Alentejana e Vicentina, Litoral do Barlavento Algarvio e Litoral do Sotavento Algarvio (Pereira *et al.*, 2014).

Portugal consagra 3 tipos de clima, segundo a classificação de *Köppen*. A grande maioria do território continental apresenta um clima temperado com verão seco (Tipo C, subtipo s). O sistema montanhoso Montejunto-Estrela representa uma fronteira climática entre as duas principais categorias

climáticas. A sul do sistema montanhoso (à exceção do Litoral Alentejano e Algarve), o clima tem a designação Csa, por apresentar um verão quente. A norte e nas áreas de exceção, a categorização climática é do tipo Csb, uma vez que o verão é suave. Só uma pequena área interior no Baixo Alentejo verifica o clima árido de estepe fria da latitude média (Cks) (IPMA, 2021). Esta classificação vai de encontro às duas regiões climáticas referidas por Ribeiro (2011), que descreve Portugal como um país fortemente marcado pela influência atlântica e mediterrânea. As características mediterrâneas prendem-se com um verão quente e seco, e um inverno suave. Todavia, as peculiaridades da influência atlântica estimulam invernos rigorosos, com predominância de ventos húmidos de Oeste sob o território. Estes podem ser mais ou menos intensos consoante o contacto com massas de ar polar ou tropical.

A par com diferenças geológicas e climáticas, pelas suas características geográficas, o litoral português não se encontra igualmente exposto às tempestades. De Norte a Sul do país, a influência exercida pelo Oceano é distinta. Se por um lado, as ondas que incidem a costa ocidental são mais energéticas por influência do Norte Atlântico, tal contrapõe-se ao verificado na costa meridional, que está menos exposta, e por isso apresenta ondas de baixa energia (Pinto *et al.*, 2020). As ondas que atingem a linha de costa são também díspares na sua altura e período, diminuindo latitudinalmente para sul em altura e em período (altura entre 1,7 m a 2,2 m; período entre 6,6 e 7,2 segundos). Na costa meridional, as ondas apresentam cerca de 1 m de altura e período de 4,7 segundos (Costa *et al.*, 2001 *in* Pinto *et al.*, 2020).

Em Portugal continental, o clima de agitação marítima é mais rigoroso na costa Ocidental, uma vez que esta se encontra exposta à ondulação proveniente do Atlântico Norte durante períodos mais longos (Carvalho, 2013). Esta costa, embora muito energética, especialmente nas latitudes mais altas, é também uma das mais suscetíveis do continente europeu (Andrade *et al.*, 2006). O tipo de mar dominante na costa Ocidental é classificado como Mar de Noroeste, e ocorre cerca de 280 dias por ano (Ramos-Pereira, 2001). Este tipo de mar é gerado por um anticiclone a Noroeste de Portugal e uma depressão na Península Ibérica, por uma circulação de noroeste pós-frontal ou por uma

situação depressionária (Ramos-Pereira, 2001). Em todas as situações, a ondulação gerada no varrido, ou ondulação de geração longínqua, tem a direção Noroeste-Sudeste (Ramos-Pereira, 2001). Por outro lado, a costa Meridional Portuguesa, por comparação à costa Ocidental, é considerada como menos energética, por se encontrar abrigada da agitação marítima predominante (Andrade *et al.*, 2006). Esta verifica maior agitação marítima quando ocorre predominância de ventos de Leste, e se verifica o Mar de Levante ou o Mar de Sudeste (Andrade *et al.*, 2006; Carvalho, 2013).

## **3.1. Células Sedimentares**

Dada a extensão e diversidade do país, nesta dissertação, a análise é realizada ao nível da célula sedimentar (Figura 8). Estas unidades foram delimitadas para o território continental português pelo Grupo de Trabalho do Litoral, em 2014, por Santos *et al.*, 2014a. Assim, pode realizar-se um estudo mais consistente, cuja escala de abordagem, apesar de ser nacional, pode apresentar e discutir os resultados interpretados de forma individualizada. Assume-se, assim, as diferentes características que as unidades sedimentares apresentam, e que são díspares entre si.

### **3.1.1. Célula 1**

No estuário do rio Minho, marca-se o início da primeira célula sedimentar portuguesa, caracterizada por um clima agitado e energético. Estendendo-se até à Nazaré, esta subdivide-se em 3 sub-células: na foz do rio Douro e no Cabo Mondego. O Rio Minho é um importante fornecedor de sedimentos à deriva litoral e combinado com os rios Lima, Cávado e Ave providenciam  $2 \times 10^5 \text{m}^3$  de sedimentos anualmente à deriva litoral, que acumulando com o total das fontes sedimentares da primeira célula potencia um transporte sólido de  $10^6 \text{m}^3/\text{ano}$ . Ao longo da primeira sub-célula, desenvolvem-se praias de areia e cascalho, limitadas por costa baixa rochosa formada por arribas fósseis compostas por rochas graníticas resistentes do Maciço Antigo, apenas interrompidas nas fozes dos rios Lima e Cávado. O setor mais a norte da sub-célula seguinte apresenta características idênticas à sub-célula 1a. As arribas que se expõem ao oceano

até Espinho são baixas, não superando os 6 metros de altura, e compostas por conglomerados grosseiros e areias. De Espinho até sul de Quiaios, a costa é arenosa e baixa, limitada por sistemas dunares. Já no setor sul da sub-célula 1b, até ao Cabo Mondego, predominam praias limitadas por sistemas de arribas, sendo as do Cabo Mondego constituídas por duros calcários, à semelhança das que compõem o Cabo Carvoeiro, Cabo da Roca e Cabo Raso. É no Cabo Mondego que se inicia a sub-célula 1c, e delimita-se até à Nazaré. A costa que caracteriza esta célula é inicialmente rochosa, mas progride gradualmente para uma costa arenosa. Tem semelhança com a célula 2 (que se estende até Peniche) por ambas apresentarem arribas talhadas em areias e arenitos brandos. Apresenta dois sumidouros sedimentares - um artificial e outro natural. O primeiro respeita ao molhe do porto da Figueira da Foz, que retém sedimentos a norte e fomenta o recuo da linha da costa no troço Cova Gala - Pedrógão (motivo pelo qual se investiu em proteção pesada a sul). O segundo corresponde ao canhão/promontório da Nazaré - que desloca os sedimentos da deriva continental para o fundo oceânico. Em termos gerais, a célula 1 é densamente povoada no litoral, o que interfere com os cenários de erosão litoral, agravando-os. Em resposta compensatória e natural face ao défice sedimentar verificado, as praias tornaram-se as fontes sedimentares do sistema, o que proporciona o seu recuo. Os troços onde a erosão é mais significativa correspondem aos segmentos costeiros de (1) Espinho - Furadouro, (2) Costa Nova - Mira e (3) Cova Gala - Leirosa. Prevêem-se ainda consequências associadas à substituição das praias de areia por praias de cascalho (Moreira, 2005; Santos *et al.*, 2014a).

### **3.1.2. Célula 2**

Na célula 2, é a erosão das arribas areníticas o principal fornecedor de sedimentos ao sistema, que acabam por ser retidos na lagoa de Óbidos e no sistema dunar de Peniche, os dois principais sumidouros da célula. A influência antrópica no balanço sedimentar da célula é pouco significativa, e este balanço é próximo do nulo (Santos *et al.*, 2014a).

### **3.1.3. Célula 3**

A terceira célula apresenta uma costa rochosa composta por intercalações de calcários e margas, até ao seu limite - Cabo Raso. Entre arribas, formam-se praias encastradas e arenosas, e é no sistema dunar do guincho que as areias são aprisionadas (sumidouro natural). São os cursos de água os fornecedores de sedimentos à célula, contudo, devido à construção da barragem de São Domingos, o aprovisionamento de sedimentos tem assistido uma redução, à semelhança do que acontece em outras células. Tal promove um défice sedimentar, uma vez que a deriva litoral real é inferior à potencial (Moreira, 2005; Santos *et al.*, 2014a).

### **3.1.4. Célula 4**

Do Cabo Raso ao Cabo Espichel, encontra-se a 4ª célula sedimentar, e ambas as extremidades geográficas da célula apresentam rochas calcárias. O rio Tejo divide a célula no que poderia ser classificado como 2 sub-células, pelas suas distintas dinâmicas e características (Moreira, 2005; Ponte Lira *et al.*, 2016). A parte norte da separação é caracterizada por praias abrigadas da agitação de NW, que se encontram encastradas pelo sistema de arribas calcárias existente. Junto à serra da Arrábida é comum verificarem-se evidências de um nível mais elevado do mar através de plataformas de abrasão suspensas (Moreira, 2005). A sul, denota-se a presença de um sistema com forma de arco, composto por alternância de arribas e praias arenosas, onde se verificam intervenções de proteção pesada, principalmente junto à Costa da Caparica (Moreira, 2005; Santos *et al.*, 2014a). O registo histórico das intervenções humanas na Costa da Caparica mostra que estas interferem no sistema costeiro originando um défice sedimentar que agrava o problema existente, à semelhança com o que ocorre também em múltiplos segmentos da célula sedimentar (Ponte Lira *et al.*, 2016).

### **3.1.5. Célula 5**

É entre o Cabo Espichel e Sines que se enquadra a quinta célula sedimentar. A exposição do traçado da costa é distinta. Quando exposto a ocidente (N-S) sofre uma forte influência da agitação marítima dominante e de

elevada energia cinética. O contrário ocorre quando a exposição é meridional (O-E) onde se constata uma baixa energia cinética. Até à foz do rio Sado predominam arribas altas e pequenas praias encastradas. Para sul, desenvolve-se um arco arenoso e contínuo, finalizado na intercalação com as arribas da costa Norte de Sines.

### **3.1.6. Célula 6**

Até ao Cabo de São Vicente, traça-se a célula sedimentar 6, caracterizada por uma costa de arribas altas metamórficas e xistosas do maciço antigo, que estão associadas a praias mais curtas. Por outro lado, também se observam arribas arenosas e areníticas que originam praias mais extensas. Destaca-se Vila Nova de Milfontes pela presença de arribas eolianíticas, que são formações geomorfológicas raras na costa portuguesa (Moreira, 2005). Nesta célula, o rio Mira é o principal fornecedor de sedimentos, e os principais sumidouros são os sistemas dunares de Bordeira, Aljezur, Odeceixe e Vila Nova de Milfontes (Santos *et al.*, 2014a).

### **3.1.7. Célula 7**

A penúltima célula sedimentar, abrange a faixa Cabo S. Vicente - Olhos de Água, que apresenta arribas calcárias em transição para arribas areníticas. Há também a presença de sistemas dunares, lagunares e estuarinos. A fonte de sedimentos provém dos cursos de água e da erosão do litoral, sendo esta uma célula marcada pelo défice sedimentar. Várias intervenções de defesa leve, como as dragagens, foram realizadas em algumas praias, o que permite que estas deixem de ser um sumidouro para o balanço sedimentar. Tanto nesta célula, como na seguinte, a deriva litoral é feita de Oeste para Este.

### **3.1.8. Célula 8**

A última célula estende-se até ao estuário do Rio Guadiana, e dispõe de praias e troços arenosos dispostos em paralelo às ilhas barreira da ria formosa. É a erosão das arribas entre Olhos de Água e o Garrão que providenciam a alimentação de sedimentos, complementarmente com a erosão hídrica. Estes,

são retidos no delta da barra de Faro. A semelhança com a célula anterior, têm sido realizadas dragagens nas praias e reforço nos cordões dunares desta célula, de modo a combater o déficit sedimentar. Em termos de políticas de ordenamento do território, nesta célula sedimentar, ao abrigo do programa Polis, foram demolidas habitações que se encontravam em risco. Muitas localizavam-se nas ilhas barreira, nomeadamente no setor entre a Praia da Ilha de Faro e a Praia da Barrinha, bem como o núcleo urbano da Fuseta (Figura 9).



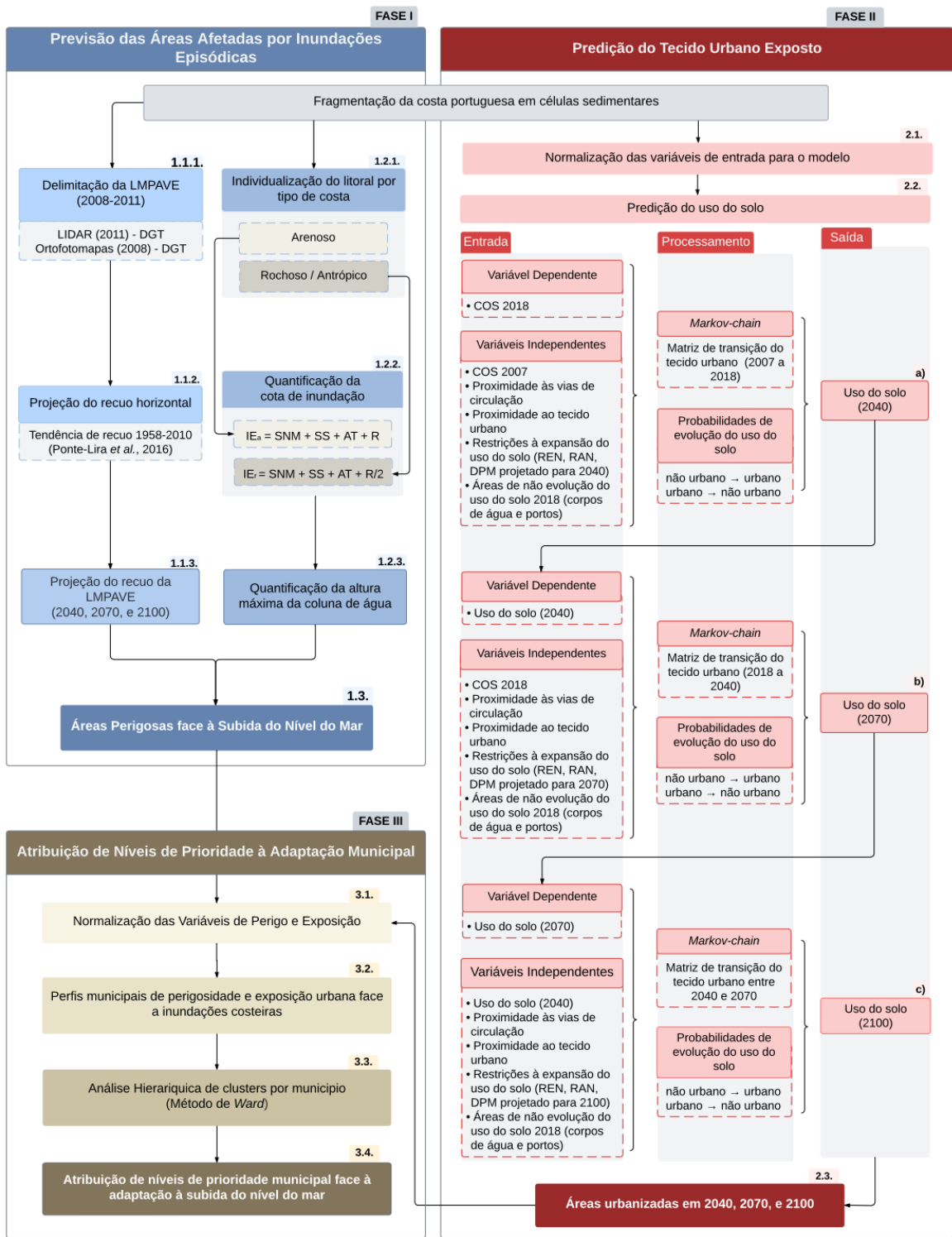
**Figura 9.** Ilha da Fuseta, Algarve. A – Habitações destruídas durante o temporal de 2007 na ilha da Fuseta. (Fonte: <https://ariadaminhaaldeia.blogspot.com/2009/12/pais-casas-de-ferias-destruidas-na.html>); B – Núcleo urbano da ilha da Fuseta, ano de 2003. (Fonte: imagens de satélite do Google Earth); C – Ilha da Fuseta sem edificações, 2023. (Fonte: imagens de satélite do *Google Earth*).

## CAPÍTULO 4 – MÉTODOS E TÉCNICAS

Com o objetivo de enfrentar a complexidade e a urgência associadas tanto ao potencial de subida do nível do mar, como aos seus impactos futuros sobre populações e infraestruturas costeiras, é crucial adotar uma abordagem metodológica que vise identificar não só os locais propícios a serem afetados por eventos perigosos, como também a inter-relação com as mudanças que podem ocorrer no território e deixar a população cada vez mais exposta a estes eventos. Nesse sentido, a presente dissertação apresenta um esquema metodológico que combina 3 metodologias basilares, permitindo assim o mapeamento das áreas futuramente expostas à SNM. A metodologia estabelecida na presente dissertação encontra-se esquematizada na Figura 10. Esta pode dividir-se em três fases metodológicas – I, II e III – que podem ser consultadas nas secções 4.1, 4.2 e 4.3 da presente dissertação.

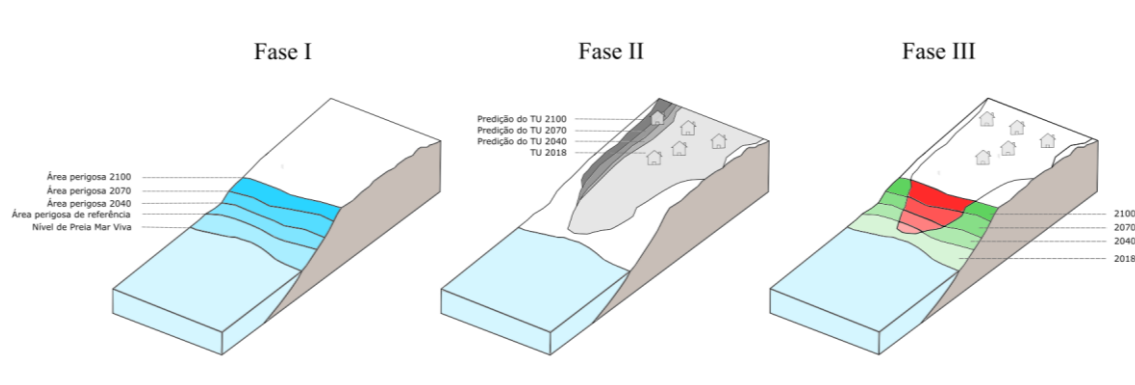
A Fase I (Figura 11) tem como objetivo definir o limite das áreas perigosas propícias a serem afetadas por inundações episódicas, para um cenário de referência que não considera a SNM, e para os horizontes temporais de 2040, 2070 e 2100, que consideram para cada ano três cenários RCP – um mais otimista (RCP2.6), um cenário intermédio (RCP4.5), e por último, um cenário menos conservador (RCP8.5).

A segunda fase metodológica (Fase II, Figura 11) visou a realização da predição da evolução do uso do solo, para os anos em análise, de modo a obter as áreas urbanas que se encontram expostas face à SNM, para os mesmos horizontes temporais. A predição considerou a combinação de variáveis de pré-disposição e de restrição à variação do uso do solo.



**Figura 10.** Esquema metodológico adotado para o desenvolvimento da presente dissertação. Encontra-se esquematizado em três Fases (I, II, e III).

A Fase III (Figura 11) conjuga os resultados da Fase I e II com o propósito de gerar índices municipais de perigosidade e exposição face a inundações e posterior atribuição de níveis de prioridade municipal de adaptação à SNM. Para a atribuição dos níveis de prioridade municipal é utilizada uma análise hierárquica de clusters, através da aplicação do método de *Ward*.



**Figura 11.** Ilustração das três fases metodológicas da presente dissertação. Fase I: Áreas perigosas face a inundações costeiras. Fase II: Predição do tecido urbano pelo modelo *CA-Markov*. Fase III: Áreas perigosas e expostas. Os cenários RCP não foram considerados na imagem. Figura meramente ilustrativa. A sigla TU representa uma abreviação de Tecido Urbano.

## 4.1. Determinação das áreas perigosas face à SNM

A definição de área perigosa face à subida do nível do mar denomina as áreas onde existe a possibilidade de se verificarem inundações episódicas durante a ocorrência de eventos extremos, quer resultantes de galgamentos oceânicos quer de recuo da linha de costa. Estas áreas perigosas correspondem ao território ocupado entre duas linhas, uma que corresponde ao limite onde inicia a área de inundação, e que está mais próxima do oceano, e outra que limita a máxima extensão da inundação, localizando-se para o interior nas áreas emersas junto à linha de costa.

A determinação das áreas perigosas face à SNM pressupõe o desenvolvimento de duas ações que se desenvolvem paralelamente – a projeção do recuo da linha de costa para os horizontes temporais em análise (Figura 10, passos 1.1.1 → 1.1.2. → 1.1.3.) e a quantificação da altura máxima da coluna de água (Figura 10, passos 1.2.1 → 1.2.2. → 1.2.3.). A análise foi realizada ao nível da célula e sub-célula sedimentar, e por isso, a primeira abordagem metodológica realizada, que é intrínseca a todos os processos, consistiu na

subdivisão em função das 8 células sedimentares principais e respectivas sub-células, tal como definido no Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral (Santos *et al.*, 2014a).

#### **4.1.1. Linha máxima de preia mar viva equinocial: presente e tendência evolutiva futura**

Para delimitar a linha que finaliza a ação do mar, e para o qual foi considerada como limite inicial para inundações episódicas costeiras, é preciso identificar o limite máximo atingido pela água do mar e projetar o seu alcance no setor emerso do perfil litoral, seja ele representado por sistemas predominantemente arenosos, rochosos ou fortemente antropizados. Este ocorre durante a preia-mar de águas-vivas equinociais, e o limite pode ser cartografado mediante os critérios biofísicos, definidos na legislação em vigor, para a delimitação da Linha Máxima Preia-mar de Águas-Vivas Equinociais (LMPAVE).

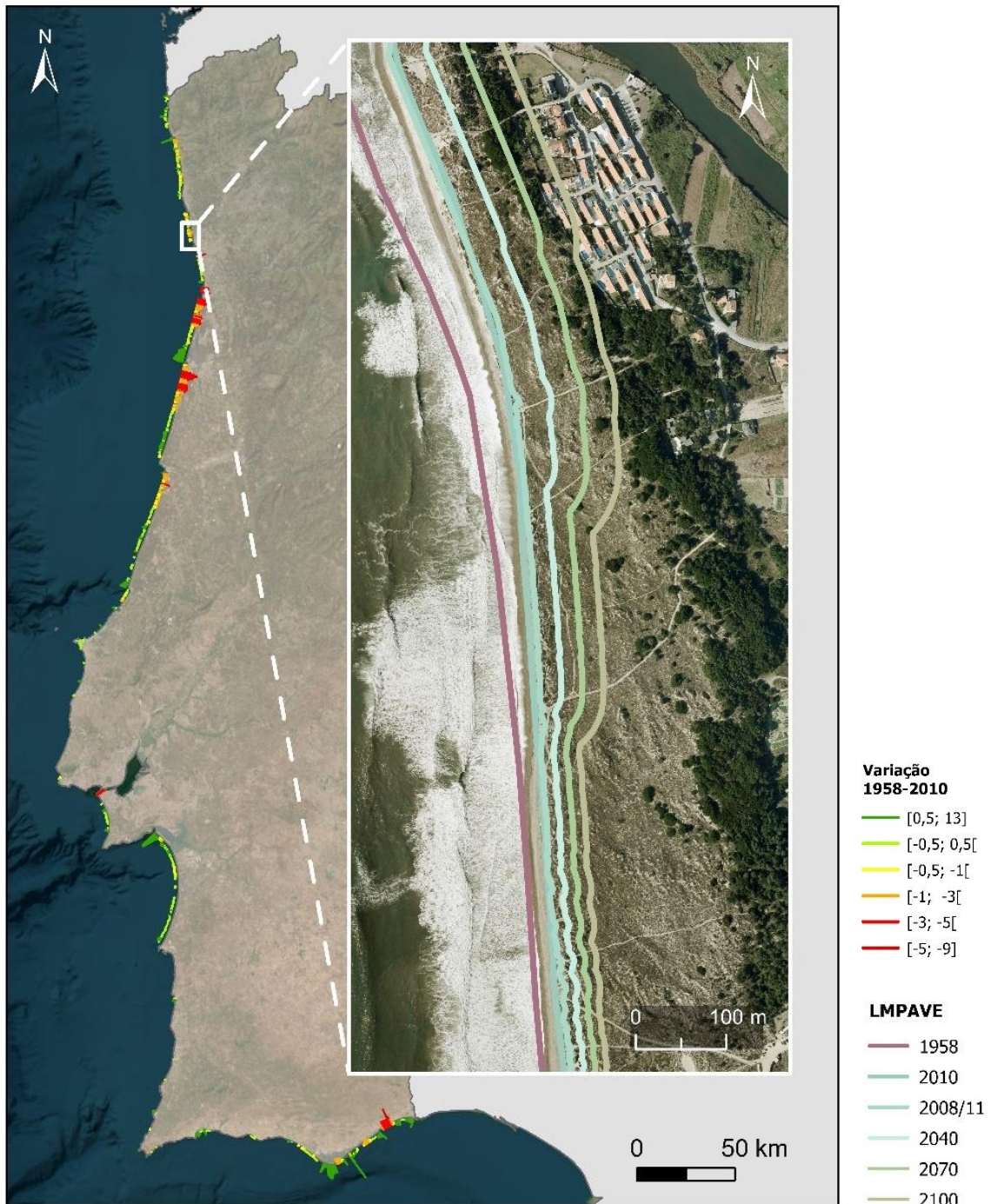
Esta fronteira natural que pode ser identificada no terreno, pelas evidências físicas testemunhadas nos sistemas que interagem com o oceano. Na presente dissertação, a LMPAVE foi delimitada para a totalidade do litoral exposto do território continental português, tendo sido seguidos os critérios biofísicos presentes no despacho n.º 12/2010 da Jurisdição do Instituto da Água.

Neste despacho, a LMPAVE pode ser classificada mediante o tipo de litoral. Para litorais arenosos, a LMPAVE deve ser delimitada pela base da duna, na presença de sistemas dunares, bem como na foz de estuários e de lagoas costeiras. Quando se verificar a destruição dos sistemas dunares, a LMPAVE deve ser delimitada segundo os cordões dunares contíguos. No caso dos litorais rochosos, a delimitação deve acompanhar a base da arriba, sempre que se verificarem arribas alcantiladas. Quando tal não se verificar, a LMPAVE deve seguir as evidências biofísicas que comprovem a distinção do limite de transição. Nos litorais que sofreram intervenções antrópicas, no caso de ser uma praia que sofreu alimentações artificiais, a LMPAVE deve ser delimitada tendo em consideração a longevidade das mesmas. Quando estas são de curta

duração, a LMPAVE segue a morfologia existente anteriormente à recarga da praia, e quando são mais duradouras, a linha é definida pelos limites das intervenções. Em litorais rochosos que contenham intervenções de proteção pesada, como muros de suporte na base da arriba, este deve ser avaliado para entender se tem capacidade para impedir o ataque direto da agitação marítima. Caso tenha, a demarcação da linha que representa a limitação da água do mar é feita na base do muro de suporte. Quando se verificam obras de reperfilamento nas arribas, a LMPAVE define-se na crista do novo alcantil.

Os dados de base utilizados para a delimitação da LMPAVE (Figura 10, passo 1.1.1.) foram os ortofotomapas digitais do ano de 2010, com resolução espacial de 50 cm, disponibilizados pela DGT, uma vez que estes incluem a totalidade da extensão continental da costa portuguesa. Como material auxiliar, foi utilizado o MDT, gerado partir do voo LiDAR de 2011, também disponibilizado para a totalidade da costa portuguesa, e com resolução espacial de 1 m. A combinação destes dois dados foi importante na definição da LMPAVE, tendo-se verificado que, na maioria dos setores do litoral, esta tende a seguir uma altitude ortométrica de 4 a 6 m.

