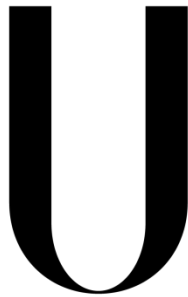


UNIVERSIDADE DE LISBOA

INSTITUTO DE GEOGRAFIA E ORDENAMENTO DO TERRITÓRIO



LISBOA

UNIVERSIDADE
DE LISBOA

**DINÂMICA DA LINHA DE COSTA E VULNERABILIDADE À EROSÃO NO
SETOR NÃO ARTIFICIALIZADO DO ARCO CAPARICA-ESPICHEL**

NÁDIA FILIPA PEREIRA DE SOUSA

Dissertação orientada por

Prof. Doutor Jorge Trindade

Prof. Doutora Ana Ramos Pereira

Mestrado em Geografia Física e Ordenamento do Território

2015

*Mar, metade da minha alma é feita de maresia
Pois é pela mesma inquietação e nostalgia,
Que há no vasto clamor da maré cheia,
Que nunca nenhum bem me satisfez.
E é porque as tuas ondas desfeitas pela areia
Mais fortes se levantam outra vez,
Que após cada queda caminho para a vida,
Por uma nova ilusão entontecida.*

*E se vou dizendo aos astros o meu mal
É porque também tu revoltado e teatral
Fazes soar a tua dor pelas alturas.
E se antes de tudo odeio e fujo
O que é impuro, profano e sujo,
É só porque as tuas ondas são puras.*

Sophia de Mello Breyner Andresen

In Poesia I

Agradecimentos

Em primeiro lugar gostaria de agradecer os meus pais por todo o esforço que fizeram para que nada me faltasse, proporcionando todas as oportunidades que infelizmente não tiveram. Por todo o apoio e incentivo, mas acima de tudo por sempre acreditarem em mim, dando-me a motivação suficiente para continuar, mesmo nos momentos em que pensei não conseguir.

Ao meu irmão, o melhor irmão que algum dia poderia pedir, por me ter incentivado a seguir a área de geografia quando eu mais me questioneei se esta seria a área mais adequada a cursar. Quero também agradecer pelo apoio incondicional e a enorme paciência.

Aos meus amigos, que não preciso de citar pois eles sabem quem são, por terem respeitado os meus momentos de ausência em prol da realização da minha dissertação de mestrado, pela enorme paciência em escutar os meus desabafos e por me terem incentivado quando mais precisei.

Aos meus colegas de faculdade, em especial aos que hoje considero como amigos, pelo apoio que me deram ao longo do meu percurso académico e acima de tudo pelo enorme espírito de entreatajuda.

E por último, mas não menos importante, aos meus orientadores. Ao professor doutor Jorge Trindade quero agradecer-lhe por ter aceite ser meu orientador, pela confiança que depositou em mim, mas também pela enorme paciência que teve comigo ao longo destes dois anos. À professora doutora Ana Ramos Pereira por me ter suscitado o interesse pela temática do litoral, mas também pela partilha de conhecimentos, opiniões e críticas, que me incentivou a fazer mais e melhor.

Gostaria ainda de agradecer a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização da presente dissertação.

Resumo

O litoral constitui um dos sistemas terrestres mais dinâmicos, cuja morfodinâmica costeira associada à crescente ocupação antrópica, pode gerar uma elevada exposição aos perigos costeiros, resultando em perdas e prejuízos para as populações. O presente estudo apresenta-se com o objetivo geral de analisar a dinâmica da linha de costa (LC) no setor não artificializado do litoral arenoso do arco Caparica-Espichel. Os dados obtidos, permitem realizar o zonamento da vulnerabilidade à erosão associada à subida gradual do nível do mar.

A determinação da dinâmica da LC teve por base a análise de fotografias aéreas e ortofotomapas das décadas de 1960, 1980, 1990 e de 2000. De modo a obter a dinâmica da LC utilizou-se o *Digital Shoreline Analysis System*® v.4.3, a funcionar como extensão do *ArcGIS*® v.10, permitindo o cálculo da variação do indicador de LC a partir das suas múltiplas posições. De acordo com a dinâmica obtida, realizou-se uma classificação por setores litorais. Distinguiram-se nove de acordo com a tendência evolutiva predominante. Os maiores valores de erosão registaram-se entre a Nova Praia e a Praia da Riviera, contrastando, com os maiores valores de acreção registados junto à praia do Castelo e a norte da laguna. A análise identificou uma dicotomia na dinâmica da linha de costa derivada, por um lado, pela influência antrópica e, por outro, pelo condicionalismo da arriba fóssil.

Projetou-se a faixa de salvaguarda face aos perigos costeiros, num horizonte temporal de 25 e 50 anos. A abordagem adotada segue os pressupostos definidos por Ferreira *et al.* (2006), baseado na combinação de taxas de evolução da LC que resultam da resposta da LC à elevação esperada do nível do mar e aos impactos das tempestades. Os valores médios de recuo mais significativos centram-se nos setores localizados na metade norte da área em estudo, diminuindo gradualmente à medida que se avança para sul e aumentam novamente junto da área limítrofe sul. Os setores litorais mais suscetíveis à ocorrência de galgamento oceânico situam-se na metade norte da área em estudo.

Determinadas as faixas de salvaguarda, identificou-se o tipo de ocupação do solo e os elementos expostos afetados com base na Carta de Uso e Ocupação do Solo e na Base Geográfica de Referenciação de Informação segundo o horizonte temporal a 50 anos. Os setores mais afetados coincidem com os principais focos populacionais existentes na área de estudo, a Costa da Caparica e a Fonte da Telha.

Palavras-chave

Arco Caparica-Espichel; Litoral arenoso; Dinâmica da linha de costa; Elementos expostos; Previsão de recuos.

Abstract

The shoreline is one of the most dynamic terrestrial systems, whose coastal morphodynamics, associated with the anthropic occupation, can generate a high exposure to coastal hazards, resulting in high losses and damages to the human population. This study presents a general objective of the analysis of the shoreline dynamics in a non-artificialized sector of the sandy shoreline in Caparica-Espichel. The data obtained allows us to identify the vulnerable zones exposed to the erosion in association with the gradual sea-level rise.

The determination of the shoreline dynamics was based in the analysis of many aerial photographs and orthophotomaps from the decades of 1960's, 1980's, 1990's and 2000's. In order to obtain the shoreline dynamic, it was used the Digital Shoreline Analysis System® v.4.3, as an extension of the ArcGIS® v.10, allowing to calculate the shoreline variation from its own multiple positions. In a result of the obtained dynamic, a classification by sectors was held and according with the predominant evolutive tendency was distinguished 9 sectors. The highest erosion values was registered between Nova Praia and Praia da Riviera, contrasting with the higher values of accretion registered near of Praia do Castelo and at north of Lagoa de Albufeira. The analysis identified a dichotomy in the dynamics of the shoreline caused by anthropic influence and the conditionality of the fossil cliff.

A safeguard strip for coastal hazards was estimated for a period of 25 and 50 years. The adopted approach follows the assumptions defined by Ferreira *et al.* (2006) based in the combination of evolutionary rates from the shoreline, which result from the expected elevation of the sea level and from the impacts caused by storms. The most significant average values of retreat are located in the north half of the study area and gradually decrease as it progresses to south and then gradually increases again near the south border area. The coastal areas more susceptible to the occurrence of overwash are located in the north half of the study area.

Once determined the safeguard strips, the type of soil occupation was identified and exposed to the elements for a 50-year period. The most affected sectors match with the main focus of existing population in the study area, Costa da Caparica and Fonte da Telha.

Keywords

Arch Caparica-Espichel; Sandy coastline; Shoreline dynamics; Exposed elements; Forecast setbacks.

Índice geral

Agradecimentos	
Resumo	
Abstract	
Índice geral	
Índice de figuras	
Índice de quadros	
Acrónimos	
Capítulo 1. Enquadramento temático e objetivos	1
1.1. Enquadramento temático	1
1.2. Objetivos e fundamentação da seleção da área de estudo	10
1.3. Estrutura da dissertação	11
Capítulo 2. Enquadramento da dinâmica litoral no arco Caparica-Espichel	13
2.1. Localização da área em estudo	13
2.2. Tipologia de sistemas litorais.....	15
2.2.1. Tipologia de sistema praia-duna.....	20
2.2.2. Tipologia de sistema praia-arriba	25
2.3. Subida secular do nível do mar	26
2.4. Agitação marítima decenal	30
2.5. Ocupação do território na zona costeira do arco Caparica – Espichel.....	39
Capítulo 3. Fontes, métodos e técnicas	45
3.1. Fontes documentais e determinação de erros associados	45
3.2. Teste e definição de linhas de base e de marcadores da linha de costa	54
3.3. Projeção e determinação das faixas de salvaguarda	65
3.4. Determinação dos elementos expostos face à projeção das faixas de salvaguarda ..	73
Capítulo 4. Dinâmica decenal da linha de costa.....	79
4.1. Caracterização morfométrica dos sistemas litorais do arco Caparica - Espichel	79
4.2. Dinâmica da linha de costa	82
4.2.1. Classificação de pormenor do balanço erosão/acumulação	86
4.2.1.1. Setores tendencialmente erosivos	90
4.2.1.2. Setores tendencialmente acumulativos	95
4.3. Cartografia de recuo médio, mínimo e máximo	103
Capítulo 5. Projeção das faixas de salvaguarda e determinação dos elementos expostos	107
5.1. Instrumentos de gestão territorial no estabelecimento das faixas de salvaguarda ..	107

5.2.	Determinação e cartografia de linhas de recuo nos próximos 25 e 50 anos	109
5.2.1.	Horizonte temporal a 25 anos	110
5.2.2.	Horizonte temporal a 50 anos	118
5.3.	Determinação de cenários de vulnerabilidade de elementos atuais expostos	125
Capítulo 6.	Considerações finais	133
Referências bibliográficas		
Anexo		

Índice de figuras

Figura 1.1 - Distribuição espacial da tipologia de sistemas litorais existentes em Portugal continental	3
Figura 1.2 - Taxas de recuo máximas para o litoral português	6
Figura 1.3 - Modelo concetual do risco	8
Figura 2.1 - Enquadramento geográfico do arco Caparica-Espichel	14
Figura 2.2 - Setores costeiros do arco Caparica-Espichel excluídos do âmbito de análise	15
Figura 2.3 - A vertente costeira da Trafaria ao cabo Espichel	16
Figura 2.4 - Tipologia de sistema arenosos presentes no arco Caparica-Espichel (vista N-S)	20
Figura 2.5 - Perfis da arriba fóssil e da planície litoral da Costa da Caparica e a sua respetiva localização	21
Figura 2.6 - Pressão antrópica no sistema praia-duna na praia da Saúde	22
Figura 2.7 - Degradação das dunas junto aos principais acessos à praia da Rainha (vista W-E) ..	22
Figura 2.8 - Boa conservação das dunas a sul da praia da Bela Vista. Implementação de armadilhas de areia (vista N-S).	23
Figura 2.9 - Degradação do sistema praia-duna na Fonte da Telha (vista N-S).	24
Figura 2.10 - Diminuição da influência antrópica a sul da Fonte da Telha e conseqüente melhoria do estado de conservação do sistema à medida que se avança para sul (vista N-S) ..	24
Figura 2.11 - Sistema praia-duna a norte da Lagoa de Albufeira. Implementação de armadilhas de areia (vista S-N).	25
Figura 2.12 - Sistema praia-duna na praia de Moinho de Baixo (vista N-S)	25
Figura 2.13 - Sistema praia-arriba	26
Figura 2.14 - Distribuição do parâmetro de H_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto micore para Sines	32
Figura 2.15 - Distribuição do parâmetro do T_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto micore para Sines	33
Figura 2.16 - Distribuição do parâmetro de D_s associado ao parâmetro de H_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto micore para Sines	34
Figura 2.17 - Variabilidade mensal de H_s (m), mínima, média e máxima e T_s (s) segundo os dados de ondulação modelados do projeto micore para Sines	34
Figura 2.18 - Frequência mensal de D_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto micore para Sines	35
Figura 2.19 - Frequência decenal de D_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto micore para Sines	38
Figura 2.20 - Densidade populacional na península de Setúbal, a nível municipal, segundo os dados do INE (2011)	40
Figura 2.21 - Densidade de edifícios na península de Setúbal, a nível municipal, segundo os dados do INE (2011)	41
Figura 2.22 - Área ocupada por cada classe de uso de solo da COS2007 nos municípios da península de Setúbal	43
Figura 3.1 - Pontos de controlo no terreno	51
Figura 3.2 - Relação espacial entre os indicadores de linha de costa usualmente utilizados	56
Figura 3.3 - Excerto da base cartográfica, relativa ao ortofotomapa de 2008, evidenciando a aplicação do indicador de linha de costa (indicador do limite vegetação dunar) em cada fonte documental, bem como a demarcação da linha de base e a posição dos perfis transversais ...	58

Figura 3.4 - Setores com ausência do indicador do limite da vegetação dunar: (a) Lagoa de Albufeira e (b) praia do Meço à praia das Bicas.....	59
Figura 3.5 - Coeficiente de determinação e a respetiva reta de regressão linear associada à variável independente x (tendência evolutiva da linha de costa) com a variável dependente y (projeção da posição da linha de costa).....	73
Figura 3.6 - Tipologia de elementos expostos face aos perigos costeiros considerados segundo a BGRI	76
Figura 3.7 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia dos indivíduos residentes.....	76
Figura 3.8 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia residencial dos edifícios	77
Figura 3.9 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia de construção dos edifícios, associado ao perigo de erosão costeira.....	77
Figura 3.10 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia de construção dos edifícios, associado ao perigo de inundação costeira	78
Figura 4.1 - Orientação predominante da linha de costa na área em estudo	79
Figura 4.2 - Distribuição da altura das dunas frontais na área em estudo	81
Figura 4.3 - Variação da posição de linha de costa segundo o indicador do limite da vegetação dunar, obtido através do método estatístico <i>NSM</i> e <i>SCE</i> para cada perfil	84
Figura 4.4 - Variação da posição da linha de costa segundo o indicador do limite seco-molhado, obtido através do método estatístico <i>NSM</i> e <i>SCE</i> para cada perfil.....	85
Figura 4.5 - Individualização de setores com características similares de dinâmica litoral segundo o indicador do limite da vegetação dunar. Tendência evolutiva do indicador de linha de costa obtida através do método estatístico <i>NSM</i> (m) de acordo com o maior espetro temporal em estudo (1967-2008)	87
Figura 4.6 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 1, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	91
Figura 4.7 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 6, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	92
Figura 4.8 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 8, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	93
Figura 4.9 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 5, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	95
Figura 4.10 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 2, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	97
Figura 4.11 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 3, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	98
Figura 4.12 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 4, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	100
Figura 4.13 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 7, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	102
Figura 4.14 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 9, segundo o indicador do limite da vegetação dunar	103
Figura 4.15 - Taxas de variação da linha de costa, segundo o indicador do limite da vegetação dunar, expresso através do método estatístico <i>Weighted Linear Regression (WLR)</i>	104

Figura 4.16 - Taxas de variação da linha de costa de acordo com cada setor estabelecido, resultante da aplicação do método estatístico <i>Weighted Linear Regression (WLR)</i> , segundo o indicador do limite da vegetação dunar	105
Figura 5.1 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo da área em estudo de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos	111
Figura 5.2 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 1, 2 e 3 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.....	115
Figura 5.3 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 4, 5 e 6 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.....	116
Figura 5.4 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 7, 8 e 9 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.....	117
Figura 5.5 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo da área em estudo de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.....	119
Figura 5.6 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo do setores 1, 2 e 3 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.....	122
Figura 5.7 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 4, 5 e 6 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.....	123
Figura 5.8 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 7, 8 e 9 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.....	124
Figura 5.9 - Tipologia de ocupação do solo afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos ao longo dos setores 1, 2 e 3	127
Figura 5.10 - Tipologia de ocupação do solo afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos ao longo dos setores 4, 5 e 6	128
Figura 5.11 - Tipologia de ocupação do solo afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos ao longo dos setores 7, 8 e 9	129

Índice de quadros

Quadro 2.1 - Taxas de subida relativa do nível do mar de acordo com o marégrafo de Cascais entre 1900 e 2000	28
Quadro 2.2 - Síntese das variações do nível do mar de acordo com alguns estudos.....	29
Quadro 2.3 - Definição dos parâmetros característicos da onda para a presente caracterização do clima de agitação marítima.....	32
Quadro 2.4 - Variabilidade decenal dos parâmetros associados à ocorrência de temporais segundo os dados de ondulação modelados do projeto <i>micore</i> para Sines (Dodet <i>et al.</i> , 2010)	38
Quadro 2.5 - População residente e respetiva taxa de variação, segundo os dados do INE.....	40
Quadro 2.6 - Número de edifícios e respetiva taxa de variação, segundo os dados do INE.....	41
Quadro 2.7 - Síntese da área ocupada por cada classe da COS2007 na península de Setúbal e no município de Almada e Sesimbra.....	42
Quadro 3.1 - Fontes documentais aplicadas ao presente estudo	49
Quadro 3.2 - Erros resultantes da correção diferencial do GPS	52
Quadro 3.3 - Distância entre os pontos de controlo (PC) marcados nas fontes documentais às coordenadas obtidas pelo dGPS	53
Quadro 3.4 - Fontes de incerteza de acordo com os períodos em estudo.....	61
Quadro 3.5 - Síntese das incertezas associadas à utilização de fotografias aéreas, segundo diversos autores em estudos da dinâmica da linha de costa.....	61
Quadro 3.6 - Métodos estatísticos para o cálculo das taxas de variação da linha de costa fornecidos pelo <i>DSAS</i> [®] (negrito), bem como a informação gerada por defeito em cada método estatístico apresentado.....	62
Quadro 3.7 - Síntese dos parâmetros considerados para a aplicação da extensão <i>DSAS</i> [®]	64
Quadro 3.8 - Nomenclatura da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007), segundo o nível 2	75
Quadro 4.1 - Orientação predominante da linha de costa na área em estudo.....	80
Quadro 4.2 - Tendência e variação total da dimensão da área associada ao indicador do limite da vegetação dunar com a linha de base e a respetiva variação temporal.....	82
Quadro 4.3 - Largura do sistema praia obtido através da distância média do limite da vegetação dunar e do limite seco-molhado.....	82
Quadro 4.4 - Tendência evolutiva e variação total da dimensão da área associada ao indicador do limite da vegetação dunar com a linha de base e a respetiva variação temporal.....	83
Quadro 4.5 - Variação total da dimensão da área para cada setor estabelecido segundo o indicador do limite da vegetação dunar e a respetiva variação temporal	88
Quadro 4.6 - Tendência/balanço total da dimensão da área para cada setor estabelecido segundo o indicador do limite da vegetação dunar e a respetiva variação temporal.....	88
Quadro 4.7 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e respetiva variação temporal por setor, obtida através do método estatístico <i>NSM</i> , segundo o indicador de linha de costa.....	89
Quadro 5.1 - Definições e critérios utilizados na delimitação das faixas de risco/salvaguarda para litoral baixo e arenoso, consagrado no POOC Sintra-Sado (Resolução de Conselho de Ministros n.º 86/2003 de 3 de junho).....	108
Quadro 5.2 - Projeção por setor do recuo médio (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.....	113

Quadro 5.3 - Projeção por setor do recuo máximo (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.....	113
Quadro 5.4 - Projeção por setor do recuo médio (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.....	120
Quadro 5.5 - Projeção por setor do recuo máximo e mínimo (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.....	120
Quadro 5.6 - Tipologia de ocupação do solo (COS) afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos.....	126
Quadro 5.7 - Tipologia de elementos expostos de acordo com a BGRI face à projeção da faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos.....	130
Quadro 5.8 - Tipologia de elementos expostos de acordo com a BGRI face à projeção da faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos.....	131

Acrónimos

AML	Área Metropolitana de Lisboa
ASLR	<i>Acceleration Sea-Level Rise</i>
BGRI	Base Geográfica de Referenciação de Informação
COS	Carta de Ocupação do Uso do Solo
DGT	Direção Geral do Território
DSAS	<i>Digital Shoreline Analysis System</i>
EMQ	Erro Médio Quadrático
ESRI	<i>Environmental Systems Research Institute</i>
IGEO	Instituto Geográfico Português
IGEOE	Instituto Geográfico do Exército
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
GIZC	Gestão Integrada das Zonas Costeiras
GPS/dGPS	<i>Global Position System/ Differential Global Positioning System</i>
LBPSOTU	Lei de Bases Gerais de Política Pública de Solos, de Ordenamento do Território e de Urbanismo
LIDAR	<i>Airborne Light Detection and Ranging Technology</i>
MDT	Modelo Digital de Terreno
NUTS	Nomenclatura das Unidades Territoriais para Fins Estatísticos
POOC	Planos de Ordenamento da Orla Costeira
PC	Pontos de Controlo
POC	Programas para a Orla Costeira
REN	Reserva Ecológica Nacional
SER	<i>Shoreline Evolution Rate</i>
SIG	Sistema de Informação Geográfica
UNDRO	<i>United Nations Disaster Relief Co-ordinator</i>
ZAM	Zonas Ameaçadas pelo Mar

Capítulo 1. Enquadramento temático e objetivos

1.1. Enquadramento temático

O litoral, enquanto sistema resultante da interação entre as várias componentes associadas à sua fração emersa e submersa, apresenta-se com uma elevada dinâmica, traduzindo-se na variação da posição da linha de costa. O espaço litoral é considerado como um sistema complexo, resultante da interação entre a hidrosfera, litosfera, atmosfera, biosfera e noosfera. O sistema é assim definido "como um conjunto de objetos ou de características interrelacionados e interativos, constituindo uma entidade complexa, isto é, uma modificação num dos objetos ou numa das características induz mudanças no sistema" (Ramos-Pereira, 2001).

Contudo, a elevada dinâmica litoral, não se tem demonstrado conciliável com a ocupação territorial densa na faixa costeira, sendo considerável o papel da ação humana com a interação entre os restantes subsistemas do sistema ambiental, resultando em alguns casos na elevada perda e prejuízo para a população.

A elaboração de estudos associados à dinâmica litoral demonstra a sua importância segundo duas perspetivas: (i) a investigação fundamental encontra-se relacionada com a importância do conhecimento dos processos morfodinâmicos litorais; (ii) a investigação aplicada está relacionada com a crescente necessidade de aplicação desses conhecimentos ao ordenamento e gestão sustentável do território.

Contudo, a dualidade de perspetivas, no que respeita aos conceitos associados ao sistema litoral, contribui para uma maior dificuldade na sua definição, a que acresce a própria natureza complexa do sistema, derivado da sua elevada dinâmica. As dificuldades resultam, segundo Ramos-Pereira (2008), não só, dos diferentes objetivos que os vários estudos de cada perspetiva encerram, mas também pelas "balizas que delimitam esse espaço". "Nos primeiros, os limites, rígidos ou progressivos, podem englobar espaços muito diversos, consoante a temática específica em estudo, enquanto nos segundos (estudos aplicados) se pretende sempre impor balizas rígidas. Por outras palavras, no quadro do ordenamento do território, o litoral é concebido como um espaço com limites bem definidos, quer do lado das terras emersas quer das submersas. Neste contexto, pretende-se, geralmente, fixar um espaço que, por natureza, é diversificado e constantemente móvel em qualquer escala temporal considerada" (Ramos-Pereira, 2008, p.23).

A mesma autora, num trabalho publicado em 2001 discute a questão ligada à definição do conceito de litoral, definindo-o como "as áreas emersas e submersas em que ocorrem trocas

transversais entre as diferentes esferas que aqui se entrecruzam. (...) [É o] "Espaço direta ou indiretamente comandado pela dinâmica do mar (...), uma faixa em permanente mudança de posição, dependendo da escala temporal em análise". [É] a porção de território, de dimensões variáveis, que migra constantemente e de forma desigual, consoante a escala temporal analisada e também o tipo de litoral, onde o mar exerce ou exerceu a sua ação desde que o homem surgiu" (Ramos-Pereira, 2001, p.61-67).

A falta de consenso na definição dos conceitos que a temática encerra, remete para a necessidade de estes serem bem estipulados em cada estudo realizado. Tendo em consideração o exposto, é assim definido (a):

- "Litoral - Termo geral que descreve porções do território que são influenciadas direta e indiretamente pela proximidade do mar;

- Zona costeira - Porção de território influenciada direta e indiretamente em termos biofísicos pelos mar (ondas, marés, ventos, biota ou salinidade) e que pode ter, para o lado de terra, largura tipicamente de ordem quilométrica, e se estende, do lado do mar, até ao limite da plataforma continental;

- Orla costeira - Porção de território onde o mar exerce diretamente a sua ação, coadjuvado pela ação eólica, e que tipicamente se estende para o lado de terra por centenas de metros e se estende, do lado do mar, até à batimétrica dos 30 m (englobando a profundidade de fecho);

- Linha de costa - Fronteira entre a terra e o mar; materializada pela interceção do nível médio do mar com a zona terrestre" (Veloso-Gomes *et al.*, 2007a, p. 37).

Os processos morfodinâmicos nos sistemas litorais resultam do balanço da interação entre os agentes e os fatores envolvidos na sua morfogénese. Quando se verifica um processo de deposição dominante face à erosão, este resulta em sistemas/formas de acumulação. No entanto, se o processo for inverso, verificando-se um processo de ablação predominante aos processos de deposição, este resulta em sistemas/formas de erosão. Quando se verifica que um sistema se mantém em equilíbrio dinâmico, não evoluindo para qualquer uma das duas tendências, este é designado por estado estacionário (Valero, 2013).

Porém, os processos morfodinâmicos que afetam a linha de costa podem não permanecer lineares, pelo que as formas resultantes de cada tipo de processo podem não estar atualmente associadas ao seu processo originário. Como tal, formas que tipicamente são consideradas de acumulação (ex. praias e dunas), podem manifestar processos erosivos dominantes, mostrando o seu desequilíbrio face aos fatores responsáveis pela sua dinâmica.

Tal como se verifica na figura 1.1, a tipologia de litoral predominante em Portugal continental distingue-se essencialmente em dois grandes conjuntos: (i)os litorais rochosos e (ii) os litorais arenosos. De acordo com o projeto SIAMII, projeto que consiste na avaliação

integrada dos impactos e medidas de adaptação às alterações climáticas em Portugal continental no século XXI (Andrade *et al.*, 2006), distinguiu o litoral de Portugal continental em 8 setores de acordo com a morfodinâmica prevalente (fig. 1.1).