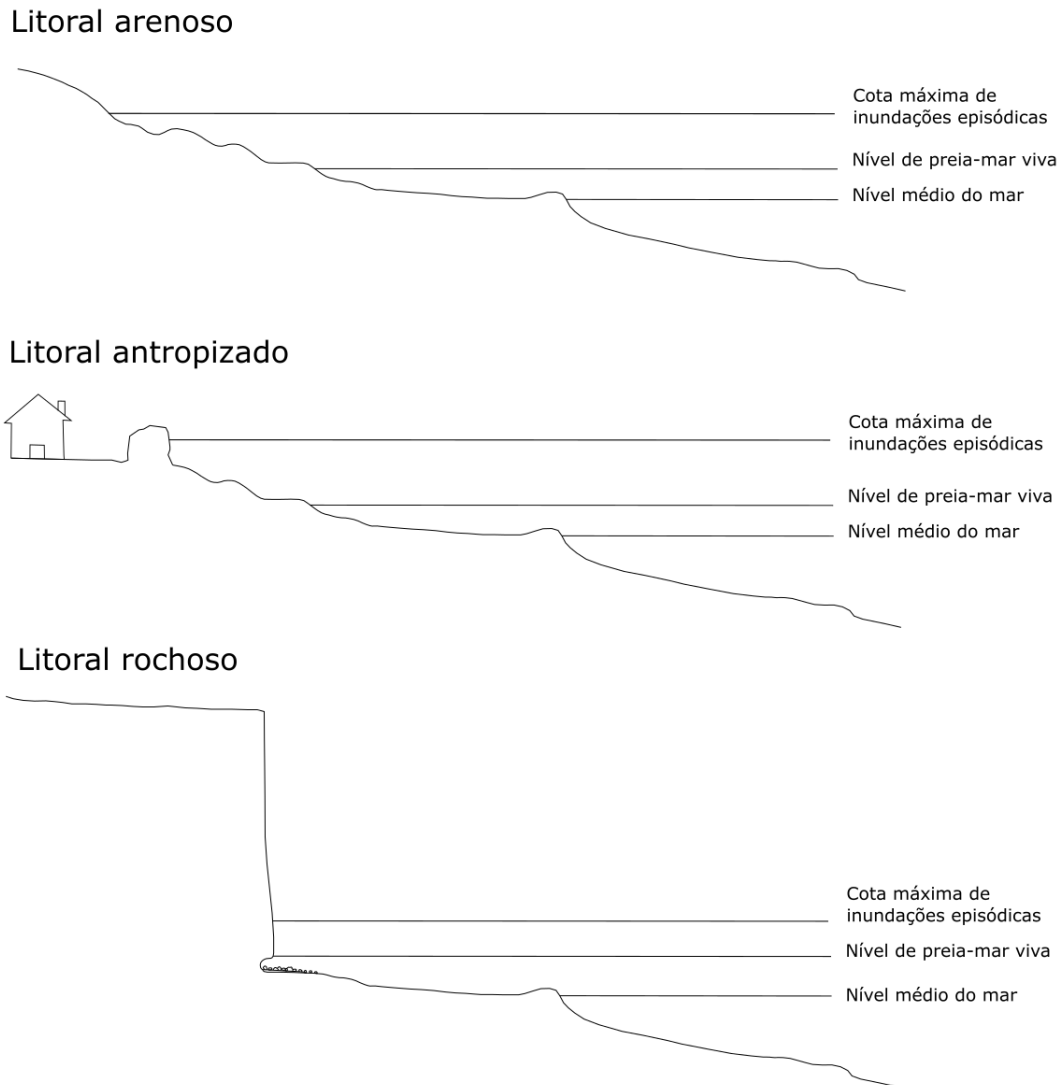
Uma vez que a linha de costa é dinâmica e sofre alterações ao longo dos anos, espera-se que no futuro, a sua posição possa ser diferente da atual. Nesse sentido, projetou-se o recuo horizontal da Linha Máxima de Preia-Mar das Águas-Vivas Equinociais (Figura 10, passo 1.1.2.), para 2040, 2070 e 2100, com base na tendência linear obtida através das projeções de recuo médio anual para a costa portuguesa num período histórico de 52 anos de análise (Ponte-Lira *et al.*, 2016) (Figura 12). Todas as áreas identificadas com erosão costeira foram selecionadas para a realização da projeção do recuo horizontal da LMPAVE (*buffer* aplicado para a parte continental), com a multiplicação da respetiva taxa de recuo anual para 30, 60 e 90 anos. Nos locais de estabilidade e acreção, foi mantido o traçado da LMPAVE equivalente aos anos 2008/2011 (referentes aos dados de base do ortofotomapa e do MDT, ambos disponibilizados pela DGT), e desta forma gerada a projeção de recuo da linha de costa para os anos de 2040, 2070 e 2100 (Figura 10, passo 1.1.3.).



**Figura 12.** Variação da LMPAVE, no período 1958-2010, em Portugal continental. Fonte: Ponte-Lira *et al.*, 2016. Legenda adaptada de Luijendijk *et al.*, 2018. A secção mapeada com detalhe, corresponde à Urbanização Foz do Neiva (Esposende), localizada junto à praia das Antas. A cartografia refere-se à delimitação da LMPAVE realizada por Ponte-Lira *et al.*, 2016, para os anos de 1958 e 2010; a LMPAVE delimitada no âmbito da presente dissertação (2008/11); e as projeções horizontais realizadas para 30, 60 e 90 anos, para os anos de 2040, 2070 e 2100, respetivamente.

#### **4.4.2. Cálculo da altura máxima da coluna de água durante eventos de tempestade**

Simultaneamente, foi determinado o nível máximo da água durante eventos de tempestade, para as diversas células sedimentares de Portugal continental. O limite interior das áreas perigosas face à subida do nível do mar, corresponde, neste estudo, ao máximo de amplitude que pode ser verificada pela inundação costeira (Figura 13), para um cenário de referência (2018), bem como para os anos de 2040, 2070 e 2100, para os cenários RCP2.6, RCP4.5, RCP8.5 (Trindade *et al.*, 2023). Este limite foi calculado ao nível da célula sedimentar, tendo o litoral foi, assim, compartimentado em 10 setores, referidos na secção 3.2. e presentes na Figura 8. Além disso, foi também considerada o tipo de litoral, tendo o mesmo sido dividido em litoral arenoso e litoral rochoso e antrópico (Figura 10, passo 1.2.1.).



**Figura 13.** Ilustrativa dos limites correspondentes às áreas de inundação.

A altura da máxima da coluna de água foi calculada com recurso a 4 variáveis: a subida do nível médio do mar (SNMM); o *storm surge* (SS), a maré astronómica (AT) e o *run-up* (R) (Figura 10, passo 1.2.2). No cenário de referência (2018), não foi considerado nenhum valor de SNMM. Os valores da altura máxima da coluna de água variam numericamente ao nível da célula sedimentar e dentro da própria célula, podem variar mediante o tipo de litoral: arenoso, e rochoso e antrópico. Sendo a cota máxima da inundação episódica do litoral arenoso ( $IE_a$ ) obtida com a equação 1:

$$IE_a = SNMM + SS + AT + R \quad (1)$$

Para o litoral rochoso e antrópico, apenas é considerado 50% do *run-up*, uma vez que, de acordo com Dodet *et al.* (2018), a influência do espraio da onda é de 50 % inferior neste tipo de litoral. A equação 2 exprime a forma de obtenção da inundação episódica para estas áreas.

$$IE_r = SNMM + SS + AT + R/2 \quad (2)$$

Para cada célula sedimentar, foi atribuído o valor máximo de maré e *storm surge*, mediante aproximação geográfica, tendo sido os marégrafos de Vigo e Viana do Castelo usados para as células 1, 2 e 3; o marégrafo de Cascais para as células 4, 5 e 6; e o marégrafo de Lagos para as restantes (C7 e C8). Os valores relativos ao máximo de maré foram adquiridos com recurso a dados provenientes dos marégrafos de Viana do Castelo (Antunes, 2007), Cascais (Antunes, 2013) e Lagos (Antunes, 2007), e os dados de *storm surge* foram provenientes dos marégrafos de Vigo, Cascais e Lagos (Tadesse *et al.*, 2021).

Os valores de *run-up* foram obtidos a partir de literatura científica, sendo que o valor relativo às sub-células 1a e 1b, bem como às células 7 e 8 foram extrapolados por proximidade geográfica das células III-a e IV-a de Espanha (Ministerio de Medio Ambiente - Dirección General de Costas, n.d). Para a sub-célula 1c e célula 2, foi considerado o valor em relatório no Programa de Orla Costeira Ovar – Marinha Grande (Agência Portuguesa do Ambiente, 2016). Para a terceira célula sedimentar, considerou-se Hermínio & Taborda (2015), e para a célula seguinte, Silva *et al.* (2013), com extrapolação para as células 5 e 6, por proximidade geográfica.

A subida esperada do nível do mar aplicada a estes cenários foi recolhida no modelo global “NASA Sea Level Change Portal”, em conformidade com o sexto relatório do IPCC (Fox-Kemper *et al.*, 2021; Garner *et al.*, 2021), para os anos e cenários em estudo, e para cada uma das células sedimentares, de forma individual. Na tabela 1, pode observar-se que os valores de subida prevista do nível do mar diferem entre as células sedimentares, sendo superiores nas células mais a sul, face às restantes, verifica-se a maior amplitude de valores entre a célula 1 e as células 7 e 8.

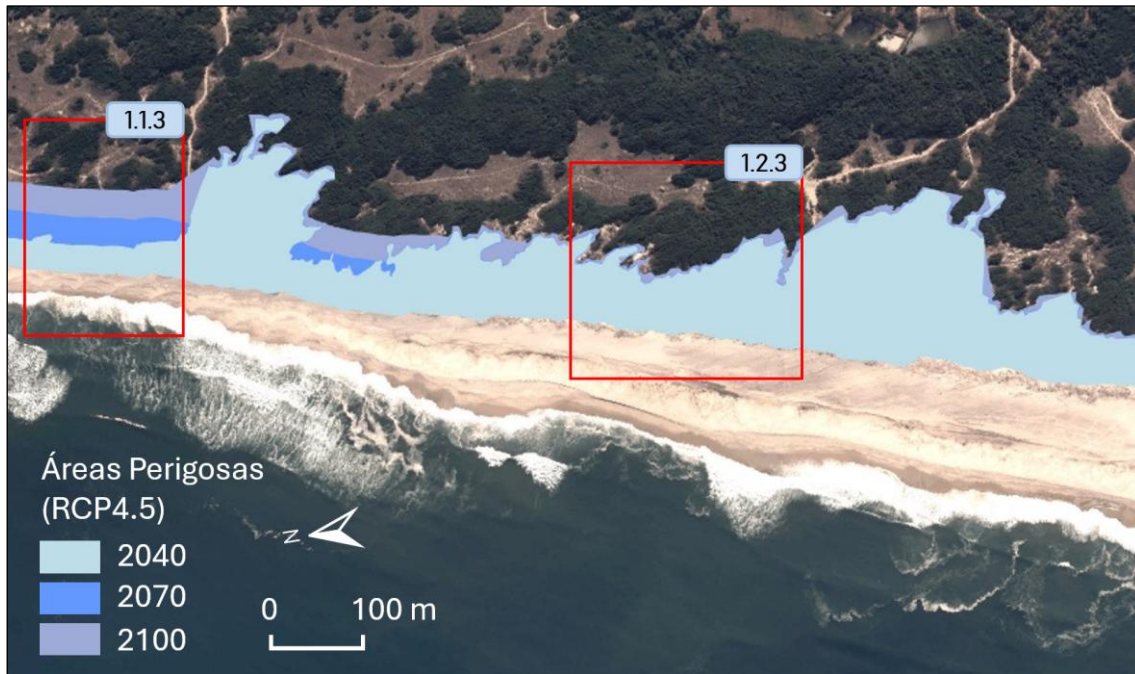
**Tabela 1.** Valores de SNM previstos por célula sedimentar, segundo as projeções da NASA/IPCC, para os anos de 2040, 2070 e 2100. Valores correspondentes à cota de inundação para o litoral arenoso (LA), e para o litoral rochoso/antrópico (LRA). Valores em metros.

Células Sedimentares	Variáveis	RCP 2.6			RCP 4.5			RCP 8.5		
		2040	2070	2100	2040	2070	2100	2040	2070	2100
Sub-Célula 1.a	Subida do nível do mar	0,14	0,30	0,43	0,16	0,34	0,55	0,16	0,41	0,74
	Cota de Inundação (LA)	10,20	10,60	10,90	10,20	10,60	10,90	10,20	10,60	10,90
	Cota de Inundação (LRA)	7,48	7,68	7,83	7,48	7,68	7,83	7,48	7,68	7,83
Total	Litoral arenoso	<b>10,34</b>	<b>10,90</b>	<b>11,33</b>	<b>10,36</b>	<b>10,94</b>	<b>11,45</b>	<b>10,36</b>	<b>11,01</b>	<b>11,64</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>7,62</b>	<b>7,78</b>	<b>7,91</b>	<b>7,64</b>	<b>7,82</b>	<b>8,03</b>	<b>7,64</b>	<b>7,89</b>	<b>8,22</b>
Sub-Célula 1.b	Subida do nível do mar	0,14	0,30	0,43	0,16	0,34	0,55	0,16	0,40	0,74
	Cota de Inundação (LA)	10,20	10,60	10,90	10,20	10,60	10,90	10,20	10,60	10,90
	Cota de Inundação (LRA)	7,48	7,68	7,83	7,48	7,68	7,83	7,48	7,68	7,83
Total	Litoral arenoso	<b>10,34</b>	<b>10,90</b>	<b>11,33</b>	<b>10,36</b>	<b>10,94</b>	<b>11,45</b>	<b>10,36</b>	<b>11,00</b>	<b>11,64</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>7,62</b>	<b>7,78</b>	<b>7,91</b>	<b>7,64</b>	<b>7,82</b>	<b>8,03</b>	<b>7,64</b>	<b>7,88</b>	<b>8,22</b>
Sub-Célula 1.c	Subida do nível do mar	0,15	0,33	0,47	0,17	0,37	0,59	0,17	0,42	0,78
	Cota de Inundação (LA)	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20
	Cota de Inundação (LRA)	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48
Total	Litoral arenoso	<b>8,35</b>	<b>8,53</b>	<b>8,67</b>	<b>8,37</b>	<b>8,57</b>	<b>8,79</b>	<b>8,37</b>	<b>8,62</b>	<b>8,98</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>6,63</b>	<b>6,81</b>	<b>6,95</b>	<b>6,65</b>	<b>6,85</b>	<b>7,07</b>	<b>6,65</b>	<b>6,90</b>	<b>7,26</b>
Célula 2	Subida do nível do mar	0,16	0,33	0,47	0,16	0,37	0,59	0,18	0,43	0,79
	Cota de Inundação (LA)	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20	8,20
	Cota de Inundação (LRA)	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48
Total	Litoral arenoso	<b>8,36</b>	<b>8,53</b>	<b>8,67</b>	<b>8,36</b>	<b>8,57</b>	<b>8,79</b>	<b>8,38</b>	<b>8,63</b>	<b>8,99</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>6,64</b>	<b>6,81</b>	<b>6,95</b>	<b>6,64</b>	<b>6,85</b>	<b>7,07</b>	<b>6,66</b>	<b>6,91</b>	<b>7,27</b>
Célula 3	Subida do nível do mar	0,16	0,34	0,48	0,17	0,38	0,60	0,18	0,44	0,80
	Cota de Inundação (LA)	10,90	12,90	14,20	10,90	12,90	14,20	10,90	12,90	14,20
	Cota de Inundação (LRA)	7,83	8,83	9,48	7,83	8,83	9,48	7,83	8,83	9,48
Total	Litoral arenoso	<b>11,06</b>	<b>13,24</b>	<b>14,68</b>	<b>11,07</b>	<b>13,28</b>	<b>14,80</b>	<b>11,08</b>	<b>13,34</b>	<b>15,00</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>7,99</b>	<b>8,17</b>	<b>8,31</b>	<b>8,00</b>	<b>8,21</b>	<b>8,43</b>	<b>8,01</b>	<b>8,27</b>	<b>8,63</b>
Célula 4	Subida do nível do mar	0,16	0,34	0,48	0,17	0,38	0,60	0,18	0,44	0,80
	Cota de Inundação (LA)	8,00	8,50	9,00	8,00	8,50	9,00	8,00	8,50	9,00
	Cota de Inundação (LRA)	6,33	6,58	6,83	6,33	6,58	6,83	6,33	6,58	6,83
Total	Litoral arenoso	<b>8,16</b>	<b>8,84</b>	<b>9,48</b>	<b>8,17</b>	<b>8,88</b>	<b>9,60</b>	<b>8,18</b>	<b>8,94</b>	<b>9,80</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>6,49</b>	<b>6,67</b>	<b>6,81</b>	<b>6,50</b>	<b>6,71</b>	<b>6,93</b>	<b>6,51</b>	<b>6,77</b>	<b>7,13</b>
Célula 5	Subida do nível do mar	0,16	0,34	0,48	0,17	0,38	0,60	0,18	0,44	0,80
	Cota de Inundação (LA)	8,00	8,50	9,00	8,00	8,50	9,00	8,00	8,50	9,00
	Cota de Inundação (LRA)	6,33	6,58	6,83	6,33	6,58	6,83	6,33	6,58	6,83
Total	Litoral arenoso	<b>8,16</b>	<b>8,84</b>	<b>9,48</b>	<b>8,17</b>	<b>8,88</b>	<b>9,60</b>	<b>8,18</b>	<b>8,94</b>	<b>9,80</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>6,49</b>	<b>6,67</b>	<b>6,81</b>	<b>6,50</b>	<b>6,71</b>	<b>6,93</b>	<b>6,51</b>	<b>6,77</b>	<b>7,13</b>
Célula 6	Subida do nível do mar	0,16	0,33	0,48	0,17	0,38	0,60	0,18	0,44	0,80
	Cota de Inundação (LA)	8,00	8,50	9,00	8,00	8,50	9,00	8,00	8,50	9,00
	Cota de Inundação (LRA)	6,33	6,58	6,83	6,33	6,58	6,83	6,33	6,58	6,83
Total	Litoral arenoso	<b>8,16</b>	<b>8,83</b>	<b>9,48</b>	<b>8,17</b>	<b>8,88</b>	<b>9,60</b>	<b>8,18</b>	<b>8,94</b>	<b>9,80</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>6,49</b>	<b>6,67</b>	<b>6,81</b>	<b>6,50</b>	<b>6,71</b>	<b>6,93</b>	<b>6,51</b>	<b>6,77</b>	<b>7,13</b>
Célula 7	Subida do nível do mar	0,16	0,33	0,48	0,17	0,38	0,60	0,18	0,43	0,80
	Cota de Inundação (LA)	6,70	7,20	7,50	6,70	7,20	7,50	6,70	7,20	7,50
	Cota de Inundação (LRA)	5,66	5,91	6,06	5,66	5,91	6,06	5,66	5,91	6,06
Total	Litoral arenoso	<b>6,86</b>	<b>7,53</b>	<b>7,98</b>	<b>6,87</b>	<b>7,58</b>	<b>8,10</b>	<b>6,88</b>	<b>7,63</b>	<b>8,30</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>5,82</b>	<b>5,99</b>	<b>6,14</b>	<b>5,83</b>	<b>6,04</b>	<b>6,26</b>	<b>5,84</b>	<b>6,09</b>	<b>6,46</b>
Célula 8	Subida do nível do mar	0,16	0,33	0,48	0,17	0,38	0,60	0,18	0,44	0,81
	Cota de Inundação (LA)	6,70	7,20	7,50	6,70	7,20	7,50	6,70	7,20	7,50
	Cota de Inundação (LRA)	5,66	5,91	6,06	5,66	5,91	6,06	5,66	5,91	6,06
Total	Litoral arenoso	<b>6,86</b>	<b>7,53</b>	<b>7,98</b>	<b>6,87</b>	<b>7,58</b>	<b>8,10</b>	<b>6,88</b>	<b>7,64</b>	<b>8,31</b>
	Litoral rochoso/antrópico	<b>5,82</b>	<b>5,99</b>	<b>6,14</b>	<b>5,83</b>	<b>6,04</b>	<b>6,26</b>	<b>5,84</b>	<b>6,10</b>	<b>6,47</b>

A combinação das variáveis mencionadas permite a quantificação da altura máxima da coluna de água projetada (Figura 10, passo 1.2.3.), quer para o cenário de referência, quer para os três distintos cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5), e para três horizontes temporais, que se encontra expressa na Tabela 1.

Desta forma, a área perigosa considerada na presente dissertação corresponde à área entre a LMPAVE 2008/11 e a linha mais interior, podendo ser correspondente à linha do recuo horizontal projetado para os anos em análise (Figura 10, Etapa 1.1.3; Figura 14, Caixa 1.1.3), ou à cota máxima de inundação resultante do somatório da altura da coluna de água (Figura 10, Etapa 1.2.3; Figura 14, Caixa 1.2.3). Foi adotada esta metodologia, uma vez que este trabalho

pretende analisar a componente dos riscos no território, considerando por precaução o pior cenário possível. Os resultados da quantificação final, por ano e cenário, para a costa continental portuguesa, podem ser consultados na secção 5.1 da presente dissertação.



**Figura 14.** Representação da área perigosa em Torreira (município de Murtosa). Caixa 1.1.3, correspondente à Etapa 1.1.3 da Figura 10, onde se pode verificar que a área perigosa se deve à área correspondente ao recuo horizontal associado à erosão costeira. Caixa 1.2.3, correspondente à Etapa 1.2.3 da Figura 10, onde a área perigosa se deve à área associada à inundação, em resultado da quantificação da altura da coluna de água.

## 4.2. Predição da evolução do tecido urbano do solo

A segunda componente metodológica tem um foco no ordenamento do território, e o principal objetivo é prever para os anos em estudo, a evolução do uso e ocupação do solo. Em particular, o que se pretende analisar nesta componente é a predição da área de tecido urbano e de tecido não urbano para o futuro. Deste modo será possível identificar quais as áreas urbanas que estarão expostas aos riscos costeiros, para os anos em análise.

Existem vários modelos capazes de realizar simulações de uso de solo: modelos matemáticos (lineares e estatísticos), modelos de sistemas (*stocks & flows*), modelos estatísticos (regressão), modelos evolucionários (*neural network*), e *agent-based models*. No desenvolvimento desta dissertação foi

usado um modelo híbrido, que combina modelos celulares: CA (*Celular Automata*) e modelo de *Markov*.

A noção de autómatos celulares, introduzida por Neumann em 1950, representa uma ferramenta matemática simples, frequentemente aplicada a sistemas complexos. Embora não se restrinja somente a cinco características genéricas, os autómatos celulares tem um conjunto de propriedades fundamentais: 1) grelha discreta de células com o substrato do sistema a variar entre uma a três dimensões, organizado numa grelha discreta de células; 2) Homogeneidade, onde todas as células são equivalentes, promovendo uma uniformidade no sistema; 3) Iterações locais, em que cada célula atualiza seu estado com base nas informações das células vizinhas, gerando uma dinâmica local interativa; 4) Estádios discretos, onde cada célula tem um numero finito de estádios discretos, definindo uma gama limitada de possíveis comportamentos; e 5) dinâmicas discretas de tempo, em que as atualizações de estado das células ocorrem em Etapas discretas de tempo, determinadas pelas interações locais e pela estrutura discreta da grelha de células (Ilachinski, 2001). A sua conjugação torna o modelo *CA-Markov* benéfico, por combinar dos benefícios de ambos os modelos, eliminando significativamente as desvantagens individuais de cada um. A maior desvantagem que era considerada no modelo de *Markov* era que este assumia uma dificuldade de previsão da espacialidade das mudanças de uso do solo. O modelo *CA-Markov* resulta da combinação de dois modelos, onde a conjugação de ambos consegue mitigar algumas desvantagens da sua utilização individual.

Para a realização das predições de evolução do tecido urbano do solo foi utilizado um conjunto de variáveis, expresso na tabela 2.

**Tabela 2.** Variáveis utilizadas para a predição do tecido urbano para os anos de 2040, 2070 e 2100. A tabela expressa a denominação do dado (dados), o tipo de dado (tipo), o ano ao qual o dado é referente (ano), o tipo de variável (variável) e a resolução espacial do pixel (pixel).

Dados	Tipo	Anos	Valor	Variável	Resolução
<b>Carta de Uso e Ocupação do Solo</b>	Qualitativo	2007 e 2018	Binário	Variável dependente	5 m
<b>Domínio Público Marítimo</b>	Qualitativo	2011, 2040 e 2070	Binário	Variável independente	5 m

<b>Massas de água</b>	Qualitativo	2018	Binário	Variável independente	5 m
<b>Áreas Portuárias</b>	Qualitativo	2018	Binário	Variável independente	5 m
<b>Proximidade ao tecido urbano</b>	Quantitativo	2018, 2040 e 2070	Real	Variável independente	5 m
<b>Proximidade às Vias</b>	Quantitativo	2021	Real	Variável independente	5 m
<b>Reserva Agrícola Nacional</b>	Qualitativo	2024	Binário	Variável independente	5 m
<b>Reserva Ecológica Nacional</b>	Qualitativo	2024	Binário	Variável independente	5 m
<b>Áreas de tecido urbano</b>	Qualitativo	2040 e 2070	Binário	Variável dependente	5 m

Todas as variáveis introduzidas no modelo CA-Markov foram previamente transformadas para que ficassem padronizadas (Figura 10, passo 2.1) num intervalo numérico compreendido entre os valores 0 e 1, uma vez que este é um modelo probabilístico, e exige a variação de *pixel* nessa rampa de valores.

Relativamente às variáveis de uso do solo, nomeadamente as cartas de uso do solo, estas foram transformadas em tipo binário, onde 0 representa as áreas não urbanas, e 1 representa todas as áreas urbanas. No caso da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS), foi considerado como tecido urbano todas as subclasses da legenda principal "áreas artificializadas", que está em conformidade tanto para o ano de 2007 como para o ano de 2018, sendo estas as cartas mais antiga e mais recente, possibilitando uma amostragem de 11 anos de variação do uso do solo validado para Portugal.

As massas de água e as áreas portuárias são variáveis também provenientes da COS de 2018. Estas duas variáveis foram selecionadas considerando que nas estruturas portuárias e de defesa do litoral não haveria alteração do tecido urbano do solo, prevendo que estas perdurem independentemente da evolução do uso do solo em seu redor (Figura 10, passo 2.2.). Seria errado considerar estas áreas de forma igual ao restante tecido urbano, uma vez que são infraestruturas previstas para longo termo. Também as massas de água foram consideradas como áreas sem evolução, uma vez que

o modelo apenas distingue entre áreas urbanas e não urbanas. A possibilidade de construção sobre estes locais seria incoerente, não se colocando essa hipótese no cenário atual.

Relativamente ao tecido urbano proveniente da COS de 2018, foi realizada a distância euclidiana, que traduz a distância a que determinado *pixel* se encontra em relação a uma área urbana, sendo esta posteriormente normalizada para o intervalo 0 a 1, onde 1 significa uma maior proximidade ao tecido urbano e 0 significa o local mais afastado possível do tecido urbano para a célula sedimentar em questão. Foi realizada esta abordagem, uma vez que do ponto de vista civilizacional e populacional, existe a tendência de construção de urbanizações e fixação da população na proximidade a áreas previamente urbanizadas. É também nestas áreas que é comercializado maior número de terrenos que transitam de rural a urbano. Seguindo a mesma lógica probabilística para as vias de ligação (como estradas e ruas), foi realizada a mesma análise de proximidade e a mesma normalização para cada uma das células sedimentares. Ao contrário dos dados anteriores que eram binários, e ou eram 1 ou eram 0, estes são dados qualitativos que variam numa escala de 0 a 1, podendo os pixels intermédios assumir distintos valores nesta rampa de possibilidades.

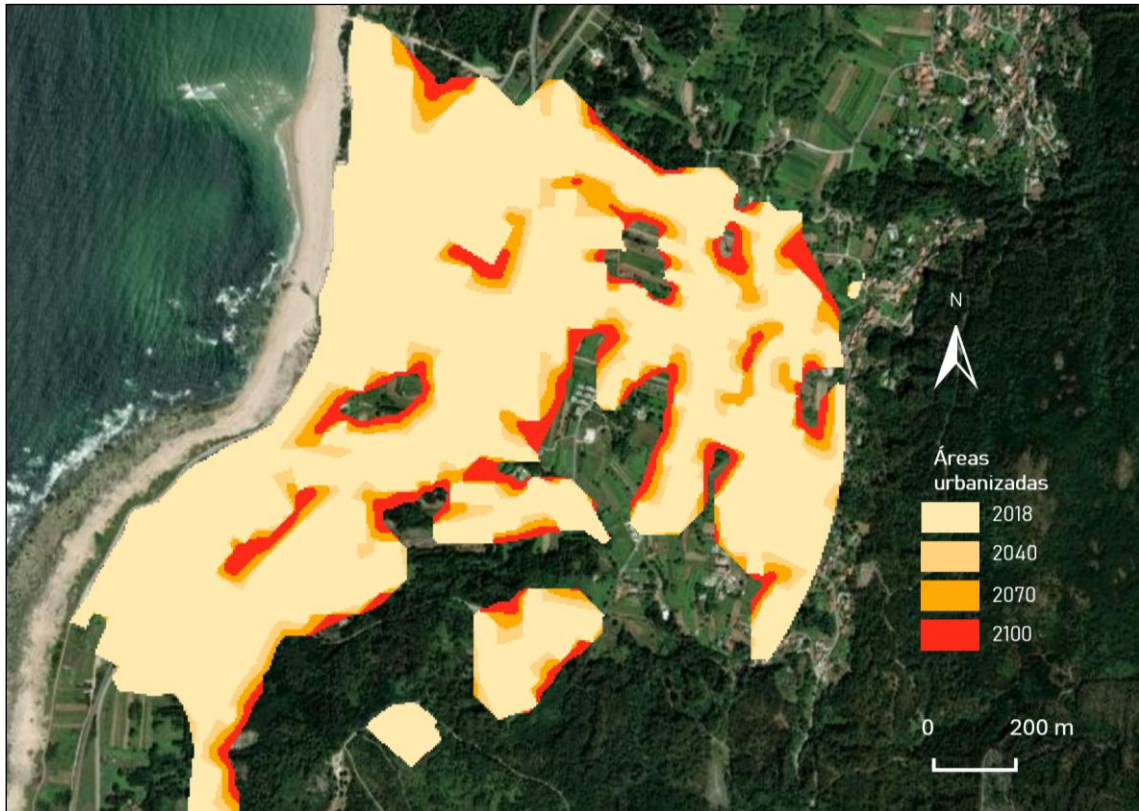
Relativamente às variáveis Domínio Público Marítimo, Reserva Agrícola Nacional e Reserva Ecológica Nacional, também entram como variáveis de restrição para o modelo (Figura 10, passo 2.2.). A primeira é obtida mediante a projeção da margem de 50 m após a LMPAVE cartografada. A RAN foi disponibilizada pela Direção-Geral de Agricultura e Desenvolvimento Rural, e a REN pela DGT. No entanto, é de notar que os municípios do Porto, Óbidos, Setúbal, Vila do Bispo, Albufeira, Loulé e Vila Real de Santo António não têm a vectorização da RAN, e que os municípios de Vila do Conde, Marinha Grande, Alcobaça, Nazaré, Peniche, Sesimbra, Setúbal, Portimão e Sines não têm a vectorização da REN.

É ainda de notar que, numa primeira abordagem, foi considerado um MDT, de modo a ser introduzido como variável para o uso do solo. Esta dispunha da resolução mínima de 10 m. No entanto, esta variável não foi considerada numa

abordagem mais avançada, por se ter concluído de antemão que não expressava significado em termos da sua dinâmica na área em estudo, por ser uma área de baixos declives na sua generalidade, que compreende as primeiras centenas de metros após a linha de costa. Para além disso, o uso do MDT exigia uma eficiência computacional muito superior ao disponível para a realização da presente dissertação.

Após posterior tratamento, as variáveis foram introduzidas no modelo para obtenção da predição do uso do solo para os horizontes temporais de 2040 (Figura 10, Etapa 2.2.a.), 2070 (Figura 10, Etapa 2.2.b.), e 2100 (Figura 10, Etapa 2.2.c.). Entre as variáveis de entrada, alterou a variável dependente utilizada, de modo que o modelo considerasse para os anos futuros as próprias dinâmicas que já tinha previsto nos anos intermédios. No processamento, foi realizada uma matriz de transição, onde foram identificados os *pixéis* de transição entre o ano da variável dependente e o tecido artificial anterior ao mesmo (2007, 2018 e 2040 para as alíneas a, b e c da Etapa 2.2., respetivamente). Com base nestas áreas de transição (Anexo 1), foram calculadas as probabilidades de transição do uso do solo para cada uma das células sedimentares (Tabela 2 dos anexos). A variável de saída é a predição do uso do solo para os anos de 2040, 2070 e 2100 (Figura 10, Etapa 2.2., alínea a, b e c, respetivamente). Sendo que, as duas primeiras variáveis de saída entram como variáveis dependentes de entrada no passo imediatamente seguinte (alínea b para o uso do solo de 2040; e alínea c para o uso do solo de 2070).

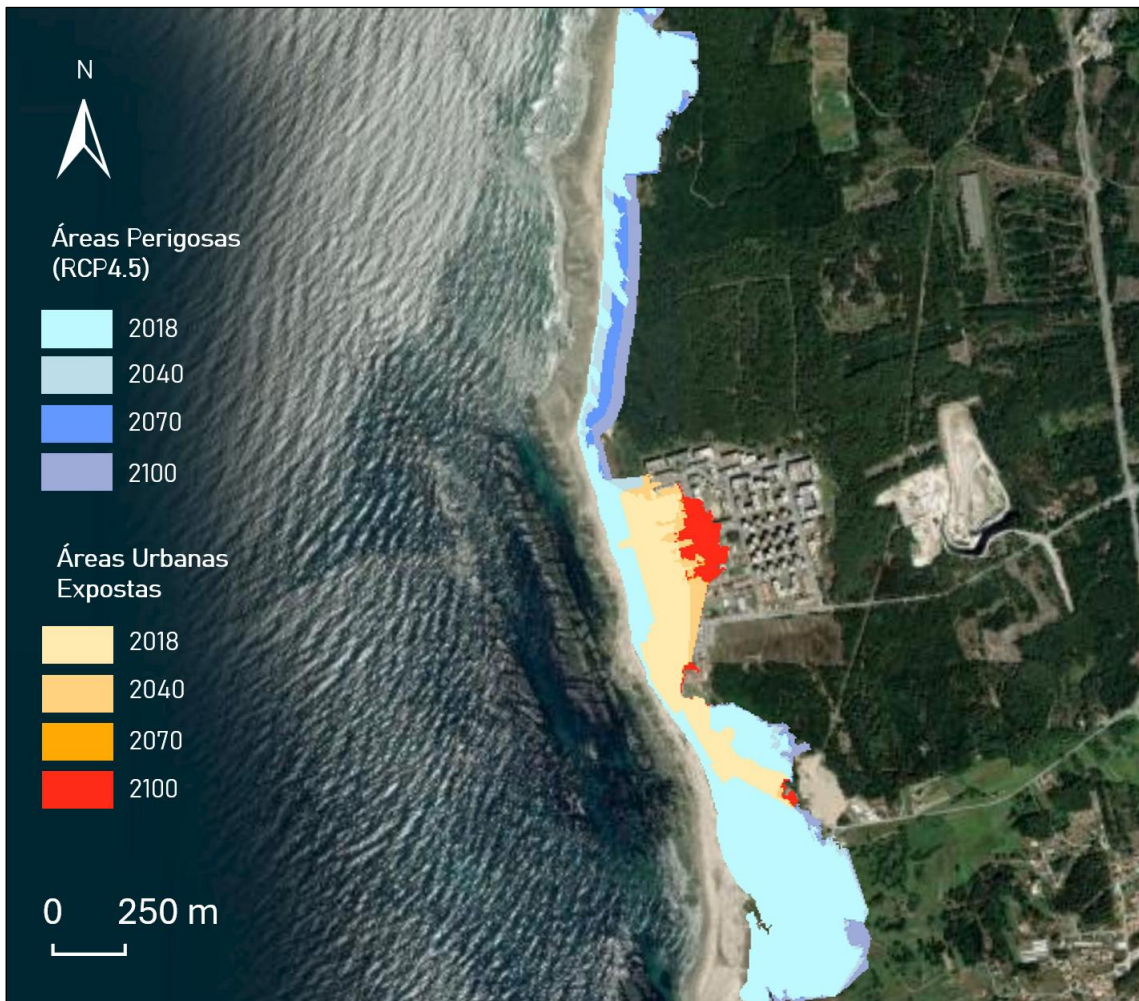
A projeção do tecido urbano foi realizada com recurso ao *software* IDRISI, e baseada nas probabilidades do modelo *CA-Markov* (Figura 15). As predições foram realizadas ao nível da célula sedimentar, para que tivessem em consideração uma ampla escala de perceção das dinâmicas passadas de uso do solo. A largura da área analisada corresponde à área de inundação episódica para o cenário RCP8.5 do ano de 2100, com o acréscimo de 1 km após o limite mais interior. Os resultados da quantificação final, por ano, para a costa continental portuguesa, podem ser consultados na secção 5.1 do presente documento.



**Figura 15.** Exemplo de predição da evolução do uso do solo até ao fim do século, utilizando o modelo de *CA-Markov*. Moledo (município de Caminha).

### 4.3. Atribuição de Níveis de Prioridade à Adaptação Municipal

A Fase III visa a atribuição de níveis de prioridade municipal de adaptação à SNM, considerando a perigosidade municipal face à SNM (Figura 10, Etapa 1.3) e a exposição urbana face às inundações episódicas costeiras. Desta forma, foram normalizadas as variáveis obtidas na fase I e na fase II (Figura 10, Etapa 3.1; Figura 16), de modo a obter o índice de perigosidade e exposição municipal face a estes eventos perigosos (Figura 10, Etapa 3.2; resultados na secção 5.2.). Posteriormente, foi realizada uma classificação hierárquica de clusters através da aplicação do método de *Ward* e distância euclidiana.



**Figura 16.** Áreas e áreas urbanas expostas em Amorosa (município de Viana do Castelo).

Para os municípios do litoral exposto da costa continental portuguesa (50 municípios), foi realizada uma análise individual por cenário RCP, para a perigosidade e para a exposição. Desta forma, foram gerados seis ficheiros, que contêm os valores mais atuais e as previsões para 2040, 2070 e 2100 por município. Destes 6 ficheiros, três correspondem aos 3 cenários RCP para a variável perigosidade, e os restantes três correspondem aos cenários RCP2.6, 4.5 e 8.5, para a variável exposição. Estes valores foram assim normalizados por cenário RCP (Figura 10, Etapa 3.1.), A normalização foi realizada através do método min-máx, representado na equação 3, que padroniza as variáveis numa escala que varia entre valores de 0 e 1:

$$Y_{in} = \frac{X_{in} - \min(X_{in})}{\max(X_{in}) - \min(X_{in})} \quad (3)$$

Onde  $Y_{in}$  expressa o indicador normalizado que se pretende obter com os dados iniciais;  $X_{in}$  representa o conjunto de dados inicial;  $\min(X_{in})$  e  $\max(X_{in})$

representa o valor mínimo e máximo presente no conjunto de dados inicial, respetivamente. O resultado obtido nesta normalização expressa que os valores iniciais variam numa escala de 0 a 1, onde cada município apresenta um valor de perigosidade a inundações e um valor de exposição urbana intermediária, à exceção do município com menor área (quer perigosa, quer exposta) no ano de referência, que é detentor do valor 0, e o município com maior área (quer para a perigosidade, quer para a exposição, no ano de 2100, que é representado com o valor 1, por ser o valor máximo na distribuição numérica.

Após a normalização das variáveis relativas quer às áreas perigosas, quer às áreas urbanas expostas, foram atribuídos os índices de perigosidade e de exposição municipal (Figura 10, Etapa 3.2.), que podem ser consultados na secção 5.2 da presente dissertação.

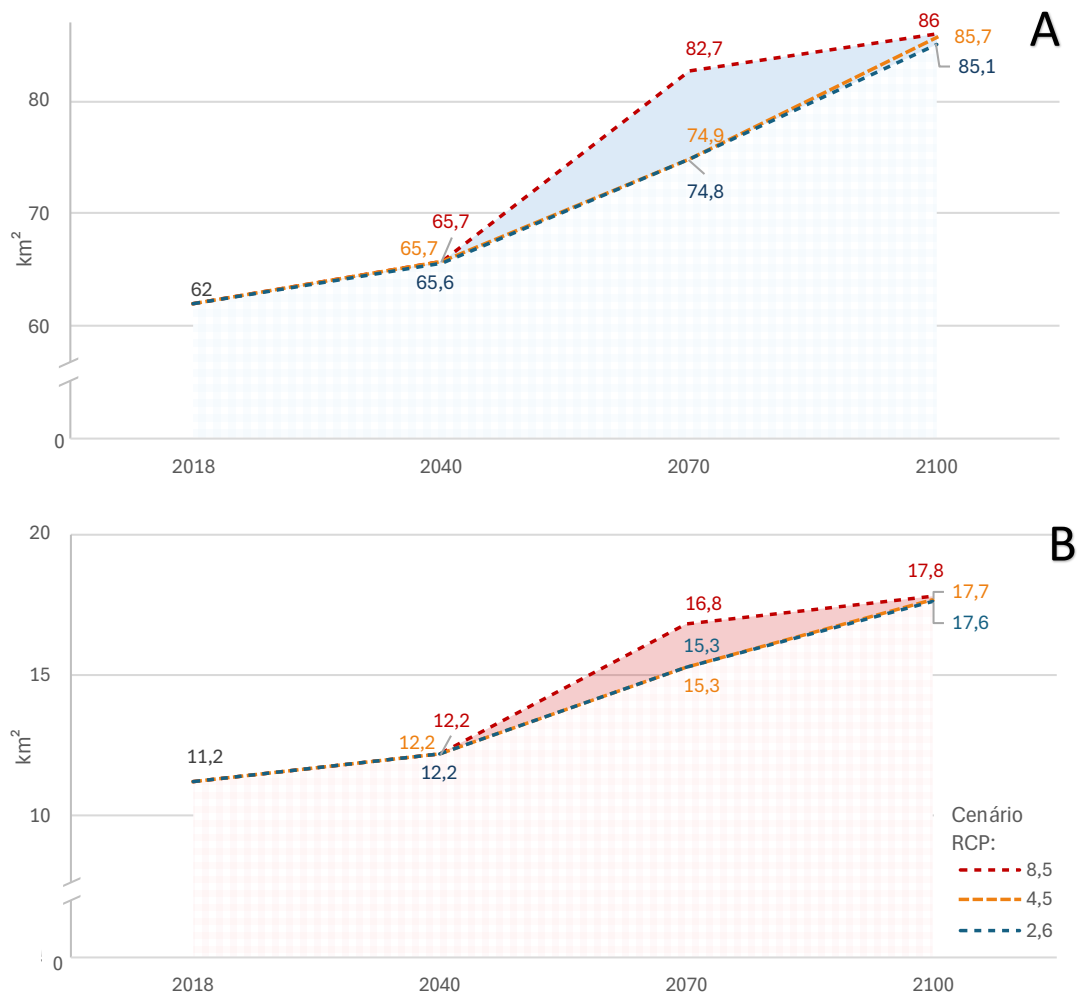
Posteriormente, para cada um dos cenários RCP, foram agregados os dados de ambas as variáveis – perigosidade e exposição. Através do *software IBM SPSS Statistics*, foi aplicado o método de *Ward* para a análise hierárquica de cluster (Figura 10, Etapa 3.3). A análise realizada no *SPSS* considerou as variáveis da perigosidade e exposição dos respetivos anos (presente, 2040, 2070 e 2100), para cada um dos cenários RCP individualmente. Foram, portanto, realizados 12 processamentos no *SPSS*, que visaram o agrupamento dos municípios em 4 classes (Figura 10, Etapa 3.4.). Este agrupamento foi atribuído mediante a correlação das variáveis em análise, por município, e os resultados podem ser consultados na secção 5.3 deste documento.

# CAPÍTULO 5 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

## 5.1. Impacte da Inundação Episódica na Costa Portuguesa

### 5.1.1. Panorama Continental

Ao longo da costa continental portuguesa, e tendo em conta o uso do solo registado em 2018 (Direção Geral do Território, 2019), estima-se que existam atualmente 62 km<sup>2</sup> de áreas potencialmente perigosas em termos de inundações episódicas (Figura 17.A). A quantificação desta área de inundação não considera nenhuma influência futura da SNM, o que demonstra que, apesar desta última ser um agente forçador para o surgimento de novas áreas perigosas, já existem áreas propícias a sofrer impactes de inundações episódicas e galgamentos costeiros numa extensão expressiva da costa continental portuguesa. Dentro destas áreas perigosas, 11,2 km<sup>2</sup> correspondem a territórios artificializados, ou seja, tecido urbano que se encontra exposto a inundações episódicas (Figura 17.B), demonstrando a inadaptação da ocupação do território face à evolução histórica recente da SNM em Portugal continental. Estes eventos podem originar danos significativos nas infraestruturas expostas, gerando perdas diretas e indiretas, como foi, por exemplo, reportado na tempestade Hércules em 2014 (Santos *et al.*, 2014b). Em casos extremos, podem afetar vidas humanas e animais, bem como os ecossistemas. No entanto, a quantificação da exposição de pessoas e ecossistemas não foi considerada na presente dissertação.



**Figura 17.** Áreas perigosas e expostas na costa continental portuguesa, durante a ocorrência de eventos extremos, inundações episódicas e galgamentos costeiros. A: Área Perigosa. B: Área Exposta.

A curto prazo, *i.e.* até 2040, espera-se que os diferentes cenários RCP não apresentem diferenças significativas nas áreas com potencial para serem afetadas por inundações episódicas (Figura 17) uma vez que as previsões do IPCC apontam por um lado para uma aceleração da subida na segunda metade do século XXI (Oppenheimer *et al.*, 2019) e por outro para um aumento da incerteza associada às previsões. Entre os cenários os RCP 2.6 e 8.5 e para a totalidade da costa continental portuguesa, regista-se apenas uma variação de 0,1 km<sup>2</sup>, sem prejuízo da área urbana exposta. No entanto, é de notar o aumento de 3,7 km<sup>2</sup> na área perigosa, diretamente relacionado com a variação positiva do nível do mar entre 2018 e 2040.

A médio prazo, *i.e.* até 2070, cresce de forma significativa a área afetada pelos perigos associados à SNM, de acordo com os cenários RCP (Figura 17). Em termos de área afetada pelo perigo de SNM, o cenário mais pessimista (RCP

8.5) apresenta um aumento de 7,8 km<sup>2</sup> em comparação com o cenário intermédio (RCP 4.5), e de 7,7 km<sup>2</sup> face ao cenário mais conservador. Quanto à exposição urbana, a diferença de área afetada que o cenário mais pessimista (RCP 8.5) apresenta face aos restantes é de 1,5 km<sup>2</sup>. Ainda para o horizonte temporal de 2070, denota-se que os aumentos face ao ano de referência (2018), e face às projeções para o ano de 2040 são muito significativos. Face aos cenários RCP 2.6 e 4.5, constata-se aumentos de cerca de 20 % e 30 % para as áreas perigosas e para as áreas expostas, respetivamente. Quanto ao cenário RCP 8.5, os aumentos registados foram de aproximadamente 30 % e 40 %, respetivamente.

A longo prazo, *i.e.* até 2100, regista-se uma convergência de todos os cenários para valores semelhantes, que se traduz num aumento substancial face às projeções anteriores e ao ano de referência (Figura 17). Do cenário menos ao mais gravoso, a área perigosa representa 85 a 86 km<sup>2</sup> de área afetada, dos quais 20,6 % (RCP 2.6 e 4.5) e 20,7 % (RCP 8.5) são áreas expostas. O motivo prende-se com fatores como a morfologia do litoral, que ao tornar-se mais inclinada, não permite variações horizontais tão expressivas, não sendo por isso os cenários tão reveladores na exposição e inundação. Até ao fim do século, 24 km<sup>2</sup> de território costeiro podem tornar-se potencialmente perigosos face à SNM. Este aumento de território exposto compreende um acréscimo percentual de cerca de 40 % face à área que se estima ser afetada sem a consideração da influência da SNM local.

Analisando as discrepâncias verificadas entre os diferentes cenários de RCP para cada ano (Figura 17), os cenários de emissões mais elevadas (RCP8.5) resultam em áreas de inundação mais extensas, enquanto os cenários de emissões mais baixas e moderadas (RCP2.6 e RCP4.5) tendem a ter impactos menores por comparação com o anterior. Tanto no ano de 2040 como em 2100, as áreas de inundação são semelhantes entre si, para os diferentes cenários RCP analisados. Destaca-se no ano de 2070, a variação significativa da área afetada em termos de perigosidade e de exposição no cenário RCP8.5. Este aumento pronunciado destaca, claramente, a influência das emissões de GEE e respetivas consequências para a elevação do nível do mar. Para o fim do século,

independentemente do cenário RCP verificado, a área total de inundação poderá representar um aumento substancial em comparação com os níveis atuais, dos quais cerca de 21 % poderá conter tecido urbano que ficará exposto a este perigo.

Ao nível da perigosidade e exposição verificadas nas NUTS II que compõem o litoral português (Tabela 3), destaca-se ao nível da exposição, a NUTS II Norte, como a detentora de maior área exposta, seguida do Algarve, e posteriormente as NUTS II Alentejo e Centro. Relativamente ao perigo, destaca-se enquanto NUTS com maior área perigosa o Algarve, seguido do Norte, Centro e Alentejo.

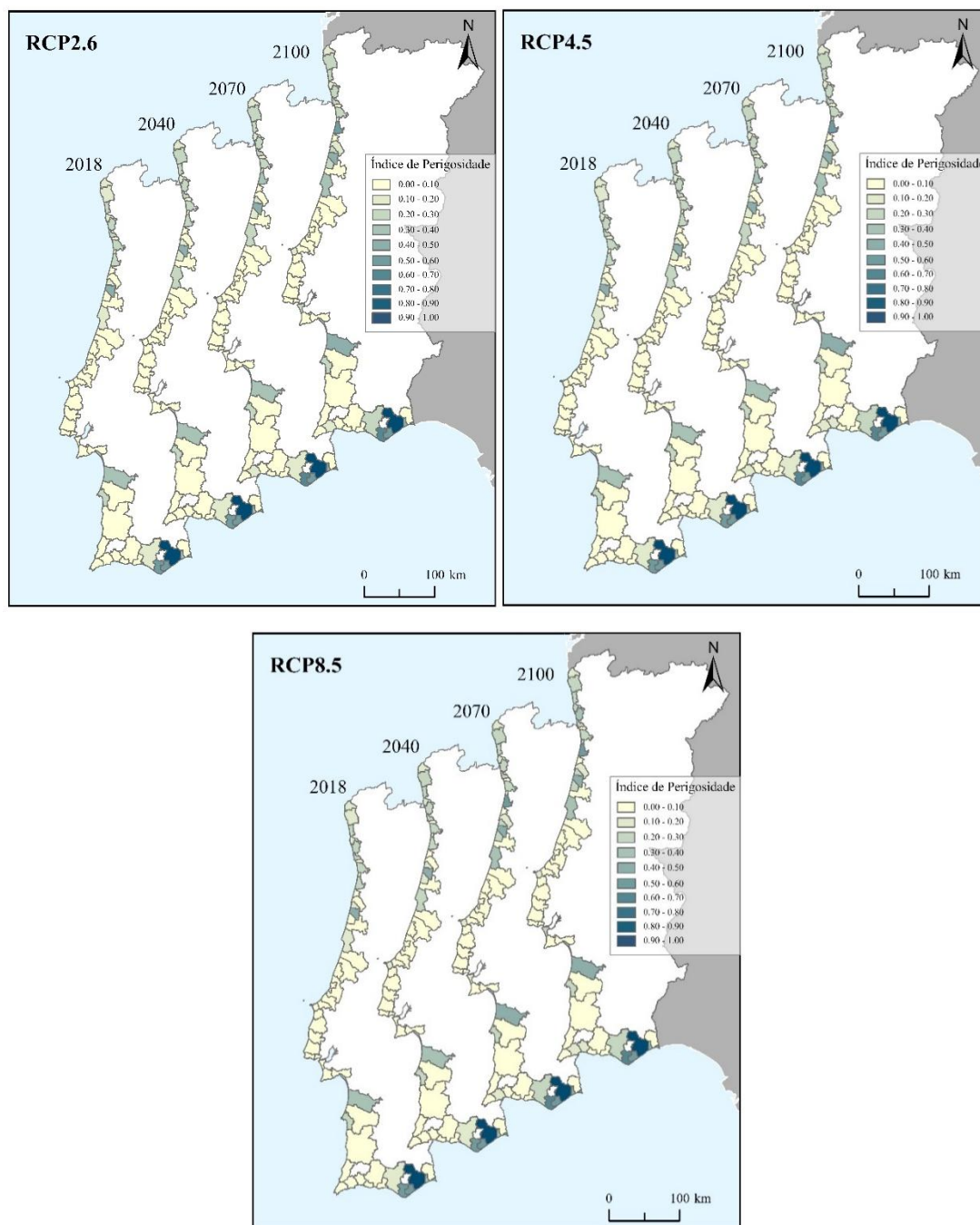
**Tabela 3.** Quantificação da perigosidade e da exposição das NUTS II de Portugal continental, face a inundações costeiras.