Quanto à tipologia de litoral rochoso, este pode ser subdividido em litoral alto e litoral baixo (fig. 1.1). A diferença encontra-se espelhada ao longo do litoral português, com destaque da região norte de Portugal continental até ao Porto e o barlavento algarvio a apresentarem uma predominância de litoral rochoso baixo, contrastando com a região entre a Nazaré e o Cabo Raso e entre Sines e o Cabo de São Vicente que demonstra um predomínio do litoral rochoso alto. O litoral arenoso é predominante na área entre o Porto e a Nazaré, bem como, entre o Cabo Raso e Sines, mas também com incidência no litoral algarvio, mais especificamente, no sotavento algarvio. A localização do litoral arenoso em Portugal continental encontra-se diretamente relacionado com a desembocadura dos grandes rios que aqui desaguam, dado que estes são, na generalidade, os principais fornecedores de sedimentos à costa. Tal como se observa na figura 1.1, na costa ocidental, a tipologia de litoral arenoso localiza-se predominantemente a sul da desembocadura dos principais rios, tal como se pode verificar (fig. 1.1), a título de exemplo a extensão de areia a sul dos rios Tejo e Sado, derivado da corrente de deriva litoral ter uma direção predominantemente norte-sul.

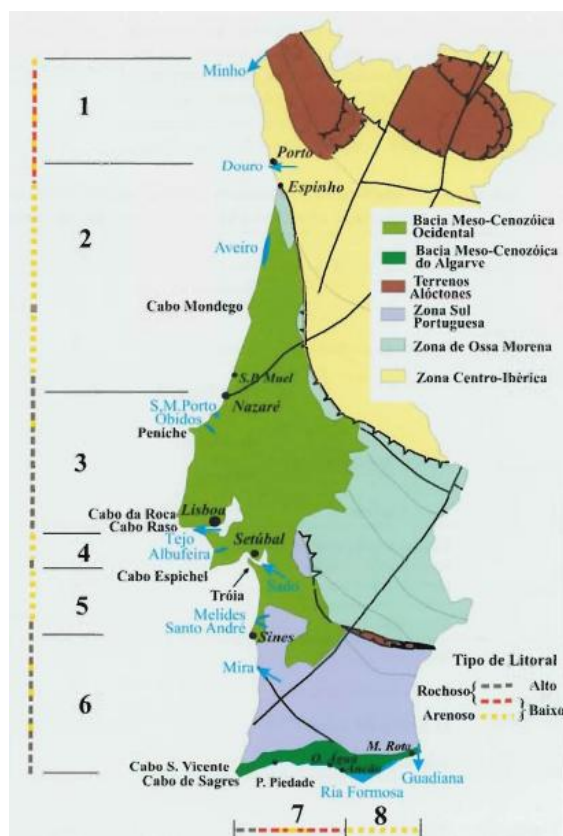


Figura 1.1 - Distribuição espacial da tipologia de sistemas litorais existentes em Portugal continental.

Fonte: Andrade *et al.*, 2006.

Os sistemas litorais são altamente sensíveis a modificações nas suas componentes, afetando as tendências de atuação dos processos costeiros devido à complexidade de interações que encerram e aos processos envolvidos nos seus setores emersos e submersos (Valero, 2013).

A alteração das tendências evolutivas de atuação dos processos costeiros nos sistemas litorais encontra-se bem espelhada no exemplo, do arco Costa da Caparica - Cabo Espichel. Tal como se pode verificar na figura 1.1, o arco Caparica-Espichel localiza-se a sul de Lisboa, mais precisamente no distrito de Setúbal e apresenta um sistema predominantemente arenoso. Este sistema litoral apresenta uma diversidade de subsistemas bastante significativa, podendo identificar-se uma presença de praias, dunas, arribas, fóssil e viva, e de uma laguna costeira, caracterizados com maior profundidade no capítulo seguinte.

Os sistemas de praia e duna constituem formas resultantes inicialmente de processos acumulativos e que atualmente podem ou não encontrar-se em equilíbrio com as condições ambientais que lhes deram origem. O sistema de praia pode ser definido como "um sistema litoral de acumulação de sedimentos, da areia ao bloco, depositados pelo mar e que se mantêm soltos. A sua mobilidade depende de um conjunto de fatores: os forçadores, decorrentes da ação das ondas (que podem ter propriedades diversas) e do seu ângulo de incidência na linha de costa, a que se associa a variação constante da posição do nível médio do mar, decorrente do estágio da maré, e de parâmetros morfológicos, como o declive e micromorfologia da praia, e sedimentológicos, como o calibre dos sedimentos" (Ramos-Pereira, 2008, p.51). As dunas litorais podem ser entendidas como "formas de acumulação de areias de praia transportadas e acumuladas pelo vento" (Ramos-Pereira, 2008, p.65). Em ambientes litorais a "deposição ocorre por interposição de obstáculos, penetráveis ou impenetráveis. No primeiro caso, os obstáculos naturais são materializados pela vegetação (ou artificialmente por armadilhas de areia), que ocasiona um aumento da rugosidade topográfica, dando origem a verdadeiras dunas. No segundo caso, o obstáculo pode ser uma arriba, e então o vento cria taludes eólicos de encontro ao obstáculo" (Ramos-Pereira, 2008, p.67).

O sistema de praia-duna é particularmente suscetível aos elementos forçadores, como as ondas ou as marés, por serem constituídos por materiais não consolidados e finos e caracterizados por uma morfologia de baixo declive (Carvalho, 2013), respondendo rapidamente às mudanças das condições climáticas.

A arriba viva corresponde a um "degrau escarpado (declive acentuado), desprovido de vegetação, em geral modelada no sopé por processos marinhos e na parte restante por processos continentais" (Ramos-Pereira, 2008, p.69). "O termo arriba fóssil serve para designar sistemas ou secções de sistemas de arriba em que um outro elemento, natural ou antrópico,

se têm interposto entre a arriba e a ação das ondas, cobrindo o degrau rochoso que passa a funcionar como qualquer vertente" (Valero, 2013, p.3). Os sistemas lagunares como a laguna costeira da Lagoa de Albufeira, resultam de processos erosivos e são considerados como "zonas deprimidas, abaixo do nível médio do preia-mar de águas vivas, com comunicação efémera ou permanente com o mar, do qual estão protegidas por um tipo qualquer de barreira. Constituem um meio sedimentar natural que se desenvolve na interface dos sistemas hidrológicos continental e marinho e onde ocorrem transferências de massa, de energia e reações químicas importantes. São ambientes de grande riqueza económica, de beleza paisagística inegável e de notável valor ecológico e contam-se entre os meios mais produtivos da biosfera" (Freitas e Ferreira, 2004, p.11).

Os processos erosivos que se têm manifestado nos sistemas arenosos do arco Caparica - Espichel não são exclusivos deste troço litoral e constituem um exemplo muito preocupante das relações estabelecidas entre a dinâmica dos sistemas costeiros e a ocupação do território litoral. "No litoral português, o processo erosivo tem-se manifestado desde o início do século XIX. O processo erosivo é traduzido pelo recuo da linha de costa e da duna frontal, inundação, destruição de infraestruturas e defesas costeiras, roturas e galgamento do cordão dunar" (Taveira-Pinto *et al.*, 2007 cit. em Pais-Barbora *et al.*, 2010, p.17).

Cerca de 1/4 da zona costeira portuguesa evidencia tendências para erosão ou erosão já confirmada, sendo as áreas de costa baixa e arenosa as mais expostas a este fenómeno (Andrade *et al.*, 2006).

Quando realizada uma análise dos diversos estudos realizados sobre a variação da linha de costa dos troços arenosos em Portugal continental (Ângelo, 1991; Bettencourt e Ângelo, 1992; Ferreira, 1993; Teixeira, 1994; Pires *et al.*, 2007; Rocha *et al.*, 2007; Ceia, 2009; Silva, 2012; anexo 1), é possível identificar a distribuição espacial dos processos erosivos. A informação apresentada na figura 1.2, sintetiza espacialmente os diversos estudos acerca da variação da linha de costa, apresentando a taxa mais elevada de recuo por ano, obtida para o respetivo local. Tendo em conta a distribuição dos sistemas arenosos no litoral em Portugal continental (fig. 1.1), a figura 1.2 evidencia dentro desta tipologia de sistemas, quais os troços que registam processos erosivos, demonstrando a dimensão dos processos erosivos sobre o sistema litoral arenoso.

Dos troços litoral que registam processos erosivos (fig. 1.2), salienta-se a norte o troço de litoral ocidental entre a Maceda e a Vagueira, com o registo de taxas de recuo da linha de costa que oscilam entre os 4,00 m/ano e os 16,00 m/ano. Mais a sul, distingue-se o troço litoral da Costa da Caparica, com especial destaque do extremo norte (Cova do Vapor) com

uma taxa de recuo de 7,45 m/ano. No litoral meridional a ilha de Faro destaca-se com uma taxa de recuo da linha de costa de 4,00 m/ano.

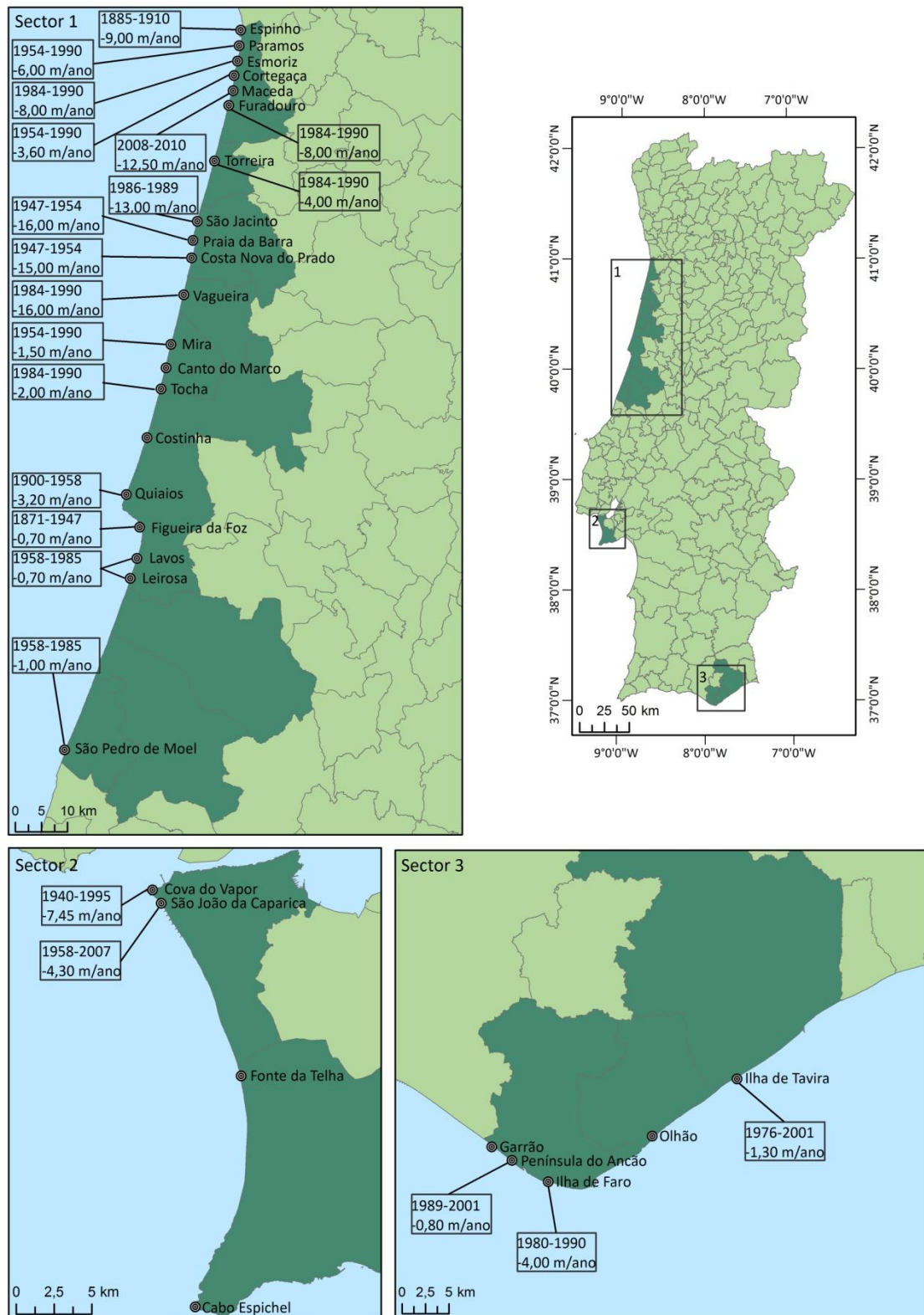


Figura 1.2 - Taxas de recuo máximas para o litoral português.

Nota: Dados de acordo com a tabela no anexo 1.

Os vários fatores condicionantes da erosão costeira no litoral português podem distinguir-se os seguintes:

- "Elevação do nível do mar;
- Diminuição da quantidade de sedimentos fornecidos ao litoral;
- Degradação antropogénica das estruturas naturais;
- Obras pesadas de engenharia costeira, nomeadamente as que são implantadas para defender o litoral" (Alveirinho-Dias, 1993, p.13).

A elevação do nível do mar pode explicar-se predominantemente pela expansão térmica oceânica, ou seja, pelo aumento do volume de água no oceano, resultado do aumento gradual e global da temperatura atmosférica e das próprias águas oceânicas (Alveirinho-Dias, 1993). Segundo o 4º relatório do Painel Intergovernamental das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (IPCC, 2007), desde 1993, a expansão térmica dos oceanos tem contribuído com cerca de 57% do total das contribuições estimadas para a subida do nível médio do mar, enquanto a diminuição dos glaciares e das calotes polares contribuíram em cerca de 28%, a perda das camadas de gelo polar contribuíram ainda para a restante explicação da subida do nível do mar (IPCC, 2007). No entanto, o litoral encontra-se exposto a outros fatores associados à variação do nível do mar que contribuem para os processos de erosão costeira. Ao contrário da expansão térmica oceânica, estes têm a capacidade de atuar em curtos períodos de tempo. Enumeram-se (i) as ondas de temporal, (ii) as elevações do nível do mar de origem meteorológica, associadas a núcleos de baixa pressão atmosférica (*storm surge*) e (iii) as elevações devidas à ocorrência de grandes ondas, que por norma são causadas por sismos com epicentros localizados no mar, sendo geralmente designados por *tsunamis* ou maremotos (Alveirinho-Dias, 1993), (iv) e qualquer um dos anteriores quando conjugados com níveis de preia-mar viva.

Outra causa da erosão costeira explicitada por Alveirinho-Dias (1993) é a diminuição do fornecimento sedimentar ao litoral. Este fator condicionante da erosão costeira encontra-se relacionado com a atividade antrópica nas bacias hidrográficas através da construção de barragens que retêm os sedimentos a montante. No entanto, a falta de sedimentos pode também ser atribuída às dragagens fluviais, estuarinas e costeiras (apesar de aqui serem ilegais).

Para além da elevação do nível do mar e da diminuição do fornecimento sedimentar, a destruição das estruturas naturais (tais como dunas e arribas) causada pela pressão antrópica sobre o litoral têm agravado substancialmente o processo de erosão costeira, sendo estas em muitos casos os primeiros meios de defesa do litoral (Alveirinho-Dias, 1993).

Por último, a realização de obras pesadas de engenharia costeira tem resultado na intensificação da erosão costeira localizada. Observa-se uma incompatibilidade entre a colocação de estruturas estáticas num sistema claramente dinâmico. Deste tipo de obras, salientam-se: (i) os molhes e quebra-mares (tendo estes a função de modificar as condições oceanográficas locais e modificar as condições de dinâmica sedimentar) e (ii) as estruturas rígidas transversais (tipo esporão) e longilitorais (tipo paredão) (construídas com o intento de evitar o recuo da linha de costa) (Alveirinho-Dias, 1993).

O recuo da linha de costa reflete, em muitos casos, uma incompatibilidade entre a dinâmica própria dos sistemas costeiros e a ocupação antrópica existente na faixa litoral, aumentando a exposição de pessoas, equipamentos e bens ao perigo de erosão costeira e inundações por galgamentos oceânicos. No que se refere à vulnerabilidade dos elementos expostos, Julião *et al.* (2009), tendo por base os conceitos definidos na convenção internacional organizada pela *United Nations Disaster Relief Co-ordinator (UNDRO)*, em 1979, definem de forma precisa vários conceitos relacionados com o modelo concetual do risco (fig. 1.3), dos quais se enumeram alguns de seguida:

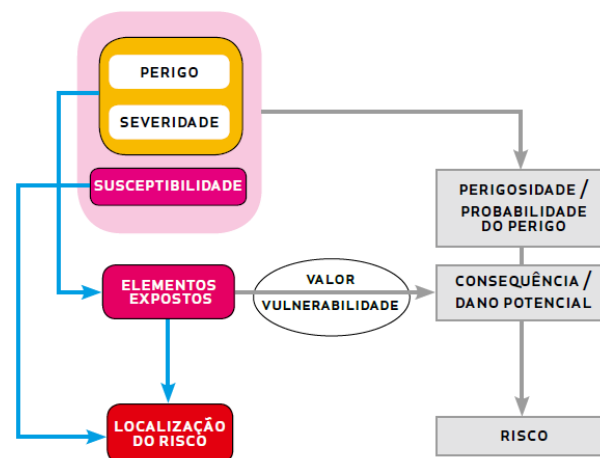


Figura 1.3 - Modelo conceitual do risco.

Fonte: Julião *et al.*, 2009, p.22.

- "Perigo - Processo (ou ação) naturais, tecnológico ou misto suscetíveis de produzir perdas e danos identificados.

- Severidade - Capacidade do processo ou ação para danos em função da sua magnitude, intensidade, grau, velocidade ou outro parâmetro que melhor expresse o seu potencial destruidor.

- Suscetibilidade - Incidência espacial do perigo. Representa a propensão para uma área ser afetada por um determinado perigo, em tempo indeterminado, sendo avaliada através dos

fatores de predisposição para a ocorrência dos processos ou ações, não contemplando o seu período de retorno ou a probabilidade de ocorrência.

- Perigosidade/Probabilidade do perigo - Probabilidade de ocorrência de um processo ou ação (natural, tecnológico ou misto) com potencial destruidor (ou para provocar danos) com uma determinada severidade numa dada área e num dado período de tempo;

- Exposição/Elementos expostos/Elementos em risco - População, propriedades, estruturas, infraestruturas, atividades económicas, etc., expostos (potencialmente afetáveis) a um processo perigoso natural, tecnológico ou misto, num determinado território;

- Elementos expostos estratégicos, vitais e /ou sensíveis - Conjunto de elementos expostos de importância vital e estratégica, fundamentais para a resposta à emergência (rede hospitalar e de saúde, rede escolar, quartéis de bombeiros e instalações de outros agentes de proteção civil e autoridades civis e militares) e de suporte básico às populações (origens e redes principais de abastecimento de águas, rede elétrica, centrais e retransmissores de telecomunicações);

- Vulnerabilidade - O grau de perda de um elemento ou conjunto de elementos expostos, em resultado da ocorrência de um processo (ou ação) natural, tecnológico ou misto de determinada severidade. Expressa numa escala de 0 (sem perda) a 1 (perda total)" (Julião *et al.*, 2009. p.20-21).

A recolha e análise de dados associados a estes sistemas é essencial para o seu conhecimento. Tal como afirmado por Ramos-Pereira (2008), a informação sobre a "dinâmica costeira, seus processos e ritmos evolutivos, bem como as ações de ordenamento, devem ser expressas (i) numa base de dados e (ii) de forma cartográfica, em sistema SIG" (Ramos-Pereira, 2008, p.106). O guia metodológico anteriormente apresentado, tal como os mais diversos estudos elaborados sobre a dinâmica litoral, remete para a importância da produção cartográfica como método de prevenção, permitindo prevenir e preparar respostas para eventos futuros com consequências semelhantes.

O litoral enquanto espaço privilegiado, decorrente da sua elevada concentração de recursos naturais e potencializador de atividades económicas, tanto as portuárias, industriais e piscatórias, como as atividades ligadas ao lazer, fazem deste, um espaço de eleição na fixação da população (Ramos-Pereira, 2001). O carácter excepcional do espaço litoral, remete para a necessidade do aprofundamento dos conhecimentos relacionados com os processos morfodinâmicos litorais, de modo a efetuar uma gestão equilibrada dos respetivos espaços (Ramos-Pereira, 2001; Valero, 2013). Em muitos casos, esta gestão é condicionada pela elevada diversidade de espaços litorais, sendo necessário adotar medidas em conformidade com o tipo de espaço em causa. Por outro lado, o espaço litoral encontra-se diretamente

exposto aos diversos componentes ambientais que integram tanto o sistema marinho como o continental, que aliados às atuais tendências de erosão costeira, resultam no recuo da linha de costa. Os sistemas litorais arenosos, tais como, o sistema praia-duna, constituem espaços extremamente suscetíveis à erosão costeira. Esta situação remete para a necessidade de efetuar estudos que contribuam para o conhecimento da morfodinâmica do litoral arenoso, mais especificamente do sistema praia-duna, constituindo o presente estudo uma contribuição neste sentido.

1.2. Objetivos e fundamentação da seleção da área de estudo

De acordo com a presente temática, esta investigação apresenta-se com o objetivo geral do estudo da dinâmica da linha de costa no setor não artificializado do litoral arenoso do arco Caparica-Espichel. Como consequência dos dados obtidos, proposto pelo objetivo geral, proceder-se-á ao zonamento da vulnerabilidade à erosão associada à subida gradual do nível do mar.

Com o intuito de atingir os objetivos pretendidos, estipularam-se objetivos específicos, enumerando os seguintes:

- (i) Sistematização de fenómenos erosivos e das suas consequências na área de estudo;
- (ii) Análise da evolução da linha de costa neste setor litoral, recorrendo à definição e determinação de marcadores (*proxies*) dos sucessivos posicionamentos da linha de costa;
- (iii) Determinação das taxas de recuo a longo prazo (decenal);
- (iv) Previsão de linhas de recuo associadas à subida gradual do nível do mar;
- (v) Determinação da vulnerabilidade de elementos expostos ao recuo da linha de costa.

Na seleção da área em estudo, considerou-se investigar uma área litoral de sistema arenoso cuja dinâmica constituísse, de algum modo, um fator de perigosidade para pessoas e bens. A escolha incidiu sobre o troço costeiro arenoso do arco Caparica-Espichel, inserido no setor sul da área metropolitana de Lisboa (AML).

De acordo com os diversos estudos elaborados no âmbito da dinâmica litoral (Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2007; Veloso-Gomes *et al.*, 2007b; Veloso-Gomes *et al.*, 2009; Pinto *et al.*, 2012), permitiram constatar a problemática associada aos processos erosivos em alguns setores da área em estudo. Estes, consideram essencialmente o setor norte, entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica, onde a elevada densidade populacional aqui presente, encontra-se especialmente exposta aos perigos costeiros. Esta conjuntura proporcionou a forte artificialização neste setor costeiro, através da colocação de obras de defesa costeira, de

modo a evitar o constante recuo da linha de costa, provocando uma conseqüente modificação no presente sistema litoral.

Apesar das vastas referências à dinâmica litoral no arco Caparica-Espichel, estas não consideram a dinâmica do sistema na sua totalidade, evidenciando somente alguns setores ponderados à partida como críticos, nomeadamente, o troço costeiro artificializado. O presente estudo apresenta uma contribuição no âmbito da investigação da dinâmica da linha de costa no setor não artificializado do litoral arenoso do arco Caparica-Espichel, e como conseqüência, evidencia as assimetrias na dinâmica dos troços litorais derivado das diferentes pressões antrópicas que atuam sobre o mesmo.

1.3. Estrutura da dissertação

A presente dissertação intitulada *Dinâmica da linha de costa e vulnerabilidade à erosão no setor não artificializado do arco Caparica-Espichel* encontra-se organizada em cinco capítulos.

O primeiro capítulo reflete sobretudo o enquadramento teórico e o estado da arte face à temática da dissertação. Realiza-se uma breve contextualização do tema a partir da análise bibliográfica, definindo os conceitos base, bem como o plano que esta pretende seguir, evidenciando assim os objetivos a atingir com este estudo e a estrutura a adotada.

No segundo capítulo, *enquadramento da dinâmica litoral no arco Caparica-Espichel*, abordar-se-á a dinâmica litoral na área em estudo, resultando principalmente na análise de bibliografia. Tendo como limite o arco Caparica-Espichel, pretende-se analisar a tipologia de sistemas litorais e a subida secular do nível do mar através da síntese da bibliografia de vários autores cujos estudos incidam sobre a área de estudo. Para completar o estudo dos fatores condicionantes da dinâmica da linha de costa estudar-se-á a agitação marítima (que pode constituir também um fator desencadeante de acordo com a escala temporal em análise), no período de estudo obtida com base em séries completas de dados de ondulação modelados. A ocupação do solo será também alvo de análise quanto à sua evolução na área estudada.

O terceiro capítulo refere-se aos *fontes, métodos e técnicas* a utilizar para atingir os objetivos propostos. Estas consistem essencialmente na utilização dos sistemas de informação geográfica de forma a obter a evolução da linha de costa, bem como, prever uma futura evolução. Para este tipo de objetivo é necessário definir os requisitos técnicos e funcionais, bem como determinar os erros aceitáveis. Após obter esta informação é necessário determinar o uso do território costeiro de forma a obter a vulnerabilidade dos elementos expostos.

O quarto capítulo refere-se à *dinâmica da linha de costa* a médio prazo (várias décadas), apresentando uma caracterização morfométrica dos sistemas litorais em presença (orientação, largura, altura máxima), o balanço da dinâmica da linha de costa de acordo com a escala temporal em análise e a apresentação de cartografia de avanços e recuos médios, mínimos e máximos.

O quinto capítulo é referente à *subida do nível do mar e vulnerabilidade dos sistemas litorais* em presença na área de estudo, incluindo a componente de uso do território. Analisam-se as previsões de subida do nível do mar no setor estudado utilizando previsões de vários autores nacionais (de escala local e regional) e internacionais (de escala global), avalia-se a projeção e cartografia de linhas de recuo para 25 e 50 anos (escalas temporais tidas frequentemente em conta em questões de planeamento territorial) e, por fim, determinam-se os cenários de vulnerabilidade de elementos atuais expostos.