	NUT II	2018	2040			2070			2100		
			RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5	RCP 2.6	RCP 4.5	RCP 8.5
Exposição	Norte	5,9	6,3	6,3	6,3	6,8	6,8	7,6	7,8	7,8	7,8
	Centro	1,0	1,2	1,2	1,2	1,5	1,5	2,0	2,0	2,0	2,0
	Oeste e Vale do Tejo	0,5	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7	0,9	0,9	0,9
	Grande Lisboa	0,2	0,2	0,2	0,2	0,6	0,6	0,6	0,7	0,7	0,7
	Península de Setúbal	0,1	0,2	0,2	0,2	0,4	0,4	0,5	0,7	0,7	0,7
	Alentejo	1,4	1,5	1,5	1,5	1,7	1,7	1,8	1,8	1,8	1,9
	Algarve	2,0	2,1	2,1	2,1	3,4	3,4	3,6	3,7	3,8	3,9
	<b>Total</b>	<b>11,2</b>	<b>12,2</b>	<b>12,2</b>	<b>12,2</b>	<b>15,3</b>	<b>15,3</b>	<b>16,8</b>	<b>17,6</b>	<b>17,7</b>	<b>17,8</b>
Perigo	Norte	13,9	14,8	14,8	14,8	15,7	15,8	17,5	17,6	17,7	17,8
	Centro	11,7	13,6	13,6	13,6	15,9	15,9	19,6	19,7	19,7	19,7
	Oeste e Vale do Tejo	2,8	3,0	3,0	3,0	3,4	3,4	3,5	3,8	3,8	3,9
	Grande Lisboa	0,9	0,9	0,9	0,9	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5
	Península de Setúbal	0,9	1,3	1,3	1,3	1,8	1,8	2,1	3,4	3,4	3,4
	Alentejo	4,6	4,7	4,7	4,7	5,1	5,1	5,4	5,8	5,9	5,9
	Algarve	25,4	25,6	25,6	25,6	29,5	29,5	31,3	31,3	31,7	31,8
	<b>Total</b>	<b>60,2</b>	<b>63,8</b>	<b>63,9</b>	<b>63,9</b>	<b>72,8</b>	<b>72,9</b>	<b>80,7</b>	<b>83,0</b>	<b>83,7</b>	<b>83,9</b>

## 5.1.2. Panorama Municipal

O perigo e a exposição constituem variáveis fundamentais para o cálculo do risco, pois é através da igual ponderação das mesmas com a capacidade de suporte e a vulnerabilidade física e social que se obtém a classificação de risco (UNGA, 2016). Tal como referido na secção 4.3., ambas as variáveis - perigosidade e exposição - foram normalizadas de modo a obter o índice de perigosidade e o índice de exposição para inundações costeiras episódicas em Portugal continental, onde o valor 1 equivale ao valor máximo da variável por cenário, e 0 ao valor mínimo. Foram definidas 10 classes de perigosidade, que compreendem os decis de perigosidade e exposição.

Na Figura 18, encontra-se representado o índice de perigosidade, e destacam-se, com valores mais elevados, três municípios do barlavento algarvio: Tavira, Faro e Olhão. O município de Tavira é o que apresenta o valor mais elevado de perigo de inundação, para todos os anos e todos os cenários, mantendo-se constante na classe de mais elevada exposição. De seguida, o município que mais se evidencia é Faro, que para todos os cenários apresenta um aumento e variação de classe para 2070, mantendo-se em 2100 (variação de 0,56 em 2018 para 0,70 em 2070 e 2100). O município de Olhão verifica uma perigosidade constante e inerente aos anos e cenários. Estes três municípios têm em comum uma extensa área do litoral exposto que é composta por ilhas barreira, vulneráveis à SNM (Croteau *et al.*, 2023).



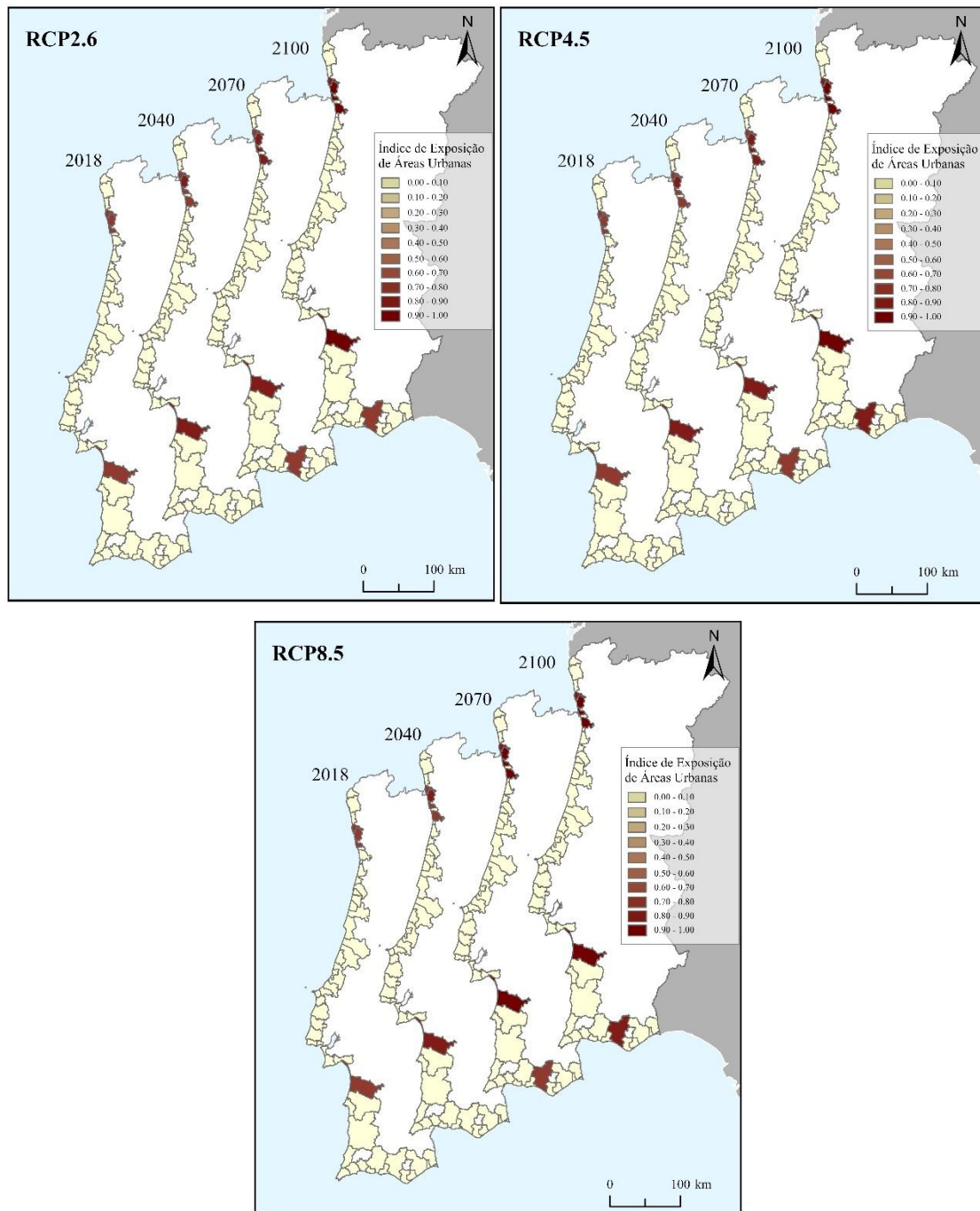
**Figura 18.** Índice de Perigosidade municipal face à SNM, para os anos de 2018, 2040, 2070 e 2100, para 3 cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5).

Salienta-se, também, que Vila Real de Santo António e Ovar registaram um aumento significativo na classe de perigosidade ( $\Delta 0,17$  e  $\Delta 0,28$ , respetivamente, entre 2018 e 2100 RCP8.5). Esta variação ocorre não só ao longo dos anos, mas também mediante os cenários RCP, sendo mais considerável no médio e longo prazo.

Apesar de ser em menor dimensão, outros municípios que apresentam um aumento das áreas perigosas (no cenário 4.5, entre 2018 e 2100) são: Viana

do Castelo ( $\Delta 0,07$ ), Vila do Conde ( $\Delta 0,04$ ), Espinho ( $\Delta 0,18$ ), Aveiro ( $\Delta 0,12$ ), Mira ( $\Delta 0,21$ ), Figueira da Foz ( $\Delta 0,18$ ), Peniche ( $\Delta 0,14$ ), Almada ( $\Delta 0,28$ ), Grândola ( $\Delta 0,09$ ), Lagos ( $\Delta 0,14$ ) e Loulé ( $\Delta 0,10$ ). Os restantes municípios, mantêm-se constantes nas classes onde estão inicialmente categorizados.

Em relação ao Índice de Exposição (Figura 19), evidencia-se o município de Grândola com valores constantes ao longo dos anos e dos cenários na classe de exposição mais crítica. De seguida, 3 municípios da região Norte: Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Matosinhos, que transitam ascendentemente entre as classes críticas ao longo dos anos, em todos os cenários. Por fim, destaca-se ainda os municípios de Vila Nova de Gaia e de Loulé, que podem esperar um impacto mais significativo na exposição nos anos de 2070 e 2100, independentemente do cenário RCP verificado. Os restantes municípios, mantêm-se relativamente estáveis nas classes de exposição mais baixas.



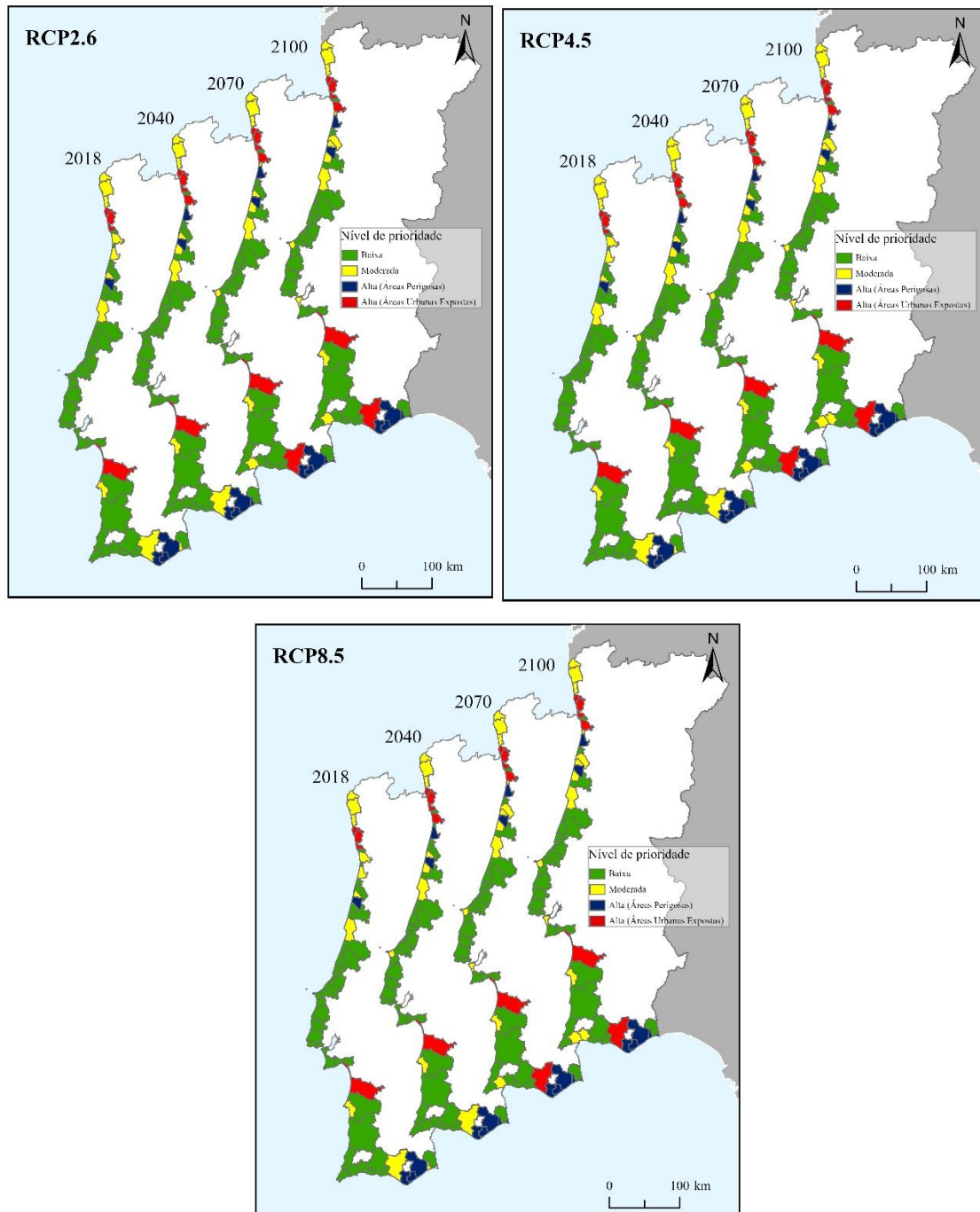
**Figura 19.** Índice de Exposição de áreas urbanas face à Subida do Nível do Mar, para os anos de 2018, 2040, 2070 e 2100, para 3 cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5).

## 5.2. Perfis Municipais de Perigosidade e de Exposição

Após a identificação das áreas mais suscetíveis à ocorrência de inundações episódicas, bem como dos territórios artificializados propícios a serem afetados por estes eventos perigosos, é necessário compreender como estas variáveis interagem em cada município. Para tal, foi realizada uma análise

de *clusters*, que correlaciona as duas variáveis e identifica a sua distribuição municipal. Uma vez que estes *clusters* transmitem a correlação entre as áreas perigosas e as áreas urbanas expostas, foi possível realizar um diagnóstico de prioridades de intervenções municipais (Figura 20). Este diagnóstico pressupõe que todas as estratégias interventivas e ações que estão atualmente em vigor em cada município se mantenham. Assim, foi possível identificar quatro associações de *clusters* que se traduzem em quatro níveis de prioridade face à intervenção: Baixa, Moderada, Alta com foco nas áreas afetadas por inundações e erosão costeira, e Alta para áreas urbanas expostas.

Nos municípios abrangidos na Prioridade Baixa estão correlacionados os menores valores de perigosidade e exposição. Estes municípios podem transitar para o nível seguinte nas projeções anuais ou com as variações de cenários climáticos. Nos Municípios de Alerta Moderado verifica-se a existência de uma correlação de valores intermédios de ambas as variáveis, e uma maior área perigosa e exposta por comparação aos municípios de prioridade baixa. Os municípios de prioridade moderada podem evoluir para o nível de prioridade alta, mediante a possibilidade de aumento das suas áreas perigosas ou das áreas urbanas que se encontram expostas. Os municípios de Prioridade Alta são identificados como os mais prioritários face a intervenção, quer seja pela maior expressividade de áreas perigosas, ou de áreas urbanas expostas. Caso os municípios detenham um impacte mais significativo das áreas perigosas, Esta categorização em níveis de prioridade permite que sejam racionalizadas as intervenções a realizar no litoral para os municípios mais críticos. Possibilita, também, a adoção de políticas preventivas no litoral português, ao permitir que seja monitorizada a evolução dos municípios pelos níveis de prioridade.



**Figura 20.** Níveis de prioridade municipal à perigosidade e exposição, para os anos de 2018, 2040, 2070 e 2100, para 3 cenários RCP (2.6, 4.5 e 8.5).

Nas Figuras 21 e 22, constam municípios que apresentam os municípios do litoral português, com a respetiva estabilidade ou evolução no nível de prioridade na sua classificação em todos os cenários e anos. Os municípios que se encontram estáveis no nível de prioridade baixa correspondem a metade dos municípios do litoral (Porto, Murtosa, Cantanhede, Pombal, Leiria, Marinha Grande, Alcobaça, Nazaré, Caldas da Rainha, Óbidos, Lourinhã, Torres Vedras,

Mafra, Sintra, Cascais, Oeiras, Sesimbra, Setúbal, Santiago do Cacém, Odemira, Aljezur, Vila do Bispo, Lagoa, Silves, Albufeira e Castro Marim). No nível de prioridade moderada, verificam-se seis municípios com estabilidade ao longo dos anos e para as três projeções climáticas consideradas: Caminha, Viana do Castelo, Esposende, Ílhavo, Figueira da Foz e Sines. Por fim, os municípios com estabilidade verificados no nível de prioridade alta são: Vagos, Faro, Olhão e Tavira (com foco nas áreas perigosas); e Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Matosinhos e Grândola (com maior ênfase nas áreas expostas).

De todos os municípios do litoral, 11 apresentam variações no Nível de Prioridade. Espinho, Aveiro, Mira, Peniche, Almada, Lagos e Portimão, transitam do Nível de prioridade baixa para o Nível de prioridade moderada. Para o nível de prioridade alta para as áreas perigosas, transitam os municípios de Ovar e Vila Real de Santo António, ambos de forma independente face aos cenários RCP. Para o Nível de prioridade alta para as áreas expostas transitam os municípios de Vila Nova de Gaia (em 2040), e Loulé (em 2070), independentemente do cenário RCP verificado. Destacam-se quatro municípios pela influência dos cenários RCP na antecipação da alteração de prioridade: Aveiro e Almada, no ano de 2070 e cenário RCP 8.5, por serem enquadrados no nível de prioridade moderada (antecipando esta prioridade por comparação aos cenários 2.6 e 4.5, que indicam nível de prioridade baixa para esse mesmo ano); Peniche (2040), que transita para o nível de prioridade moderada no cenário RCP4.5 e RCP8.5, por contraste com o nível de prioridade baixa esperado para o mesmo ano, mas num cenário de emissões de GEE's reduzidas (RCP2.6); e Portimão, cujos cenários RCP 4.5 e 8.5 induzem a variação do nível de prioridade baixa (verificado para o mesmo ano para o RCP 2.6), para o nível de prioridade moderada (Figura 21).

NUTS II	Municípios	RCP2.6				RCP4.5				RCP8.5			
		2018	2040	2070	2100	2018	2040	2070	2100	2018	2040	2070	2100
Norte	Caminha	Baixa				Baixa				Baixa			
	Viana do Castelo	Baixa				Baixa				Baixa			
	Esposende	Baixa				Baixa				Baixa			
	Póvoa de Varzim	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
	Vila do Conde	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
	Matosinhos	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
	Porto	Baixa				Baixa				Baixa			
	Vila Nova de Gaia	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
Centro	Espinho	Baixa				Baixa				Baixa			
	Ovar	Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)			
	Murtosa	Baixa				Baixa				Baixa			
	Aveiro	Baixa				Baixa				Baixa			
	Ílhavo	Baixa				Baixa				Baixa			
	Vagos	Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)			
	Mira	Baixa				Baixa				Baixa			
	Cantanhede	Baixa				Baixa				Baixa			
	Figueira da Foz	Baixa				Baixa				Baixa			
	Pombal	Baixa				Baixa				Baixa			
	Leiria	Baixa				Baixa				Baixa			
	Marinha Grande	Baixa				Baixa				Baixa			
Oeste e Vale do Tejo	Alcobaça	Baixa				Baixa				Baixa			
	Nazaré	Baixa				Baixa				Baixa			
	Caldas da Rainha	Baixa				Baixa				Baixa			
	Óbidos	Baixa				Baixa				Baixa			
	Peniche	Baixa				Baixa				Baixa			
	Lourinhã	Baixa				Baixa				Baixa			
Grande Lisboa	Torres Vedras	Baixa				Baixa				Baixa			
	Mafra	Baixa				Baixa				Baixa			
	Sintra	Baixa				Baixa				Baixa			
Península de Setúbal	Cascais	Baixa				Baixa				Baixa			
	Oeiras	Baixa				Baixa				Baixa			
	Almada	Baixa				Baixa				Baixa			
Alentejo	Sesimbra	Baixa				Baixa				Baixa			
	Setúbal	Baixa				Baixa				Baixa			
	Grândola	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
	Santiago do Cacém	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
Algarve	Sines	Baixa				Baixa				Baixa			
	Odemira	Baixa				Baixa				Baixa			
	Aljezur	Baixa				Baixa				Baixa			
	Vila do Bispo	Baixa				Baixa				Baixa			
	Lagos	Baixa				Baixa				Baixa			
	Portimão	Baixa				Baixa				Baixa			
	Lagoa	Baixa				Baixa				Baixa			
	Silves	Baixa				Baixa				Baixa			
	Albufeira	Baixa				Baixa				Baixa			
	Loulé	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
	Faro	Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)				Alta (face à exposição de áreas urbanas)			
	Olhão	Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)			
Tavira	Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)				Alta (face ao perigo)				
Vila Real de Sto. Ant.º	Baixa				Baixa				Baixa				
Castro Marim	Baixa				Baixa				Baixa				

Níveis de prioridade municipal face à adaptação:

Baixa
  Moderada
  Alta (face ao perigo)
  Alta (face à exposição de áreas urbanas)

Alteração do nível de prioridade face ao cenário RCP antecedente

**Figura 21.** Níveis de prioridade municipal à perigosidade e exposição, em tabela síntese.

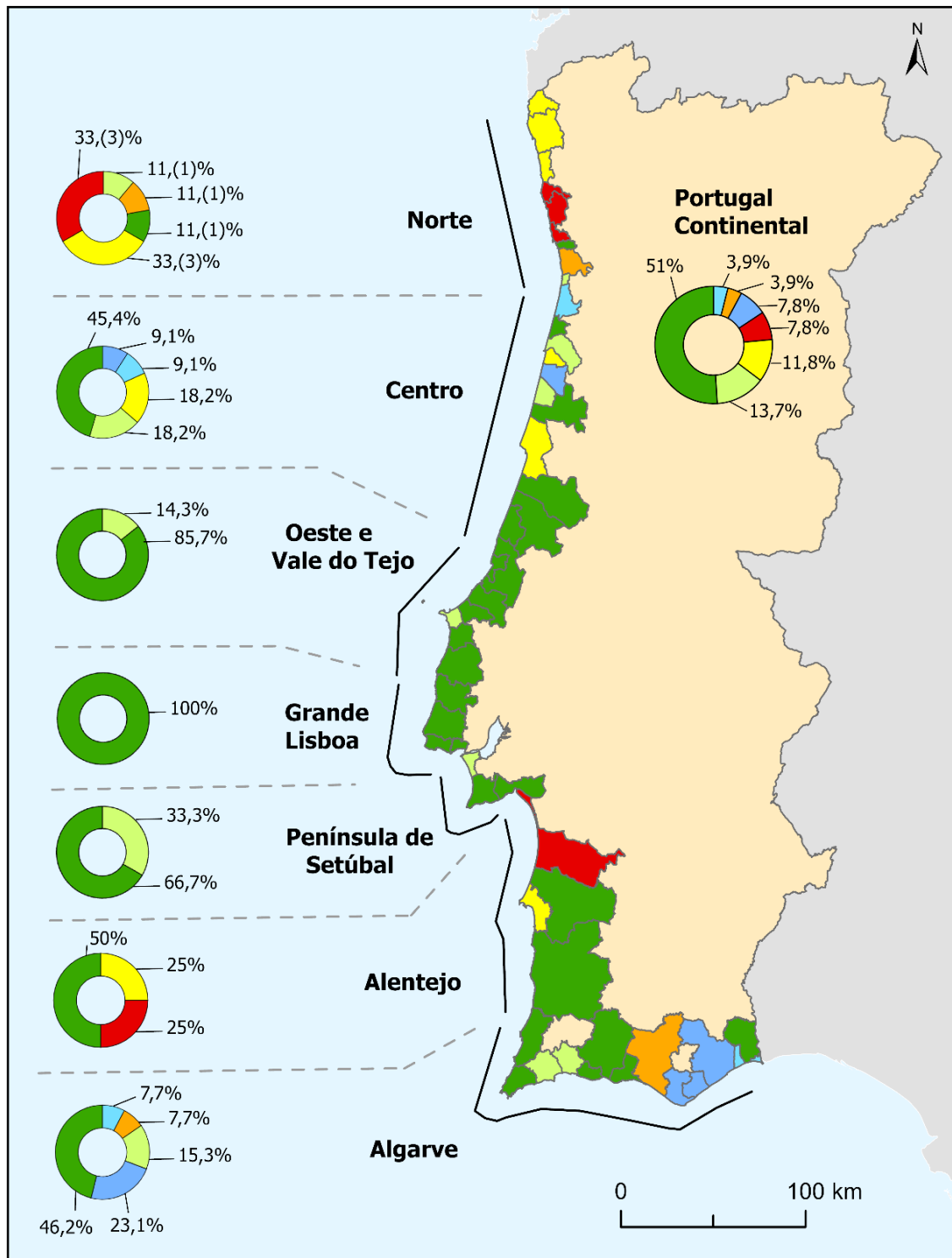
Relativamente à estatística nacional (Figura 22), é possível verificar que dos municípios se encontram estáveis no nível de prioridade baixa. As NUTS II que apresentam tendências semelhantes são o Centro (45,4 %), Algarve (46,2

%), e o Alentejo (50 %). As NUTS II Península de Setúbal, Oeste e Vale do Tejo e Grande Lisboa constituem aquelas onde a percentagem de municípios neste nível de prioridade é significativamente superior (66,7 %, 85,7 %, e 100%, respetivamente). Só na NUTS II Norte a estatística de municípios estáveis em nível de prioridade baixa é significativamente inferior à tendência nacional, apresentando ~11,(1) %. É de notar que os municípios que apresentam maior estabilidade neste nível de prioridade são aqueles com menor área de litoral arenoso.

Quanto ao nível de prioridade moderada, 11,8 % dos municípios apresentam estabilidade neste nível, e 13,7 % apresentam variação para este nível ( $\Delta$  nível de prioridade baixa para moderada). Três NUTS II apresentam municípios estáveis no nível de prioridade moderada: Norte (33,3 % - Caminha, Viana do Castelo e Esposende), Alentejo (25 % - Sines), e Centro (18,2 % - Ílhavo e Figueira da Foz). Os municípios com variações do nível de prioridade baixa para o nível de prioridade moderada são: Península de Setúbal (33,3 %), Centro (18,2 %), Algarve (15,3 %), Oeste e Vale do Tejo (14,3 %), e Norte (11,1 %).

Três das sete NUTS II não apresentam nenhum município no nível de prioridade alta: Oeste e Vale do Tejo, Grande Lisboa, e Península de Setúbal. A NUTS II Norte tem predominância da exposição, uma vez que apresenta 33,3 % dos municípios em estabilidade no nível de prioridade alta para a exposição de núcleos urbanos, e 11,1 % que transita do nível de prioridade moderada para a prioridade alta para a exposição de núcleos urbanos, não contendo nenhum município no nível de elevada prioridade para o perigo. Por outro lado, a NUTS II Centro não é detentora de nenhum município em nível de prioridade alta para a exposição urbana, e apresenta 9,1 % em nível de prioridade alta para as áreas perigosas, e 9,1 % em transição de nível de prioridade moderada para o nível de prioridade alta para a perigosidade. No Alentejo, o município de Grândola é classificado como nível de prioridade alta para a exposição, que se encontra estável ao longo dos anos e dos cenários, o que equivale a 1/4. Por fim, a NUTS II Algarve apresenta 7,7 % de variação de nível moderada para alta para as áreas perigosas (Vila Real de Santo António), 7,7 % de variação de nível de prioridade

moderada para alta face à exposição de áreas urbanas (Loulé), e 23,1 % de estabilidade no nível de prioridade alta face ao perigo (Faro, Olhão, e Tavira).



**Figura 22.** Nível de prioridade para a adaptação para impactos de inundações episódicas costeiras, para os municípios do litoral e respetivas NUTS II.

## 5.2.1. Municípios de Baixa Prioridade para a Adaptação

Os municípios agrupados no nível de baixa prioridade para a adaptação compreendem todos os que, ao longo dos anos e de forma independente ao cenário RCP verificado, não sofrem variações significativas na sua área perigosa e exposta a inundações episódicas (Tabela 4). Esta classificação não significa que estes municípios tenham ausência de perigo e exposição, mas sim que são os menos prioritários por comparação a outros mais perigosos e expostos. Para além disso, esta atribuição mantém o pressuposto de que nos municípios onde atualmente se verificam medidas de mitigação e estratégias de adaptação a riscos costeiros, Não exista uma diminuição das intervenções a médio/longo prazo, incluindo, a regularidade de alimentação artificial de praias, a manutenção das estruturas de defesa costeira e a preservação dos sistemas dunares. Caso se verifiquem alterações futuras nas ações de defesa do litoral, estes municípios poderão deixar de estar em conformidade com a atribuição realizada, pelo que deverá realizar-se uma reanálise dos mesmos.