A dissertação finaliza com a apresentação de considerações finais e a respetiva discussão.

Capítulo 2. Enquadramento da dinâmica litoral no arco Caparica-Espichel

Como abordado no capítulo introdutório, o sistema praia-duna é considerado um sistema que, devido às suas características morfológicas, se encontra particularmente suscetível aos elementos forçadores. Segundo Ramos-Pereira (2008), destaca-se um conjunto de os [elementos] forçadores que contribuem para o elevado dinamismo associado a este sistema, nomeadamente: "os decorrentes da ação das ondas (que podem ter propriedades diversas) e do seu ângulo de incidência na linha de costa, a que se associa a variação constante da posição do nível médio do mar, decorrente do estágio da maré, e de parâmetros morfológicos, como o declive e micromorfologia da praia, e sedimentológicos, como o calibre dos sedimentos" (Ramos-Pereira, 2008, p.51). A morfologia é portanto, resultado da intervenção direta ou indireta de vários elementos forçadores e fatores condicionantes, aos quais se associa a crescente pressão antrópica em território litoral, capaz de alterar a dinâmica natural dos sistemas. É assim imprescindível a compreensão de todas as características geomorfológicas da paisagem envolvente da área de estudo, dos seus elementos forçadores e dos fatores que condicionam a sua evolução, de modo compreender a dinâmica litoral.

2.1. Localização da área em estudo

O arco Caparica-Espichel (fig. 2.1) localiza-se no litoral oeste de Portugal continental, no setor sul da área metropolitana de Lisboa - AML, mais especificamente na orla ocidental da península de Setúbal (designação segundo a nomenclatura das unidades territoriais para fins estatísticos - NUTS 3). A península de Setúbal com 1625,26 km², engloba 9 municípios, (Alcochete, Almada, Barreiro, Moita, Montijo, Palmela, Seixal, Sesimbra e Setúbal, como parte desta unidade administrativa; INE, 2013). Dos municípios referidos, salienta-se que o troço costeiro em estudo integra-se a norte no município de Almada e a sul no município de Sesimbra.

O troço costeiro em estudo apresenta-se como uma baía com uma configuração planar arqueada, de orientação sensivelmente NW-SE até à Lagoa de Albufeira e NE-SW daí até ao Cabo Espichel. Caracterizado, em quase toda a sua extensão, por uma faixa contínua de litoral arenoso com uma extensão de aproximadamente 20 km, encontra-se interrompido pela Lagoa de Albufeira (fig. 2.1).

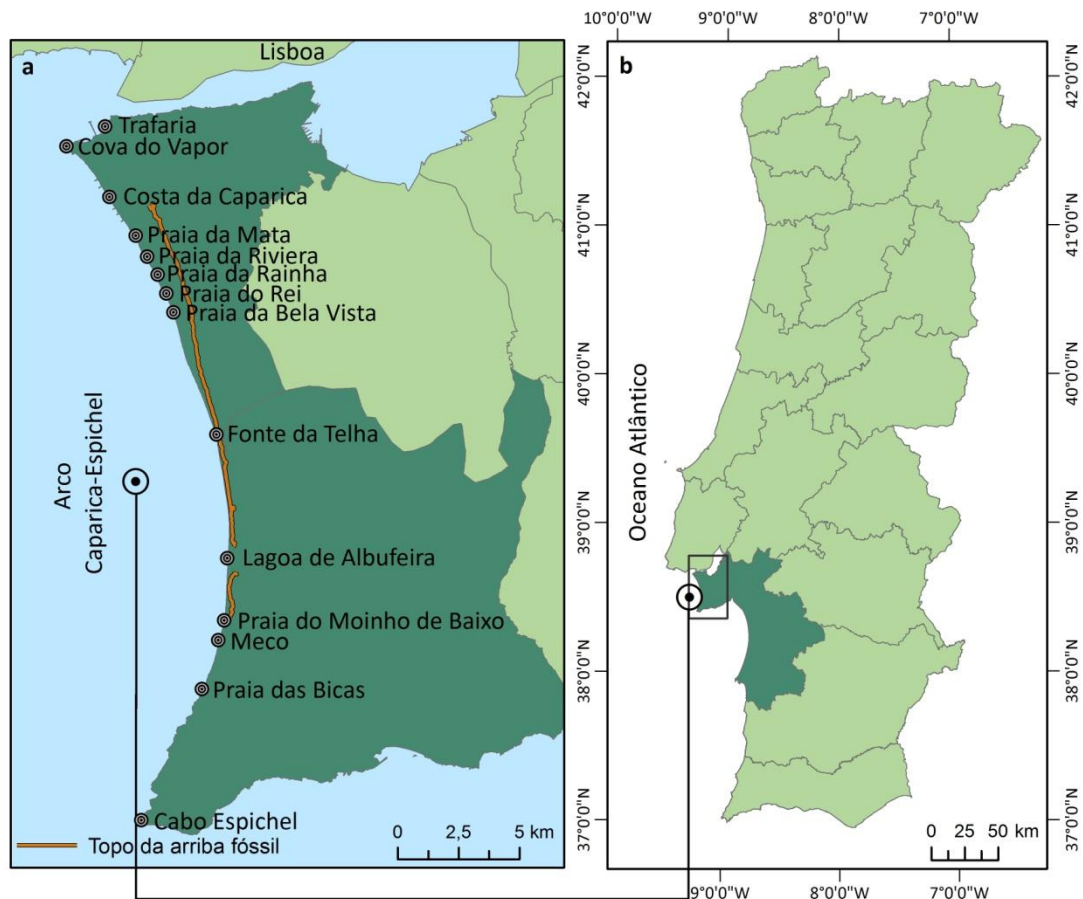


Figura 2.1 - Enquadramento geográfico do arco Caparica-Espichel.

a) Divisão administrativa por concelho, salientando-se os concelhos de Almada a norte e Sesimbra a sul; b) Divisão administrativa por distrito, salientando-se o distrito de Setúbal.

Sendo que o presente estudo apenas abrange o troço arenoso não artificializado do arco Caparica-Espichel, são excluídas as suas extremidades norte e sul (fig. 2.2): o setor a norte, desde a Cova do Vapor até ao campo de esporões da Costa da Caparica (figs. 2.1 e 2.2), por este se encontrar fortemente artificializado e com obras estáticas de defesa costeira (estrutura aderente e esporões); e, o setor sul, desde a praia das Bicas até ao cabo Espichel, por ser dominado por arribas. Assim, a área de estudo localiza-se imediatamente a sul do campo de esporões da Costa da Caparica e percorre todo o setor arenoso até à praia das Bicas (Meco), estando compreendida entre as coordenadas 38° 38' 01"N; 9° 13' 52"W e 38° 27' 44"N; 9° 11' 36"W (fig. 2.1).



Figura 2.2 - Setores costeiros do arco Caparica-Espichel excluídos do âmbito de análise. À esquerda, setor artificial da frente urbana da Costa da Caparica (vista S-N). À direita, transição do litoral arenoso para rochoso da praia das Bicas ao Cabo Espichel (vista N-S).

2.2. Tipologia de sistemas litorais

A península de Setúbal, unidade administrativa na qual se integra a área em estudo (fig. 2.1), comporta uma acentuada assimetria morfológica, resultante dos diferentes regimes de agitação marítima a que se encontra exposto e da natureza e estrutura do substrato rochoso que o suporta (Cruces *et al.*, 2002), podendo distinguir-se dois troços litorais importantes: o litoral ocidental e o meridional. Ambos os troços litorais se distinguem facilmente pelo diferente traçado da linha de costa e pelo comando da vertente costeira (Ramos-Pereira, 1988). No que respeita ao litoral ocidental, compreendido entre a Cova do Vapor e o Cabo Espichel, é caracterizado pela sua "extensa faixa de acumulação arenosa, bem desenvolvida ao norte da Lagoa de Albufeira, que constitui a planície da Costa da Caparica e que dá à linha de costa um traçado regular, em arco de círculo. O comando da vertente costeira diminui de norte para sul, entre 100 m e 20 m, da Trafaria à lagoa a partir da qual volta a aumentar, até atingir cerca de 130 m, junto ao Cabo Espichel" (Ramos-Pereira, 1988, p.336).

Inserida nas unidades morfoestruturais da bacia cenozóica do Tejo e Sado e da orla mesocenozóica ocidental, a área em estudo correspondeu a uma vasta depressão tectónica aberta às influências oceânicas no início do Paleogénico, encontrando-se limitada por compartimentos sobrelevados, como a serra de Sintra a norte e a serra da Arrábida a sul. Constituída essencialmente por rochas do Neogénico, que preenchem o sinclinal de albufeira, é, ainda, revestida em algumas áreas por formações plio-quadernárias de natureza aluvionar e, por vezes, eólicas (fig. 2.3) (Manuppella *et al.*, 1999; ICN, 2001; Feio e Daveau, 2004). "Dominam, do ponto de vista litológico, arenitos, siltitos, argilas, margas e calcários (por vezes margosos), muitas vezes intercalados, formando um conjunto heterogéneo" (Rodrigues, 1981 cit. em Ferreira, 1999, p.22).

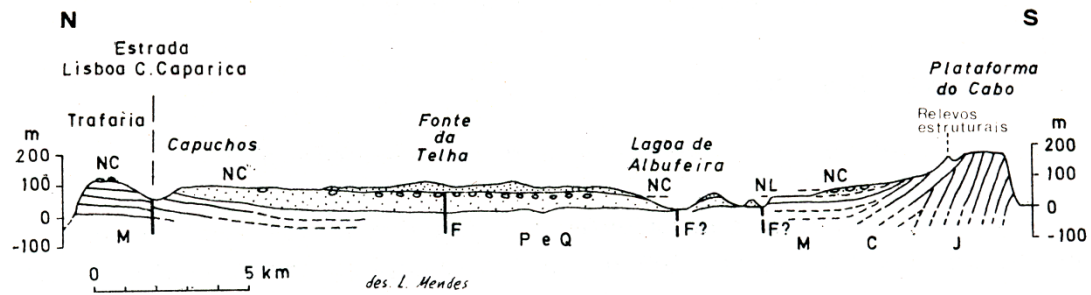


Figura 2.3 - A vertente costeira da Trafaria ao cabo Espichel.

Nota: J - Jurássico; C - Cretácico; M - Miocénico; P - Pliocénico; Q - Quaternário. Na Fonte da Telha, a sucessão da base para o topo: série arenosa pliocénica, conglomerado de Belverde (Plistocénico) e areias dunares (Plistocénico e Holocénico).

Fonte: Ramos-Pereira, 1988, p.337.

O litoral ocidental da península de Setúbal apresenta uma elevada diversidade de formas de relevo, evidenciando claras variações N-S nos elementos morfológicos que o compõem. A variação deve-se em parte à vertente costeira, que enquanto elemento estruturante da paisagem, apresenta características e processos evolutivos distintos a norte e a sul da Lagoa de Albufeira (Ramos-Pereira, 1988).

A norte da Lagoa de Albufeira, verifica-se um litoral de baixo declive, arenoso, com setores muito destruídos pela intervenção humana. Neste troço é possível considerar-se três elementos com disposição, sensivelmente paralela: a praia, o cordão dunar frontal e o campo de dunas interiores. Estes elementos situam-se na planície litoral que é limitada internamente por uma vertente escarpada de traçado retilíneo e de orientação sensivelmente NW-SE, anteriormente designada por vertente costeira. Atualmente a evolução da vertente encontra-se estritamente relacionada com os processos subaéreos, essencialmente por erosão hídrica e movimentos de massa (deslizamentos e desabamentos), que originam no sopé da vertente um talude de acumulação, de declive pouco acentuado. A vertente, desde a Trafaria até às imediações da Lagoa de Albufeira, é considerada uma arriba fóssil, que se perlonga para sul por uma arriba viva, já que a planície costeira se estreita para sul, até se reduzir à praia, a norte da lagoa. Contudo, a faixa de acumulação arenosa prolonga-se para sul, até à Praia das Bicas, como demonstra o carácter regular da linha de costa. Todo este conjunto é dominado pela plataforma litoral, uma superfície plana sobranceira que se encontra suavemente inclinada para a Lagoa de Albufeira (Freire, 1986; Ramos-Pereira, 1988).

A sul da Lagoa de Albufeira, a vertente costeira é arriba viva, de traçado irregular e de orientação sensivelmente NE-SW. As arribas apresentam um comando maior para sul, acompanhando o aumento da altitude do planalto litoral. Na base da arriba ocorrem praias de areia, que se estendem de forma continua até à praia das Bicas. Daí até ao Cabo Espichel, a arriba, talhada em materiais mais coerentes, evolui por queda de blocos, em consequência do

trabalho de sapa realizado pelo mar na sua base. Os blocos que aí se acumulam funcionam como quebra-mar, o que, associado à maior dureza dos materiais constituintes, origina um recuo mais lento do que o da vertente costeira talhada nos materiais miocénicos e pliocénicos, ao norte da Lagoa de Albufeira (Ramos-Pereira, 1988).

A abundância de sedimentos existentes na extensa planície litoral da Costa da Caparica, que promoveu interrupção entre a vertente costeira e o mar, tem proveniência, em parte, da série arenosa pliocénica que está cortada em arriba (hoje arriba fóssil). Contudo, no extremo norte, esta é constituída predominantemente por rochas margocarbonatadas, não sendo justificação suficiente para o enchimento da planície litoral (Ramos-Pereira, 1988). Uma outra justificação mais plausível, será a proximidade com a plataforma continental. Esta, por sua vez, de declive suave, deveria apresentar uma quantidade considerável de sedimentos, resultantes do fornecimento pelo rio Tejo (Ramos-Pereira, 1988). A abundância de sedimentos na plataforma continental é confirmada, pela existência de restingas e cordões litorais livres, tal como começam a ser noticiadas nos planos hidrológicos da segunda metade do século XIX (Levantamento de 1842-1845) (Freire, 1986; Ramos-Pereira, 1988; Ferreira, 1999), cuja existência encontra-se dependente de "mares pouco profundos e, conseqüentemente, de plataformas continentais arenosas e de fraco declive" (Chorley, 1984 cit. em Ramos-Pereira, 1988, p.341). Entre o sistema praia-duna e a arriba desenvolveu-se uma laguna junto da Lagoa de Albufeira (fig. 2.1).

Os planos hidrográficos de 1842-1845, noticiavam ainda a existência de um pântano, desenvolvido entre as dunas e a frente da arriba fóssil, cobrindo uma extensão de área considerável de mais de 2,5 km, entre a Trafaria e a Costa da Caparica, e com uma largura máxima que atingia os 700 m (Freire, 1986). Durante o século XVIII, este começou a ser drenado, através da construção de um conjunto de valas (Freire, 1986).

Entre 1845 e 1893, a restinga que prolongava para noroeste a planície litoral, recuou cerca de 1150 m (Freire, 1986). Este retrocesso continuou e, na década de 1940, a restinga migrou para o interior do estuário do rio Tejo, nos silos da EPAC (Ramos-Pereira, 1988; Veloso-Gomes *et al.*, 2006). A par deste, também a linha de costa junto à Costa da Caparica apresentou recuos. Segundo Barceló (1971), entre 1957 e 1963, a duna recuou cerca de 100 m e a cota da crista da duna diminuiu aproximadamente 6 m. "Estas transformações fisiográficas, provocaram a exposição da frente urbana às ações diretas do mar, em especial durante a ocorrência de tempestades" (Pinheiro, 2008, p.60).

De modo a fazer face ao contínuo recuo que se fazia sentir na linha de costa, construíram-se estruturas de defesa costeira. Estas obras, iniciadas em 1959, com a construção de 3 esporões e um paredão entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica (fig. 2.1), tiveram de ser

rapidamente alargadas para sul, devido a forte erosão que continuara a fazer-se sentir (com um especial agravamento da situação a partir de 1964, aquando a ocorrência de destruições gravosas na área central da Costa da Caparica), culminando entre 1968 e 1971, com a construção de uma obra longitudinal aderente ao longo da toda a frente urbana da Costa da Caparica, numa extensão de cerca de 2500 metros, integrando um campo de esporões, com sete estruturas enraizadas na obra longitudinal aderente (Barceló, 1971; Castanho *et al.*, 1974; Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2007).

Desde 1972, aquando o término da construção das obras de defesa costeira, o litoral apresentou uma dinâmica relativamente estável, salientando-se apenas a ocorrência de episódios pontuais de galgamentos oceânicos. O equilíbrio dinâmico, que até aqui se fazia sentir, inverteu, já na década de 2000, com um novo ciclo de recuos da linha de costa, com a ocorrência de galgamentos e inundações oceânicas (Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinto *et al.*, 2007).

A refração de uma onda oblíqua à linha de costa origina uma corrente costeira, designada por corrente de deriva litoral. Esta, de extrema importância na dinâmica dos sistemas litorais, assegura o transporte de sedimentos ao longo do litoral (Ramos-Pereira, 2001; Neves, 2004). No litoral ocidental de Portugal Continental, esta corrente apresenta uma direção predominante do sentido N-S, resultante da orientação geral N-S do traçado de linha de costa em associação ao predomínio da ondulação de noroeste (Ramos-Pereira, 2001).

No caso específico do arco Caparica-Espichel, como identificado por vários autores (Freire, 1986; Ramos-Pereira, 1988; Abecassis 1987; Alveirinho-Dias, 1987; Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinheiro, 2008; Taborda *et al.*, 2014), a corrente de deriva litoral possui uma direção de propagação distinta da que se verifica predominantemente no litoral ocidental português. Esta situação reflete em grande parte o regime de agitação marítima que atinge este troço costeiro, sendo rodada a sudoeste, por efeito dos fenómenos de difração (em torno do cabo Raso aquando agitação marítima proveniente dos quadrantes norte e oeste) e de refração (sobre a complexa batimetria da região associada ao relevo submarino da foz do Tejo), induzindo uma resultante de transporte aluvionar que se pode considerar na generalidade de sul para norte.

Como refere Veloso-Gomes *et al.* (2006), "a ação conjugada das correntes de maré de enchente sobre o banco de areia na zona da Golada, reforçam a capacidade de movimentação das areias na mesma direção [sul-norte], acabando por se depositar na face norte do talude do [mesmo] banco, contribuindo assim para a progressão deste na mesma direção. Durante a vazante, as fortes correntes que se verificam no canal natural promovem o transporte de sedimentos em direção ao exterior da barra [no sentido do mar, formam um "cone de dejeção"], depositando-os à medida que a intensidade da corrente diminui e contribuindo para

a redução das profundidades que aí se verificam. Como sequência, a agitação marítima incidente, em particular a proveniente do quadrante norte, que retoma o processo de transporte [dos sedimentos, depositados no "cone de dejeção"], em direção à costa, ao longo do talude virado a sul, fechando-se o circuito da movimentação aluvionar (Abecassis, 1987; Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Santos *et al.*, 2014; Taborda e Andrade, 2014).

"Estima-se que o volume de sedimentos em trânsito na deriva litoral [no litoral português] esteja compreendido entre 1×10^6 e 2×10^6 m³/ano. Esse valor não é constante, dependendo de vários fatores, nomeadamente do afluxo de aluviões que chegam ao litoral. Este afluxo é muito variável de ano para ano, função das condições hidrológicas continentais, estas por sua vez fortemente condicionadas pelo regime irregular da precipitação e pela regularização das bacias hidrográficas" (Ramos-Pereira, 2001, p.75-76).

De acordo com Veloso-Gomes *et al.* (2006), o arco Caparica-Espichel, em termos sedimentares, encontra-se sobretudo dependente do estuário do rio Tejo. O estuário por sua vez, dependente essencialmente de temporais e cheias, estando o volume de sedimentos em transporte estimado entre os $1,2 \times 10^6$ e os 8×10^6 t/ano. O volume de sedimentos a ser introduzido no sistema costeiro tem vindo a diminuir, pois o rio Tejo tem vindo a perder capacidade de transporte. Por outro lado, desde da década de 1940 ocorreram importantes atividades de dragagem no canal de navegação do porto de Lisboa, no terminal da NATO próximo da Costa do Vapor e no próprio banco onde existia a restinga (Veloso-Gomes *et al.*, 2006; Pinheiro, 2008; Santos *et al.*, 2014).

Segundo Taborda e Andrade (2014) o balanço sedimentar no troço Caparica-Espichel, encontra-se associado ao processo de erosão de arribas, estando o volume de sedimentos estimado entre os $0,1 \times 10^5$ e os 1×10^5 m³/ano (Santos *et al.*, 2014; Taborda e Andrade, 2014).

Tendo em conta o setor não artificializado do litoral arenoso do arco Caparica-Espichel, enquanto âmbito de estudo, é possível agrupa-lo segundo três conjuntos de sistemas (fig. 2.4), nomeadamente, (i) os sistemas praia-duna, (ii) os sistemas praia-arriba e (iii) o sistema de laguna costeira, embora com menor representatividade na área em estudo.



Figura 2.4 - Tipologia de sistema arenosos presentes no arco Caparica-Espichel (vista N-S). À esquerda exemplo do sistema praia-duna na praia da Bela Vista. À direita exemplo do sistema praia-arriba na praia de Rio de Prata.

2.2.1. Tipologia de sistema praia-duna

Identificaram-se como sistema praia-duna todos os troços litorais, em que o limite interior da praia fosse constituído por uma acumulação de areias eólicas, parcial ou totalmente colonizada por vegetação (Neves, 2004).

O sistema praia-duna engloba quase toda a extensão da área em estudo, percorrendo todo o setor norte da Lagoa de Albufeira, numa extensão de aproximadamente 14,70 km, sendo por isso caracterizado como o maior sistema em extensão do arco Caparica-Espichel. Além deste, é ainda de salientar, a sul da Lagoa de Albufeira, na praia de Moinho de Baixo, um setor caracterizado como sistema praia-duna, com uma extensão de aproximadamente 1,30 km. Deste modo, são contabilizados para análise efetiva do sistema praia-duna 16 km num total de 19,90 km.

O sistema praia-duna caracteriza-se, de modo geral, pela praia e pelo cordão dunar frontal que o constituem. Contudo, apresenta importantes assimetrias ao longo de toda a área em estudo, salientando a variação da largura do sistema, bem como, o estado de conservação do mesmo.

A largura do sistema é condicionada em parte pela largura da própria planície litoral, cuja inexistência de obstáculos, permite o desenvolvimento de um extenso campo dunar. A largura do campo dunar é condicionada pela presença da vertente escarpada, que limita internamente a planície litoral, formando um obstáculo à circulação dos sedimentos para o interior.

Deste modo, a acompanhar o estreitamento para sul da planície litoral, também o campo dunar diminui de largura, desde norte da área de estudo até à Fonte da Telha (fig. 2.5). Neste troço litoral, a duna frontal (duna branca) desenvolve-se paralelamente à linha de costa, encontrando-se em alguns setores bastante destruída, devido à forte pressão a que é sujeita na época estival. Juntamente, com o campo das dunas interiores, constitui o ecossistema dunar, distinguindo-se a duna branca (primária), cinzenta (secundária) e verde (duna terciária).

"O cordão dunar interior na base da arriba encontra-se praticamente destruído pela ação humana, constituindo atualmente vestígios de um sistema dunar do qual restam junto à arriba, dunas longitudinais com orientação E-W e ESE-WNW e dunas transversais N-S (Reis, 1989 cit. em Ferreira, 1999). As dunas encontram-se destruídas pela agricultura, e as que não estão estruídas, atualmente, encontram-se fixadas pelas matas de acácias (mimosas), plantadas nos anos 50" (Ferreira, 1999, p.60).

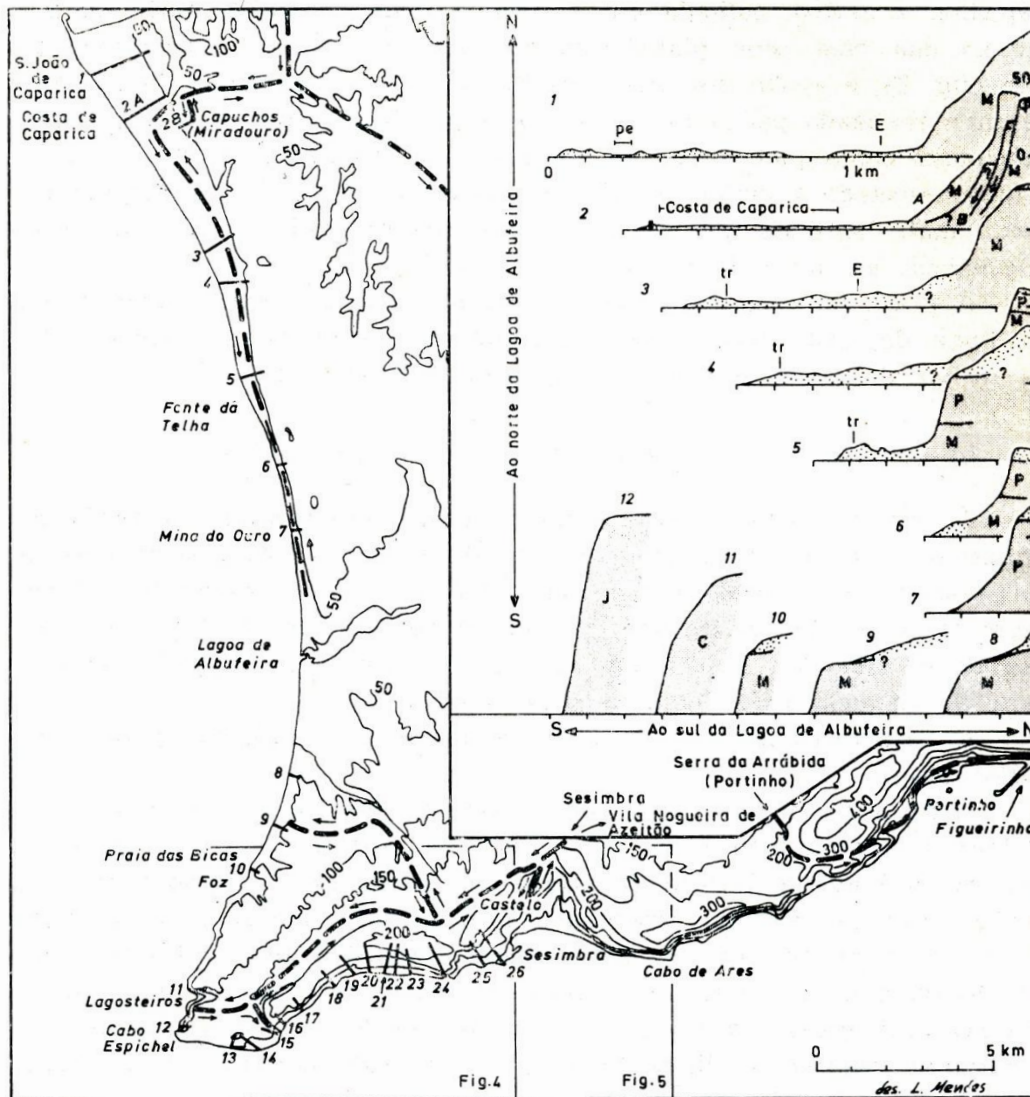


Figura 2.5 - Perfis da arriba fóssil e da planície litoral da Costa da Caparica e a sua respetiva localização.