**Tabela 4.** Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade I.

NUTS II	Municípios estáveis no nível de prioridade baixa
Norte	Porto
Centro	Murtosa, Cantanhede, Pombal, Leiria e Marinha Grande
Oeste e Vale do Tejo	Alcobaça, Nazaré, Óbidos, Caldas da Rainha, Lourinhã e Torres Vedras
Grande Lisboa	Mafra, Sintra, Cascais e Oeiras
Península de Setúbal	Sesimbra e Setúbal
Alentejo	Santiago do Cacém e Odemira
Algarve	Aljezur, Vila do Bispo, Lagoa, Silves, Albufeira e Castro Marim

Dos municípios integrantes da NUTS II Norte, apenas o município do Porto é abrangido nesta classificação. Embora esteja classificado com nível de baixa prioridade para a adaptação, este município possui quatro pontos críticos de perigosidade e exposição. De Norte para Sul, o primeiro encontra-se na área

envolvente à Praia Internacional, nomeadamente o Edifício Transparente e o edifício de restauração “Kasa da Praia”. Para Sul, o edifício da Estação de Zoologia Marítima António Nobre e jardins e parques da frente urbana. Também um setor da via pedonal, via de trânsito e ciclovia da Rua Coronel Raul Peres, com agravamento nas habitações da frente urbana no ano de 2070. Por fim, o Forte de São João e o Jardim do Passeio Alegre.

A região Centro detém cinco municípios com esta classificação: Murtosa, Cantanhede, Pombal, Leiria e Marinha Grande. No município de Murtosa, toda a continuidade do sistema dunar frontal constitui-se como área perigosa face a inundações episódicas, com aumento da extensão da mesma ao longo dos anos e cenários (Figura 23). Em termos de aumento da exposição, destaca-se a frente urbana de Torreira, com possível agravamento, provocado pelo aumento de área perigosa. Em Cantanhede, Pombal, Leiria e Marinha Grande, destaca-se o aumento da área perigosa, com agravamento ao longo dos anos e cenários nos dois primeiros municípios. O município de Marinha Grande destaca-se, em termos de exposição, no núcleo urbano de São Pedro de Moel.



**Figura 23.** Área perigosa face a inundações episódicas no município de Murtosa.

Na NUTS II Oeste e Vale do Tejo, todos os municípios, à exceção de Peniche, são de prioridade baixa. De norte para sul, em Alcobaça e na Nazaré, a perigosidade é predominante e estável ao longo dos anos. Em termos de exposição destacam-se os núcleos urbanos de Paredes da Vitória (Alcobaça), Nazaré - com agravamento por aumento da área perigosa, sendo este mais expressivo em 2040, seguido de estabilização -, e São Pedro de Moel - agravado no setor sul por aumento da construção urbana -. Nas Caldas da Rainha e Óbidos, a perigosidade é dominante e estável. Em termos de exposição destacam-se, nas Caldas da Rainha, as vias de circulação junto à praia da Foz do Arelho, bem como os restaurantes e apoios e equipamentos desta praia. Em Óbidos, a área exposta compreende a área adjacente à Praia d'El Rei, nomeadamente a área do parque de estacionamento, que verifica um aumento da área exposta por aumento da construção urbana no fim do século.

Nos municípios da Lourinhã e Torres Vedras, a perigosidade também é predominante e estável ao longo dos anos. Estacionamentos, suportes e apoios de praia são áreas de exposição junto às Praias de Porto Dinheiro (Lourinhã), Porto Novo e Santa Rita (Torres Vedras). A frente urbana da Areia Branca (Lourinhã) pode encontrar-se exposta, por artificialização de uma foz de confluência de dois rios (Rio Toxofal e Rio Grande), e Gentaís localizado junto à foz do Rio Sizandro (Torres Vedras).

Todos os municípios analisados pertencentes à NUTS II Grande Lisboa estão considerados na classificação de Nível de Prioridade I. Estes municípios têm em comum uma extensa área de litoral rochoso, cuja morfologia é desfavorável à ocorrência de áreas perigosas de grande extensão. Desde a fronteira norte do município de Mafra até às construções do setor sudoeste do cais da Marina de Cascais, o retrato do litoral em termos de perigosidade e exposição é idêntico. São compostos por pequenas áreas perigosas, essencialmente associadas a litorais arenosos, que ficam limitados por arribas. Nos locais de morfologia mais suave, como pequenos estuários de rios e setores terminais de ribeiras, encontram-se as áreas onde se verifica tecido urbano exposto. Estas áreas expostas possuem apoios e equipamentos de praia, e em alguns casos a vias de circulação e estacionamentos de praia. Em Mafra,

ocorrem na Praia de São Lourenço (Foz do Rio Safarujó), na Praia de Ribeira d'Ilhas (foz do Rio do Cuco) e na Praia da Foz do Lizandro, e em Sintra na Praia de São Julião (Foz do Rio Falcão) e na Praia da Agrada (Foz da Ribeira da Maceira). Outras praias, que não têm influência da morfologia de foz de rios e ribeiras, também têm setores com equipamentos e estruturas expostas: Praia do Norte (Mafra), Praia Grande (Sintra) e a Praia do Guincho (Cascais). Destaca-se ainda o edifício do Hotel Vila Galé Ericeira, que apresenta área exposta, com agravamento da mesma no ano de 2070. Desde o setor Sudoeste do Cais da Marina de Cascais até Algés (Oeiras), verifica-se a predominância da exposição, que aumenta ao longo dos anos, mas que não sofre alterações significativas relacionadas aos cenários RCP. No lado esquerdo da Marina de Cascais, os edifícios expostos são o *The Mix*, o Farol Hotel, o Forte de Santa Maria, o Farol Museu de Santa Maria, a Casa-Museu de Santa Maria, o miradouro de Santa Maria, e o Museu Condes de Castro Guimarães. Destaca-se, ainda, a frente urbana de Cascais, em particular o setor correspondente à antiga foz da Ribeira das Vinhas, na Baía de Cascais. Ao longo da restante faixa do litoral de Cascais e Oeiras, verificam-se áreas urbanas que se encontram expostas e que podem aumentar a sua área até ao fim do século, por aumento da área de inundação (*e.g.* área perigosa). Edifícios, serviços de restauração, hotelaria e turismo, vias (pedonais, ciclovias e a marginal), bem como equipamentos e apoios de praia são afetados em 6 setores: setor entre Cascais e os castelinhos de Nossa Senhora; Praia de São Pedro do Estoril (Cascais), setor entre a Praia das Avenças e a Praia de Carcavelos (Cascais), Paço de Arcos (Oeiras), Caxias (Oeiras) e Cruz Quebrada (Oeiras).

Os municípios da NUTS II Península de Setúbal aos quais está atribuída a classificação de prioridade baixa são Sesimbra e Setúbal. Nestes municípios também se verifica a predominância do perigo face à exposição. No entanto, existem setores que estão expostos a inundações episódicas. Em Sesimbra, destaca-se a frente urbana, com agravamento no ano de 2070. Em Setúbal, destaca-se a frente urbana de São Lourenço junto à Praia do Portinho da Arrábida, e no Outão, o forte de Santiago do Outão, a fábrica de cimento Cecil e o parque de campismo da Arrábida.

No Alentejo, os municípios cuja intervenção é menos prioritária são Santiago do Cacém e Odemira. Nestes municípios a perigosidade é o fator que tem mais influência, tanto em Santiago do Cacém - onde predomina o sistema praia-duna -, como em Odemira - onde predomina litoral rochoso. Em Santiago do Cacém apenas se destaca o acesso à Praia da Costa de Santo André com uma pequena área exposta, e em Odemira também uma pequena área no acesso à praia da Zambujeira do Mar.

Na NUTS II Algarve, destacam-se os municípios de Aljezur, Vila do Bispo, Lagoa, Silves, Albufeira, e Castro Marim. Os municípios de Aljezur, Vila do Bispo, Lagoa, Silves e Albufeira tem em comum o facto de serem maioritariamente compostos por litoral rochoso, onde as arribas que compõem este litoral limitam a invasão da água do mar para o interior, dificultando a ocorrência de áreas perigosas e expostas. Em Aljezur, a área exposta é diminuta, compreendendo apenas um pequeno setor do núcleo urbano de Monte Clérigo. O município de Vila do Bispo apresenta como *hotspots* de perigosidade os *resorts* no setor nordeste da Praia do Martinhal, que, atualmente, já se encontram em área com potencial perigoso, e que podem vir a estar mais expostos ao longo dos anos, quer por evolução do tecido urbano, quer por influência da amplificação das áreas potencialmente perigosas associadas à SNM. Outro local perigoso é a frente urbana da Vila de Salema, que corresponde à artificialização da foz de uma ribeira de 2,2 km, e que nasce em Budens. Para além do perigo de exposição de pessoas e bens, este local pode ter ainda outra preocupação acrescida, que se prende com o seu valor geológico e arqueológico, uma vez que existem icnofósseis de dinossauros na base das arribas da Praia da Salema (Santos *et al.*, 2000). Por fim, evidenciam-se ainda as habitações junto à Praia do Burgau, da Vila de Burgau. Em Lagoa, destaca-se enquanto área exposta a frente urbana do Carvoeiro (setor nordeste da Praia do Carvoeiro), sendo esta área resultante da artificialização da foz de um curso de água, com cerca de 3,5 km de comprimento que nasce na freguesia de Salicos (município de Lagoa). Denota-se ainda o espaço público junto à praia de Benagil e respetivo parque de estacionamento, enquanto áreas consideradas com potencial perigoso. Além desses locais, também os apoios de praia das Praias

da Cova Redonda, dos Tremoços, dos Beijinhos, do Vale de Centeanes e da Praia do Vale do Olival, sendo que nas últimas duas, também os restaurantes/bares de praia estão em áreas perigosas. Em Silves, os impactes na exposição ocorrem nos Salgados, tanto no parque de estacionamento de acesso à praia, como o *resort* VidaMar. Albufeira apresenta cinco locais de destaque para a exposição: Praia dos Pescadores, margem direita do Pontão da Praia dos Pescadores, Praias da Oura e Santa Eulália, Praia Maria Luísa e a Praia de Olhos d'Água. No primeiro caso, verifica-se a artificialização da foz da Ribeira de Albufeira. No segundo caso, na margem direita do Pontão da Praia dos Pescadores, identifica-se a exposição de espaço urbano público e do edifício INATEL Albufeira Hotel (Figura 24), que passa a estar totalmente contido em área perigosa no ano de 2070, independentemente do cenário RCP. Nas praias da Oura e Santa Eulália, verifica-se que os suportes de praia e espaços públicos se encontram expostos. Na Praia Maria Luísa, a área urbana exposta corresponde ao parque de estacionamento da praia, a estrada, e a uma casa. Também neste caso se verifica a artificialização de um local onde desaguam as águas do barranco de Vale Navio. Por fim, Castro Marim é o município que apresenta a frente urbana de Altura como área exposta.



**Figura 24.** Vista aérea sobre o INATEL Albufeira Hotel. Fonte: Paulo Santos.

## 5.2.2. Municípios de Alerta Moderado para a Adaptação

Os municípios de Nível moderado para a adaptação detêm valores intermédios de perigosidade e exposição. Estes municípios estão na iminência de passarem para municípios de intervenção prioritária (municípios de prioridade alta), caso se verifique um aumento na área perigosa ou exposta quer por via da intensificação do ritmo de SNMM, quer pelo aumento da expansão urbana em áreas perigosas quer ainda pelo abandono ou abrandamento das medidas de mitigação e adaptação que atualmente vigoram no seu litoral. Por estes motivos, os municípios categorizados no Nível II, correspondem a municípios de Alerta para a SNMM. Nesta categoria podem ser encontrados municípios que evoluíram do nível de prioridade baixa - Aveiro, Mira, Peniche, Almada e Lagos -, e municípios que se mantêm constantes no nível de prioridade moderada - Caminha, Viana do Castelo, Esposende, Ílhavo, Figueira da Foz e Sines (Tabela 5).

**Tabela 5.** Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade moderada, bem como dos municípios que apresentam variações entre os níveis de prioridade baixa e moderada, ao longo dos anos e/ou das projeções climáticas.

<b>NUTS</b>	<b>Municípios estáveis no nível de prioridade moderada</b>	<b><math>\Delta</math> nível de prioridade baixa para prioridade moderada</b>
<b>Norte</b>	Caminha, Viana do Castelo e Esposende	Espinho
<b>Centro</b>	Ílhavo e Figueira da Foz	Aveiro e Mira
<b>Oeste e Vale do Tejo</b>		
<b>Grande Lisboa</b>		
<b>Península de Setúbal</b>		Almada
<b>Alentejo</b>	Sines	
<b>Algarve</b>		Lagos e Portimão

Na NUTS II Norte, o município de Caminha apresenta impacte semelhante de inundação e exposição na sua costa. Os locais onde se verifica impacte da exposição são: i) na frente urbana de Caminha, ii) no parque de campismo de Caminha, iii) na frente urbana de Moledo, e iv) no núcleo urbano de Vila Praia de Âncora. Destaca-se o núcleo urbano de Moledo, com tendência a aumentar a sua área exposta com o passar dos anos, até ao fim do século. Os restantes setores do município apresentam dominância das áreas perigosas face a inundações episódicas. No município de Viana do Castelo, as áreas perigosas

são predominantes. No entanto, existem áreas expostas identificadas, como o parque de estacionamento de acesso à Praia do Afife, as edificações na frente urbana do Carriço, os apoios e equipamentos da Praia do Carreço, o campo de futebol do Areosense, o moinho de vento e a ETAR da Areosa, o edifício de hotelaria e turismo *FeelViana Sport Hotel* (construído entre 2007 e 2018), bem como a frente urbana da Amorosa e de Castelo do Neiva. Por último, o município de Esposende, que à semelhança com Viana do Castelo, também apresenta maior impacto da perigosidade face à exposição. No entanto, destacam-se como áreas urbanas expostas, a frente urbana de Antas, Marinhas, Esposende, Ofir e Apúlia. É de notar que, neste município, no ano de 2014, foi realizada a demolição de 27 edificações pertencentes à Vila de São Bartolomeu do Mar (Figura 25). Esta intervenção foi realizada ao abrigo do programa Polis do Litoral Norte, de forma a eliminar os riscos costeiros verificados nesta localidade.



**Figura 25.** São Bartolomeu do Mar. Ortofotomapas de base provenientes da DGT.

Na região Centro, destaca-se a transição do município de Aveiro para no Nível de prioridade moderada, no ano de 2100 (RCP 2.6 e 4.5), ou em 2070 no caso de se verificar a ocorrência do cenário RCP 8.5. Neste município, destaca-se a predominância da perigosidade, cujas áreas propícias a serem afetadas por inundações episódicas serão exacerbadas ao longo dos anos. Neste município a exposição não têm valor expressivo relevante. A sul, o município de Ílhavo detém também uma vasta predominância de áreas perigosas. Em relação à

exposição em Ílhavo, prevê-se que seja mais significativa nos anos de 2070 e 2100, com impacte na frente urbana da Costa Nova. O mesmo ocorre no município de Mira, em relação à perigosidade, que aumenta significativamente ao longo dos anos. No entanto, por comparação ao anterior, neste município a área urbana exposta é mais expressiva e poderá tornar-se mais impactante no futuro (em 2070 nos cenários RC P8.5, e em 2100 em todos os cenários). Em Mira, a transição para o nível de prioridade moderada faz-se, em todos os cenários, no ano de 2040. Por fim, o município de Figueira da Foz, apresenta pouca influência da perigosidade e nenhuma influência da exposição, no setor desde a fronteira norte até ao Cabo Mondego. Do Cabo Mondego para sul do município agravam-se ambos os fatores, com maior destaque para as áreas perigosas. Em termos de área exposta neste município, esta localiza-se em parte da frente urbana da Figueira da Foz, Cova Gala, Costa de Lavos e Leirosa, sendo a última afetada nos anos de 2070 e 2100, por aumento da área perigosa.

Em Peniche (NUTS II - Oeste e Vale do Tejo), tanto a exposição como a perigosidade, afetam o tecido urbano do município com a intensificação ao longo dos cenários e do período em análise. Em termos de exposição, destaca-se o aglomerado urbano do Baleal, e dois setores urbanos em Peniche: um localizado junto à praia da Gamboa, e o segundo junto ao molhe Oeste da marina de Peniche. Destaca-se, ainda, o campo de golfe junto à localidade da Consolação e a frente urbana da Consolação, com destaque para no ano de 2100.

Em Almada (NUTS II - Península de Setúbal), de norte para sul do município, destaca-se a exposição do núcleo urbano da Cova do Vapor, estruturas de apoio à praia, e estabelecimentos de restauração da praia de São João, o recinto do INATEL, e o parque de campismo, que apresenta tendência de expansão motivado pelo aumento de área perigosa. Destaca-se, também, a frente urbana da Costa da Caparica, nomeadamente os espaços de restauração das praias e os acessos e equipamentos das mesmas. Também o Parque de Campismo da Costa Nova, bem como os parques de estacionamento das Praias da Rainha, do Castelo, da Cabana, do Pescador e da Praia do Rei. Por fim, a frente urbana da Fonte da Telha, nomeadamente os apoios e equipamentos de praia e

edifícios de restauração. No restante setor do município, prevalece a influencia da perigosidade.

No Alentejo (NUTS II), o município de Sines verifica predominância da perigosidade no setor norte do município até ao molhe oeste do Porto de Sines. Nesse setor verifica-se uma extensa área perigosa que afeta essencialmente a classificação de áreas portuárias. No entanto, também se verifica tecido urbano exposto em áreas adjacentes a áreas portuárias, afetando espaços públicos, vias de circulação automóvel e pedonal, equipamentos e apoios de praia, e infraestruturas de serviços de restauração.

Por fim, no Algarve (NUTS II), o município de Lagos apresenta quatro locais onde se verifica a exposição dos núcleos urbanos a eventos extremos. De oeste para este, o primeiro local é o setor nordeste da Praia da Luz, onde novamente se verifica a antropização de uma foz de um curso de água de pequenas dimensões. Os espaços afetados correspondem a apoios de praia, restaurantes e bares de praia, espaço público, e habitações. Apesar de não ser de forma tão pronunciada, constata-se a mesma situação junto à Praia de Porto de Mós, onde se verifica, também, a foz de um barranco, cuja área urbana afetada corresponde a espaço público junto ao acesso à praia. A cidade de Lagos também se encontra exposta, na frente urbana junto à Praia da Batata, e à Marina de Lagos. Por fim, as urbanizações e *resorts* localizados no setor esquerdo da foz da Ribeira de Odiáxere, junto à Meia Praia. É aqui que se verifica a maior exposição atual e maior aumento da exposição para o futuro, no município de Lagos.

### **5.2.3. Municípios de Prioridade Alta**

Os municípios categorizados com o Nível III de prioridade, correspondem aos municípios onde se recomenda que sejam tomadas medidas de intervenção prioritárias face à SNMM. Estes municípios são subcategorizados em função da dinâmica de crescimento da sua área perigosa e do seu tecido urbano exposto. Os municípios de elevada prioridade face à perigosidade estão identificados na Tabela 6, enquanto os de elevada prioridade face à exposição urbana estão presentes na Tabela 7.

**Tabela 6.** Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade elevada para a perigosidade, bem como dos municípios que apresentam variações entre o nível moderada e alta para a perigosidade.

NUTS	Municípios estáveis no nível de prioridade alta face ao perigo	$\Delta$ nível de prioridade moderada para prioridade alta face ao perigo
Norte		
Centro	Vagos	Ovar
Oeste e Vale do Tejo		
Grande Lisboa		
Península de Setúbal		
Alentejo		
Algarve	Faro, Olhão e Tavira	Vila Real de Santo António

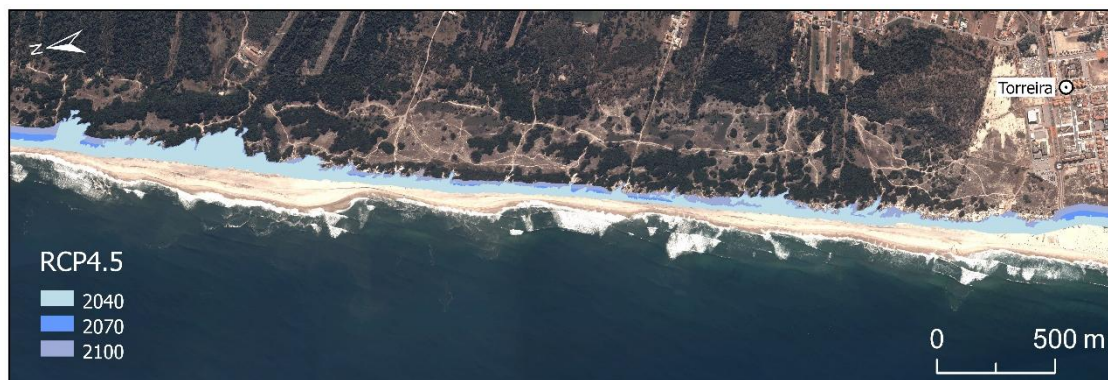
**Tabela 7.** Identificação dos municípios estáveis no nível de prioridade alta para a exposição das áreas urbanas, bem como dos municípios que apresentam variações entre o nível de prioridade moderada e alta para áreas urbanas.

NUTS	Municípios estáveis no nível de prioridade alta face à exposição urbana	$\Delta$ nível de prioridade moderada para prioridade alta face à exposição urbana
Norte	Póvoa de Varzim, Vila do Conde e Matosinhos	Vila Nova de Gaia
Centro		
Oeste e Vale do Tejo		
Grande Lisboa		
Península de Setúbal		
Alentejo	Grândola	
Algarve		Loulé

### a) Municípios de Prioridade Alta devido ao Perigo

Os municípios de elevada prioridade face ao perigo são Ovar, Vagos, Faro, Olhão, Tavira e Vila Real de Santo António. Na região Centro, destaca-se o município de Ovar, que transita para o nível de prioridade alta face ao perigo em 2040, independentemente do cenário RCP verificado. Este município duplica a sua área perigosa até ao fim do século. Os setores mais gravosos localizam-se nos troços arenosos entre a Praia de Cortegaça e a Praia do Furadouro, bem como o setor entre a Praia do Furadouro e a Praia da Torreira (Figura 26). Estes setores correspondem a sistemas praia-duna, expostos ao fenómeno de erosão costeira. O município de Vagos verifica, também, uma extensão área de inundação que afeta toda a linha de costa de forma intensa, ao longo do troço

arenoso que restringe este cordão de areia entre o oceano e o canal de Mira (Ria de Aveiro).



**Figura 26.** Área perigosa face a inundações episódicas costeiras no troço arenoso entre a Praia do Furadouro e a Praia da Torreira. Considerada o cenário RCP4.5.

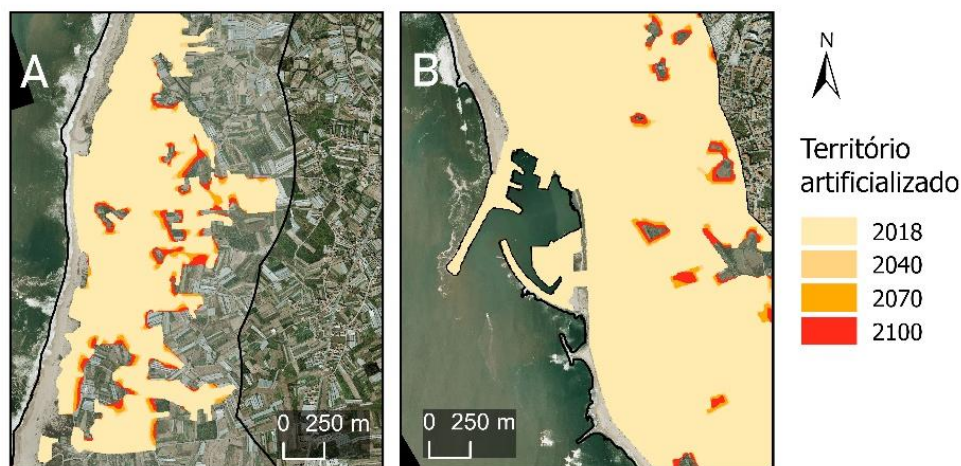
Os restantes municípios localizam-se na NUTS II Algarve. Faro, Olhão, Tavira e Vila Real de Santo António são municípios vizinhos, que detêm um complexo sistema de ilhas barreira, altamente vulnerável a inundações episódicas resultantes de eventos extremos. Estes municípios apresentam elevada perigosidade, uma vez que todo este sistema é suscetível a inundações episódicas. No entanto, exceto Tavira, os restantes municípios apresentam também setores de exposição. Em olhão existe um núcleo urbano exposto: núcleo urbano da Ilha da Armona. Denota-se que, neste município, ao abrigo do programa Polis, foram demolidas habitações da Ilha da Fuseta, de modo a eliminar o risco nesta localidade. Em Faro, o retrato é semelhante, verificando-se influencia da perigosidade ao longo de todo o setor da ilha barreira, e exposição nos aglomerados urbanos presentes neste sistema arenoso: o núcleo urbano da ilha de Faro, a praia de Faro, bem como as construções que se desenvolvem desde a ilha de Faro até a Praia do Barril. Também no início dos anos 2000, foram aqui demolidas habitações de génese ilegal. No município de Vila Real de Santo António, destaca-se que o sistema praia-duna desta área se encontra vulnerável face a inundações episódicas no setor oeste. No setor este, junto ao estuário do Rio Guadiana, observa-se um litoral baixo e arenoso, também vulnerável a inundações episódicas e a fenómenos de erosão costeira. Em termos de áreas perigosas, destaca-se o sistema dunar junto à Praia de Santo António, o sistema praia-duna junto à Praia Adão e Eva em Monte Gordo, e, por fim, o setor entre a Praia da Manta Rota e a Praia da Fábrica, incluindo a

Praia da Cacela Velha. Estes dois últimos são os locais onde se verifica um aumento da área perigosa por influência da erosão costeira. Em termos de exposição neste município, destaca-se o núcleo de Monte Gordo, Manta Rota, Fábrica, e Vila Real de Santo António.

## **b) Municípios de Prioridade Alta devido à Exposição**

Os municípios prioritários face à exposição são Póvoa de Varzim, Vila do Conde, Matosinhos, Vila Nova de Gaia, Grândola e Loulé.

Na região Norte, na Póvoa de Varzim, existe uma densa artificialização da linha de costa, com distintos núcleos urbanos expostos: Codixeira, Aguçadoura, Caturela, Areosa, Granjero, Santo André, A-Ver-o-Mar (Figura 27), Paranho de Cima, Paranho da Areia e Póvoa de Varzim (Figura 27). Além dos núcleos urbanos, destaca-se ainda como área exposta a inundações episódicas o Estrela *Golfe Club* de Rio Alto. No município de Vila do Conde, verifica-se um retrato idêntico ao do município anterior, cujos núcleos urbanos que se encontram expostos são: Vila do Conde, Azurara, o parque de campismo de Azurara, núcleo urbano de Árvore, Mindelo, Vila Chã, São Paio e Labruga. Alguns destes núcleos urbanos expostos sofrem um aumento de área provocado pela expansão das áreas perigosas nos anos de 2040, 2070 e 2100, para territórios que já se encontram artificializados no presente. O município de Matosinhos apresenta também uma densa artificialização da linha de costa que se encontra exposta a inundações episódicas. As áreas urbanas expostas correspondem à frente urbana de Angeiras e Lavra, que sofrem aumento da sua área exposta a partir de 2040. Destaca-se, também, a frente urbana de Agudela e Parafita, que aumentam a área perigosa até 2040. Por fim, o núcleo urbano de Matosinhos encontra-se exposto, mas não sofre alterações na sua área perigosa ao longo período em análise. Por último, o município de Vila Nova de Gaia apresenta uma grande influência da área exposta ao longo do seu município, nomeadamente toda a frente exposta de Vila Nova de Gaia. Esta corresponde à área do Parque de São Paio e da Foz de Ribeira, prevendo-se um aumento até ao fim do século.