Fonte: Ramos-Pereira, 1988, p.339.

A degradação do sistema em alguns setores do troço, como já salientado anteriormente, deve-se sobretudo à crescente pressão antrópica que esta área tem vindo a sofrer. No extremo norte da área em estudo (imediatamente a sul das obras de defesa costeira da frente urbana da Costa da Caparica), o campo dunar, encontra-se praticamente destruído, pela ação

antrópica. Este resultou da colocação de um parque de campismo, com uma dimensão de aproximadamente 367130,60 m², sobre o campo dunar, impedindo o seu desenvolvimento e promovendo a sua destruição. A este junta-se a forte pressão a que é sujeita na época balnear, com o constante pisoteio do corpo dunar (fig. 2.6).



Figura 2.6 - Pressão antrópica no sistema praia-duna na praia da Saúde. À esquerda parque de estacionamento sobre a duna (vista S-N). À direita parque de campismo impedindo o desenvolvimento do campo dunar para o interior (vista S-N).

À medida que se afasta do centro urbano da Costa da Caparica, a influência antrópica que se faz sentir diminui, devendo-se a um conjunto de fatores, tais como, a diminuição da superfície construída, uma menor densidade de caminhos, um conjunto de apoios de praia mais reduzidos e na diminuição da quantidade de utilizadores das praias. Como resultado verifica-se uma melhoria do estado de conservação das dunas. Imediatamente a sul do parque de campismo, na praia da Mata (fig. 2.1), verifica-se uma notória melhoria do estado de conservação das dunas, salientando apenas a ocorrência pontual de parques de estacionamento junto aos acessos das principais praias a sul da Costa da Caparica (praia da Mata, da Riviera, da Rainha, do Castelo, da Cabana do Pescador, do Rei, da Morena, da Sereia, do Infante, da Nova Vaga e da Bela Vista), encontrando-se esses acessos bastante degradados (fig. 2.7).



Figura 2.7 - Degradação das dunas junto aos principais acessos à praia da Rainha (vista W-E).

A sul da praia da Bela Vista até à Fonte da Telha, o sistema praia-duna apresenta-se bem conservado, longe das influências antrópicas. A duna frontal, acompanha em toda a extensão a praia, sem a presença de caminhos não ordenados e o campo dunar desenvolve-se em toda a planície litoral. A sul da praia da Bela Vista e a norte da Fonte da Telha é ainda de salientar a existência de armadilhas de areia, implementadas entre 1995 e 2008 (desconhecendo-se o ano exato da instalação e a entidade responsável pela obra) com o intuito de criar obstáculo ao fluxo de areias mobilizada pelo vento, que aí se depositam, e, por consequente, fixam a vegetação. Estas armadilhas aparentam demonstrar resultado, com algumas estruturas já totalmente preenchidas por areias (fig. 2.8).



Figura 2.8 - Boa conservação das dunas a sul da praia da Bela Vista. Implementação de armadilhas de areia (vista N-S).

Tal como se verifica a norte da área em estudo, também a Fonte da Telha, se encontra exposta a uma elevada pressão antrópica. A intensa ocupação humana, levou à degradação do sistema dunar, encontrando-se praticamente destruído. A degradação resulta em parte da sua ocupação por uma comunidade piscatória e de residências de segunda habitação que aqui se desenvolveu. Esta comunidade, situada sobre o campo dunar, não permite o desenvolvimento das dunas para o interior, encontrando-se esta situação agravada pelo constante pisoteio sobre as dunas frontais. A este se junta ainda o aumento exponencial da pressão antrópica que se faz sentir durante o período estival (fig. 2.9).

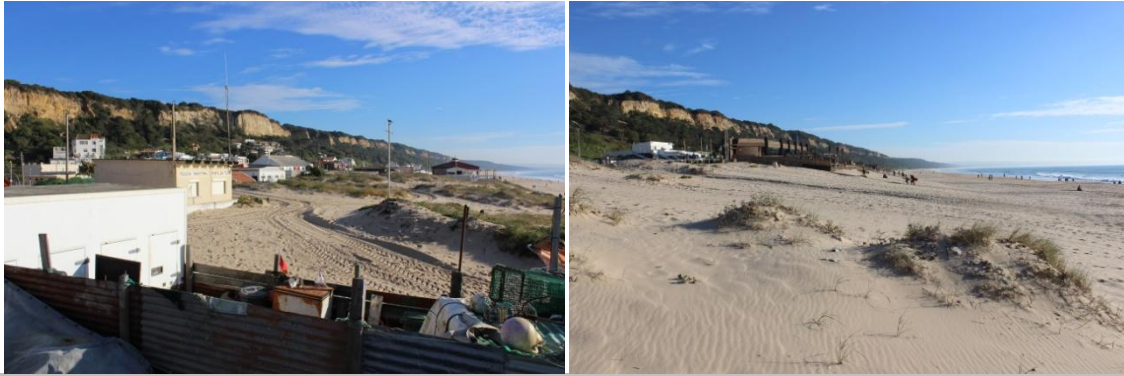


Figura 2.9 - Degradação do sistema praia-duna na Fonte da Telha (vista N-S). À esquerda comunidade piscatória sobre o corpo dunar. À direita existência de caminhos não ordenados junto aos apoios de praia.

A sul da Fonte da Telha e à medida que se aproxima da Lagoa de Albufeira, o sistema começa a apresentar melhorias no seu estado de conservação, encontrando-se longe das influências antrópicas. A duna frontal acompanha em toda a extensão a praia e a presença de caminhos não ordenados diminuem substancialmente. Ao contrário do que ocorre a norte da Fonte da Telha (estreitamento do sistema praia-duna), a largura do sistema permanece constante entre a Fonte da Telha e a Lagoa de Albufeira, sendo no entanto bastante reduzida (fig. 2.10).

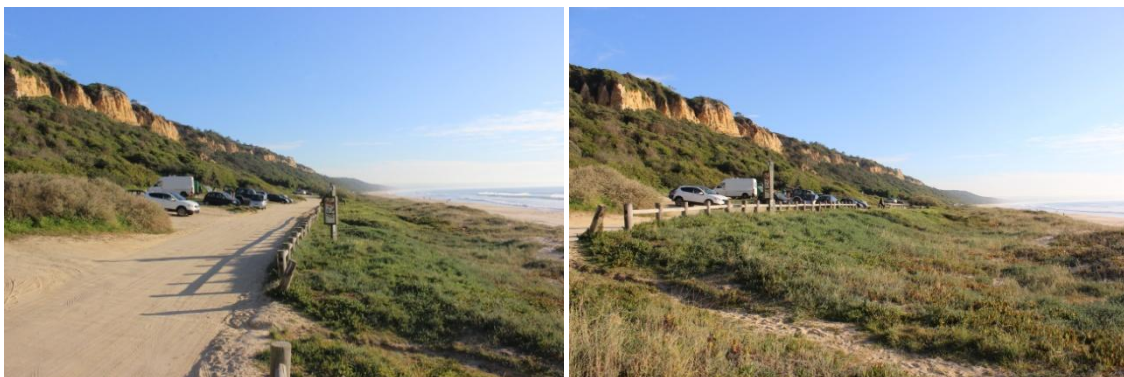


Figura 2.10 - Diminuição da influência antrópica a sul da Fonte da Telha e consequente melhoria do estado de conservação do sistema à medida que se avança para sul (vista N-S).

A Lagoa de Albufeira constitui um setor de transição entre os sistemas arenosos em presença. Imediatamente a norte verificaram-se tentativas de preservar o campo dunar, que já se encontrava bastante degradado, praticamente destituído de vegetação. A colocação de armadilhas de areia, permitiu a deposição de areias neste setor e a consequente fixação da vegetação, evidenciando uma clara recuperação do sistema (fig. 2.11).



Figura 2.11 - Sistema praia-duna a norte da Lagoa de Albufeira. Implementação de armadilhas de areia (vista S-N).

O litoral, que até agora se encontrava dominado por sistema praia-duna, passa a ser dominado a sul da Lagoa de Albufeira, por sistema praia-arriba. Contudo, excetua-se o setor da praia de Moinho de Baixo, caracterizado como sistema praia-duna. Esta exceção deriva da interrupção da vertente escarpada neste setor, permitindo o desenvolvimento do campo dunar para o interior. A duna frontal apresenta indícios de bastante degradação, não acompanhando toda a extensão da praia. A este se junta as tentativas de preservação da mesma, com a presença de armadilhas de areia. Contudo, estas afiguram-se bastante degradadas, com uma escassa vegetação junto às mesmas (fig. 2.12).

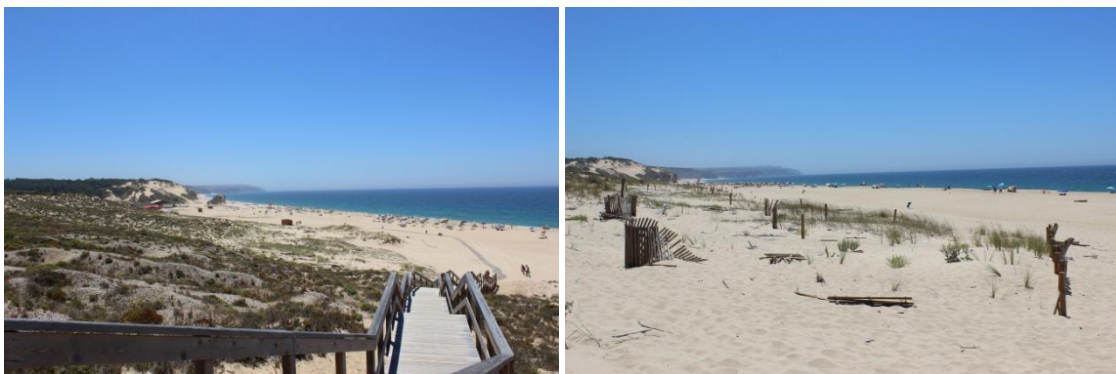


Figura 2.12 - Sistema praia-duna na praia de Moinho de Baixo (vista N-S).

2.2.2. Tipologia de sistema praia-arriba

Identificaram-se como sistema praia-arriba todos os troços litorais, em que o limite interior da praia fosse constituído por uma arriba, podendo ser constituído na base da arriba um talude resultante da acumulação de areias eólicas, parcial ou totalmente colonizada por vegetação.

O sistema praia-arriba, engloba apenas uma pequena porção da extensão da área em estudo, encontrando-se localizada a sul da Lagoa de Albufeira, numa extensão de aproximadamente 3,90 km. Caracteriza-se, de modo geral, pela presença de uma praia de areia e de uma vertente costeira de traçado irregular e de orientação sensivelmente NE-SW

que o acompanha em toda a extensão, apresentando uma largura similar ao longo de todo o troço. Parte do sistema praia-arriba é constituído por um talude que se desenvolve na base da arriba, resultante da acumulação de areias eólicas, colonizada por vegetação. O setor entre a praia do Meco e a praia das Bicas, constitui exceção a esta caracterização, por não apresentar nenhum talude de acumulação de areias eólicas na base da vertente, estando a base em contato direto com a praia (fig. 2.13). As arribas apresentam paredes de inclinação superior a 70° e de comando cada vez maior para sul, acompanhando o aumento de altitude do planalto litoral (Ramos-Pereira, 1988).



Figura 2.13 - Sistema praia-arriba. À esquerda, norte da praia de Moinho de Baixo, sistema praia-arriba constituído por uma acumulação de areias eólicas colonizada por vegetação (vista S-N). À direita, praia do Meco, dominado por sistema praia-arriba (vista N-S).

2.3. Subida secular do nível do mar

"A elevação do nível médio global do mar relaciona-se com a variabilidade climatológica natural da Terra e com as perturbações induzidas pelas atividades humanas" (Alveirinho-Dias, 1993, p.13).

O inequívoco aquecimento global, é observável através dos registos que evidenciam o aumento das temperaturas médias globais do ar e dos oceanos (IPCC, 2007). Segundo o mais recente relatório do Painel Intergovernamental das Nações Unidas para as Alterações Climáticas (IPCC, 2014), desde o início da década de 1970, a perda de massa glacial e a expansão térmica dos oceanos derivada do contínuo aquecimento global, explicam cerca de 75% da subida do nível médio global do mar observada.

As últimas estimativas do IPCC (2014) apontam para uma subida média global do nível do mar entre 1901-2010 de $1,7 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm/ano}$, registando-se uma aceleração bastante significativa do ritmo de subida média do nível do mar entre 1993 a 2010 de $3,2 \text{ mm} \pm 0,4 \text{ mm/ano}$ (quadro 2.1).

"O estudo de séries maregráficas longas é essencial para a determinação dos níveis médios do mar e para as estimativas da sua dinâmica. A estimativa de tendências de variação secular

do nível do mar baseia-se tipicamente em séries de dados com mais de 50 anos, assumindo que o erro padrão esperado não ultrapassa 0,5mm/ano" (Douglas, 1991; Woodworth *et al.*, 1999 cit. em Trindade, 2010, p.83).

Em Portugal existem vários marégrafos, no entanto, grande parte das séries de dados são ainda consideradas insuficientes para caracterizar tendências de longo prazo. De entre as séries longas existentes salientam-se as séries de Cascais e de Lagos, com dados instrumentais desde 1882 e 1908, respetivamente (Crisóstomo *et al.*, 2005 cit. em Trindade, 2010). Apesar da inutilização de grande parte das séries de dados, Portugal beneficia do facto de ser detentor de uma das mais longas séries maregráficas mundiais, proveniente do marégrafo de Cascais (Alveirinho-Dias, 1993). Esta, constitui uma das séries de dados maregráficos mais utilizadas para a aplicação na área de investigação das tendências associadas às variações do nível do mar.

Apesar de Portugal possuir uma das mais longas séries de dados maregráficos, o seu estudo apenas surgiu a partir do final da década de 1980 (quadro 2.1). Alveirinho-Dias e Taborda (1988, 1992) estimaram uma subida média do nível do mar baseada nos registos seculares de Cascais de $1,3 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm/ano}$ entre 1882-1987, assinalando uma aceleração no decurso do século XX, apresentando um valor de $1,7 \text{ mm} \pm 0,2 \text{ mm/ano}$ entre 1920-1987. Verifica-se uma tendência média de aumento do nível do mar quando são apenas considerados os dados do século XX. A análise dos dados referentes à estação maregráfica de Cascais permitiu ainda dividir a série em dois domínios temporais: um, desde o final do século passado até ao ano de 1920, em que a tendência é de pequena descida, e outro, posterior ao ano de 1920, em que a tendência é consistentemente de subida. Esta inflexão no comportamento da série poderá estar relacionada com a transição da "Pequena Idade do Gelo», que terminou no final de século passado, para o episódio climático atual (Alveirinho-Dias e Taborda, 1988).

Tal como Alveirinho-Dias e Taborda (1989, 1992), também Antunes e Taborda (2009), considerando apenas a série de dados do século XX, apresentam uma subida do nível do mar, de $1,9 \text{ mm/ano}$ para o período entre 1900-2000. Em consonância com os presentes resultados está Hagedoorn *et al.* (2007), que evidencia um aumento médio do nível do mar de $1,22 \text{ mm} \pm 0,06 \text{ mm/ano}$ para o período entre 1931-2000.

A aceleração no ritmo de subida do nível médio do mar durante o século XX verificada em Portugal esta em consonância com os dados obtidos das estações maregráficas com registos seculares a nível regional e global (Trindade, 2010; Carvalho, 2013). Church e White (2006) calculam que o nível médio global do mar terá subido entre 1870-2003, $1,44 \text{ mm/ano}$, verificando-se uma aceleração no decurso do século XX, com os últimos 50 anos do século a registarem um aumento do nível médio global do mar de $1,75 \text{ mm/ano}$, um ritmo positivo

semelhante ao calculado por Dias e Taborda (1988, 1992) para Portugal. A aceleração sentida nos últimos 50 anos do século XX, é idêntico ao auferido por Douglas e Peltier (2002), que estimaram um aumento de 1,84 mm/ano entre 1930-2000.

De modo a tentar determinar a taxa de variação do nível do mar no último século, Antunes e Taborda (2009) estimaram uma subida do nível do mar de 1,9 mm/ano para o período entre 1920-2000. Contudo, quando analisada em pormenor a série de dados de Cascais, estes não apresentam um ritmo constante (quadro 2.1), como tal, devem ser contabilizadas as variações a longo prazo na tendência. Segundo Antunes e Taborda (2009), a subida do nível do mar entre 1920-1960 localizou-se nos 3,0 mm/ano, enquanto o período entre 1990-2008 registou um aumento 2,1 mm/ano. Destacam-se dois domínios temporais com ritmos diferentes, nomeadamente, um domínio inicial, relacionado com o fim da "pequena idade do gelo" e um domínio posterior relacionado com a mudança climática global, resultando principalmente da expansão térmica do oceano atlântico norte (Antunes e Taborda, 2009).

Quadro 2.1 - Taxas de subida relativa do nível do mar de acordo com o marégrafo de Cascais entre 1900 e 2000.

Fonte: Antunes e Taborda, 2009, p.219.

Período	Taxa (mm/ano)
1900 - 1920	-1,8
1920 - 1930	4,8
1930 - 1937	-1,1
1937 -1949	5,2
1949 - 1956	-0,7
1956 - 1966	4,5
1966 - 1977	-3,0
1977 - 2000	2,1

Quando analisadas as séries temporais de dados mais recentes, respeitantes ao final do século XX e início do século XXI, verifica-se uma aceleração da subida do nível do mar. Segundo Andrade *et al.* (2008) apresenta uma tendência de subida do nível do mar de 2,2 mm/ano para a década de 1990, assinalando uma aceleração já no decurso do século XXI, com uma taxa de subida do nível do mar de 2,9 mm \pm 0,4 mm/ano, no período de 2000 a 2008 (quadro 2.2). Antunes (2010) apresenta valores bastante similares para a subida média do nível do mar no decurso do século XXI, com uma subida de 2,6 mm \pm 0,3 mm/ano entre 2000-2009. Contudo, segundo o mesmo autor, já numa investigação levada a cabo um ano mais tarde (2011), para o período entre 2000-2010, afixa uma aceleração da subida média do mar, com novos valores a registarem uma subida de 4,8 mm/ano. Esta aceleração inesperada derivada da introdução dos dados da série maregráfica de 2010, não é incomum, tendo já ocorrido situações similares no decorrer do último século, nomeadamente, na década de 1920 e 1970. Segundo o autor, esta situação pode estar correlacionada como aumento da frequência de ocorrências do

fenómeno de *storm surge* durante o inverno marítimo de 2009-2010 na costa portuguesa, sendo considerado um dos períodos mais severos na ocorrência deste tipo de eventos nos últimos 10 anos. Estes resultados podem sugerir algum tipo de correlação com as atuais mudanças climáticas ou com o presente período negativo do índice de oscilação do atlântico norte (NAO), necessitando de ser alvo de estudos mais aprofundados.

Quadro 2.2 - Síntese das variações do nível do mar de acordo com alguns estudos.

Fonte: Adaptado de Carvalho, 2013, p.19.

Autor	Período de dados	Subperíodos →	Subida nível do mar
Dias e Taborda (1988; 1992)	1882 - 1987		1,3 mm ± 0,1 mm/ano
		1920 - 1987	1,7 mm ± 0,2 mm/ano
Douglas e Peltier (2002)	1930 - 2000		1,84 mm/ano
Church e White (2006)	1870 - 2004		1,44 mm/ano
		1950 - 2000 →	1,75 mm/ano
Hagedoorn <i>et al.</i> (2007)	1931 - 2000		1,22 mm ± 0,06 mm/ano
IPCC (2007)	1961 - 2003		1,8 mm ± 0,5 mm/ano
		1993 - 2003 →	3,1 mm ± 0,7 mm/ano
Andrade <i>et al.</i> (2008)	1880 - 2000	1990 - 1999 →	2,2 mm/ano
		2000 - 2008 →	2,9 mm ± 0,4 mm/ano
Antunes e Taborda (2009)	1882 - 2008	1900 - 2000 →	1,9 mm/ano
		1920 - 1960 →	3,0 mm/ano
		1990 - 2008 →	2,1 mm/ano
Antunes (2010)	2000 - 2009		2,6 mm ± 0,3 mm/ano
Antunes (2011)	2000 - 2010		4,8 mm/ano
IPCC (2014)	1901 - 2010		1,7 mm ± 0,2 mm/ano
		1993 - 2010 →	3,2 mm ± 0,4 mm/ano

"Há consenso na comunidade científica de que o nível médio do mar continuará a subir durante o século XXI - e cada vez mais depressa. Contudo, os fenómenos envolvidos são tão complexos que não há acordo quanto aos detalhes" (Andrade *et al.*, 2008).

As projeções de subida do nível médio do mar até ao final do século XXI, baseadas em dados disponíveis entre 1986-2005 preveem um aumento global médio do nível do mar entre 240 mm e 300 mm para o período de 2046-2065 e na ordem dos 400 mm e 630 mm para 2081-2100 (IPCC, 2014), dependendo dos cenários considerados.

As projeções do último relatório do IPCC (2014) evidenciam um aumento considerável do nível médio do mar quando comparado com os valores de projeção auferidos pelo relatório que o antecedeu, que apontavam para um aumento global médio entre 180 mm e 590 mm, segundo dados de 1980-1999 (IPCC, 2007). Esta projeção global, ainda com diferenças consideráveis entre o 4º e o 5º relatório de avaliação do IPCC, encontra-se muito próxima da previsão calculada para Portugal por Alveirinho-Dias e Taborda (1988), de 140 mm a 572 mm até ao ano 2100. A par deste, também Antunes e Taborda (2009), estimam para Portugal valores bastante similares aos auferidos pelo IPCC (2014), de 190 mm a 750 mm até ao final do século XXI.

Outros estudos, onde são projetados o nível médio do mar até ao final do século XXI, apresentam resultados bastante díspares dos anteriores. Rahmstorf (2007) estima uma subida do nível médio do mar entre 550 mm e 1250 mm, valores de subida muito acima daqueles proferidos anteriormente. À semelhança deste, também Andrade *et al.* (2008) estima uma subida do nível médio do mar entre 250 mm e 930 mm (centrada em 600 mm) para 2100, afirmando que face às atuais incertezas, é prudente tomar como possível uma subida de 1000 mm.

"A forma como as variações positivas continuadas do nível médio do mar afetam e afetarão os sistemas litorais dependerá do tipo de sistema, dos ritmos locais de subida e do ritmo de fornecimento de sedimentos a cada sistema. Com maior ou menor intensidade a faixa litoral encontra-se já sujeita a processos erosivos predominantemente marinhos que tendem a deslocar a linha de costa para o interior, substituindo os processos continentais. A conjugação da subida do nível médio do mar e do aumento da amplitude de maré representa uma tendência de modificação em fatores de elevada importância na compreensão da dinâmica litoral e, particularmente, na dinâmica dos litorais arenosos" (Trindade, 2010, p.85).

2.4. Agitação marítima decenal

O conhecimento dos parâmetros associados aos elementos forçadores, marés e ondas, que atuam sobre a zona costeira, é essencial para a compreensão do tipo e ritmo dos processos litorais. Tendo em conta a morfologia associada aos litorais arenosos estes caracterizam-se por serem especialmente suscetíveis aos elementos forçadores.

O tipo de marés no litoral de Portugal continental apresenta uma periodicidade do tipo lunar semidiurno, ou seja, composto por dois ciclos de preia-mar/baixa-mar diários e com um ciclo de maré a completar-se em aproximadamente 12h25m. Caracteriza-se também pela alternância, aproximadamente quinzenal, entre marés mortas e marés vivas, com cerca de 3,95 metros em situações de preia-mar de águas vivas e de cerca 0,29 m em situações de baixa-mar de marés vivas (valores registados no marégrafo de Cascais segundo a tabela de maré de 2015), sendo por isso considerado um litoral mesomareal elevado (situa-se entre os 2 e os 4 m).

As ondas enquanto deformações da superfície oceânica resultantes da interação oceano-atmosfera (Ramos-Pereira, 2008) constituem um dos principais elementos modeladores do litoral, promovendo processos erosivos e/ou de transporte e acumulação (Neves, 2004).

A costa ocidental de Portugal continental exposta às condições marítimas do Oceano Atlântico apresenta um regime de agitação marítima de alta energia, condicionada pela

ondulação gerada no Atlântico Norte, sendo que esta decresce com a latitude. Esta fachada é considerada uma das mais ativas e suscetíveis da Europa (Andrade *et al.*, 2006; Carvalho, 2013).

Segundo Trindade (2010), "grande parte dos estudos de morfodinâmica ou de hidrodinâmica de praias opta pela utilização de parâmetros estatísticos característicos da ondulação de largo ou incidente para estudarem a dinâmica de um ou de vários sistemas". Dentro da mesma linha de pensamento, o presente estudo recorre a dados estatísticos de modo a caracterizar o clima de agitação marítima da área em estudo.

A caracterização estatística do clima de agitação marítima depende da escala temporal de análise. Pretende-se realizar uma abordagem de aproximadamente meio século com o objetivo de avaliar o papel das ondas na evolução da linha de costa no setor em estudo. Contudo, devido à inexistência de dados medidos de agitação marítima que permitissem englobar todo o período em estudo, recorreu-se à utilização de dados modelados.

Os dados modelados de parâmetros característicos da ondulação foram adquiridos através do projeto *morphological impacts and coastal risks induced by extreme events - micore* (<http://disepla.fc.ul.pt/Micore/WaveModel.html>), projeto que em parte resultou na implementação um modelo regional de ondulação sobre o nordeste do oceano atlântico para as últimas seis décadas (Dodet *et al.*, 2010). Com dados modelados que encerram um período de 57 anos, desde janeiro de 1953 a março de 2009, estes são apresentados em séries temporais de 6h em 6h, resultando num total de 82176 registos. No âmbito do projeto *micore* são consideradas seis bóias, três das quais na área costeira portuguesa, nomeadamente, Leixões, Figueira da Foz e Sines. Apesar de nenhuma das bóias se localizar no arco Caparica-Espichel, devido à sua relativa proximidade, optou-se pela escolha da bóia de Sines, localizada nas coordenadas 37° 55' 12"N; 8° 55' 48"W, distante 83,38 km da área de estudo. O total de registos apresentados (82176 registos) contemplam todo o período temporal, não se evidenciando qualquer tipo de lacuna nos dados. Esta é claramente uma vantagem da utilização de dados modelados de agitação marítima, quando comparado com as séries de dados obtidas diretamente das estações ondógrafos, sendo que, para além da inexistência de séries de dados de ondulação com uma escala temporal tão alargada, é ainda frequente encontrar lacunas nas séries de dados de ondulação existentes, não se verificando registos contínuos nas séries de dados de ondulação. O elevado número de lacunas resulta "da inoperacionalidade do material de recolha e transmissão dos dados, principalmente durante e após a ocorrência de tempestades e de falhas informáticas responsáveis pela não divulgação dos parâmetros, via internet (Trindade, 2010. p.93)".

Para a análise efetiva do clima de agitação marítima no presente estudo, recorreu-se à utilização de 3 parâmetros (quadro 2.3), nomeadamente, a altura significativa (H_s), o período significativo (T_s) e a direção significativa (D_s).

Quadro 2.3 – Definição dos parâmetros característicos da onda para a presente caracterização do clima de agitação marítima.

Parâmetro	Definição
(H_s)	A altura significativa corresponde à altura média do terço mais elevado de ondas numa sequência finita de dados. Parâmetro próximo das estimativas visuais das alturas de ondas (m^{ZH}).
(T_s)	O período significativo corresponde ao tempo médio decorrido na passagem de duas cavas ou de duas cristas sucessivas de H_s (s).
(D_s)	A direção significativa corresponde ao rumo médio de H_s (°N).

De acordo com os parâmetros selecionados, para os dados de ondulação modelados de Sines (01/01/1953 - 31/03/2009), a H_s mais frequente, tal como visível na figura 2.14, localiza-se na classe de 1 e 2 metros, representando 54,59% da totalidade das ocorrências. Esta constitui claramente a classe representativa de H_s na área de estudo. A esta segue-se a classe 2 a 3 metros e a classe 0 a 1 metros, 21,65% e 11,10%, respetivamente.

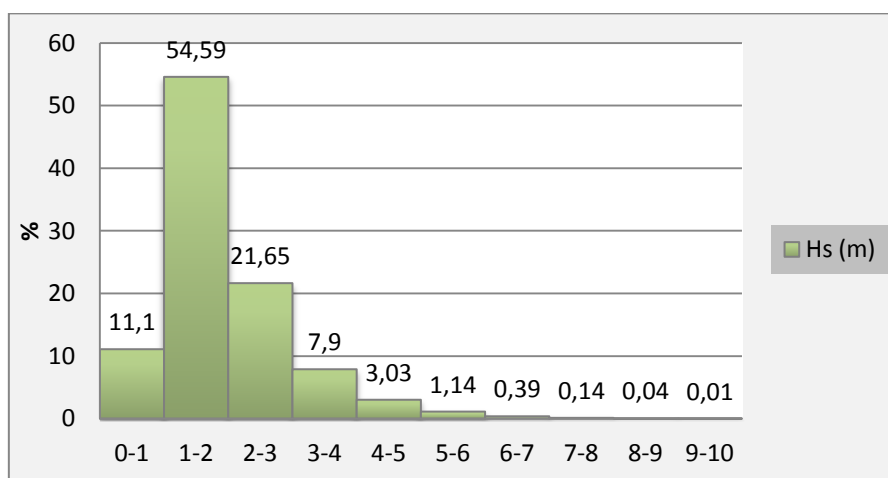


Figura 2.14 - Distribuição do parâmetro de H_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines.

Nota: As classes a cima de 10 m não possuem representatividade para a série, daí terem sido excluídas graficamente.

O T_s em Sines (fig. 2.15) apresenta ocorrências de valores mais frequentes entre a classe dos 7 e 8 segundos, com um valor percentual de 18,46%. A esta segue-se a classe entre 6 a 7 segundos com 17,39% e a classe entre 8 a 9 segundos, com 16,06%. As três classes referidas, que apresentam uma variação entre os 6 e os 9 segundos de T_s , constituem as classes que melhor explicam as ocorrências verificadas, explicando 51,91% dos casos ocorridos, sendo neste caso o período de ondulação entre os 6 e os 9 segundos o mais frequente.

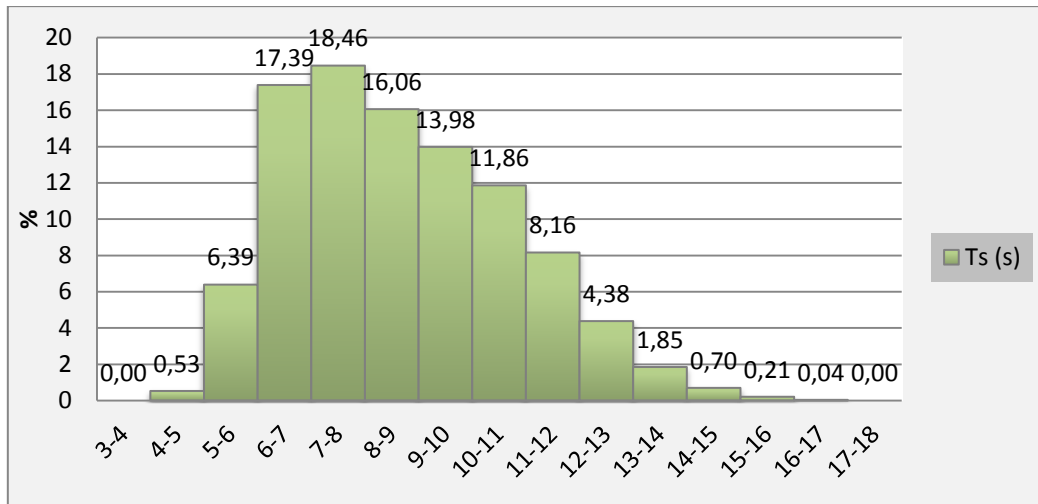


Figura 2.15 - Distribuição do parâmetro de T_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines.

No parâmetro associado à D_s optou-se pela análise segundo os pontos cardeais e colaterais, agrupando os dados em 8 rumos possíveis. No presente caso, optou-se pela exclusão dos pontos subcolaterais, uma vez que a sua junção, acrescentaria um total de 16 direções, não sendo viável nem necessário no âmbito do presente estudo analisar aproximadamente meio século de dados com um nível de pormenor tão elevado, simplificando assim a interpretação dos dados.

Segundo a figura 2.16 a ondulação apresenta um rumo predominante de noroeste (77,29% das ocorrências), seguido de oeste (13,58%) e norte (7,08%). A respetiva figura demonstra, para além da direção predominante, a respetiva altura de ondas associada a cada rumo.

Quanto ao rumo de NW, este caracteriza-se por um predomínio da classe de H_s entre 1 m a 2 m (56,42%), seguido da classe entre os 2 m e 3m (20,14%) e 0 m e 1 m (12,62%). A classe de H_s mais elevada ($H_s > 5$ m) constitui 1,34% dos valores registados.

No rumo de W, este continua-se a caracterizar por um predomínio da classe de H_s entre 1 m a 2 m (44,29%), embora menos significativo do que registado no rumo de NW, seguido da classe entre os 2 m e 3m (26,04%) e 3 m e 4 m (13,00%). A classe de H_s mais elevada ($H_s > 5$ m) constitui 4,67% dos valores registados, um aumento considerável em comparação com a $H_s > 5$ m registado no rumo de NW.

O rumo de N demonstra um predomínio da classe de H_s entre 1 m a 2 m (58,54%), seguido da classe entre os 2 m e 3m (25,90%) e 0 m e 1 m (7,67%). A classe de H_s mais elevada ($H_s > 5$ m) constitui 0,05% dos valores registados.

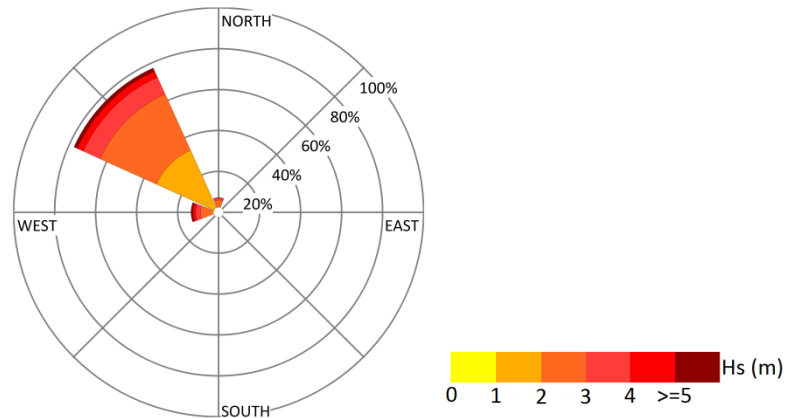


Figura 2.16 - Distribuição do parâmetro de D_s associado ao parâmetro de H_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines.

Realizando uma breve análise mensal dos dados de ondulação (fig. 2.17) a variabilidade dos registos de H_s é máxima no mês de janeiro apresentando valores de H_{smin} de 0,58 m e $H_{smáx}$ de 13,27 m. Quanto aos valores de $H_{smáx}$, seguem-se os meses de fevereiro e dezembro, com 10,43 m e 10,18 m, respetivamente. Ao contrário dos valores de $H_{smáx}$ que ocorrem durante o inverno marítimo (outubro a março), os valores de H_{smin} mais reduzidos ocorrem durante o verão marítimo (abril a setembro), nomeadamente, em julho, com o valor de 0,35 m, seguido de agosto e junho, com 0,36 m e 0,39 m. A par da H_s , também os valores máximos de T_s são atingidos em janeiro, apresentando valores médios na ordem dos 16,86s.

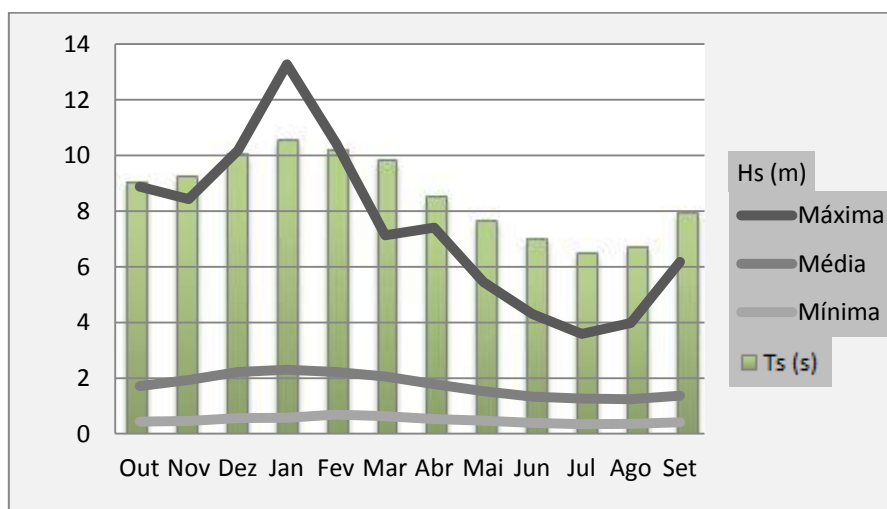


Figura 2.17 - Variabilidade mensal de H_s (m), mínima, média e máxima e T_s (s) segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines.

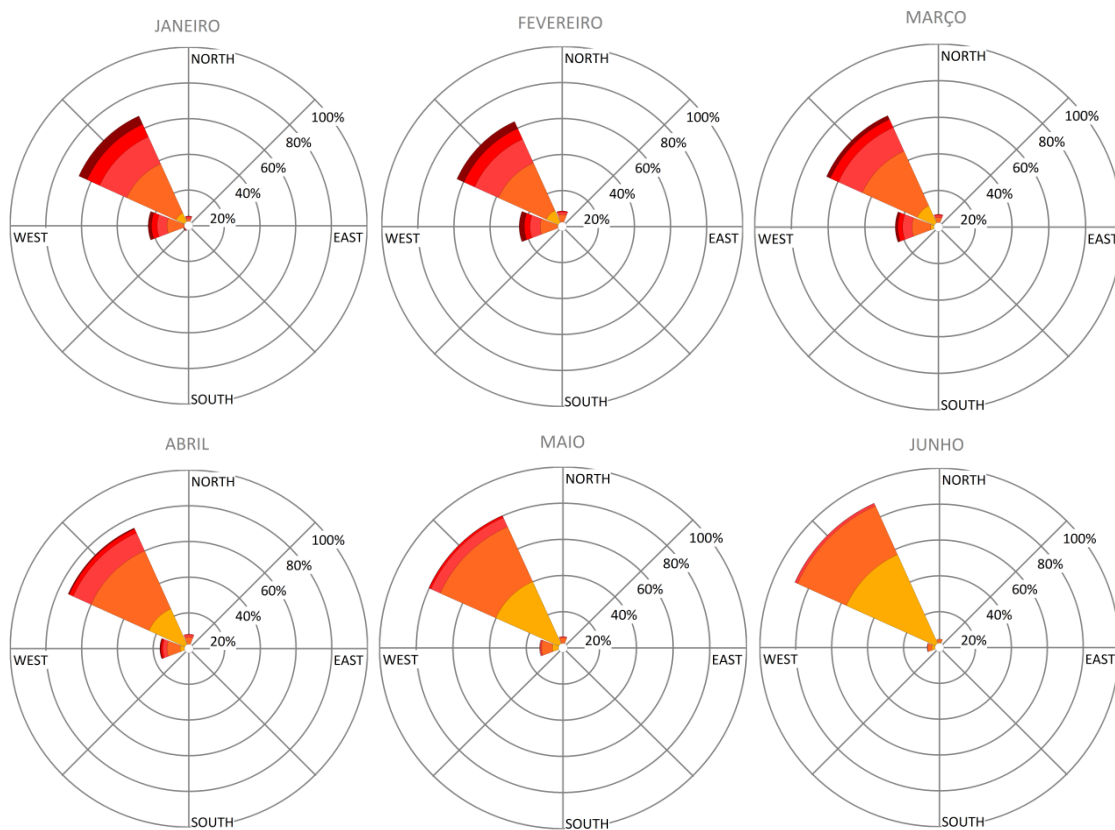
Nota: Inverno marítimo (outubro a março); verão marítimo (abril a setembro).

Os rumos de ondulação (fig. 2.18) de noroeste são predominantes no litoral ocidental de Portugal. Esta predominância é mais acentuada durante os meses associados ao verão marítimo em que representam 93,48% dos casos, seguido de julho e junho, com

respetivamente, 92,94% e 88,24%, verificando-se uma diminuição da frequência com que ocorre, durante os meses associados ao inverno marítimo.

O rumo de W, apesar de não ter um papel tão preponderante como o rumo de noroeste, a frequência com que este ocorre é significativa durante o inverno marítimo, com mais de 10% dos casos.

A presente caracterização do clima de agitação marítima encontra-se, na generalidade, de acordo com o que se conhece para este troço costeiro (Costa, 1994; Soares, 1999; Costa *et al.*, 2001). Salienta-se, de acordo com os autores citados, valores de H_s ligeiramente mais baixos em relação ao que foi apresentado por Costa (1994) (1,1 m a 2,6 m) e Soares (1999) (2,2 m). Quanto aos valores de T_s , estes apresentam-se ligeiramente mais elevados em relação ao que foi apresentado por Soares (1999) (6 s) e Costa *et al.* (2001) (5 s a 7 s).



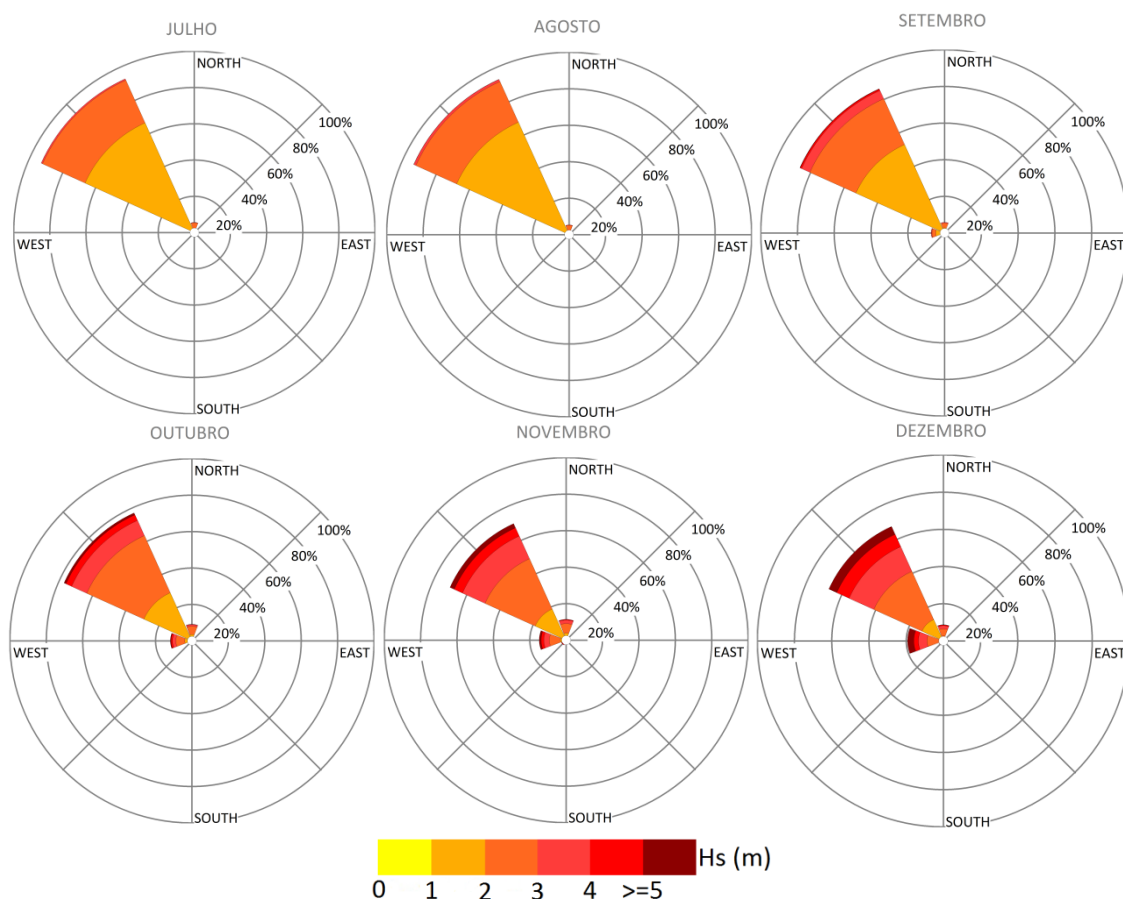


Figura 2.18 - Frequência mensal de D_5 segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines.
Nota: Inverno marítimo (outubro a março); verão marítimo (abril a setembro).

"Na maioria dos estudos admite-se que ocorre um temporal no litoral ocidental de Portugal continental quando a H_s excede 5 m (Pita e Santos, 1989; Costa, 1994; Gama *et al.*, 1994). No entanto, este valor não acautela a duração do evento, podendo ser considerados como temporais episódios baseados em ocorrências esporádicas de $H_s > 5$ m (Trindade, 2010. p.115)."

Tendo por base esta informação, sistematizou-se todos os temporais ocorridos na série de dados de ondulação modelados do projeto *micore* (<http://disempla.fc.ul.pt/Micore/WaveModel.html>) para Sines (Dodet *et al.*, 2010), através da identificação de todos as H_s , cujos valores fossem iguais ou superiores a 5 m. Contabilizou-se assim as ocorrências de registos de $H_s \geq 5$ m, contínuas ou intercaladas de $H_s \geq 3$ m, independentemente da sua duração.

Desde 1 de janeiro de 1953 a 31 de março de 2009, registaram-se 409 ocorrências de temporais. Os temporais registados apresentam uma duração média de 85h, cuja amplitude de duração é bastante elevada, variando entre as 12 e as 300 horas. A duração mais frequente dos temporais situa-se entre a classe das 40 às 50 horas, valores representativos de temporais de longa duração.

A H_s média encontra-se estabelecida a 5,08 m, tendo por base um valor de T_s médio de 11,50 s. Com quatro rumos possíveis de direção da ondulação durante um episódio de temporal (sudoeste, oeste, noroeste e norte), noroeste constitui o rumo mais frequente durante um temporal, ocorrendo em 65,18% dos casos.

Distribuídos pelas várias décadas (quadro 2.4), verificam-se 36 ocorrências na década de 1950, 86 ocorrências na década de 1960, 70 ocorrências na década de 1970, 68 ocorrências na década de 1980, 77 ocorrências na década de 1990 e 72 ocorrências na década de 2000. O número de ocorrências registadas por década não evidencia uma tendência definida de aumento ou diminuição do número de temporais. A década de 1950 apresenta o menor número de ocorrências, situação explicada em parte pela duração da série de dados de ondulação, com dados a iniciar em 1953, excluindo 3 anos associados a esta década. Oposta a esta, a década de 1960, apresenta o maior número de ocorrências, vindo este número a diminuir até à década de 1980.

Tal como este, os restantes parâmetros explícitos no quadro 2.4, que servem para caracterizar os temporais associados ao clima de agitação marítima não apresentam qualquer tendência evolutiva constante. Contudo, quando analisados os parâmetros associados ao número de ocorrências de temporal entre 1960 e 1990, verifica-se que a décadas com um número mínimo de ocorrências corresponde um valor superior de H_s e T_s . Pelo contrário, décadas com um valor máximo de ocorrências de temporal possuem valores mais baixos de H_s e T_s (quadro 2.4).

Como seria espectável, dada a informação já referida anteriormente, a predominância da direção média de ondulação de noroeste prevalece em todas as décadas. A este se segue o rumo de W, explicando um número elevado de ocorrências de temporais (fig. 2.19). A década de 1960 e de 1990 extremam posições no que se refere à frequência com que os rumos de ondulação ocorrem aquando um episódio de temporal. A década de 1960 apresenta uma menor frequência de ocorrência de temporais com rumos de noroeste, quando comparado aos restantes séculos, com uma frequência de ocorrência de 55,81%. Nesta década, a frequência com que ocorrem os rumos de oeste, apresentam um maior significado. Já a década de 1990, apresenta uma maior frequência de temporais com ondulação de noroeste, com 76,62%.

Quadro 2.4 - Variabilidade decenal dos parâmetros associados à ocorrência de temporais segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines (Dodet *et al.*, 2010).

Décadas	N.º de ocorrências	Duração (h)			H_s (m)		T_s (s)			D_s (ºN)
		Méd.	Máx.	Mín.	Méd.	Máx.	Méd.	Máx.	Mín.	Frequência
Déc. 1950	36	106,67	294	36	5,14	8,71	11,66	16,20	8,12	NW 292,50 - 337,50 (72,22%)
Déc. 1960	86	79,19	204	12	5,02	9,03	11,24	17,65	7,29	NW 292,50 - 337,50 (55,81%)
Déc. 1970	70	94,37	270	30	5,17	13,27	11,35	16,53	7,68	NW 292,50 - 337,50 (71,43%)
Déc. 1980	68	77,47	270	30	5,18	10,43	11,79	16,30	8,31	NW 292,50 - 337,50 (72,06%)
Déc. 1990	77	81,27	276	24	4,98	9,57	11,65	16,54	7,81	NW 292,50 - 337,50 (76,62%)
Déc. 2000	72	82,25	300	30	5,07	8,93	11,43	17,34	7,91	NW 292,50 - 337,50 (62,50%)

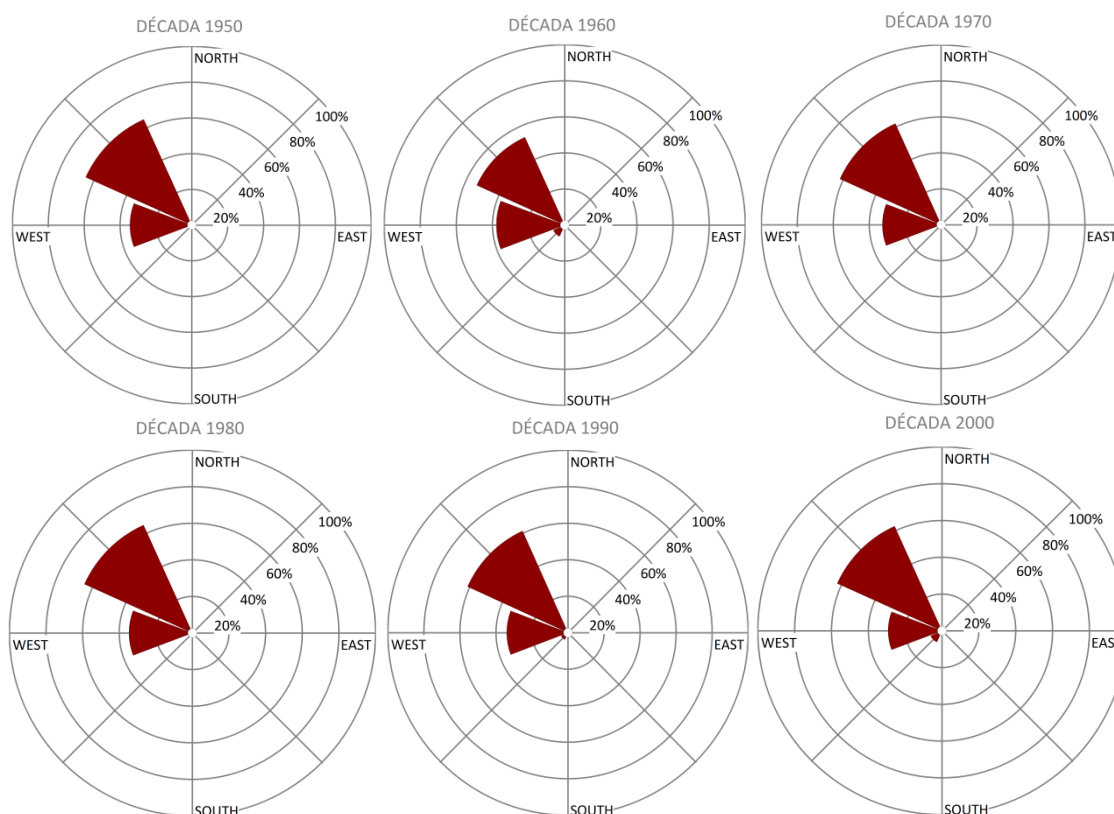


Figura 2.19 - Frequência decenal de D_s segundo os dados de ondulação modelados do projeto *micore* para Sines.