**Figura 27.** Territórios artificializados no ano de 2018, e predição da expansão urbana para os horizontes temporais de 2040, 2070 e 2100. A: A-Ver-O-Mar; B: Póvoa de Varzim.

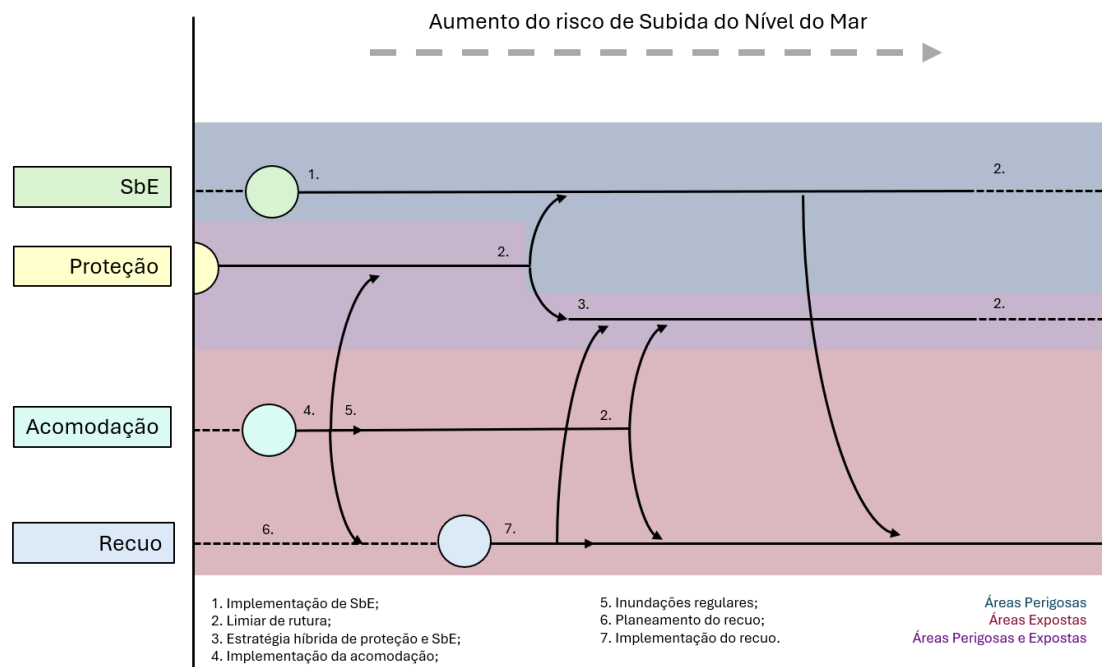
No Alentejo, verifica-se uma extensa área no município de Grândola, que corresponde ao Tróia *Golf*, aos *resorts*, às urbanizações, e a vias de circulação pedonal e automóvel. Neste município a área urbana aumenta ao longo dos anos, sendo a expansão das áreas perigosas o fator que mais influencia este aumento.

Na NUTS II Algarve, destaca-se o município de Loulé. Este município tem como áreas urbanas expostas as habitações da localidade de Ilha de Cima, Almancil, Vale do Lobo, Quarteira e Vilamoura.

### 5.3. Adaptação à perigosidade e exposição

Todos os municípios no litoral português devem considerar no seu território a adaptação face à SNM, pois todos eles serão efetivamente afetados, independentemente do período em análise ou do cenário RCP. No entanto, a adaptação deve ser diferenciada mediante os níveis de prioridade já apresentados nos pontos anteriores, e maximizada nos municípios de níveis mais críticos. As medidas de adaptação que podem ser adotadas são: a) o avanço, b) a proteção (pesada ou ligeira); c) soluções baseadas em ecossistemas (SbE), d) a acomodação, e e) o recuo planeado, conforme definidos no ponto 2.3.3. As medidas de adaptação à SNMM adiante sugeridas para implementação no território continental português, não consideram possíveis desvios ao investimento feito atualmente na proteção face ao avanço da linha de costa para o interior (estratégia de avanço). A Figura 28 identifica os possíveis

cenários para adaptação estratégica dos municípios do litoral português, tendo em consideração as áreas perigosas, as áreas expostas e as áreas onde há igual dominância das duas variáveis anteriores.



**Figura 28.** Padrões genéricos de adaptação face à SNM (adaptado de Glavovic *et al.*, 2022).

Para uma estratégia de curto prazo, prevê-se que se mantenha a proteção do litoral (tanto pesada como ligeira), e que se venham a adotar as soluções baseadas no funcionamento de ecossistemas e a acomodação. As primeiras, mostram-se cada vez mais frequentes em todo o mundo, mas apenas eficientes no curto prazo (Almenar *et al.*, 2021).

As medidas de proteção, têm sido as mais aplicadas em Portugal, primeiramente a proteção pesada (*e.g.* esporões, molhes, diques e quebra-mares), e atualmente as de proteção ligeira (*e.g.* alimentações artificiais). Uma vez que as primeiras originam impactes significativos no transporte sedimentar, e podendo também gerar consequências graves nos setores a sotamar das mesmas, deixaram de ser a opção predominante na gestão do litoral. Por outro lado, as alimentações artificiais em sistemas arenosos são, hoje, a medida de proteção ligeira mais aplicada em Portugal. Estas consistem na reposição de carga sedimentar na parte imersa ou emersa das praias, com o propósito de restabelecer o equilíbrio do sistema. No entanto, as areias utilizadas para as

alimentações artificiais são um recurso limitado (Rangel-Buitrago *et al.*, 2023) e causador de impactes ao nível dos ecossistemas, quer em termos de efeitos disruptivos nos habitats marinhos, quer na perda de biodiversidade local quer no aumento da turbidez (Greene, 2002, Lindim, 2021). Segundo a Agência Portuguesa do Ambiente, o período necessário de salvaguarda num ponto de empréstimo sedimentar para assegurar areia para as alimentações artificiais são 250 anos. No entanto, atualmente apenas estão assegurados sedimentos para 90 anos. Este problema faz com que esta ação de mitigação não possa constituir uma solução de longo prazo, pois atingirá um ponto de rutura. Quando esse limiar for atingido, os setores do litoral que eram intervencionados com estas alimentações artificiais terão de passar a adotar outras estratégias, nomeadamente SbE ou uma estratégia híbrida de proteção e SbE (Airoldi *et al.*, 2021; Riera-Spiegelhalder *et al.*, 2023). As alimentações artificiais de praias apresentam ainda outras limitações, como o elevado custo das operações de dragagens, que segundo o Plano de Ação Litoral, corresponderão a um orçamento previsto de 356 milhões de euros. Para o ano de 2025, dois importantes protocolos já foram assinados para a Costa da Caparica (Almada), e para o *bypassing* do setor Cova-Gala (Figueira da Foz). O orçamento é de 11 M€ e 27,5M€, respetivamente. O efeito positivo desta estratégia é muito limitado no tempo, exigindo a recorrência na realização das alimentações artificiais, bem como da sua monitorização e manutenção, exacerbando o esforço financeiro em cada troço arenoso intervencionado. Além disso, esta solução requer desafios técnicos relacionados com as modificações hidrodinâmicas introduzidas pela realização da obra e sua relação com as infraestruturas e com os bens pré-existentes. O conflito da utilização pública destes locais intervencionados tem também reflexos na economia e turismo locais.

Quanto à acomodação, esta é uma estratégia que necessita de algum tempo para ser implementada, mas pode ser uma solução para um futuro próximo. No entanto, esta estratégia que consiste na sobrelevação de estruturas e edifícios, pode sofrer os impactes indiretos gerados pelas inundações episódicas e verificar uma maior frequência das mesmas. Face a esta problemática, três linhas de ação podem ser seguidas: i) um investimento na

proteção destas áreas; ii) permanência desta estratégia, mesmo com a prevalência de inundações costeiras; e iii) planejar o recuo destas estruturas e infraestruturas afetadas (Glavovic *et al.*, 2022).

Quanto ao recuo, esta é a medida mais morosa, podendo o seu planeamento levar décadas. Não obstante, esta constitui a solução mais viável para a redução dos riscos, quando perspetivada no longo prazo (período pós-2100). A implementação desta estratégia não só visa a diminuição da vulnerabilidade dos sistemas naturais face aos riscos, como ainda elimina a exposição do tecido urbano, eliminando conseqüentemente os riscos (Glavovic *et al.*, 2022).

### **5.3.1. Municípios de Baixa Prioridade para a adaptação**

Os municípios de Nível I, apesar de serem identificados como os menos prioritários face à intervenção, também apresentam setores de perigosidade e de exposição. Embora menos extensos por comparação aos restantes municípios, estes setores podem vir a evoluir para situações mais críticas. Por esse motivo, realça-se a importância destes municípios investirem numa adaptação estratégica face aos impactes da SNM. O não investimento na gestão dos riscos costeiros nestes locais significaria negligenciar o seu território e a sua população.

A principal prioridade deve ser a garantia de que as áreas territoriais não evoluem para exposição passiva, ou seja, assegurar um controle na expansão urbana e interdita-la para locais de perigosidade futura. Para que tal seja cumprido, são necessários vários níveis de atuação, começando pelas políticas públicas. Um exemplo é o PNPOT, que visa a implementação do Plano de Ação Litoral XXI, que especifica as ações a serem desenvolvidas na orla costeira. Os POC, estabelecidos nos Programas Especiais de Ordenamento do Território, são responsabilidade das Administrações de Região Hidrográfica (ARH), das CDDR e dos Municípios. Estes últimos também desempenham um papel crucial na gestão do litoral, destacando-se, ainda, a elaboração e implementação dos próprios Planos Diretores Municipais (PDM). É fundamental que a certificação de que os mesmos não ficam obsoletos pela sua desatualização, de modo a

garantir que o seu período de atualização decadal é cumprido. No caso específico das inundações episódicas agravadas pela SNM - que é um perigo que aumenta ao longo dos anos mesmo que se verifiquem reduções nas emissões de GEE -, é recomendável que a área de condicionantes do PDM contenha projeções de longo prazo, precisamente para evitar a exposição passiva das cidades e populações face a este perigo. É ainda importante que estas áreas potencialmente perigosas sejam áreas restritas à reabilitação de ruínas para novas construções.

Apesar das limitações impostas às edificações em áreas perigosas, não significa que estas áreas não possam ser de uso urbano durante o ano. Os espaços públicos como praças e jardins, são exemplos de uma utilização urbana de áreas potencialmente perigosas a inundações episódicas, pois são territórios contabilizados como artificiais, mas que apenas são utilizados quando não se verificam condições adversas. Estes territórios podem ser utilizados de forma livre pela população durante todo o ano exceto nos períodos de interdição (*e.g.* quando se verifica a ocorrência de eventos extremos), nos quais os espaços devem ser encerrados pelas autoridades competentes (*e.g.* Câmaras municipais, proteção civil e forças de segurança). O encerramento destes espaços leva ao recolhimento da população para as suas habitações que se devem localizar fora das áreas perigosas.

Para que haja uso consciente dos espaços urbanizados deve haver também o cumprimento do estabelecido na Lei de Bases da Proteção Civil, no artigo 7º - Informação e formação dos cidadãos. Este artigo estipula que os cidadãos têm direito à informação sobre os riscos a que estão sujeitos em certas áreas do território e sobre as medidas adotadas e a adotar de modo a minimizar as consequências dos eventos perigosos. Por isso, é fundamental que os municípios realizem campanhas de sensibilização e ações de literacia para os riscos, não só pelos direitos que os munícipes têm ao conhecimento dos perigos que atuam no seu município, mas também para adquirir a conhecimento sobre como agir em caso de eventos extremos. As campanhas de formação e sensibilização devem ser regulares e dinâmicas e incluir todas as faixas etárias, desde os mais jovens (podendo ser realizadas ao nível das escolas), aos mais

idosos, que são um dos grupos mais vulneráveis aos riscos - que podem funcionar em universidades seniores, instituições seniores locais, centros de dia e lares. A população adulta em idade ativa pode ser sensibilizada através de campanhas públicas dinâmicas (*e.g.* com apoio de artistas locais para as tornar mais apelativas), bem como campanhas de ciência cidadã, em que se envolvem os peritos em matéria de riscos com a população residente (*e.g.* eventos *World Café*).

A adaptação nos setores expostos destes municípios deve focar-se, a curto prazo, na proteção ligeira ou em soluções baseadas no ecossistema. Neste período, é assegurada a proteção destes locais, e é programada a realocação dos mesmos a longo prazo. Tal já se verifica, e há infraestruturas que se encontram em áreas perigosas que estão identificadas pela APA para serem demolidas. Como por exemplo, o Edifício Transparente (Figura 29), construído junto à Praia Internacional, no início dos anos 2000, no município do Porto (Nível I). Este edifício encontra-se classificado como área crítica face a riscos naturais, na carta de riscos naturais da Planta de Ordenamento do PDM do Porto.



**Figura 29.** Praia Internacional e Edifício Transparente, localizados no município do Porto. Fonte: <https://www.idealista.pt/news/imobiliario/habitacao/2018/10/31/37803-edificio-transparente-no-porto-e-centenas-de-casas-junto-ao-mar-va-ser-demolidos>

Quanto aos setores perigosos destes municípios devem diferenciar-se as áreas correspondentes a sistemas naturais e florestais das áreas agrícolas. Desta forma é possível adaptar as políticas a adotar em função do uso do solo. As áreas agrícolas podem sofrer impactes uma vez que virão a ser cada vez

mais afetadas pela salinização dos seus terrenos, tendo de adaptar as suas culturas para culturas resistentes à salinização, como espargos, brócolos e espinafres (Shannon *et al.*, 1998), e oliveiras e figueiras (FAO, 2002). O que pode inclusive trazer efeitos benéficos para os vegetais produzidos, nomeadamente a nível de produtividade, qualidade e resistência a doenças (Shannon *et al.*, 1998). Relativamente aos sistemas naturais é necessário garantir a sua resiliência face a estes eventos. Para isso deve haver uma valorização e preservação dos ecossistemas, como a adaptação das estruturas e infraestruturas que se encontram nos mesmos, através da acomodação dos apoios de pesca e sobrelevação dos passadiços de acesso às praias. Paralelamente, podem ser realizadas campanhas de sensibilização e consciencialização para a conservação de sistemas dunares, incentivando a responsabilidade social.

### **5.3.2. Municípios de prioridade moderada para a adaptação (Municípios Alerta)**

Os municípios de prioridade moderada para a adaptação correspondem a municípios de alerta moderado para perigosidade e exposição. São detentores de um nível mais avançado de perigosidade e/ou à exposição face aos de prioridade baixa, podendo vir a transitar para os níveis mais prioritários, quer face ao perigo, quer face à exposição de áreas urbanas. Estes municípios devem integrar as mesmas linhas de ação que foram indicadas para os municípios de prioridade baixa. Por serem detentores de áreas perigosas e expostas mais extensas, estes requerem maior investimento na adaptação.

Nestes municípios, o recuo planeado deve ser priorizado nos setores de exposição, e o seu planeamento deve ser iniciado com a maior brevidade, de modo a eliminar as frentes expostas que podem aumentar em área. No período temporal de planeamento do recuo planeado, as estratégias de proteção que vigoram devem ser mantidas, nomeadamente quando se verificam estruturas pesadas de defesa costeira. O motivo prende-se com a inexistência de estudos de impacte ambiental da retirada destas estruturas, que considerem toda a célula sedimentar em que o município se insere, de modo a não repetir os erros de ordenamento da orla costeira cometidos no passado. Complementarmente,

podem ser implementadas estratégias de proteção suave e de adaptação baseada em ecossistemas (Kabisch *et al.*, 2016).

A estratégia de proteção suave mais comum em Portugal continental são as alimentações artificiais de sedimentos nas praias. Para as áreas classificadas como áreas em risco, 50 % do financiamento (356 milhões de euros) do Plano de Ação Litoral XXI está destinado à reposição de areia nas praias, de forma artificial. Há municípios classificados com o Nível II, que já são dependentes deste tipo de proteção, como é o caso de Almada, em específico na Costa da Caparica (Figura 30), que necessita de ser intervencionada com regularidade. Para este local, já foram despendidos cerca de 20 milhões de euros, só para alimentações artificiais, nos últimos 18 anos, e em 2025 terá nova alimentação artificial (1 milhão de m<sup>3</sup> de areia).



**Figura 30.** Vista direcionada para a Costa da Caparica e Oceano Atlântico.

Idealmente, os municípios de prioridade moderada deverão definir uma estratégia híbrida, que seja a transição das medidas que têm vindo a ser aplicadas no seu território para soluções baseadas em ecossistemas. Tal deve-se aos impactes negativos que estão associados às medidas de proteção pesadas (e.g. ao nível da dinâmica sedimentar), e à proteção ligeira (dependência de um recuso finito (areias), e impactos no ecossistema e na economia). A replantação e o reforço dos cordões dunares são exemplos de medidas baseadas em ecossistemas que podem ser a solução adotada nestes municípios (Papadopoulou *et al.*, 2023). Esta transição permite que os municípios de prioridade moderada não dependam exclusivamente de proteções pesadas e suaves, e adotem uma solução que oferece menos impactos

negativos, reforçando e capacitando o sistema natural, e tornando-o mais resiliente.

### 5.3.3. - Municípios Prioritários face ao Perigo

Os municípios de prioridade alta de adaptação face ao perigo devem considerar medidas urgentes de investimento no litoral. Estes municípios devem implementar as medidas consideradas nos níveis anteriores, mas com maior prioridade. Uma vez que a perigosidade é o fator mais gravoso nestes municípios, a atenção aos sistemas naturais que se encontram vulneráveis à ação do mar deve ser redobrada (Figura 31). Devem, ainda, reforçar estes sistemas, mediante a adoção de medidas baseadas em ecossistemas.



**Figura 31.** Península do Ancão limitada pela ria Formosa (esquerda) e pelo mar (direita).

Tornar os cordões dunares mais robustos é fundamental para assegurar a resiliência destes sistemas. A fixação dos sedimentos no cordão dunar deve ser realizada com uso a espécies endémicas, como *Ammophila arenaria*. Em simultâneo, é essencial garantir que neste ecossistema não permanecem espécies exóticas como o *Carpobrotus edulis*, que competem com as espécies autóctones, podendo tornar-se dominantes no sistema dunar (Borges *et al.*, 2008). Estas espécies invasoras detêm uma menor capacidade para fixar as areias do cordão dunar face às espécies autóctones, sendo especialmente prejudiciais nos sistemas que já se encontram vulneráveis (Paixão, 2013, Campoy *et al.*, 2018).

É, ainda, fundamental adotar estratégias de adaptação dos núcleos urbanos piscatórios, como a Culatra. A sobrelevação das estruturas piscatórias e dos edifícios é importante para manter o dinamismo da ilha barreira, e evitar que os núcleos urbanos sejam diretamente afetados pelas inundações

episódicas a que estão sujeitos (Pires, 2021). Deve ainda procurar-se a eliminação maximizada da pressão antrópica existente no sistema, que passará por um conjunto de ações que engloba i) a realocização de algumas edificações, ii) redução da pressão turística sobre o sistema, e iii) eliminação de setores de perturbação provocados pelo pisoteio. Estas áreas devem ser intervencionadas com vista à recolonização das mesmas por espécies endémicas, combinado com a criação de passadiços sobrelevados.

Nestes sistemas vulneráveis, não se recomenda a construção de proteção pesada (Pires, 2021). No entanto, devem ser realizados estudos de impacte ambiental que visem a redução ou transposição dos molhes das ilhas barreira, nomeadamente na Barra de Faro-Olhão, tal como sugerido por Ceia (2009). O principal objetivo é permitir restabelecer a natural dinâmica sedimentar das ilhas barreira. Os estudos de impacte ambiental devem ser combinados com um estudo de ordenamento do território para os núcleos urbanos que podem ser impactados, especialmente para o núcleo urbano da Ilha do Farol e Hangares (Figura 32).



**Figura 32.** Molhes da barra Faro-Olhão, núcleo urbano da ilha do farol e de Hangares.

Outras medidas de adaptação como o recuo planeado devem ser tidas em conta também nestes ecossistemas, uma vez que a pressão antrópica sobre os sistemas naturais os torna ainda mais vulneráveis. Complementarmente deve coexistir a monitorização destes sistemas, para melhor adaptação à SNM, de modo a ter uma análise de identificação e resolução de focos de problemas mais eficaz.

### 5.3.4. Municípios de Prioritários Alta face à Exposição

Os municípios de elevada prioridade face à exposição, devem também seguir as mesmas medidas de adaptação estabelecidas para os municípios prioridade baixa e moderada. No entanto, devem adotar estratégias prioritárias quanto à exposição dos núcleos urbanos expostos.

Uma vez que estes municípios já se encontram em áreas artificializadas criticamente expostas a inundações episódicas, é imperativo a cessação de construção para setores não artificializados junto ao litoral, e proibida a recuperação de edifícios que se encontram em ruína. O exemplo das construções urbanas no setor Troia-Melides destaca-se pelos seus impactos negativos, que potenciam o aumento da exposição do município de Grândola.

Dada a extensão dos núcleos urbanos que se encontram expostos a inundações episódicas nas frentes costeiras e ao facto de nem sempre ser possível assegurar apenas a proteção baseada em ecossistemas e as medidas de proteção suave, devem ser mantidas também as medidas de proteção pesada existentes, enquanto se planeia o recuo das mesmas. O recuo planeado é uma medida prioritária nestes municípios, uma vez que, independentemente das emissões de GEE emitidas para a atmosfera, o nível médio do mar vai continuar a subir por ter um efeito retardado face à absorção de calor atmosférico. Por esse motivo, é fundamental que se priorizem os setores urbanos expostos que contêm edifícios habitacionais. Os problemas que verificamos atualmente virão a agravar-se cada vez mais ao longo dos anos, e as áreas expostas irão aumentar a sua dimensão, e conseqüentemente afetar um número maior de pessoas que utilizam estes espaços ou que neles residem (Figura 33).



**Figura 33.** Áreas urbanas expostas a inundações episódicas. A - Edifícios da frente urbana de Vila do Conde; B - frente urbana de Quarteira, Loulé.

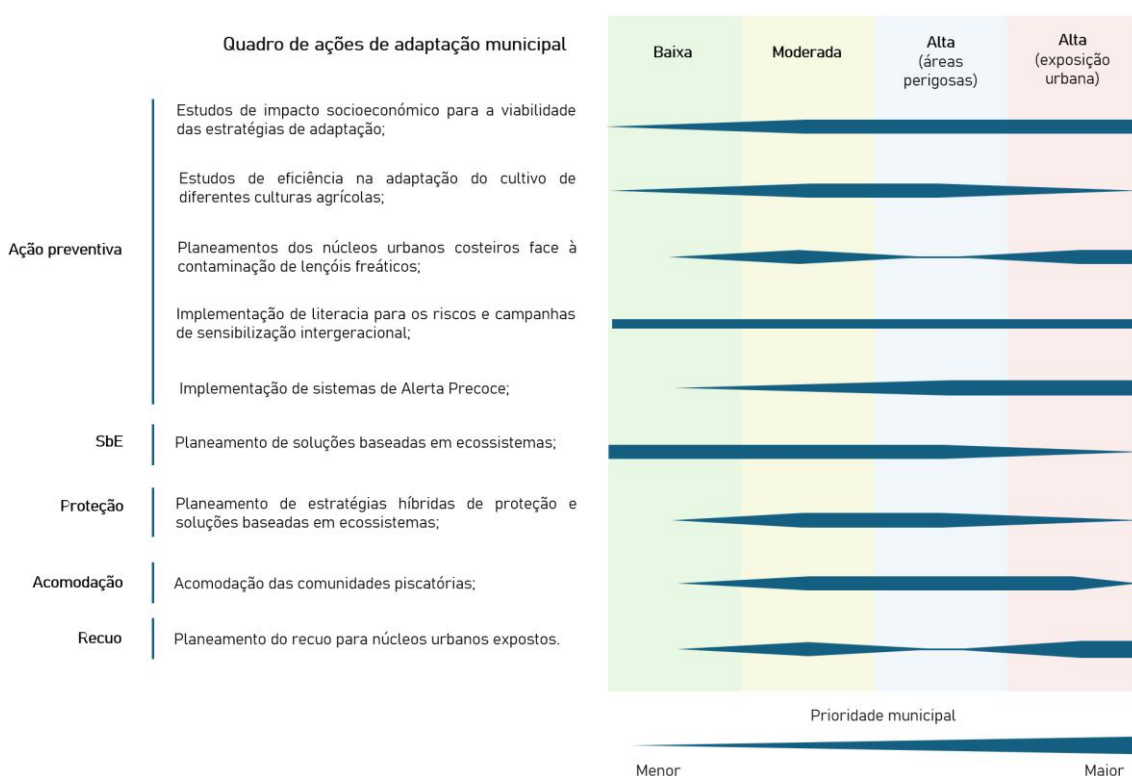
Idealmente, o futuro passará por capacitar as localidades costeiras para se tornarem resilientes aos riscos. Por isso, é fundamental assegurar que nos municípios correspondentes se controla o crescimento urbano, de modo a evitar o crescimento de áreas urbanas expostas à SNM. Seria muito pertinente a existência de planos de ação e adaptação municipal face à SNM, que contenham áreas perigosas face a inundações episódicas cenarizadas. Esta ferramenta seria essencial para o ordenamento sustentável do território na orla costeira. Nestes municípios, é prioritária também uma análise de custo benefício das soluções a implementar, de modo a identificar as melhores soluções a aplicar em cada setor, como as realizadas por Coelho *et al.* (2022). A construção de muros e sistemas de *Polders* podem ser soluções a adotar para as frentes expostas.

Nas cidades e núcleos urbanos expostos, a regularidade de inundações episódicas pode ter impacte ao nível da contaminação de aquíferos, e de hortas urbanas, o que pode gerar uma logística de adaptação mais completa para tornar os núcleos urbanos mais resilientes, e para uma gestão integrada dos riscos costeiros. É importante que estes municípios providenciem campanhas de sensibilização e de literacia para os riscos, para garantir a consciencialização da população. Complementarmente, podem ser realizadas campanhas direcionadas para os utilizadores das áreas perigosas (*e.g.* direcionadas ao setor do turismo). Além disso, revela-se como de prioridade máxima para estes municípios o desenvolvimento de sistemas de Alerta Precoce (*Early Warning*) para os perigos mencionados. Estes sistemas permitem alertar a população residente para a ocorrência do evento perigoso de forma antecipada, para que os cidadãos tenham tempo para se deslocar para áreas seguras (UNGA, 2016).

### **5.3.5. Adaptação municipal**

A adaptação municipal à SNM exige planeamento estratégico de curto e de longo prazo, podendo revelar esforços mais exigentes quando perspetivados para horizontes temporais mais distantes dos atuais. No entanto, é fundamental

que os municípios do litoral considerem planos estratégicos de longo prazo, de modo a mitigar os impactes da SNM no seu território. A Figura 34 sintetiza as medidas sugeridas na presente dissertação para os diversos níveis de prioridade municipal identificados. Os municípios de prioridade baixa, por serem menos perigosos e expostos, não requerem tanto investimento em políticas e ações de adaptação à SNM. Os municípios de prioridade moderada verificam para todas as soluções um aumento da priorização da implementação de medidas de adaptação face aos municípios anteriores. Os municípios de prioridade alta variam a priorização das políticas mediante a predominância de áreas perigosas ou de áreas urbanas expostas.



**Figura 34.** Medidas de intervenção municipal e a sua prioridade para os distintos níveis de adaptação municipal.

O quadro de ações de adaptação municipal agrega as ações baseadas em políticas preventivas para a adaptação aos perigos bem como as cinco estratégias de adaptação. As ações preventivas descritas relacionam-se com os estudos de impacte socioeconómico para a viabilidade de implementação das diversas estratégias de adaptação, e análises multicritério. Esta análise é fundamental e constitui o primeiro passo necessário para a adaptação à SNM

(Klein *et al.*, 2020). É comum a todos os municípios, no entanto, mais prioritária para as categorias de prioridade moderada e alta, por serem as que apresentam maiores áreas perigosas e expostas. Os estudos de eficiência na adaptação das culturas e regadios é mais direcionada para os municípios afetados pela influência da contaminação de água salgada em territórios não urbanos. A contaminação dos lençóis freáticos por água salgada poderá gerar impactes no fornecimento de água para uso da população, por isso considerou-se prioritário nos municípios onde a exposição do tecido urbano tem mais área afetada (prioridade moderada e alta face às áreas urbanas expostas). As campanhas de literacia para riscos devem ser priorizadas em todos os municípios do litoral, independentemente dos seus níveis de prioridade. Os motivos prendem-se com o facto destas ações comportarem custos mais elevados e serem potencializadoras na restrição de usos antrópicos do território. Destaca-se ainda a implementação de sistemas de alerta precoce, fundamentais à redução dos riscos (UNGA, 2016), que se identificou como mais prioritária nos municípios mais perigosos e mais expostos. Por fim, é necessário o investimento na continuação de estudos direcionados para os impactes gerados pela SNM e monitorização da mesma, bem como das soluções de adaptação municipal implementadas (Klein *et al.*, 2020).

Relativamente à implementação de SbE, estas, por serem soluções viáveis para um curto prazo, não foram consideradas como prioritárias para os municípios que apresentam maior exposição de áreas urbanas. Nas restantes, a implementação de soluções baseadas em ecossistemas pode revelar-se mais pertinente, por ter menor ação de perigosidade e exposição. Destaca-se ainda os municípios de maior perigosidade, onde este tipo de soluções pode ser eficaz para promover a resiliência do sistema (Klein *et al.*, 2018).

Dada a inexistência de estudos de impacte sedimentar ao nível da célula sedimentar que garantam que não são gerados impactes negativos com a retirada de estruturas de defesa pesada na costa, a presente dissertação considera o que estas sem mantêm na costa portuguesa. Por esse motivo, e uma vez que os sedimentos disponíveis para as soluções de proteção ligeira de alimentações de areias nos litorais arenosos é um recurso natural limitado

(Rangel-Buitrago *et al.*, 2023), a estratégia de adaptação sugerida é a de implementação de uma estratégia híbrida que vise a implementação de SbE, combinadas com a continuação de soluções ligeiras, em menores volumes. Estas foram consideradas nas categorias de prioridade moderada e alta, por abrangerem os municípios que apresentam mais áreas perigosas e expostas à SNM.

A estratégia de acomodação, foi considerada mais prioritária nos municípios de prioridade moderada e alta face ao perigo. Tal prende-se com o facto de serem os municípios mais afetados pela perigosidade. Além disso, os municípios de prioridade alta face ao perigo devem promover a resiliência dos sistemas naturais, pelo que a acomodação de estruturas essenciais - como os apoios de pesca - deve ser uma prioridade dos mesmos. Esta estratégia é inerente a todos os municípios, uma vez que se constata que as inundações episódicas afetam áreas que são ocupadas por restaurantes, apoios e equipamentos de praia. Deste modo, e uma vez que as estruturas em questão são maioritariamente de utilização sazonal, recomenda-se a sobrelevação das mesmas, de modo a reduzir impactes e perdas económicas aquando da ocorrência de inundações costeiras.

Por fim, a estratégia de recuo planeado de infraestruturas localizadas em áreas potencialmente perigosas face a inundações costeiras. Esta estratégia tem prioridade máxima nos municípios de prioridade elevada face à exposição de núcleos urbanos, uma vez que estes representam os municípios detentores de exposição mais expressiva de territórios artificializados face à SNM. Por esse motivo, o recuo planeado de frentes urbanas expostas deve ser uma prioridade de adaptação assegurada pelos municípios. Pelos mesmos motivos, mas com menor área exposta, e por isso menor prioridade comparativamente aos municípios de prioridade alta face ao perigo, destacam-se os municípios de prioridade moderada. Estes municípios estão numa situação intermédia face à adaptação. Uma vez que têm a possibilidade de vir a transitar para um nível prioritário face à exposição urbana, estes municípios em questão devem também adotar uma visão estratégica de planeamento das edificações expostas. Os municípios de prioridade baixa e alta para as áreas perigosas,

detêm áreas diminutas por comparação aos mencionados anteriormente, por isso são considerados na prioridade baixa. No entanto, também devem identificar as áreas expostas e programar o recuo das mesmas.

## CAPÍTULO 6 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

As flutuações no nível do mar são um processo natural na história de vida do Oceano. No entanto, só num período geológico mais recente, no Antropoceno, é que as mesmas se relacionam com impactes associados ao aumento de calor atmosférico, induzido pelo ser humano. O IPCC já garantiu que o NMM não vai deixar de subir para além do ano de 2100, mesmo que as emissões de GEE terminem imediatamente. Além disso, caso se mantenham as políticas públicas em vigor no ano de 2020, o aumento da temperatura não irá ser controlado abaixo de 2 °C acima dos níveis pré-Revolução Industrial. Por esses motivos, a subida eustática do NMM é uma preocupação global, que proporciona consequências no presente que podem ser amplificadas no futuro, para populações e ecossistemas costeiros.

A ocupação antrópica no litoral português sofreu uma mudança de paradigma no século XX, onde um espaço outrora temido pela população, apenas frequentado sazonalmente por comunidades piscatórias, se tornou atrativo para a fixação de residentes (Gaspar de Freitas, 2007). Até à atualidade, têm-se registado variações populacionais positivas nos municípios do litoral, o qual contava em 2022 com 36 % da população residente em Portugal (INE, 2023). A perspetiva de crescimento urbano no litoral, conjugada com um contexto de mudança climática, num país com 980 km de fronteira com o oceano (no território continental), exacerba as necessidades de salvaguarda da população que se expõe a fenómenos como a SNM e a erosão costeira.

Portugal apresenta, atualmente, em cerca de 45 % do litoral baixo e arenoso tendência evolutiva de erosão costeira (APA, 2024), que se sabe que virá a ser amplificada pela SNM. A esse fator, acresce ainda a preocupação associada à exposição passiva do território, que poderá aumentar nos próximos anos, quer seja pelo aumento extensivo das áreas que podem ser afetadas por inundações episódicas, quer pelo aumento de tecido urbano em áreas que se tornarão perigosas no futuro.

Os resultados obtidos na presente dissertação indicam que, em Portugal continental, mesmo sem influência do SNM gerada pela mudança climática, o país já detinha uma significativa área de inundações episódicas costeiras de 62

km<sup>2</sup>, dos quais 18 % correspondem a territórios artificializados. A mudança climática apenas exacerba os impactos que o litoral já verificava. Para os anos futuros, espera-se que as inundações episódicas possam corresponder a uma área de cerca de 66 km<sup>2</sup> em 2040, e 86 km<sup>2</sup> no fim do século. O aumento esperado, para estes anos, é na ordem dos 6 e 39 % face à área que não considera influência da SNM.

Relativamente às dinâmicas de uso do solo, estas revelam que o crescimento das áreas artificializadas vai continuar a ocorrer nos municípios do litoral. Este crescimento ocorre na periferia das cidades e núcleos urbanos costeiros, para áreas interiores e laterais. O aumento das áreas urbanas vai provocar o aumento das áreas expostas, quer por expandirem para áreas que atualmente já se encontram artificializadas, mas também por transição do território não urbano para urbano em áreas que, no futuro, se mostram potencialmente perigosas. O crescimento urbano que poderá vir a assistir-se pode exacerbar a exposição passiva das áreas artificializadas dos municípios do litoral.

É ainda de destacar que, apesar da SNM provocar uma expansão das áreas perigosas no território, potencia também uma expansão das áreas urbanas expostas a inundações episódicas. Para o cenário menos conservador projetado no ano de 2100, apenas 28 % das áreas urbanas são efetivamente afetadas pela SNM. Os restantes 72 % de áreas urbanas expostas correspondem a territórios artificializados que atualmente já se encontram expostos a estes eventos perigosos.

Relativamente aos perfis de exposição municipal face a inundações episódicas, destacam-se os municípios de nível mais elevado de prioridade para a adaptação: Grândola, Matosinhos, Vila do Conde, Póvoa de Varzim, Vila Nova de Gaia e Loulé. Quanto à perigosidade municipal, destacam-se os municípios de Tavira, Olhão, Faro, Vagos, Vila Real de Santo António e Ovar. Os municípios que estão no Nível intermédio para intervenção de adaptação face à SNM são: Sines, Figueira da Foz, Ílhavo, Esposende, Viana do Castelo, Caminha, Mira, Peniche, Lagos, Espinho, Aveiro, Almada e Portimão. Destes, destacam-se, ainda, os municípios de Portimão, Almada, Aveiro, Espinho, Lagos e Peniche, por

serem os municípios onde os diferentes cenários RCP influenciam o Nível de prioridade de adaptação municipal ao longo dos anos.

Apesar dos problemas de Ordenamento do Território na Orla Costeira, é de destacar a inexistência de um plano de ação exclusivo para a SNM em Portugal. Além disso, destaca-se ainda a inexistência, nos PDM, de análises de *What If Scenarios* de longo prazo para os riscos nas plantas de condicionantes. Tal seria de extrema importância, visto que os PDM constituem IGT que são a ferramenta base ao Ordenamento do Território municipal. A sua periodicidade de atualização é decadal, o que faz com que em certas situações se trabalhe com informação que poderá estar desatualizada. Tal vem dificultar ainda mais a tomada de decisão para políticas de longo prazo sem ter conhecimento da cenarização das áreas potencialmente perigosas no futuro. Esta limitação pode ainda fomentar, por negligência, a exposição passiva a perigos nestes municípios.

Apesar da problemática discutida acima, os setores perigosos do litoral podem conter espaços artificializados, desde que estes não se destinem a habitação. Os espaços públicos como jardins e parques de estacionamento de chão permeável de acesso às praias são exemplos de utilizações de áreas perigosas para fins inofensivos. Deve-se garantir que quando ocorrem estes eventos com potencial perigoso, as populações não se encontram nestes locais, mas sim nas habitações dados os efeitos rigorosos provocados pelos mesmos. Complementarmente, deve-se proceder ao encerramento dos espaços públicos pelas autoridades competentes, nomeadamente as câmaras municipais e proteção civil. No entanto, as autarquias devem considerar impactes económicos gerados pela ocorrência de eventos perigosos (*e.g.* reparações no mobiliário urbano).

Nesta dissertação, procurou-se realizar uma abordagem de planeamento litoral de longo prazo, em detrimento das estratégias de curto prazo. Os resultados das áreas perigosas afetadas por inundações episódicas devem ser interpretados com a consideração de que todas as linhas de ação municipal em vigor são constantes ao longo do tempo. Reconhece-se uma limitação de escalas que, por ser de análise ao nível municipal, não contém informações tão

detalhadas como poderia ter ao nível das freguesias. A dissertação procura ainda trazer um modelo estratégico de adaptação face à SNM, de base municipal, que pode ser adotado pelos 50 municípios que compõem o litoral de Portugal continental.

Idealmente, para uma eficiente gestão das intervenções a realizar no litoral, é ainda de referir a importância da realização de estudos de impacto socioeconómico de longo prazo, que considerem todas as variáveis que compõem o risco: a perigosidade, exposição, vulnerabilidade e capacidade de suporte, de acordo com as prioridades estabelecidas pelo *Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (2015-2030)*. Tal deve ser combinado com a avaliação da capacidade de resiliência das cidades e núcleos urbanos costeiros, bem como dos ecossistemas litorais, incluindo, ainda, os cenários de adaptação possíveis para o litoral, numa perspetiva de longo prazo, num horizonte temporal superior ao ano de 2100. Recomenda-se ainda a análise de gestão integrada e multidisciplinar dos riscos costeiros, que potenciem o Ordenamento Sustentável do Território.

Destaca-se, ainda, a importância da componente social na gestão dos riscos (UNGA, 2016). Esta é fundamental para a garantia do envolvimento da população, que também integra um agente de proteção civil. A literacia para os riscos e atividades de ciência cidadã devem ser implementadas nestes municípios, de modo a assegurar que a população tem conhecimento dos riscos a que está sujeita, como também saberá reagir face aos mesmos, nomeadamente aquando da implementação de sistemas de alerta precoce (UNGA, 2016).

Por fim, evidenciam-se as recomendações de melhoria metodológica ao modelo que visa a identificação de áreas perigosas e expostas, desenvolvido na presente dissertação. Primeiramente, em relação às variáveis que visam a quantificação da altura da coluna de água prevista, considerar a utilização exclusiva do *set-up*, ao invés do *run-up* (que considera o *set-up* e o *swash*). O motivo prende-se com o facto de ser mais correta uma metodologia que não considere o *swash*, pois este não proporciona uma elevação contínua da altura da coluna de água, e é distinto ao longo da célula sedimentar. Desta forma, esta

análise pode ter associado uma sobrestimação no somatório da altura da coluna de água. No entanto, não houve a possibilidade de decompor o valor associado ao *run-up*, por este ter sido proveniente de literatura científica. Numa ótica futura, a solução apontada seria a de cálculo do valor associado ao *set-up* com recurso a satélite.

Não foi considerado um modelo que se quantifica a retenção de água por parte da permeabilidade dos solos. Tal deveu-se ao facto de estar a ser trabalhada uma escala nacional, onde é difícil implementar uma variável que é tão precisa no território. No entanto, numa análise para uma área de estudo de menores dimensões, como uma freguesia ou uma praia, pode ser utilizada a quantificação do limite da área de inundação utilizada por Plomaritis *et al.* (2018).

Como sugestão a um modelo mais realista, seria a inclusão um submodelo hidrodinâmico, que incluísse um modelo composto de inundações, combinando as de origem marinha com as de origem fluvial. Este modelo prende-se com o facto de, quando se verificam tempestades que geram inundações e danos na costa, simultaneamente pode ocorrer a combinação de cheias de origem fluvial, devido à passagem de tempestades. Isso verificou-se em diversas tempestades, sendo a que teve impactes mais gravosos foi a tempestade Hércules, que ocorreu no ano de 2014.

Numa análise mais pormenorizada de nível das freguesias, ter-se-ia utilizado as subclasses dos territórios artificializados, proveniente da COS. No entanto, neste trabalho não foi possível realizar, devido às exigências computacionais necessárias para realizar essa análise à escala nacional.

A análise dos riscos no território deve ser conservadora e pressupor o pior cenário possível, de modo a garantir que todos os cenários possíveis são cobertos pela análise. Por esse motivo, para a presente dissertação, as imprecisões existentes são de sobrestimação.

O presente trabalho revela-se pertinente no contexto do cumprimento dos ODS estabelecidos pela UNSC, definidos no âmbito da Agenda 2030. Destaca-se a adequabilidade ao nível do ODS 11: “Tornar as cidades e comunidades inclusivas, seguras, resilientes e sustentáveis”; ODS 13: “Adotar medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactes”;

bem como do ODS 15: “Proteger, restaurar e promover o uso sustentável dos ecossistemas terrestres, (...) e reverter a degradação dos solos e travar a perda de biodiversidade”.

No objetivo 11, a presente dissertação revela-se oportuna em duas metas: 11.5 e 11.7. A primeira (11.5) visa a redução do número de pessoas afetadas por catástrofes, bem como a diminuição das perdas económicas diretas. Esta meta é alcançada no contexto nacional através da cenarização e mapeamento das áreas de tecido urbano exposto no presente e para o futuro. Apesar de não quantificar detalhadamente o número de pessoas afetadas e o valor de perdas económicas diretas, a identificação das áreas urbanas que estão expostas já identificam espaços de uso urbano, que consideram as atividades humanas, que ao serem afetadas geram danos das estruturas e infraestruturas, que se podem refletir em prejuízos diretos para as autarquias. Quanto à segunda meta (11.7), esta pretende proporcionar o acesso universal a espaços públicos seguros, inclusivos, acessíveis e verdes. Nesta meta, destaca-se ainda a alínea b), que tem como finalidade o aumento do número de cidades e povoamentos urbanos que promovem a mitigação e adaptação às mudanças climáticas, resiliência a desastres e a gestão holística do risco de desastres, de acordo com o Quadro de Sendai para a Redução do Risco de Catástrofes (2015-2030). Na presente dissertação, é delineada uma sugestão de roteiro municipal de adaptação à SNM, que também se enquadra com o Quadro de *Sendai* para a Redução do Risco de Catástrofes.

O objetivo 13 tem como finalidade a adoção de “medidas urgentes para combater as alterações climáticas e os seus impactes”, cujo principal objetivo se prende com o combate aos impactes gerados pela mudança climática, aumento da resiliência e capacidade de adaptação aos perigos naturais, integração de soluções e medidas estratégicas de planeamento nacional e aumentar a literacia sobre mudança climática e sistemas de alerta precoce. É de notar que a presente dissertação se encontra completamente enquadrada neste objetivo, pois toda a metodologia envolvida de mapeamento de áreas perigosas exacerbadas pela SNM, delimitação de áreas urbanas expostas, predição de novas áreas urbanas provenientes de expansão das cidades e

núcleos costeiros se enquadra neste objetivo estratégico. Além disso, a categorização dos níveis prioritários face a intervenções no litoral estipulada para cada município, com base na quantificação das suas áreas perigosas e expostas, constitui uma nova abordagem aos estudos de planeamento da orla costeira que se adequam numa visão de urgência face à adaptação à mudança climática.

Destaca-se ainda o ODS15, que se relaciona especialmente com a componente de determinação de áreas perigosas, sem incluir a exposição dos núcleos urbanos. Os municípios que apresentam maior perigosidade e menor exposição são os que contêm áreas agrícolas e os sistemas naturais e ecossistemas mais afetados. Tal alinha-se com o presente ODS no sentido da identificação dos territórios naturais mais vulneráveis a sofrer impactos da SNM, estando assim identificados os sistemas que necessitam de se tornar mais resilientes ao perigo que sobre eles atua.

Além disso, a presente dissertação alinha-se com as prioridades de ação apresentadas no Quadro de *Sendai* para a Redução do Risco de Catástrofes (2015-2030), sendo mais revelante na primeira e segunda prioridade. Na prioridade 1 – Compreender o risco de desastres, a presente dissertação relaciona-se por identificar no território as áreas potencialmente perigosas e expostas, e projetá-las para três horizontes temporais, em que o longo prazo considerado é o fim deste século. A seguinte prioridade tem o objetivo de fortalecer a gestão pública de riscos, o que também é enquadrado neste trabalho por definir rotas de priorização face à adaptação, e respetiva prioridade municipal para cada um dos horizontes temporais em estudo.

Em suma, a presente dissertação visou o mapeamento das áreas perigosas e expostas a inundações costeiras provocadas por eventos extremos para toda a costa continental portuguesa, bem como a sua cenarização para os cenários RCP 2.6, 4.5 e 8.5, para os horizontes temporais de 2040, 2070, e 2100. Os resultados obtidos revelaram-se pertinentes para análise de risco de longo prazo de nível nacional e municipal. A cenarização de áreas perigosas e expostas mostrou a pertinência da sua utilização na delimitação de políticas públicas e por parte de entidades de proteção civil, pois permite auxiliar a

delimitação de faixas de risco e salvaguarda para a população. Além disso, a identificação de áreas potencialmente perigosas no futuro é fundamental do ponto de vista do Ordenamento Sustentável do Território, pois representa uma previsão das futuras áreas condicionantes, ao qual deve ser restringida a construção de novas habitações, de modo a inviabilizar o aumento da exposição passiva municipal.

# REFERÊNCIAS

- Ablain, M., Meyssignac, B., Zawadzki, L., Jugier, R., Ribes, A., Spada, G., ... & Picot, N. (2019). Uncertainty in satellite estimates of global mean sea-level changes, trend and acceleration. *Earth System Science Data*, 11(3), 1189-1202.
- Agardy, T., J. Alder, P. Dayton, S. Curran, A. Kitchingman, M. Wilson, A. Catenazzi, J. Restrepo, C. Birkeland, S.J.M. Blaber, S. Saifullah, G.M. Branch, D. Boersma, S. Nixon, P. Dugan, N. Davidson, and C. Vörösmarty (2005). Coastal systems. In *Ecosystems and Human Well-being: Current State and Trends*, ed. Millennium Ecosystem Assessment, 513-549. Washington, DC: Island Press.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2016). Programa de Orla Costeira Ovar – Marinha Grande. Disponível em: [https://apambiente.pt/sites/default/files/\\_SNIAMB\\_Agua/DLPC/POC/POC\\_OMG/v\\_final/3\\_POCOMG\\_Relatorio.pdf](https://apambiente.pt/sites/default/files/_SNIAMB_Agua/DLPC/POC/POC_OMG/v_final/3_POCOMG_Relatorio.pdf)
- Airoldi, L., Beck, M. W., Firth, L. B., Bugnot, A. B., Steinberg, P. D., & Dafforn, K. A. (2021). Emerging solutions to return nature to the urban ocean. *Annual Review of Marine Science*, 13(1), 445-477.
- Almenar, J. B., Elliot, T., Rugani, B., Philippe, B., Gutierrez, T. N., Sonnemann, G., & Geneletti, D. (2021). Nexus between nature-based solutions, ecosystem services and urban challenges. *Land use policy*, 100, 104898.
- Amorim, J., Pires, A., & Chaminé, H. (2019). A brief history of Portuguese coastal art. *Associazione culturale Viaggiatori*.
- Antunes, C. (2007). Previsão de marés dos Portos Principais de Portugal. FCUL Webpages, [http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro\\_mares.html](http://webpages.fc.ul.pt/~cmantunes/hidrografia/hidro_mares.html) (acedido em 2021).
- Antunes, C. (2013). Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo, Technical Report. Entregável 1.1.3.a, available at: [https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Politicass/Agua/Ordenamento/SistemasMonitorizacaoLitoral/E\\_1.1.3.a\\_Regime\\_mares.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Politicass/Agua/Ordenamento/SistemasMonitorizacaoLitoral/E_1.1.3.a_Regime_mares.pdf)
- Antunes, C. (2016). "Subida do Nível Médio do Mar em Cascais, revisão da taxa actual". *Atas das 4as*
- Antunes, C. (2019). Assessment of sea level rise at West Coast of Portugal Mainland and its projection for the 21st century. *Journal of Marine Science and Engineering*, 7(3), 61.

- Barnes, R. S. K. (1980). Coastal lagoons. Cambridge: Cambridge University Press.
- Barrell, J. (1912). Criteria for the recognition of ancient delta deposits. *Geological Society of America Bulletin*, 23(1), 377–446. doi:10.1130/GSAB-23-377
- Berger, A. (1988). Milankovitch Theory and Climate. 26(4), 624–0. doi:10.1029/rg026i004p00624
- Bird, E. C. (1982). Changes on barriers and spits enclosing coastal lagoons. *Oceanologica Acta, Special issue*.
- Bird, E. C. (1996). Coastal erosion and rising sea-level. Sea-level rise and coastal subsidence: causes, consequences, and strategies, 87–103.
- Bird, E. C. (2011). Coastal geomorphology: an introduction. John Wiley & Sons.
- Borges, B., Paixão, R., Gusmão, M. F., & Ramos-Pereira, A. (2008). O campo dunar Peniche-Baleal: vulnerabilidade e ordenamento. In *Livro de Resumos de Geomorfologia 2008, IV Congresso Nacional de Geomorfologia, UM, Braga* (pp. 213–218).
- Boski, T. (2013). O Nível do Mar – História e Perspectivas de Investigação. In Rodrigues, M.A.C., Pereira, S.D., & Bergamaschi, S. (Eds.), *Interações Homem - Meio nas zonas costeiras - Brasil/Portugal* (pp. 235–242). Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado de Rio de Janeiro.
- Brum Ferreira, A. (2004). Parte I – Formas de Relevo e Dinâmica Geomorfológica. In Brum Ferreira, A. (coord.). *Geografia de Portugal - O Ambiente Físico*. Lisboa: Círculo de Leitores.
- Calor, I., & Magarotto, M. G. (2018). Construções ilegais nas ilhas da Ria Formosa (Algarve, Portugal). In *CIALP-Conferência Internacional de Ambiente em Língua Portuguesa* (pp. 582–592).
- Campoy, J. G., Acosta, A. T. R., Affre, L., Barreiro, R., Brundu, G., Buisson, E.,... Fagúndez, J. (2018). Monografias de plantas invasoras na Europa: *Carpobrotus*. *Cartas de Botânica*, 165 (3–4), 440–475. <https://doi.org/10.1080/23818107.2018.1487884>
- Carvalho, I. (2013). Impactes do Storm surge em Portugal. Do clipping da imprensa regional aos dados oceanográficos. IGOT, U. Lisboa (Dissertação de Mestrado).
- Cazenave, A., & Moreira, L. (2022). Contemporary sea-level changes from global to local scales: a review. *Proceedings of the Royal Society A*, 478(2261), 20220049.

- Ceia, F. R. (2009). Barrier-islands vulnerability and Ria Formosa dynamics under a management viewpoint. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9(1), 57-77.
- Cessa, M. (2014). *Beaches: Erosion, management practices and environmental implications*. Nova Science Publishers, Incorporated.
- Cherniawsky, J. Y., Foreman, M. G., Kang, S. K., Scharroo, R., & Eert, A. J. (2010). 18.6-year lunar nodal tides from altimeter data. *Continental Shelf Research*, 30(6), 575-587.
- Church, J.A., P. Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.S., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D. and Unnikrishnan, A.S. (2013). Sea Level Change. 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. and Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Clement, V., Rigaud, K. K., de Sherbinin, A., Jones, B., Adamo, S., Schewe, J., ... & Shabahat, E. (2021). Groundswell Part 2: Acting on Internal Climate Migration. World Bank, Washington, DC., World Bank, p. xv. Disponível em: <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/36248>.
- Coelho, C., Lima, M., & Ferreira, M. (2022). A cost-benefit approach to discuss artificial nourishments to mitigate coastal erosion. *Journal of Marine Science and Engineering*, 10(12), 1906.
- Collins, M., R. Knutti, J. Arblaster, J.-L. Dufresne, T. Fichet, P. Friedlingstein, X. Gao, W.J. Gutowski, T. Johns, G. Krinner, M. Shongwe, C. Tebaldi, A.J. Weaver and M. Wehner (2013). Long-term Climate Change: Projections, Commitments and Irreversibility. 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. and Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Cooper, J. A. G., & Pilkey, O. H. (2004). Sea-level rise and shoreline retreat: time to abandon the Bruun Rule. *Global and planetary change*, 43(3-4), 157-171.
- Croteau, R., Pacheco, A., & Ferreira, Ó. (2023). Flood vulnerability under sea level rise for a coastal community located in a backbarrier environment, Portugal. *Journal of Coastal Conservation*, 27(4), 28.