Dos 409 temporais, 91,20% (373 ocorrências) ocorreram durante o Inverno marítimo, tendo apenas 8,80% (36 ocorrências) dos temporais ocorrido durante o verão marítimo, nomeadamente, nos meses de abril, maio e setembro. A análise mensal, mostra que janeiro constitui o mês em que as ocorrências são mais frequentes (19,80% - 81 ocorrências). A este segue-se o mês de fevereiro e dezembro, com a frequência relativa de 19,32% (79 ocorrências) e 19,07% (78 ocorrências). Dezembro, janeiro e fevereiro, constituem os meses com maior número de ocorrências de temporais (58,19% do total de temporais registados).

2.5. Ocupação do território na zona costeira do arco Caparica – Espichel

Desde cedo, mas mais expressivamente a partir da segunda metade do século XX, que a evolução e ocupação da península de Setúbal se encontra relacionada com os processos territoriais ocorridos na AML, da qual o arco Caparica-Espichel é parte integrante. O desenvolvimento desta região metropolitana é um excelente exemplo do fenómeno da "litoralização", que corresponde à concentração populacional, económica e política do país (Ferreira, 1999).

No início do século XX, o extremo ocidental da margem sul do Tejo era ainda de difícil acesso. Em 1920, num lugar conhecido como Costa da Caparica, existia apenas uma pequena concentração de cabanas de pescadores. Devido a uma maior concentração de pescadores que para aqui convergiram e se enraizaram, aliada à construção da estrada, na década de 1930, que ligara Almada à Costa da Caparica, a paisagem começou a apresentar sinais de modificação. Às construções precárias dos pescadores e de alguns agricultores, juntaram-se também edifícios de residência secundária e uma pensão para albergar os veraneantes cujo número aumentava época após época (Freire, 1986).

Nos finais da década de 1960, após a construção da ponte sobre o Tejo em 1966, com o aumento dos problemas devidos à poluição das praias da linha do Estoril e das dificuldades de aquisição de habitação em Lisboa, o casario aumentou desenfreadamente, sem obedecer a qualquer plano de urbanização. A pressão agrícola, por um lado, e a urbana, por outro, viriam a provocar uma modificação das dunas, com a sua conseqüente degradação. Sobre os campos dunares, surgiram os edifícios das aglomerações de S. João e Costa da Caparica, Cova do Vapor e Trafaria e, posteriormente, da Fonte da Telha, bem como diversos parques de campismo (Freire, 1986).

Deste modo, até à década de 1960, devido à escassez de acessibilidades, a Costa da Caparica foi, de um modo geral, um aglomerado de pescadores. Contudo, nas últimas décadas assistiu-se a um aumento sem precedentes da pressão antrópica sobre o litoral do arco Caparica-Espichel, derivado por um lado do crescimento populacional, e, por outro, da forte pressão sazonal exercida pelos veraneantes e turistas, sobretudo durante a época estival.

O quadro 2.5 ilustra o progressivo aumento da população residente na península de Setúbal, bem como o seu peso no total de Portugal Continental.

Quadro 2.5 - População residente e respetiva taxa de variação, segundo os dados do INE.

Escala temporal	População residente				Taxa de variação da população residente (%)		
	Portugal continental		Península Setúbal		Escala temporal	Portugal continental	Península Setúbal
	Total	%	Total	%			
1991	9 375 926	100	640 493	6,83	1991→2001	5,20	11,50
2001	9 869 343	100	714 589	7,24	2001→2011	1,81	9,07
2011	10 047 621	100	779 399	7,76			

"A densidade populacional é um fator muito importante a ter em conta quando se analisam os efeitos da ação humana sobre o território pois é um bom indicador da pressão exercida nos sistemas biofísicos (Ferreira, 1999)". Segundo o INE, em 2011, a densidade populacional da península de Setúbal era de 481,5 hab/km², um valor superior ao registado nos anos de 2001 e 1991, com 451,89 hab/km² e 405,11 hab/km², evidenciando um aumento contínuo da densidade populacional, resultando, num acréscimo da pressão exercida sobre os sistemas biofísicos. A nível municipal (fig. 2.20), Almada e Barreiro apresentam os valores mais elevados de densidade populacional, em oposição aos municípios de Alcochete, Montijo, Palmela e Sesimbra, com os valores mais baixos de densidade populacional. Os valores apresentados estão em consonância com Ferreira (1999), justificando que Almada e Barreiro foram os municípios da península de Setúbal onde a ocupação populacional se densificou primeiro, devido à sua ligação direta à capital através do barco. Paralelamente, o grande desenvolvimento industrial ocorrido no Barreiro a partir da década de 1960, levou a uma crescente ocupação dos seus concelhos limítrofes, designadamente, Moita e Seixal.

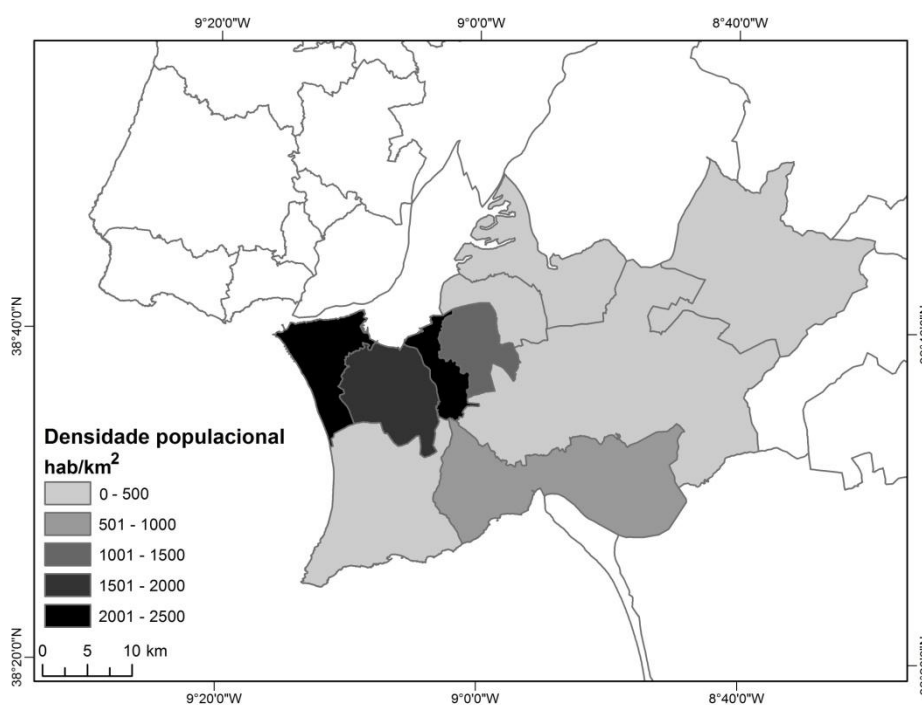


Figura 2.20 - Densidade populacional na península de Setúbal, a nível municipal, segundo os dados do INE (2011).

"A edificação é a consequência mais direta do complexo processo de urbanização do território. É causadora de impactes importantes no ambiente, como por exemplo, a impermeabilização do solo, que, por sua vez, impede a eficiente recarga aquífera e origina uma maior escorrência superficial, aumentando o risco de inundações, entre outros (Ferreira, 1999)". Segundo o quadro 2.6, a acompanhar o ritmo de crescimento da população residente, também se verifica o aumento do número de edifícios.

Quadro 2.6 - Número de edifícios e respetiva taxa de variação, segundo os dados do INE.

Escala temporal	Edifícios				Variação no número de edifícios (%)		
	Portugal continental		Península de Setúbal		Escala temporal	Portugal continental	Península de Setúbal
	Total	%	Total	%			
1991	2 712 866	100	122 794	6,83	1991→2001	10,40	17,90
2001	2 997 659	100	144 871	4,83	2001→2011	11,87	18,43
2011	3 353 610	100	171 570	5,12			

Segundo o INE, em 2011, a densidade de edifícios da península de Setúbal era de 105,57 n.º/km², um valor superior registado em 2001 e 1991, com 89,14 n.º/km² e 75,55 n.º/km², respetivamente, evidenciando um aumento contínuo da densidade de edifícios. A nível municipal (fig. 2.21) Almada concentra a maior densidade de edifícios. Este elevado número de edifícios face à área que ocupa o município, pode ser justificado uma vez mais pelas acessibilidades à capital, face aos outros municípios da península de Setúbal. À medida que se afasta do município de Almada, também os valores de densidade populacional diminuem.

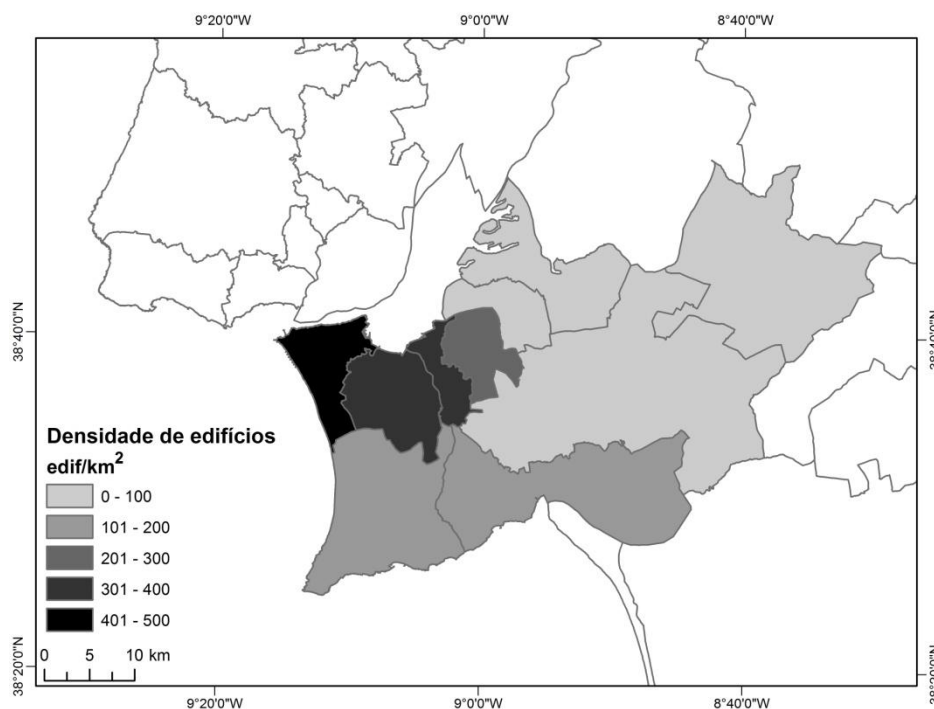


Figura 2.21 - Densidade de edifícios na península de Setúbal, a nível municipal, segundo os dados do INE (2011).

Correlacionando o indicador do número de edifícios com a densidade populacional, segundo Ferreira (1999) constata-se, por um lado, uma evidente simultaneidade entre áreas em que ambas as variáveis são elevadas, em especial no setor norte, e, por outro lado, verifica-se uma elevada edificação em áreas com baixa ocupação populacional, sobretudo no setor sul. Esta deriva sobretudo do facto que grande parte da urbanização a que a área do arco foi sujeita se relaciona com a construção de residências secundárias (e elevados índices de sazonalidade da população).

"O conceito de uso do solo está intrinsecamente ligado à noção de território, na medida em que uma determinada área é referenciada pelo valor que os grupos sociais ou as atividades económicas lhe atribuem, em função do usufruto (rendimentos ou satisfações pessoais). É, assim, lícito considerar o uso do solo como uma dimensão humana dos sistemas biofísicos (Ferreira, 1999, p.32)". Para caracterizar o uso do solo recorreu-se à utilização da carta de uso e ocupação do solo (COS2007) (a mais recente série cartográfica disponibilizada neste âmbito) obtida através da Direção Geral do Território. "A COS2007 foi produzida com base na interpretação visual de imagens aéreas ortorrectificadas, com a ajuda de informação auxiliar diversa. Possui uma exatidão posicional melhor ou igual a 5,5 m e uma exatidão temática global de 85,13% com um erro de 2,00% para um nível de confiança de 95%. As fotografias utilizadas para a obtenção desta série cartográfica foram tiradas entre julho e outubro de 2007 (DGT, 2013)". O tipo de ocupação do uso do solo encontra-se sintetizado no quadro 2.7, evidenciando o peso de cada classe de ocupação do uso do solo na península de Setúbal e nos respetivos municípios de Almada e Sesimbra.

Quadro 2.7 - Síntese da área ocupada por cada classe da COS2007 na península de Setúbal e no município de Almada e Sesimbra.

Nível 1 COS	Descrição	Península de Setúbal		Município Almada e Sesimbra	
		Área (ha)	%	Área (ha)	%
1	Territórios artificializados	132772,26	4,69	124835,15	4,77
2	Áreas agrícolas e agroflorestais	67876,92	2,40	6817,27	0,26
3	Florestas e meios naturais e seminaturais	152375,13	5,38	25466,42	0,97
4	Zonas húmidas	4906,10	0,17	169,34	0,01
5	Corpos de água	2472374,08	87,35	2457485,54	93,98
Total		2830304,49	100,00	2614773,72	100,00

Apesar da imponente artificialização que esta área tem vindo a ser sujeita, verifica-se que as áreas correspondentes às florestas e meios naturais e seminaturais ainda prevalecem, apesar de não apresentarem um significado tão elevado nos municípios de Almada e Sesimbra.

As classes de ocupação e uso do solo encontram-se representadas visualmente na figura 2.22, evidenciando a sua distribuição ao longo da península de Setúbal.

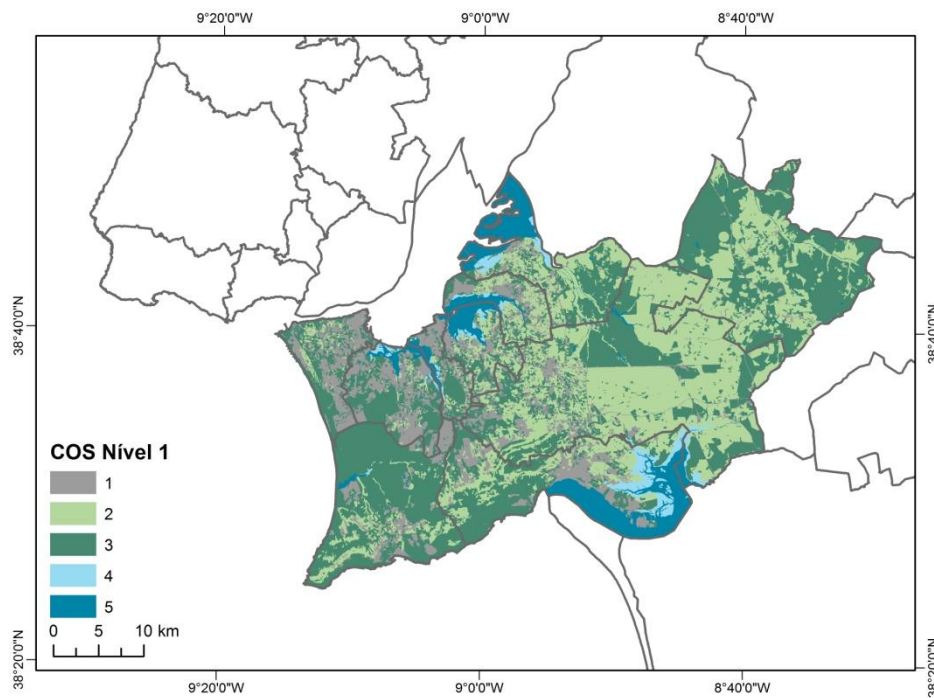


Figura 2.22 - Área ocupada por cada classe de uso de solo da COS2007 nos municípios da península de Setúbal.

Nota: Classes de uso de solo representadas no quadro 2.6.

Capítulo 3. Fontes, métodos e técnicas

De modo a atingir o objetivo do estudo da dinâmica da linha de costa no setor não artificializado do litoral arenoso do arco Caparica-Espichel, e com o objetivo de tratar os dados com vista à realização do zonamento da vulnerabilidade à erosão associada à subida gradual do nível do mar, é necessário utilizar um extenso conjunto de métodos e técnicas. Como tal, no presente estudo, estes encontram-se agrupados em quatro partes essenciais, nomeadamente, (i) as fontes documentais utilizadas e a determinação dos erros associados, (ii) os testes e definição dos métodos de medição, (iii) a projeção e determinação das faixas de salvaguarda e (iv) a determinação da vulnerabilidade dos elementos expostos face ao recuo da linha de costa.

3.1 Fontes documentais e determinação de erros associados

Quando se abordam questões ligadas à dinâmica litoral, mais especificamente, à dinâmica da linha de costa, é estritamente necessário estudar os seus ritmos de evolução, encontrando-se esta abordagem dependente da escala temporal e espacial de análise, da disponibilidade, da quantidade e da fiabilidade das fontes documentais.

Dependendo da abordagem, a dinâmica da linha de costa pode ser estudada ao longo de escalas temporais mais alargadas, recorrendo-se, neste caso, a informação como (Boak e Turner, 2005):

(i) As fotografias terrestres históricas (Boak e Turner, 2005) que fornecem informações tais como a presença de características morfológicas específicas, indicadoras da dinâmica litoral associada a processos erosivos ou de acumulação. Contudo, a maioria das fotografias terrestres são por definição oblíquas, com pouca informação disponível relativa à escala ou aos pontos de controlo no terreno e, normalmente, não dispõem de informação sobre as condições do mar (marés e ondas) no momento em que a fotografia é tirada (Dolan *et al.*, 1983 cit. em Boak e Turner, 2005). Como tal, a maioria das fotografias históricas têm um valor limitado para a aplicação em cartografia do posicionamento sucessivo de linhas de costa.

(ii) Os mapas costeiros e gráficos, desde o final do século XIII, com a utilização de técnicas mais robustas para a sua elaboração, tornaram-se numa ferramenta bastante útil, permitindo averiguar as mudanças ocorridas na linha de costa. Estes fornecem uma boa cobertura espacial, ao contrário da sua cobertura temporal, podendo ser bastante restritiva (Dolan *et al.*, 1983 cit. em Boak e Turner, 2005). Os erros potenciais associados a este tipo de fonte de informação, incluem os erros na escala; mudanças de *datum*; distorções a partir de irregularidades na fonte original de informação (contrações, dilação, vincos, rasgos e dobras);

diferentes padrões de levantamento; erros de projeção; e revisão parcial (Andres e Byrnes, 1991; Carr, 1962 e 1980; Crowell *et al.*, 1991; Moore, 2000 cit. em Boak e Turner, 2005). No entanto, a vantagem da sua utilização reside no facto de ser capaz de fornecer um registo histórico que não se encontra disponível a partir de outras fontes de dados, nomeadamente as instrumentais.

(iii) Os dados da monitorização de praias constituem uma fonte muito fiável de informação sobre o posicionamento da linha de costa (Dolan *et al.*, 1983; Goldsmith e Oertel, 1978 cit. em Boak e Turner, 2005). Contudo, as séries de dados tendem a ser limitadas, tanto espacialmente (Morton, 1991 cit. em Boak e Turner, 2005) como temporalmente (Dolan *et al.*, 1983; Goldsmith e Oertel, 1978; Smith e Jackson, 1992 cit. em Boak e Turner, 2005).

(iv) A utilização de sistemas de posicionamento global (GPS) constitui um processo de obtenção de dados da posição da linha de costa relativamente rápido, de baixos custos e de elevada precisão (Morton e Speed 1996 cit. em Boak e Turner, 2005). Uma boa parte dos erros associados a esta técnica encontram-se relacionados com o utilizador, quando procede à determinação visual da linha de costa, em vez dos erros derivados das medições do GPS. Pajak e Leatherman (2002 cit. em Boak e Turner 2005) concluem que o método de GPS é mais preciso, do que a fotografia aérea, na identificação das características específicas da linha de costa em análise.

(v) A deteção remota, ao longo da última década, recorreu à utilização de um conjunto diversificado de fontes de informação, dos quais se salientam, os transportes aéreos, satélites e técnicas de deteção remota terrestre, tornando-se numa fonte de dados facilmente acedida pelos investigadores. Dependendo da plataforma específica em uso, as linhas de costa que daqui derivam podem ser baseadas no uso de características costeiras visualmente perceptíveis, da análise de processamento de imagem, ou num *datum* de maré específico.

Dentro do âmbito da deteção remota, é possível distinguir como fontes de informação:

- As fotografias aéreas que começaram a ser adquiridas nos setores costeiros a partir da década de 1920, apenas se tornaram disponíveis com uma qualidade adequada para estudos costeiros no final da década de 1930 (Andres e Byrnes, 1991 cit. em Boak e Turner, 2005). Embora se considere em grandes parte dos estudos as fotografias aéreas verticais, é possível distinguir para além desta as fotografias aéreas oblíquas. As fotografias aéreas contêm, geralmente, distorções e necessitam ser corrigidas antes de serem utilizadas. No caso das fotografias aéreas verticais, as distorções mais comuns incluem a distorção radial, a distorção do relevo, a inclinação do eixo ótico da câmara e as variações da escala causadas pelas mudanças em altitude ao longo de uma linha de vôo (Andres e Byrnes, 1991; Crowell *et al.*, 1991; Moore, 2000; Thieler e Danforth, 1994 cit. em Boak e Turner, 2005). Quando se encontra

disponíveis, as fotografias aéreas constituem a fonte de dados mais utilizada em estudos para a determinação da variação das posições de linha de costa (Boak e Turner, 2005; Moore, 2000).

- As imagens multiespectrais/hiperespectrais, atualmente adquiridas por satélite, fornecem uma monitorização quase contínua de grande parte das linhas de costa mundiais (Morton, 1991 cit. em Boak e Turner 2005). As principais limitações desta fonte e dados para os investigadores são a resolução dos pixéis e o custo (Cracknell, 1999 cit. em Boak e Turner 2005). O custo elevado significa que os dados são geralmente limitados no espaço e no tempo. As vantagens passam pelo facto de grandes extensões poderem ser cobertas e da detalhada informação espectral fornecida. As linhas de costa podem ser baseadas no uso de características costeiras visualmente perceptíveis ou pela aplicação de técnicas de processamento de imagem.

- O LIDAR (*Airborne Light Detection and Ranging Technology*) baseia-se na medição do tempo necessário para que um feixe de laser percorra uma determinada distância, nomeadamente, desde o momento da sua emissão, até ao seu retorno por reflexão (Cracknell, 1999 cit. em Boak e Turner, 2005). A grande vantagem dos dados recolhidos através do LIDAR reside no facto de cobrir uma grande extensão de área muito rapidamente. Contudo, esta fonte de dados é geralmente limitada em termos da sua disponibilidade temporal e espacial devido aos custos inerentes.

- O sensor de micro-ondas, associado à tecnologia de radar (deteção e telemetria por rádio), recolhe informação acerca de um ponto no terreno, através do cálculo do período de retorno e do comprimento do sinal rádio (Richards e Jia, 1999 cit. em Boak e Turner, 2005). Grandes áreas podem ser cobertas utilizando a deteção e telemetria por rádio, no entanto, o custo é elevado (Richards e Jia, 1999 cit. em Boak e Turner 2005). Os dados podem ser facilmente convertidos num modelo digital do terreno (Cracknell, 1999 cit. em Boak e Turner, 2005), proporcionando uma boa determinação da linha de costa para um *datum* de maré específico.

- O aparecimento dos sistemas de vídeo-monitorização permitiu obter com maior frequência e de forma continuada imagens do litoral a serem recolhidas nos comprimentos de onda visíveis. Estes sistemas têm a capacidade de monitorizar mudanças detalhadas no sistema costeiro, bem como, de fornecer informações de modificações de linha de costa a longo prazo. Estes tipos de sistemas fornecem conjuntos de dados temporalmente consistentes, mas espacialmente limitados, ou seja, os dados recolhidos encontram-se limitados a uma determinada localização, mas permitem uma recolha permanente de informação nesse determinado setor (Boak e Turner, 2005).

- Recentemente desenvolveu-se um novo método de monitorização do litoral através do recurso a veículos aéreos não tripulados, mais especificamente os drones. Este método consiste essencialmente na utilização de um drone controlado remotamente e equipado com uma câmara, que permite a aquisição de imagens. Caracteriza-se pela forma rápida, simples e de baixo custo de monitorizar as mudanças no litoral (Rovere *et al.*, 2013).

Apesar da diversidade das fontes de informação para aplicação ao estudo da dinâmica da linha de costa, a escolha da informação tem de ter em conta 3 grandes pressupostos, (i) as vantagens e as limitações da cada fonte de informação tendo em conta a escala espacial em estudo, (ii) a sua conjugação com os objetivos inerentes ao próprio estudo e (iii) a acessibilidade à informação. Verifica-se, assim, uma predominância na utilização da fotografia aérea, facilmente acessível a todos os investigadores e técnicos, que tem revelado um elevado potencial para a compreensão da evolução da linha de costa. Esta fornece uma boa cobertura espacial da costa, permitindo abranger longos períodos temporais, sem perder rigor. Constitui uma fonte de informação com relativa facilidade de acesso e com custos reduzidos para o investigador.

No que se refere à utilização das fotografias aéreas como fonte de informação no presente estudo, a etapa inicial consiste na seleção criteriosa das fotografias aéreas que possam conter informação relevante e fiável. Esta seleção depende: (i) da localização, (ii) da escala de aquisição, (iii) da data de aquisição e (iv) da qualidade da imagem. De acordo com os critérios de seleção da fonte de informação são utilizadas como base para a cartografia das sucessivas linhas de costa (quadro 3.1) as fotografias aéreas verticais de 1967 e um conjunto de fotografias aéreas verticais da década de 1980 (1982; 1984; 1985; 1986; 1989), devido à inexistência de uma série completa de fotografias aéreas verticais para a área de estudo nesta década. Para além destas fontes de informação, recorreu-se ainda à utilização de fotografias aéreas verticais do ano de 1995 georreferenciadas e disponibilizadas no sítio do Instituto Geográfico Português (IGEO) (<http://scrif.igeo.pt/asp/ortos/Tortos.asp?XX=102062&YY=189269&SIZE=3&ZOOM=0&Selecao=3&Area=0>) e de ortofotomapas de 2008, tornando assim possível realizar uma análise da evolução da linha de costa com uma escala temporal de aproximadamente meio século.

Quadro 3.1 - Fontes documentais aplicadas ao presente estudo.

Base cartográfica	Número	Fonte	Escala
Fotografia aérea 1967	88051; 88045; 88043; 88024; 88023; 88021; 88019; 88017; 88015	Direção Geral do Território (DGT)	1:15 000
Fotografia aérea década 1980 (1982*/1984⁺/1985[◇]/1986[□]/1989[○])	3080*; 3141*; 3143*; 6674 ⁺ ; 2657 [◇] ; 2735 [◇] ; 8288 [□] ; 8290 [□] ; 8356 [□] ; 8360 [□] ; 8408 [□] ; 8413 [□] ; 8477 [□] ; 6356 [○]	Direção Geral do Território (DGT)	1:8 000
Fotografia aérea 1995		Direção Geral do Território (DGT)	1:15 000
Ortofotomapa 2008		Direção Geral do Território (DGT)	1:10 000
Simbologia presente em cada ano das fotografias aéreas da década de 1980 (1982*/1984 ⁺ /1985 [◇] /1986 [□] /1989 [○]) e a sua respetiva correspondência no número da fonte documental.			

A georreferenciação das fotografias aéreas verticais resulta da identificação de elementos visíveis comuns na fotografia aérea e no referencial cartográfico adotado. Neste estudo, o referencial cartográfico recaiu no ortofotomapa de 2008 (quadro 3.1), partindo do facto de este se encontrar associado a uma projeção cartográfica e possuir à partida uma garantia de fiabilidade posicional. Contudo, a atribuição de pontos de georreferenciação em zonas costeiras traduz-se em dificuldades acrescidas, uma vez que a nuvem de pontos que contribui para a fiabilidade do processo de georreferenciação e consequente exatidão posicional na linha de costa raramente possui um arranjo geométrico favorável, assemelhando-se a uma linha e não a um polígono, sem possibilidade de utilização de pontos do lado do oceano.

Apesar da fotografia aérea corresponder a uma das fontes de informação mais utilizadas, esta apresenta limitações que necessitam de ser aferidas e mitigadas. Segundo Moore (2000), este tipo de fonte documental apresenta potenciais fontes de erros, uma vez que "as medidas exatas não podem ser extraídas em fotografias aéreas verticais não corrigidas porque são introduzidas várias distorções e deslocamentos em diferentes fases do processo fotográfico". Como salientado anteriormente, as distorções mais comuns incluem a distorção radial, a distorção do relevo, inclinação do eixo ótico da câmara e variações da escala causadas pelas mudanças em altitude ao longo de uma linha de vôo (Andres e Byrnes, 1991; Crowell *et al.*, 1991; Moore, 2000; Thiel e Danforth, 1994 cit. em Boak e Turner, 2005).

Devido às distorções a que são submetidas as imagens, o processo de georreferenciação utilizado neste estudo implica uma avaliação da exatidão posicional dos setores litorais contidos nas fotografias. A exatidão posicional, descrita no decreto regulamentar n.º10/2009, que define "a cartografia a utilizar nos instrumentos de gestão territorial, bem como na representação de quaisquer condicionantes", identifica como sendo a "exatidão posicional, o rigor do posicionamento de um dado objeto geográfico, determinado por meio do erro médio

quadrático (EMQ) dos desvios medidos entre as coordenadas da representação cartográfica do objeto e as correspondentes coordenadas determinadas por métodos de posicionamento de rigor superior ao do levantamento cartográfico em causa".

A exatidão posicional foi aferida pela determinação de coordenadas de pontos de controlo no terreno, medidos com um sistema de posicionamento global com correção diferencial (dGPS) e independentes dos pontos de referência utilizados no processo de georreferenciação.

Definiram-se 14 pontos de controlo (fig. 3.1) ao longo da área em estudo, tomando como critérios de seleção: (i) corresponderem a estruturas ou outros elementos passíveis de não sofrer alterações posicionais ao longo do tempo; (ii) a facilidade de identificação, tanto nas fotografias aéreas verticais e ortofotomapas como no terreno, (iii) a definição dos seus contornos, a fim de serem previamente definidos em gabinete, (iv) a sua distribuição no espaço, tentando que fosse o mais uniforme ao longo da zona costeira, apesar de a área em estudo colocar sérios entraves a essa uniformidade. Como é possível verificar na figura 3.1, a distribuição dos pontos de controlo não é uniforme. Naturalmente, nas áreas mais urbanizadas existe alguma concentração destes pontos, mas, no setor imediatamente a norte e a sul da Fonte da Telha, não foi possível aferir pontos comuns identificáveis tanto no terreno como nas várias fotografias aéreas verticais e ortofotomapas. Esta situação decorre sobretudo de esta ser uma área claramente pouco antropizada, com poucos referenciais fixos ou em que as escassas estruturas antrópicas identificáveis desapareceram, ou, a sua existência é relativamente recente.

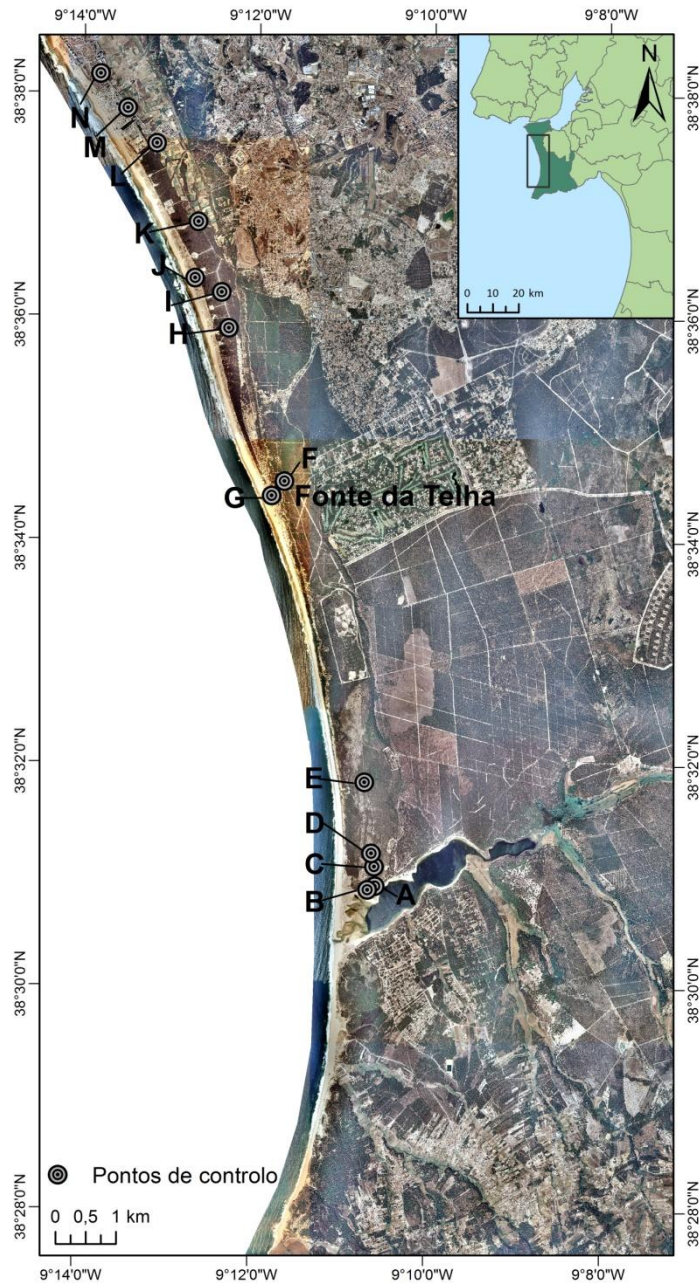


Figura 3.1 - Pontos de controlo no terreno.

Definidos os pontos de controlo de terreno, a obtenção das coordenadas é efetuada através de um dGPS, aquisição de dados que necessita pós-processamento para a obtenção de resultados fiáveis. A correção diferencial de dados GPS foi efetuada com o programa de código aberto *Rtklib*[®] v.2.4.2, utilizando a estação da rede SERVIR (IGEOE) de Paço de Arcos como base de referência. No presente caso, os erros resultantes da correção diferencial do GPS (quadro 3.2), não colocam em causa a sua fiabilidade, apresentando erros médios na ordem de 9 centímetros.

Quadro 3.2 - Erros resultantes da correção diferencial do GPS.

Nota: pontos de controlo representados na figura 3.1.

ID	Designação	Latitude (º)	Longitude (º)	EMQ latitude (m)	EMQ longitude (m)	EMQ (m)
A	NF05F	38,5159185	-9,175564034	0,035	0,007	0,038
B	NF06G	38,5153450	-9,176972550	0,011	0,032	0,027
C	NF08I	38,5188503	-9,175734237	0,009	0,015	0,016
D	NF0AK	38,5208218	-9,176305151	0,023	0,017	0,032
E	NF0CM	38,5314020	-9,177789907	0,030	0,017	0,039
F	NF0EO	38,5762858	-9,193579065	0,021	0,024	0,034
G	NF0GQ	38,5741255	-9,196002056	0,021	0,010	0,026
H	NF0JT	38,5991206	-9,204498490	0,004	0,008	0,008
I	NF0KU	38,6044578	-9,205883926	0,008	0,017	0,017
J	NF0NX	38,6065455	-9,210993479	0,014	0,031	0,030
K	NF0PZ	38,6149543	-9,210489105	0,528	0,783	0,919
L	NF0QAA	38,6266496	-9,218538708	0,015	0,010	0,020
M	NF0TDA	38,6318676	-9,224094703	0,017	0,012	0,023
N	NF0UEA	38,6369509	-9,229371370	0,008	0,010	0,014
Média EMQ (m):						0,089

A exatidão posicional das fontes documentais utilizadas (quadro 3.1) foi obtida através da medição da distância horizontal (x,y) entre os pontos de controlo dGPS e a sua correspondência nas mesmas fontes documentais. Com esta medição obteve-se o erro médio quadrático. Para o cálculo final da exatidão das fontes documentais recorreu-se inicialmente à aplicação das expressões eq. 1 e eq. 2, medindo-se, independentemente, a diferença entre as ambas coordenadas x (eq. 1) e entre ambas coordenadas y (eq. 2):

$$xANOGPS = (xA - xB)^2 \quad (\text{eq. 1})$$

em que,

$xANOGPS$ = corresponde à distância horizontal da coordenada x entre o ponto de controlo dGPS e a sua correspondência na mesma fonte documental.

xA = corresponde à coordenada x do ponto de controlo no terreno obtida através da medição por dGPS;

xB = corresponde à coordenada x do ponto de controlo no terreno obtido através da demarcação em cada fonte documental.

$$yANOGPS = (yA - yB)^2 \quad (\text{eq. 2})$$

em que,

y_{ANOGPS} = corresponde à distância horizontal da coordenada y entre o ponto de controlo dGPS e a sua correspondência na mesma fonte documental.

y_A = corresponde à coordenada y do ponto de controlo no terreno obtida através da medição por dGPS;

y_B = corresponde à coordenada y do ponto de controlo no terreno obtido através da demarcação em cada fonte documental.

Com base nos resultados obtidos, calculou-se a distância entre os respetivos pontos, através da aplicação da seguinte fórmula (eq. 3):

$$EMQ = \sqrt{x_{ANOGPS} + y_{ANOGPS}} \quad (\text{eq. 3})$$

A validação da georreferenciação de fotografias aéreas verticais constitui uma etapa de extrema importância, permitindo averiguar a fiabilidade da informação contida nas fontes documentais, cujo resultado ditará se estas se encontram aptas para a aplicação, ou se é necessário proceder a melhoramentos no processo de georreferenciação ou até mesmo se a informação deve ser abandonada.

No quadro 3.3 encontra-se representada a distância (EMQ, eq. 3) entre os pontos de controlo marcados nas fontes documentais, respeitantes aos anos de 1967, década de 1980, 1995 e 2008 e as coordenadas dGPS dos mesmos, obtidas no terreno.

Quadro 3.3 - Distância entre os pontos de controlo (PC) marcados nas fontes documentais às coordenadas obtidas pelo dGPS.

Nota: pontos de controlo representados na figura 3.1.

ID	GPS → PC1967 (m)	GPS → PC1980 (m)	GPS → PC1995 (m)	GPS → PC2008 (m)
A	3,190	1,792	2,232	1,019
B	1,040	0,593	2,608	0,473
C	5,511	1,348	4,617	0,900
D	5,207	0,521	5,884	0,217
E	1,075	0,536	5,441	0,829
F	1,969	1,655	8,819	1,319
G	1,196	4,346	3,097	1,250
H	2,685	5,636	7,351	3,980
I	5,317	5,055	5,453	3,632
J	3,852	4,300	6,197	3,626
K	2,364	8,052	4,353	3,846
L	1,310	4,948	8,458	4,765
M	3,186	1,824	5,585	3,405
N	3,234	2,224	4,698	1,974
Média do EMQ:	2,938	3,059	5,645	2,231

De acordo com os dados observados no quadro 3.3, os valores de EMQ apresentam-se, no caso das fotografias aéreas verticais de 1967, uma distância média entre as fontes de informação de 2,94 m e no caso das fotografias aéreas verticais da década de 1980 um desfasamento de 3,06 m. Ambos os valores apresentados correspondem a valores de desfasamento bastante similares. Em relação à distância real aos pontos de controlo nas fotografias aéreas de 1995, regista-se um aumento na média do EMQ (5,65 m), representando este o valor mais elevado de desfasamento. Por último, o ortofotomapa de 2008 apresenta o valor mais reduzido de desfasamento, com uma distância de 2,23 m.

Os valores de 1967 e da década de 1980 (quadro 3.3) são provenientes da utilização de fotografias aéreas verticais, e, como salientado anteriormente, tendo sido submetida a um processo de georreferenciação, empregando como referencial cartográfico o ortofotomapa de 2008, encontrando-se os valores de desfasamento dependentes, em parte, da distância pelos dados de 2008. Os valores apresentados em 2008, quando confrontados com os valores resultantes das fotografias aéreas verticais de 1967 e década de 1980, oscilam em aproximadamente 80 cm. Como seria de esperar, o valor médio de EMQ obtido pelas fotografias aéreas verticais é superior ao referencial cartográfico de 2008. Conclui-se assim, que o desfasamento obtido em 2008 explica grande parte dos valores de desfasamento obtidos nas fotografias aéreas verticais, atribuído através do processo de georreferenciação.

Consideram-se os valores de incerteza aceitáveis e incorporáveis na análise dos dados pelo que as fontes documentais não serão descartadas, uma vez que no tipo de estudo a ser desenvolvido, tendo por base a sua escala espacial e temporal em análise, não apresentará influência significativa na fiabilidade da delimitação da linha de costa. Contudo, estas são questões a ter em consideração aquando a obtenção da evolução da linha de costa.

3.2. Teste e definição de linhas de base e de marcadores da linha de costa

A linha de costa é entendida como a "fronteira entre a terra e o mar; materializada pela interceção do nível médio do mar com a zona terrestre" (Veloso-Gomes *et al.*, 2007a, p.37). Este conceito apresenta-se, no entanto, demasiado lato para ser considerado na demarcação e obtenção da variação da linha de costa. Segundo Boak e Turner (2005), a posição da linha de costa encontra-se em constante mudança, devido à natureza dinâmica do nível do mar. A linha de costa instantânea corresponde à posição de interface entre terra e o mar em determinado instante de tempo, no entanto, pode supor-se incorretamente que esta representa as condições normais ou médias relativas ao seu posicionamento (Smith e Zarillo, 1990; Morton, 1991; List e Farris, 1999 cit. em Boak e Turner 2005). É por isto necessário considerar outros

indicadores de linhas de costa ou *proxies* (referências) para representar a "verdadeira" posição da linha de costa (Boak e Turner, 2005; Oliveira, 2005), ou seja, o posicionamento que caracterize a dinâmica geral de longo prazo num determinado troço litoral.

No que respeita aos diferentes indicadores de linha de costa, não é possível determinar um indicador único passível de ser aplicado em todos os casos de estudo. Esta situação advém do facto da escolha do indicador depender sobretudo de fatores como, a dinâmica litoral, a fonte de dados e das preferências do investigador (Morton *et al.*, 2004, cit. em Cenci *et al.*, 2013).

Boak e Turner (2005) sintetizam um vasto conjunto de indicadores adotados na definição e deteção da linha de costa, classificando-os segundo três categorias:

- indicadores classificados com base nas características costeiras visualmente perceptíveis. A título de exemplo é possível referir o indicador da fronteira entre a areia seca e molhada;

- indicadores classificados com base num *datum*, determinado pela intersecção de um perfil costeiro com uma elevação vertical específica, podendo salientar-se como exemplo o indicador relativo à média das marés altas;

- recentemente, uma terceira categoria de indicadores de linhas de costa começou a ser relatada na literatura, baseada na aplicação de técnicas de processamento de imagens para extrair características da linha de costa a partir de imagens digitais costeiras, não sendo necessariamente visíveis ao olho humano.

Dos mais variados indicadores de linha de costa, Boak e Turner (2005) sintetizam espacialmente na figura 3.2 um esboço dos indicadores de linha de costa mais utilizados.

Dos indicadores presentes na figura 3.2, é possível excluir à partida indicadores que não se adaptam à presente área em estudo, nomeadamente, os indicadores relacionais com os litoral rochosos (indicadores de linha de costa A e B) e relacionado com os litorais artificializados (indicador de linha de costa C), uma vez que o âmbito do presente estudo exclui os referidos troços litorais onde esta tipologia de indicadores se encontra presente.

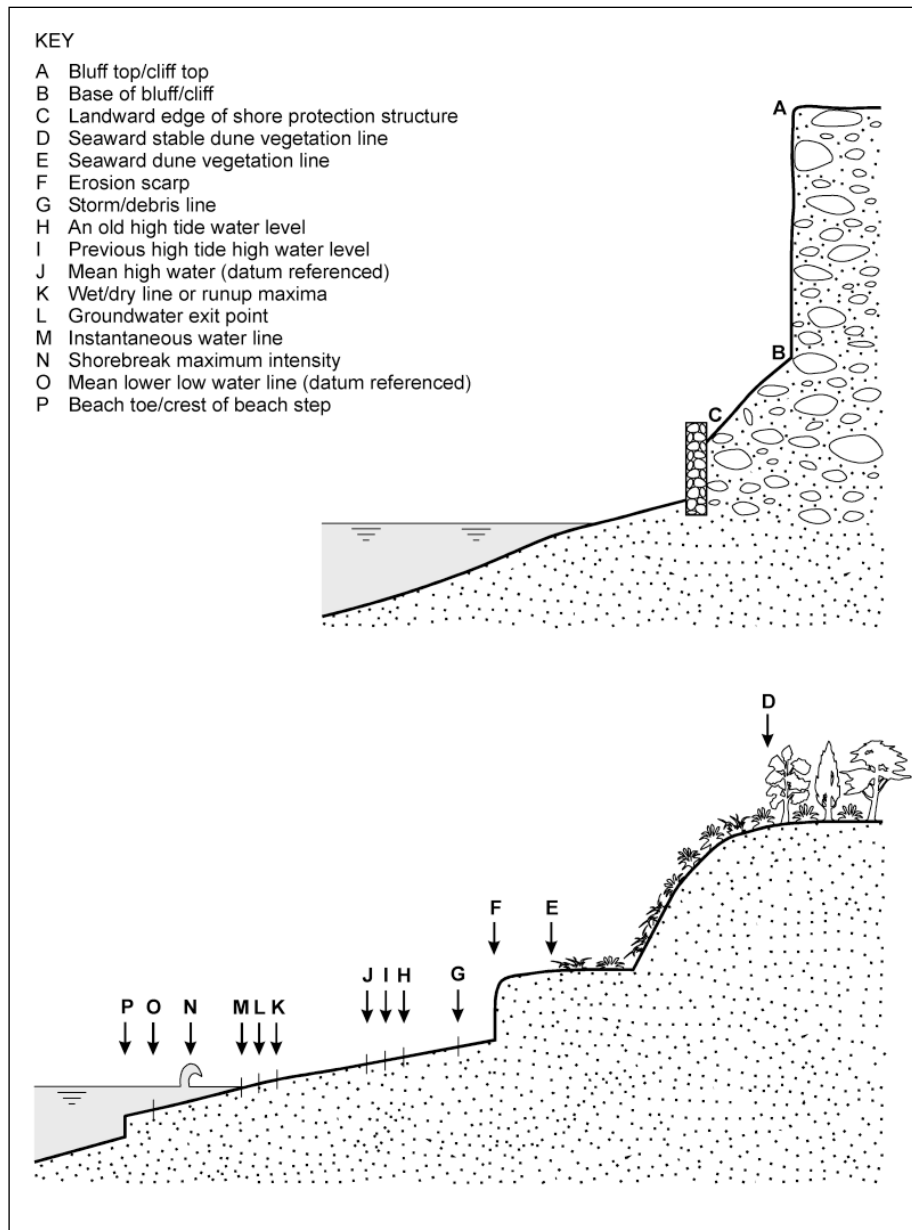


Figura 3.2 - Relação espacial entre os indicadores de linha de costa usualmente utilizados.

Fonte: Boak e Turner, 2005.

Segundo vários autores (Dolan *et al.*, 1980; Smith e Zarillo, 1990; Anders e Byrnes, 1991; Shoshany e Degani, 1992 cit. em Moore, 2000), a fronteira entre a areia seca e a areia molhada, que geralmente pode ser vista, nas fotografias aéreas verticais, como uma mudança nítida na tonalidade da areia da praia, constitui a referência mais comum utilizada na caracterização da posição da linha de costa em áreas costeiras arenosas (Moore, 2000). O limite seco/molhado aproxima-se da linha de preia-mar, que por sua vez se aproxima da linha média das preia-mar vivas (Dolan, 1980 cit. em Moore, 2000), sendo ambos indicadores bastante referidos na literatura (Crowell *et al.*, 1991; Boak e Turner, 2005). Apesar da diversidade de estudos que optam pelo limite seco/molhado, este tem potencial para ser uma fonte significativa de erro para a cartografia da linha de costa. Os erros resultam da amplitude

de migração natural a curto prazo da linha de praia-mar, da interpretação do limite entre o seco e o molhado nas imagens e da delimitação da posição da linha interpretada (Moore, 2000). Crowell *et al.* (1991 cit. em Boak e Turner, 2005) salientam o facto de a linha de praia-mar "poder não aparecer como uma zona distinta, mas sim, como uma zona de transição, ou, até mesmo, não ser visível de todo", ou ainda, não ser "considerada a maré e as condições de altura de ondas dominantes no momento em que a linha de costa foi cartografada. Como exemplo, uma praia com fraco declive, a deslocação horizontal do indicador de linha de costa devido às ondas, às marés ou ao vento podem ser na ordem das várias dezenas de metros (Thieler e Danforth, 1994 cit. em Boak e Turner, 2005)".

Quando se analisam estudos mais recentes, dentro do mesmo âmbito do que agora se apresenta, verifica-se que os autores, tendo cada vez mais informação acerca das vantagens e limitações da aplicação dos mais diversos indicadores de linha de costa, optam pela utilização do indicador do limite da vegetação dunar, quando a morfologia da praia assim o permite (Moore, 2000; Ferreira *et al.*, 2006; Cenci *et al.*, 2013; Ford, 2013). Este indicador constitui "a característica costeira que melhor define a transição entre o domínio das ondas e do vento predominantes, não exibindo as mudanças a curto (ex. marés) e a médio (ex. sazonalidade) prazo" (Ferreira *et al.*, 2006). "É considerado como um bom indicador de erosão" (Cenci *et al.*, 2013).

Tendo em conta os pressupostos apresentados para a escolha do indicador de linha de costa, bem como das vantagens e limitações apresentadas pelos mais diversos indicadores, optou-se pelo indicador de limite da vegetação dunar, como sendo o indicador que melhor se adequa às características do presente estudo. Este apresenta relativa facilidade de identificação em todas as fontes documentais utilizadas na escala espacial em estudo, demonstrando uma estabilidade a curto e médio prazo.

Apesar da escolha do limite da vegetação dunar como indicador utilizado para a obtenção das taxas de variação da linha de costa, não é de descorar a utilização de um segundo indicador. Esta resulta da necessidade de, em casos específicos, caracterizar a largura da praia. De modo a fazer face a esta necessidade, optou-se pela escolha do indicador do limite seco/molhado, sendo facilmente identificado nas fontes documentais utilizadas.

A delimitação da linha de costa foi realizada no programa *ESRI ArcGIS®* v.10, vetorizando inicialmente as linhas referentes às fotografias aéreas verticais de 1967 e de 2008, para obter o espetro temporal mais alargado possível. Posteriormente foram vetorizadas as restantes linhas de costa referentes à década de 1980 e 1995.

De modo a obter as taxas de recuo foi utilizado o *Digital Shoreline Analysis System*® v.4.3 (*DSAS*®), funcionando como extensão do *ArcGIS*® v.10. Esta extensão permite o cálculo de taxas de variação da linha de costa a partir das suas múltiplas posições (Thieler *et al.*, 2009).