- Davidson-Arnott, R., Bauer, B., & Houser, C. (2019). Introduction to coastal processes and geomorphology. Cambridge University Press.
- Dias, J. A. (2005). Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. *Tourism & Management Studies*, 1, 7-27.
- Direção Geral do Território (2019). Carta de uso e ocupação do solo de 2018. Disponível em <https://smos.dgterritorio.gov.pt/cartografia-de-uso-e-ocupacao-do-solo>
- Doody, P., Ferreira, M., Lombardo, S., Lucius, I., Misdorp, R., Niesing, H., & Smallegange, M. (2004). Eurosion: Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. In *Results from the Eurosion study*. European Commission Luxembourg.
- EEA (2012). Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2012 – An indicator report. EEA Report, No 12/2012, Copenhagen, 300 pp., doi:10.2800/66071.
- Elliott, M. (2019). Coasts and Estuaries || A Synthesis: What Is the Future for Coasts, Estuaries, Deltas and Other Transitional Habitats in 2050 and Beyond? (), 1–28. doi:10.1016/B978-0-12-814003-1.00001-0
- Emery, K. O., & Kuhn, G. G. (1982). Sea cliffs: their processes, profiles, and classification. *Geological Society of America Bulletin*, 93(7), 644-654.
- Etkins, R.; Epstein, E. S. (1982). *The Rise of Global Mean Sea Level as an Indication of Climate Change. Science*, 215(4530), 287-289. doi:10.1126/science.215.4530.287
- European Commission (2004). Living with coastal erosion in Europe – Sediment and space for sustainability, Luxembourg office for official publications of the European Commission, available at: <http://www.eurosion.org/reports-online/reports.html> (last access: September 2015).
- Fernandes, A. C., Guerra, M.D., Ribeiro, R. e Rodrigues, S. (2015). “Relatórios Do Estado Do Ambiente 2015.” <http://www.apambiente.pt/index.php?ref=19&subref=139&sub2ref=460>.
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2002). *Deficit irrigation practices* (Annex 1: Crop salt tolerance data). <https://www.fao.org/4/y4263e/y4263e0e.htm>
- Fox-Kemper, B., H. T. Hewi, C. Xiao, ... Y. Yu (2021). Ocean, Cryosphere and Sea Level Change. In *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, ... B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In press.

- Frederikse, T., Landerer, F., Caron, L. *et al.* (2020). The causes of sea-level rise since 1900. *Nature* 584, 393–397. <https://doi.org/10.1038/s41586-020-2591-3>
- Freitas, J. G. (2010). *O litoral português na época contemporânea: representações, práticas e consequências: os casos de Espinho e do Algarve (c. 1851 a c. de 1990)* [Tese de Doutoramento, Universidade de Lisboa (Portugal)].
- Freitas, J. G., & Dias, J. A. (2015). Erosão Costeira: percepções, impactes e estratégias de protecção. Os casos históricos de Espinho e do Furadoro (Portugal). *O Homem e as Zonas Costeiras/Tomo IV da Rede BrasPor*, 4, 183-198.
- Freitas, M. D. C. (1996). Lagunas costeiras: ambientes em evolução. *Seminário sobre Lagunas Costeiras e Ilhas-barreira da Zona Costeira de Portugal. Associação Eurocoast-Portugal*, 107-123.
- Garner, G. G., T. Hermans, R. E. Kopp, ... B. Pearson, 2021. IPCC AR6 Sea-Level Rise Projections. Version 20210809. PO.DAAC, CA, USA.
- Gaspar de Freitas, J. (2007). O litoral português, percepções e transformações na época contemporânea: de espaço natural a território humanizado. *Revista de Gestão Costeira Integrada-Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 7(2), 105-115.
- Gatto, V. M., van Prooijen, B. C., & Wang, Z. B. (2017). Net sediment transport in tidal basins: quantifying the tidal barotropic mechanisms in a unified framework. *Ocean Dynamics*, 67(11), 1385-1406.
- Glavovic, B.C., R. Dawson, W. Chow, M. Garschagen, M. Haasnoot, C. Singh, and A. Thomas. (2022) Cross-Chapter Paper 2: Cities and Settlements by the Sea. In: *Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability*.
- Greene, K. (2002). Beach nourishment: a review of the biological and physical impacts.
- Haigh, I. D., Pickering, M. D., Green, J. M., Arbic, B. K., Arns, A., Dangendorf, S., ... & Woodworth, P. L. (2020). The tides they are a-Changin': A comprehensive review of past and future nonastronomical changes in tides, their driving mechanisms, and future implications. *Reviews of Geophysics*, 58(1), e2018RG000636.
- Hallengatte, S., Green, C., Nicholls, R. J., & Corfee-Morlot, J. (2013). Future flood losses in major coastal cities. *Nat. Clim. Change*, 3, 802-806.
- Haslett, S. (2000). *Coastal systems*. Routledge. London.

- Hermínio, J. (2015). Cartografia da Vulnerabilidade Costeira Associada a Galgamentos Oceânicos [Dissertação de Mestrado, Universidade de Lisboa].
- Horwath, M., Gutknecht, B. D., Cazenave, A., Palanisamy, H. K., Marti, F., Marzeion, B., ... & Benveniste, J. (2021). Global sea-level budget and ocean-mass budget, with focus on advanced data products and uncertainty characterisation. *Earth System Science Data Discussions*, 2021, 1-51.
- Hua, A. K. (2017). Application of CA-Markov model and land use/land cover changes in Malacca River watershed, Malaysia. *Applied Ecology & Environmental Research*, 15(4).
- Instituto Hidrográfico (2022). Atas das 7<sup>as</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica / 2<sup>as</sup> Jornadas Luso-Espanholas de Hidrografia. Instituto Hidrográfico. [https://jornadas.hidrografico.pt/recursos/files/documentos/2022/7JEH-Livro\\_Atas.pdf](https://jornadas.hidrografico.pt/recursos/files/documentos/2022/7JEH-Livro_Atas.pdf)
- IPCC (2001). Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Houghton, J.T., Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P.J. van der Linden, X. Dai, K. Maskell, and C.A. Johnson (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.
- IPCC (2012). Summary for Policymakers. In: Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation [Field, C.B., Barros, V., Stocker, T. F., Qin, D., Dokken, D.J., Ebi, K.L., Mastrandrea, M. D., Mach, K.J., Plattner, G.-K., Allen, S.K., Tignor, M. and Midgley, P.M. (eds.)]. A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.
- IPCC (2013). Resumo para Decisores. In: Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NI, EUA.
- IPCC (2014). Fifth Assessment Synthesis Report. Climate Change, 1-15.
- IPCC (2019). Summary for Policymakers. In: IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, V. Masson-Delmotte, P. Zhai, M. Tignor, E. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegría, M. Nicolai, A. Okem, J. Petzold, B. Rama, N.M. Weyer (eds.)]. In press.

- IPCC (2023). Sections. In: Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, H. Lee and J. Romero (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 35-115, doi: 10.59327/IPCC/AR6-9789291691647
- IPMA (2018). Estratégia Marinha. Relatório do segundo ciclo de avaliação do bom estado ambiental das águas marinhas nas subdivisões do Continente e da Plataforma Continental Estendida. Descritor 7 - Condições hidrográficas.  
[https://www.dgrm.mm.gov.pt/documents/20143/43971/IPMA\\_DQEM\\_2018\\_D7\\_FINAL\\_CP\\_22082019.pdf/8baebf7e-a429-bd8c-4d9e-e8cab29cf170](https://www.dgrm.mm.gov.pt/documents/20143/43971/IPMA_DQEM_2018_D7_FINAL_CP_22082019.pdf/8baebf7e-a429-bd8c-4d9e-e8cab29cf170)
- Kabisch, N., Frantzeskaki, N., Pauleit, S., Naumann, S., Davis, M., Artmann, M., ... & Bonn, A. (2016). Nature-based solutions to climate change mitigation and adaptation in urban areas: perspectives on indicators, knowledge gaps, barriers, and opportunities for action. *Ecology and society*, 21(2).
- Lindim, I. (2021). *Portugal: Ano 2071*. O impacte das alterações climáticas no país que os nossos filhos irão herdar. Leya.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., & Aarninkhof, S. (2018). The state of the world's beaches. *Scientific reports*, 8(1), 1-11.
- Magalhães, F. M. (2020). Intervenções de defesa costeira—balanço e perspetivas futuras. *Territorium*, 27(1), 175-183.
- Martins, M. C., Neto, C., Gutierrez, F., & Costa, J. C. (2014). Bioindicators of erosive dynamics in beach and dune systems in the Portuguese mainland coast. Documents phytosociologiques.
- Masselink, G., Hughes, M., & Knight, J. (2014). Introduction to coastal processes and geomorphology. Routledge. London.
- Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Pörtner, H. O., Roberts, D., Skea, J., Shukla, P. R., ... & Waterfield, T. (2019). Global warming of 1.5° C. *An IPCC Special Report on the impacts of global warming of, 1*, 93-174.
- McGranahan, G., Balk, D. & Anderson, B. (2007). The rising tide: assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones. *Environment and Urbanization*, 19(1), 17-37. doi:10.1177/0956247807076960
- Mentaschi, L., Voudoukas, M. I., Pekel, J. F., Voukouvalas, E., & Feyen, L. (2018). Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific reports*, 8(1), 12876.
- Meyssignac, B., & Cazenave, A. (2012). Sea level: a review of present-day and recent-past changes and variability. *Journal of Geodynamics*, 58, 96-109.

- Mikhaylov, A. S., & Plotnikova, A. P. (2021). The coasts we live in: can there be a single definition for a coastal zone?. *Baltic Region*, 13(4), 36–53.
- Miller, T.E., Gornish, E.S. & Buckley, H.L. (2010). Climate and coastal dune vegetation: disturbance, recovery, and succession. *Plant Ecol* 206, 97–104. <https://doi.org/10.1007/s11258-009-9626-z>
- Mimura, N. (2021). Rising seas and subsiding cities. *Nature Climate Change*, 11(4), 296–297.
- Ministerio de Medio Ambiente Dirección General de Costas (n.d.). Atlas de inundación del litoral peninsular español. Available at: <https://smc.ihcantabria.es/SMC25/wp-content/uploads/2015/08/Documento-tematico-de-cota-de-inundacion.pdf>
- Mukherji, A. (2023). Climate Change 2023 Synthesis Report.
- Nicholls, R. J. (2018). Adapting to Sea-Level Rise. 13–29. doi:10.1016/B978-0-12-811891-7.00002-5
- Nicholls, R. J., Lincke, D., Hinkel, J. (2021). Uma análise global de subsidência, mudança relativa do nível do mar e exposição a inundações costeiras. *Nat. Clim. Chang.* 11, 338–342. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-00993-z>
- Nicholls, R. J., Lincke, D., Hinkel, J., Brown, S., & Athanasios, T., Vafeidis, A., Meyssignac, B., Hanson, S., Merkens, J.L. and Fang, J. (2021). A global analysis of subsidence, relative sea-level change and coastal flood exposure. *Nature Climate Change*, 11, 338–342.
- NOAA (2022). Storm surge Overview. National Hurricane Center and Central Pacific Hurricane Center <https://www.nhc.noaa.gov/surge/>, accessed on 12/12/22
- Oppenheimer, M., Glavovic, B., Hinkel, J., van de Wal, R., Magnan, A. K., Abd-Elgawad, A., & Sebesvari, Z. (2019). Sea level rise and implications for low lying islands, coasts and communities.
- Paixão, R. (2013). Caracterização morfo-ecológica do sistema dunar de Peniche-Baleal (Costa Ocidental Portuguesa). *Finisterra*, 48(95).
- Paixão, R., & Pereira, A. R. (2012). Avaliação do Efeito da Ação Antrópica na Degradação do Sistema Dunar Litoral de Peniche-Baleal (Costa Ocidental de Portugal Continental). *Revista Geonorte*, 3(5), 229–242.
- Pereira, A. R. (2000). Risco em ambiente litoral. Apontamentos de Geografia; 13 Série Investigação. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa. <http://hdl.handle.net/10451/63069>

- Pereira, D., Pereira, P., Santos, L. & Silva, J. (2014). Unidades Geomorfológicas de Portugal Continental. *Revista Brasil de Geomorfologia*, 15(4).
- Petek, G. (2019). Preparing for rising seas: how the state can help support local coastal adaptation efforts. California Legislative Analyst's Office.
- Picoto, M., Carinhas, D. & Lemos, C. (2022). Caracterização da tendência de subida do nível médio em Portugal. 7.<sup>a</sup> Jornadas de Engenharia Hidrográfica, 2.<sup>a</sup> Jornadas Luso-Espanhola de Hidrografia, 161-164.
- Pinto, C. A., Silveira, T. M., & Teixeira, S. B. (2020). Beach nourishment practice in mainland Portugal (1950-2017): Overview and retrospective. *Ocean & coastal management*, 192, 105211.
- Pinto, C., Silveira, T. & Teixeira, S. (2018). Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal Continental. Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950-2017). Relatório Técnico. Agência Portuguesa do Ambiente, 61 p.
- Pirazzoli, P. A. (2005). A review of possible eustatic, isostatic and tectonic contributions in eight late-Holocene relative sea-level histories from the Mediterranean area. *Quaternary Science Reviews*, 24(18-19), 1989-2001.
- Pires, P. A. S. (2021). Restauro Ecológico de Sistemas Dunares Sob Pressão- Contributo Para um Modelo de Gestão de Base Ecológica na Praia da Adiça [Dissertação de Mestrado, Universidade Nova de Lisboa].
- Plomaritis, T. A., Ferreira, Ó., & Costas, S. (2018). Regional assessment of storm related overwash and breaching hazards on coastal barriers. *Coastal Engineering*, 134, 124-133.
- Pombo, R. N. (2016). Inundações costeiras: Caudais de galgamento e consequências associadas [Dissertação de Mestrado, Universidade de Aveiro].
- Ponte Lira, C., Nobre Silva, A., Taborda, R., & Freire de Andrade, C. (2016). Coastline evolution of Portuguese low-lying sandy coast in the last 50 years: an integrated approach. *Earth System Science Data*, 8(1), 265-278.
- Pörtner, H. O., Roberts, D. C., Masson-Delmotte, V., Zhai, P., Tignor, M., Poloczanska, E., & Weyer, N. M. (2019). The ocean and cryosphere in a changing climate. IPCC Special Report on the Ocean and Cryosphere in a Changing Climate.
- Ramos-Pereira, A. (2001). O(s) Oceano(s) e as suas Margens (Vol. 5). Instituto de Inovação Educacional.
- Ramos-Pereira, A. (2004). O espaço litoral e a sua vulnerabilidade. *GeolNova (Ambiente e Mudanças Globais)*, 9, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova, Lisboa, p.33-43.

- Rangel-Buitrago, N., Neal, W., Pilkey, O., & Longo, N. (2023). The global impact of sand mining on beaches and dunes. *Ocean & Coastal Management*, 235, 106492.
- República Portuguesa. (2008). Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto. Aprova o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional e revoga o Decreto-Lei n.º 93/90, de 19 de Março. <https://diariodarepublica.pt/dr/legislacao-consolidada/decreto-lei/2008-34501775>
- República Portuguesa. (2012). Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro. Proceda à primeira alteração ao Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, que estabelece o Regime Jurídico da Reserva Ecológica Nacional. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/124-2019-124256708>
- República Portuguesa. (2019). Decreto-Lei n.º 124/2019, de 28 de agosto. Altera o regime jurídico da Reserva Ecológica Nacional. <https://diariodarepublica.pt/dr/detalhe/decreto-lei/124-2019-124256708>
- Rhein, M., Rintoul, S. R., Aoki, S., Campos, E., Chambers, D., R. Feely, R.A., Gulev, S., Johnson, G.C., Josey, S.A., Kostianoy, A., Mauritzen, C., Roemmich, D., Talley, L.D., and Wang, F. (2013). Observations: Ocean. 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. and Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Riera-Spiegelhalder, M., Campos-Rodrigues, L., Ensenado, E. M., Dekker-Arlain, J. D., Papadopoulou, O., Arampatzis, S., & Vervoort, K. (2023). Socio-economic assessment of ecosystem-based and other adaptation strategies in coastal areas: a systematic review. *Journal of Marine Science and Engineering*, 1(2), 319.
- Rodrigues, S., Inácio, A.P., Proença, M., Chainho, L. & Vieira, S. (2021). Relatório do Estado do Ambiente 2020/21. Agência Portuguesa do Ambiente. REA
- Rosen, P. S. (1978). A regional test of the Bruun Rule on shoreline erosion. *Marine Geology*, 26(1-2), M7-M16.
- Sachs, J., Lafortune, G., Kroll, C., Fuller, G., & Woelm, F. (2022). From Crisis to Sustainable Development: The SDGs as Roadmap to 2030 and Beyond: includes the SDG index and dashboards.
- Salman, A., Lombardo, S., & Doody, P. (2004). Living with coastal erosion in Europe: Sediment and Space for Sustainability. *EuroSION project reports*.

- Santos, F. D., Lopes, A. M., Moniz, G., Ramos, L., & Taborda, R. (2014a). Gestão da Zona Costeira—O Desafio da Mudança. *Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral*, 237.
- Santos, A., Mendes, S., & Corte-Real, J. (2014b). Impacts of storm Hercules in southwestern Europe. Proceedings of the RISK Information Management, Risk Models and Applications, Berlin, Germany, 17-18.
- Santos, V.F., Dantas, P., Moratalla, J.J., Terrinha, P., Coke, C., Agostinho, M., Galopim de Carvalho, A.M., (2000). Primeiros vestígios de dinossáurios na Orla Mesozóica Algarvia, Portugal. In: Díez, J.B., Balbino, A.C. (Eds.), *Libro de Resúmenes del I Congreso Ibérico de Paleontología / XVI Jornadas de la Sociedad Española de Paleontología*, Évora, Portugal, 12e14 de Outubro de 2000, pp. 20e21. Vieira, P. C. (1981). Variações do nível marinho. Alterações eustáticas no Quaternário. *Revista do Instituto Geológico*, 2(1), 39-57.
- Schleussner, C., Menke, I., Theokritoff, E., van Maanen, N., & Lanson, A. (2020). Climate impacts in Portugal. Clim Analytics.
- Schmidt, L., Santos, F. D., Prista, P., Saraiva, T., & Gomes, C. (2012). Alterações climáticas, sociais e políticas em Portugal: processos de governança num litoral em risco. *Ambiente & Sociedade*, 15, 23-40.
- Schwartz, M. L. (1967). The Bruun Theory of Sea-Level Rise as a Cause of Shore Erosion. *The Journal of Geology*, 75(1), 76-92. doi:10.1086/627232
- Shadrack, J. R., Rood, D. H., Hurst, M. D., Piggott, M. D., Hebditch, B. G., Seal, A. J., & Wilcken, K. M. (2022). A elevação do nível do mar provavelmente acelerará as taxas de recuo dos penhascos da costa rochosa. *Nature Communications*, 13 (1), 7005.
- Shannon, M. C., & Grieve, C. M. (1998). Tolerance of vegetable crops to salinity. *Scientia horticulturae*, 78(1-4), 5-38.
- Short, A. D. (1999). *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Great Britain: John Wiley, ISBN 0-471-96570-7.
- Siddall, M., Chappell, J., & Potter, E. K. (2007). 7. Eustatic sea level during past interglacials. In *Developments in Quaternary Sciences* (Vol. 7, pp. 75-92). Elsevier.
- Silva, A., Taborda, R., Lira, C., Andrade, C., Silveira, T., & Freitas, M. (2013). Determinação e cartografia da perigosidade associada à erosão de praias e ao galgamento oceânico na Costa da Caparica. Available at: [https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Políticas/Água/Ordenamento/SistemasMonitorizacãoLitoral/E\\_2.4.a\\_Galgamento\\_oceanico.pdf](https://sniambgeoviewer.apambiente.pt/Geodocs/geoportaldocs/Políticas/Água/Ordenamento/SistemasMonitorizacãoLitoral/E_2.4.a_Galgamento_oceanico.pdf)

- Silva, L. S. D. (2014). Avaliação do desempenho das políticas de defesa costeira: Obras de Defesa Costeira de 1995 a 2014. Contributo para o Sistema de Administração do Recurso Litoral (SIARL) (Doctoral dissertation).
- Smith, D. E., Harrison, S., Firth, C. R., & Jordan, J. T. (2011). The early Holocene sea level rise. *Quaternary Science Reviews*, 30(15-16), 1846-1860.
- Soares-Gomes, A., & Figueiredo, A. G. (2002). O ambiente marinho. *Biologia marinha*, 2, 1-34.
- Spilhaus, A. F. (1942). Maps of the Whole World Ocean. *Geographical Review*, 32(3), 431-435. doi:10.2307/210385
- Stewart, R. H. (2002). Introduction to physical oceanography. Department of Oceanography, Texas A&M University, Spring 2002 Edition.
- Stocchi, P., Spada, G., & Cianetti, S. (2005). Isostatic rebound following the Alpine deglaciation: impact on the sea level variations and vertical movements in the Mediterranean region. *Geophysical Journal International*, 162(1), 137-147. <https://doi.org/10.1111/j.1365-246X.2005.02653.x>
- Stockdon, H. F., Holman, R. A., Howd, P. A., & Sallenger Jr, A. H. (2006). Empirical parameterization of setup, swash, and *run-up*. *Coastal engineering*, 53(7), 573-588.
- Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Alexander, S.K., Allen, N.L., Bindoff, (...) (2013). Resumo Técnico. In: Climate Change 2013: As Bases da Ciência Física. Contribuição do Grupo de Trabalho I para o Quinto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas [Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.-K., Tignor, M., Allen, S.K., Boschung, J., Nauels, A., Xia, Y., Bex, V. and Midgley, P.M. (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido e Nova Iorque, NY, EUA.
- Swapna, P., Ravichandran, M., Nidheesh, G., Jyoti, J., Sandeep, N., Deepa, J. S., & Unnikrishnan, A. S. (2020). Sea-level rise. Assessment of climate change over the Indian region, 175-189.
- Tadesse, M.G., Wahl, T. A. (2021). Database of global storm surge reconstructions. *Sci Data* 8, 125. <https://doi.org/10.1038/s41597-021-00906-x>
- Tagliapietra, D.; Sigovini, M.; Ghirardini, A. V. (2009). A review of terms and definitions to categorise estuaries, lagoons and associated environments. *Marine and Freshwater Research*, 60(6), 497-. doi:10.1071/MF08088
- UNFCCC (2022). Nationally determined contributions under the Paris Agreement-Synthesis Report. (FCCC/PA/CMA/2022/4)
- UNGA - United Nations General Assembly (2016). Report of the Open-ended Intergovernmental Expert Working Group on Indicators and Terminology Relating to Disaster Risk Reduction (A/71/644). United Nations.

- Von Storch, H., & Woth, K. (2008). Storm surges: perspectives and options. *Sustainability Science*, 3(1), 33-43.
- Vousdoukas, M. I., Ranasinghe, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T. A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., & Feyen, L. (2020). Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature climate change*, 10(3), 260-263.
- Wisner, B., Blaikie, P., Cannon, T., & Davis, I. (2014). *At risk: natural hazards, people's vulnerability and disasters*. Routledge.
- Woodroffe, C. D. (2002). *Coasts: form, process and evolution*. Cambridge University Press.
- Wu, P. C., Wei, M., & D'Hondt, S. (2022). Subsidence in coastal cities throughout the world observed by InSAR. *Geophysical Research Letters*, 49(7), e2022GL098477.
- Zêzere, J. L. (2007). Riscos e ordenamento do território. *Infogeo*, 20(21), 59-63.
- Zêzere, J. L., Pereira, A. R., & Morgado, P. (2006). Perigos naturais e tecnológicos no território de Portugal Continental. *Apontamentos de Geografia-Série Investigação*, 19.



# ANEXOS

**Anexo 1.** Identificação das áreas de transição (número de píxeis) que alteraram entre o uso do solo respetivo aos anos de 2007-2018, 2018-2040 e 2040-2070, que foram utilizados para a predição do uso do solo de 2040, 2070 e 2100, respetivamente. A dimensão de cada *pixel* é de 5 m<sup>2</sup>.

Áreas de Transição		2007-2018 (2040)		2018-2040 (2070)		2040-2070 (2100)	
		Não Urbano	Urbano	Não Urbano	Urbano	Não Urbano	Urbano
c1a	Não Urbano	2877828	59330	2811837	71637	2742242	69860
	Urbano	5917	1836955	1	1896555	0	1968196
c1b	Não Urbano	4834792	128005	4666363	168804	4503483	162916
	Urbano	914	1179025	0	1307569	0	
c1c	Não Urbano	2890495	7531	2880273	10229	2870078	10194
	Urbano	0	415751	0	423275	0	433505
c2	Não Urbano	1594719	162032	1429667	180627	1270034	160378
	Urbano	16447	498484	0	661388	0	842018
c3	Não Urbano	2958500	30022	2949014	22729	2927068	22566
	Urbano	13880	609461	0	640120	0	662860
c4	Não Urbano	3957498	71187	1400191	80793	1324240	76384
	Urbano	9461	357265	0	1201808	0	1282598
c5	Não Urbano	3957498	71187	3883004	83394	3801781	81647
	Urbano	9461	357265	0	429013	0	512413
c6	Não Urbano	5219340	70983	5137643	87560	5051846	86045
	Urbano	6044	432586	55	503695	0	591260
c7	Não Urbano	2552261	160016	2362391	196033	2181694	181003
	Urbano	6452	1327012	0	1487317	0	1683337
c8	Não Urbano	4188816	81949	4079580	109235	3973203	106382
	Urbano	0	785072	0	867022	0	976252

**Anexo 2.** Identificação das probabilidades de transição (variam de 0 a 1), calculadas com base nas áreas de transição da Tabela 1 dos anexos.

Probabilidades de Transição		2007-2018 (2040)		2018-2040 (2070)		2040-2040 (2100)	
		Não Urbano	Urbano	Não Urbano	Urbano	Não Urbano	Urbano
c1a	Não Urbano	0,9798	0,0202	0,9752	0,024	0,9752	0,0248
	Urbano	0,0032	0,9968	0	1	0	1
c1b	Não Urbano	0,9742	0,0258	0,9651	0,0349	0,9651	0,0349
	Urbano	0,0008	0,9992	0,0000	1	0	1
c1c	Não Urbano	0,9974	0,0026	0,9965	0,0035	0,9965	0,0035
	Urbano	0,0000	1	0,0000	1	0,0000	1
c2	Não Urbano	0,9078	0,0922	0,8878	0,1122	0,8879	0,1121
	Urbano	0,0319	0,9681	0,0000	1	0,0000	1
c3	Não Urbano	0,9900	0,0100	0,9924	0,0076	0,9923	0,0077
	Urbano	0,0223	0,9777	0,0000	1	0,0000	1
c4	Não Urbano	0,9823	0,0177	0,9454	0,0546	0,9455	0,0545
	Urbano	0,0258	0,9742	0,0000	1	0,0000	1
c5	Não Urbano	0,9823	0,0177	0,9790	0,0210	0,9790	0,0210
	Urbano	0,0258	0,9742	0,0000	1	0,0000	1
c6	Não Urbano	0,9866	0,0134	0,9832	0,0168	0,9833	0,0167
	Urbano	0,0138	0,9862	0,0001	0,9999	0,0000	1
c7	Não Urbano	0,9410	0,0590	0,9234	0,0766	0,9234	0,0766
	Urbano	0,0048	0,9952	0,0000	1	0,0000	1
c8	Não Urbano	0,9808	0,0192	0,9739	0,0261	0,9739	0,0261
	Urbano	0,0000	1	0,0000	1	0,0000	1