Contudo, a sua utilização remete para algumas questões essenciais a ter em conta (quadro 3.7), nomeadamente (i) a definição do posicionamento da linha de base (fig. 3.3); (ii) a definição do número de perfis (fig. 3.3); (iii) a distância entre perfis e a possibilidade de serem equidistantes; (iv) o apuramento das incertezas da delimitação do indicador de linha de costa, associado aos erros introduzidos pelas fontes de dados e os erros associados aos métodos de medição; e (v) a definição dos métodos estatísticos utilizados no cálculo das taxas de variação da linha de costa.

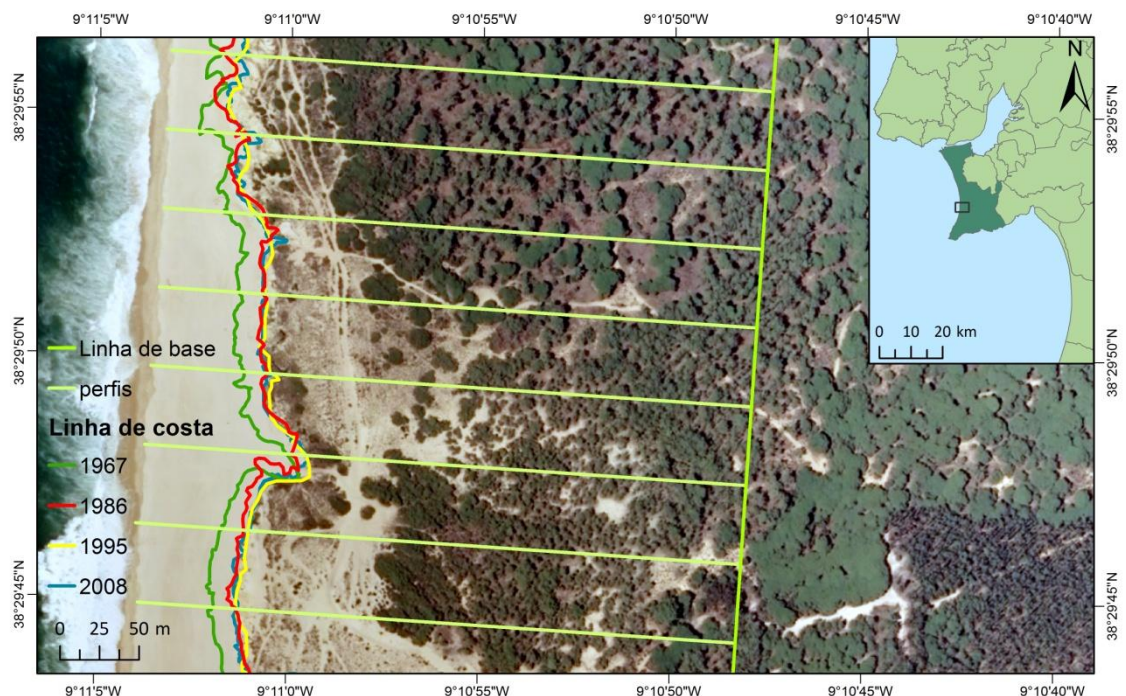


Figura 3.3 - Excerto da base cartográfica, relativa ao ortofotomapa de 2008, evidenciando a aplicação do indicador de linha de costa (indicador do limite vegetação dunar) em cada fonte documental, bem como a demarcação da linha de base e a posição dos perfis transversais.

O *DSAS*® utiliza o método de medição métrica sucessiva através de perfis transversais entre a linha de base e os vários posicionamentos da linha de costa (fig. 3.3) para calcular as suas taxas de variação (Leatherman e Clow, 1983 cit. em Thieler *et al.*, 2009). A linha de base é indicada pelo utilizador e serve como ponto de partida para todos os perfis expressos pela aplicação (fig. 3.3). A definição da linha de base deve ter em conta vários pressupostos de modo a permitir uma correta demarcação. Deste modo, tendo em conta a escala espacial em estudo, a linha de base é demarcada paralela à posição das linhas de costa cartografadas (*onshore*), mantendo uma distância constante, sem nunca as interceder e acompanhando-as

em toda a sua extensão. Dependendo da posição da linha de base, esta vai ter uma influência na orientação dos perfis transversais à linha de costa (Thieler *et al.*, 2009). Os perfis transversais ancorados na linha de base intersectam todas as linhas de costa vetorizadas, definindo-se esta interseção como os pontos de medição utilizados para o cálculo das taxas estatísticas associadas à variação da linha de costa (Thieler *et al.*, 2009).

O número de perfis encontra-se diretamente associado à distância entre eles e à extensão da linha de base. Tendo em conta a escala espacial em estudo, optou-se por perfis equidistantes, com um espaçamento de 50 metros, o que permite caracterizar a dinâmica associada ao sistema litoral. Contudo, salienta-se que, em dois setores da área em estudo, não foi possível a medição da variação da posição de linha de costa através do recurso aos perfis previamente traçados. Na Lagoa de Albufeira e no extremo sul da área, entre a praia do Meco e a praia das Bicas (fig. 3.4), verificou-se a ausência do indicador de limite da vegetação dunar, distinguindo-se no primeiro caso a existência de um espelho de água associado ao sistema lagunar da Lagoa de Albufeira, e no segundo caso a ação direta do mar sobre a arriba que não permite o desenvolvimento de vegetação dunar.

Deste modo, foram estabelecidos 406 perfis, dos quais 80 foram inutilizados pela inexistência do indicador do limite da vegetação dunar, representando 19,70% da totalidade de perfis estabelecidos, ficando assim 326 perfis para análise efetiva.

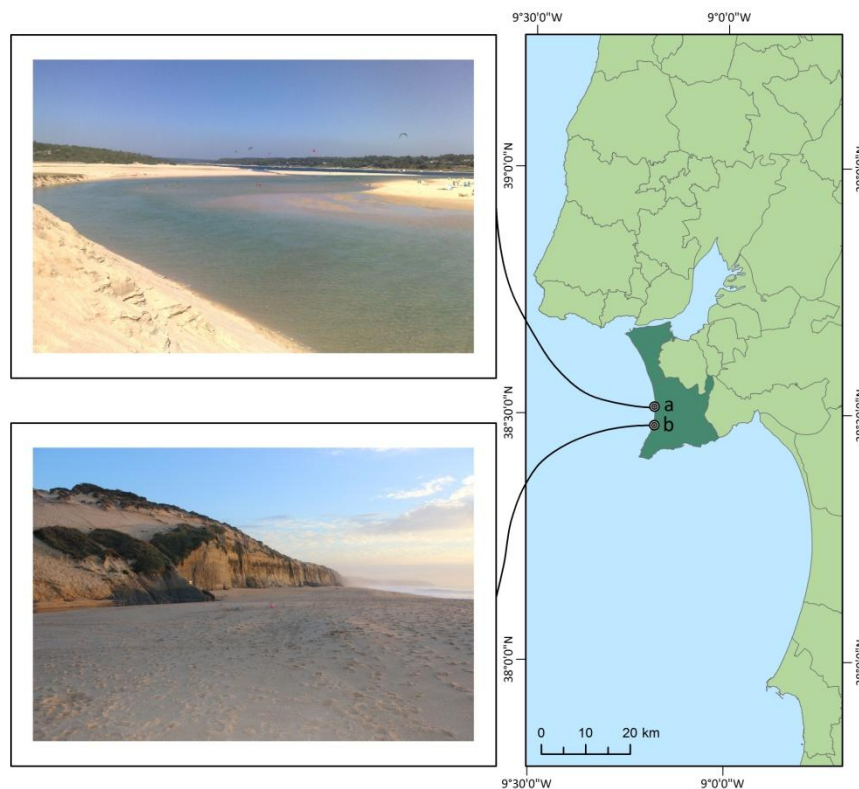


Figura 3.4 - Setores com ausência do indicador do limite da vegetação dunar: (a) Lagoa de Albufeira e (b) praia do Meco à praia das Bicas.

Tendo em conta a escala espacial de análise, a extensão da área estudada (17,90 km) e o elevado número de perfis, não foi viável a análise individual de cada perfil. Como tal, tornou-se imprescindível o agrupamento dos perfis com características similares em setores litorais, de modo a obter tendências evolutivas médias da dinâmica de linha de costa de acordo com cada setor litoral.

Segundo Moore (2000), as principais fontes de erro no estudo da linha de costa são os erros introduzidos pelas fontes de dados e os erros introduzidos pelos métodos de medição.

Tendo em conta a informação disponível e passível de ser aplicada no cálculo das incertezas, selecionaram-se 4 fontes potenciais de erro: (i) Os erros de digitalização, obtidos através da escolha aleatória de um setor da área em estudo, com aproximadamente 50 metros, vetorizando o mesmo limite de vegetação da linha de costa 20 vezes e calculando o respetivo desvio padrão dos erros residuais; (ii) Os erros de resolução associados à dimensão do pixel, através da medição do pixel em cada fonte documental; (iii) Os erros de co registo, através da seleção aleatória de 20 pixéis, de locais facilmente identificados, medindo o resíduo do desalinhamento entre os pixéis de cada ano, ao referencial cartográfico de 2008; (iv) O erro de posição, obtido pela distância dos pontos de controlo no terreno, às coordenadas obtidas pelo levantamento com o dGPS, anteriormente utilizada na análise da fiabilidade das fontes documentais.

Quando se elaboram estudos com base neste tipo de fontes de informação, é imprescindível a determinação da faixa de incerteza inerente às técnicas utilizadas. Seguindo a metodologia descrita por diversos autores (Crowell *et al.*, 1991; Genz *et al.*, 2007; Viridis *et al.*, 2012; Manca *et al.*, 2013; Romine e Fletcher, 2013), foi utilizada a seguinte equação (eq. 4) para a obtenção da incerteza associada à posição de cada indicador de linha de costa:

$$\sigma T = \pm \sqrt{\sigma_{d^2} + \sigma_{p^2} + \sigma_{cor^2} + \sigma_{pct^2}} \quad (\text{eq. 4})$$

em que, σd é o erro de digitalização ou vectorização, σp o erro de resolução, σcor o erro de co registo e σpct o erro de posição.

De acordo com o quadro 3.4, é possível verificar a incerteza associada à delimitação do indicador de linha de costa em cada fonte documental, sendo os resultados obtidos coerentes com os apresentados no quadro 3.3.

Quadro 3.4 - Fontes de incerteza de acordo com os períodos em estudo.

Fonte de incerteza	1967	1980s	1995	2008
σ_d , Erro digitalização	0,96	0,27	0,41	0,36
σ_p , Erro resolução	0,38	0,34	0,97	0,50
σ_{cor} , Erro de co registo	1,12	1,54	4,16	----
σ_{gcp} , Erro de posição	2,94	3,06	5,65	2,23
σ_T , Total de incerteza	3,31	3,45	7,09	2,31

Face às fontes de erros, o indicador de linha de costa referente ao ano de 2008, apresenta o valor mais baixo de incerteza, com um valor de 2,31 metros, seguido de 1967 e década de 1980, apresentando valores similares, respetivamente de 3,31 metros e 3,45 metros. Mais uma vez, os dados relativos a 1995 representam o caso mais preocupante em termos de erros, sendo que neste caso, apresenta uma taxa de incerteza de 7,09 metros.

As incertezas obtidas para o presente estudo encontram-se dentro dos valores apurados segundo outros autores (quadro 3.5), excetuando as fotografias aéreas de 1995. Neste caso, esta fonte de informação apenas foi incluída no estudo quando foi possível incorporar a incerteza a ela associada no processo de análise da dinâmica da linha de costa.

Quadro 3.5 - Síntese das incertezas associadas à utilização de fotografias aéreas, segundo diversos autores em estudos da dinâmica da linha de costa.

Autor	Fotografia aérea		Incerteza (m)
	Escala temporal	Escala espacial	
Virdis et al., 2012	1955	1:34 000	8,60
Virdis et al., 2012	1968	1:23 000	3,70
Virdis et al., 2012	1977	1:10 000	3,90
Virdis et al., 2012	1988	1:33 000	2,80
Virdis et al., 2012	1997	1:32 000	3,60
Ford 2013	1945	1:5 000	2,43
Ford 2013	1976	1:8 000	2,42
Ford 2013	1978	1:20 000	2,96
Manca et al., 2013	1977	-	6,80
Manca et al., 2013	1988	-	5,50
Manca et al., 2013	1997	-	7,20

No respeitante à obtenção das taxas de variação da linha de costa, os resultados encontram-se diretamente dependentes da escolha do método estatístico. Cada método utilizado no cálculo das taxas de variação da linha de costa é baseado em diferentes pressupostos estatísticos associados à variação da posição da linha de costa ao longo do tempo. Neste trabalho, as taxas são expressas em metros por ano de variação ao longo dos perfis, e, deste modo, o DSAS® disponibiliza um conjunto de métodos estatísticos que podem caracterizar a variação posicional da linha de costa, tal como descrito no quadro 3.6.

Quadro 3.6 - Métodos estatísticos para o cálculo das taxas de variação da linha de costa fornecidos pelo DSAS® (negrito), bem como a informação gerada por defeito em cada método estatístico apresentado.

Fonte: Thieler *et al.*, 2009.

SCE	Shoreline Change Envelope
NSM	Net Shoreline Movement
EPR	End Point Rate
	<i>ECI</i> Confidence of End Point Rate
LRR	Linear Regression Rate
	<i>LSE</i> Standard Error of Linear Regression
	<i>LCI</i> Confidence Interval of Linear Regression
	<i>LR2</i> R-squared of Linear Regression
WLR	Weighted Linear Regression Rate
	<i>WSE</i> Standard Error of Weighted Linear Regression
	<i>WCI</i> Confidence Interval of Weighted Linear Regression
	<i>WR2</i> R-squared of Linear Regression
LMS	Least Median of Squares

Shoreline Change Envelope (SCE). O *Shoreline Change Envelope* fornece uma distância e não uma taxa. O *SCE* corresponde à distância entre a linha de costa mais distante e mais próxima da linha de base de cada perfil, descartando os respetivos marcadores temporais e representando apenas a amplitude da dinâmica da linha de costa (Thieler *et al.*, 2009).

Net Shoreline Movement (NSM). Tal como o *SCE*, o *Net Shoreline Movement* indica uma distância e não uma taxa. O *NSM* encontra-se associado às datas de apenas duas linhas de costa. Mede a distância entre a linha de costa mais antiga e mais recente para cada perfil, representando a sua distância total (Thieler *et al.*, 2009).

End Point Rate (EPR). A taxa *EPR* é calculada através da divisão da distância da variação da linha de costa pelo tempo decorrido entre a mais antiga e a mais recente linha de costa. As principais vantagens do *EPR* são a facilidade de cálculo e exigência mínima de apenas duas datas de linha de costa. A principal desvantagem centra-se nos casos em que existem dados de datas intermédias disponíveis, sendo a informação adicional ignorada (Thieler *et al.*, 2009).

Linear Regression Rate (LRR). A taxa *LRR* pode ser determinada pelo ajuste da linha de regressão dos mínimos quadrados para todos os pontos de linha de costa que cruzam um perfil particular. A linha de regressão é colocada de modo a que a soma dos quadrados dos resíduos seja minimizado. A *LRR* é representada pelo declive da linha de ajuste. O método da regressão linear inclui as seguintes características: (i) todos os dados são usados, independentemente das mudanças na tendência ou precisão; (ii) tal como os restantes métodos, é puramente computacional; (iii) o cálculo é baseado em conceitos estatísticos aceites; e (iv) o método é fácil de empregar. Contudo, o método de regressão linear é suscetível a desvios extremos e também tende a subestimar as taxas de variação relativas a

outras estatísticas, tais como o *EPR* (Dolar *et al.*, 1991; Genz *et al.*, 2007 cit. em Thieler *et al.*, 2009)

Weighted Linear Regression (WLR). Na taxa *Weighted Linear Regression*, valoriza-se a informação mais confiável, é-lhe atribuída uma maior importância ou peso, de modo a determinar a linha que melhor se ajusta ao modelo. Para o cálculo estatístico das taxas de variação nas linhas de costa, é atribuído uma maior importância sobre os pontos cuja incerteza seja menor. O peso (w) é definido pela função da variação na incerteza da medição (e) (Genz *et al.*, 2007 cit. em Thieler *et al.*, 2009) (eq. 5):

$$W = 1/(e^2) \quad (\text{eq. 5})$$

em que,

e corresponde valor de incerteza da linha de costa.

Least Median of Squares (LMS). Na taxa *Least Median of Squares*, a linha que melhor se ajusta ao modelo é colocada de modo a minimizar a soma dos resíduos quadráticos. O valor médio dos resíduos quadráticos é utilizado em vez da média para determinar a equação que melhor se ajusta à linha. Este método permite estimar a regressão de forma mais robusta, minimizando a influência de anomalias na equação de regressão. No *DSAS*[®], o processo de ajustamento da linha aos pontos, segue a mesma lógica que o método *LRR*. O *LMS* é determinado por um processo iterativo que calcula todos os valores possíveis de inclinação (a taxa de variação), dentro de uma série limitada de ângulos, seguindo a abordagem descrita em Rousseeuw e Leroy (1987 cit. em Thieler *et al.*, 2009) (Thieler *et al.*, 2009).

Numa fase inicial, procurou-se quantificar a variação da posição de linha de costa ao longo da área em estudo. Como tal, recorreu-se à utilização de dois métodos estatísticos, nomeadamente, o *Net Shoreline Movement (NSM)* e o *Shoreline Change Envelope (SCE)*. Ao contrário dos restantes métodos estatísticos acima referidos, estes reportam-se a uma distância e não a uma taxa, calculando a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, bem como, entre a mais distante e a mais próxima da linha de base, fornecendo assim informações sobre a amplitude espacial da dinâmica do sistema.

De seguida, de acordo com as características inerentes aos métodos estatísticos apresentados e seguindo a mesma linha de pensamento de Manca *et al.* (2013) para a obtenção das taxas de variação de linhas de costa, optou-se pela utilização de três abordagens distintas: (i) o *End Point Rate (EPR)*, (ii) o *Linear Regression Rate (LRR)* e (iii) o *Weighted Linear Regression (WLR)*, de modo a avaliar as diferenças nos resultados obtidos e consequentemente optar pelo método mais adequado.

A análise dos três métodos vai de encontro com a questão já levantada na validação da exatidão posicional. Considerou-se que as incertezas associadas às fontes de informação utilizada (quadro 3.4) que fornece informação acerca da maior janela temporal em estudo (1967 e 2008), estão de acordo com os valores de incerteza apurados segundo outros autores (quadro 3.6). Contudo, os dados temporais intermédios, com destaque das fotografias aéreas de 1995, excedem os valores apurados (quadro 3.5) e daí ser necessário ter em consideração esta situação.

Com tal, o método estatístico *EPR*, ignora a informação resultante dos períodos temporais intermédios, ou seja, as taxas de variação da linha de costa apenas têm em consideração os dados resultantes da demarcação do indicador de linha de costa nas fotografias aéreas de 1967 e nos ortofotomapas de 2008, garantindo desta forma que os restantes dados não ponham em questão a fiabilidade do estudo

O *LRR* constitui um dos métodos mais utilizados para a obtenção das taxas de variação da linha de costa, que ao contrário do *EPR*, utiliza todos os dados, independentemente das mudanças na tendência ou precisão. A aplicação de um método estatístico que relaciona toda a informação relativa aos períodos temporais em análise, permite verificar a forma como os dados intermédios vão influenciar os resultados.

O *WLR*, tal como o *LRR*, utiliza todos os dados, independentemente das mudanças na tendência ou precisão. Porém, ao contrário do *LRR*, este atribui um peso diferente às informações, tendo em conta os valores de incerteza, ou seja, os dados que apresentam um valor mais elevado de incerteza, terão uma influencia menos significativa no cálculo das taxas.

Quadro 3.7 - Síntese dos parâmetros considerados para a aplicação da extensão *DSAS*[®].

Fonte: Adaptado de Pires *et al.*, 2007, p.289.

Método <i>DSAS</i>[®]	
Período (linhas de costa)	- 1967 - Década de 1980 (1982/1984/1985/1986/1989) - 1995 -2008
Indicador de linha de costa	Limite da vegetação dunar (principal) Limite seco-molhado (secundário)
Linha de base	A partir da costa (<i>onshore</i>)
Comprimento da linha de base	20518 m
Distância entre perfis (transectos)	50 m
Comprimento dos perfis (transectos)	600 m
Número de perfis (transectos)	326
Método estatístico	- <i>Net Shoreline Movement (NSM)</i> - <i>Shoreline Change Envelope (SCE)</i> - <i>End Point Rate (EPR)</i> - <i>Linear Regression Rate (LRR)</i> - <i>Weighted Linear Regression (WLR)</i>

3.3. Projeção e determinação das faixas de salvaguarda

Posteriormente à obtenção da variação da posição de linha de costa ao longo de 41 anos, pretende-se projetar a posição da linha de costa de modo a determinar a respetiva faixa de salvaguarda.

A determinação da faixa de salvaguarda é essencial nas questões ligadas ao ordenamento do território, de modo a determinar, em função dos resultados, o tipo de utilização mais adequado a ser aplicado. A sua determinação deve considerar os principais fatores forçadores em litoral baixo e arenoso, dos quais se salientam a subida do nível do mar, as variações no fornecimento sedimentar e as tempestades extremas, induzindo a consequências tais como o recuo da linha de costa e o galgamento e inundações oceânicas. A definição da faixa de salvaguarda será posteriormente definida no capítulo V, comparando com faixas semelhantes previstas na legislação.

A estimativa das faixas de salvaguarda associadas ao recuo e inundações da linha de costa, tem inicialmente em consideração três pressupostos: (i) a tipologia de litoral para qual o método se encontra desenvolvido (ii) os parâmetros utilizados no método e (iii) se estes são passíveis de serem aplicados no âmbito do presente estudo.

A maioria dos métodos preditivos têm apenas em consideração uma tipologia de sistemas litorais, predominando os estudos associados aos litorais rochosos (Brooks e Spencer, 2012; Castedo *et al.*, 2015). Dos métodos matemáticos passíveis de serem aplicados ao litoral arenoso, a maioria dos métodos desenvolvidos não entram em consideração com os diversos elementos de perigosidade costeira, que promovem a variação da linha de costa. Acresce que os escassos métodos que têm em consideração os diversos perigos costeiros são baseados em abordagens qualitativas ou semi-quantitativas (Ferreira *et al.*, 2006).

Destaca-se o método de previsão do posicionamento futuro da linha de costa desenvolvido por Ferreira *et al.*, (2006), para os litorais arenosos, integrando simultaneamente os diversos elementos de perigosidade (erosão e galgamento oceânico) que constituem fatores forçadores (subida do nível do mar, ondas, marés, *storm surge* e *runup*) da faixa costeira. Aliado a este, o presente método tem em consideração diferentes abordagens dependendo da tendência evolutiva da linha de costa (erosão, estabilidade dinâmica e acreção) (Ferreira *et al.*, 2006).

A abordagem adotada neste estudo segue os pressupostos definidos por Ferreira *et al.* (2006). Baseia-se na combinação de taxas de evolução da linha de costa (*SER*) que resultam da resposta da linha de costa à elevação esperada do nível do mar e aos impactos das tempestades. O resultado final traduz-se na delimitação da faixa de salvaguarda, que tentará atender ao princípio de máxima precaução, e como tal, considerar somente os valores

extremos associados aos fatores forçadores passíveis de afetar um determinado troço costeiro (Ferreira *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2013). Os resultados são apresentados em conjuntos de linhas de recuo, cuja posição é definida para um determinado tempo no futuro. No presente caso, considerou-se a determinação da previsão da linha de costa, para 25 e 50 anos, sendo estas as escalas temporais tidas em conta em questões de planeamento, ou seja, "apresenta uma abordagem a longo termo (decenal), adequada para definir ações de gestão costeira" (Ferreira *et al.*, 2006).

Segundo Ferreira *et al.* (2006), e, tal como salientado anteriormente, o método está desenvolvido para a aplicação em costas arenosas, com a praia a apresentar uma morfologia contínua, cujo modelo deve ser aplicado, não só para áreas que evidenciem erosão costeira, como também para áreas que apresentem tendências de estabilidade dinâmica e acreção, características que se ajustam perfeitamente ao âmbito do presente caso de estudo.

O modelo envolve quatro procedimentos principais sequenciados: (i) a quantificação da evolução da linha de costa e a previsão da futura posição da linha de costa, (ii) o ajuste para a aceleração da subida do nível do mar (ASLR), (iii) a avaliação dos impactos associados às tempestades extremas e (iv) a representação cartográfica da faixa de salvaguarda (através da soma das componentes anteriormente mencionadas) (Ferreira *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2013).

Se os principais fatores e processos responsáveis pelas variações recentes da linha de costa, não se alterarem num futuro próximo, a posição futura da linha de costa pode ser estimada, através da multiplicação da taxa evolutiva de linha de costa, pelo número de anos em questão. Para uma área costeira afetada pelo recuo da linha de costa, a previsão da sua posição, para um determinado período temporal futuro (ex. S_{50} - posição da linha de costa para 50 anos) é dada por:

$$S_{50} = S_0 + SER \times 50 \quad (\text{eq. 6})$$

em que, S_{50} (posição da linha de costa para um determinado período temporal - ex. 50 anos) é a distância em direção a terra a partir do S_0 (posição atual da linha de costa) (Ferreira *et al.*, 2006). SER corresponde às taxas de evolução registadas no passado e obtidas no presente trabalhos através da extensão DSAS[®], tal como mencionado anteriormente. Como se pode depreender, em S_{50} apenas se tem em conta as taxas verificadas no passado e assume-se que as mesmas não se alterarão no futuro.

Para as áreas costeiras cujas taxas de variação passadas de linha de costa indicam estabilidade dinâmica ou acreção, a projeção da posição da linha de costa permanecerá igual à

atual posição ($S_0 = S_{50}$), utilizando como abordagem na determinação das faixas de salvaguarda, o pior cenário passível de ocorrer (Ferreira *et al.*, 2006).

A taxa de variação da posição de linha de costa deve, no entanto, abranger a presente tendência de subida do nível do mar, mas também a aceleração esperada de subida do nível do mar. A integração do valor $ASLR$ resulta da aplicação da seguinte equação (eq. 7):

$$SLR_a = SL_{50} - SLR_p \times 50 \quad (\text{eq. 7})$$

em que, SLR_p é a presente taxa de subida do nível do mar e SL_{50} é o aumento do nível do mar esperado para um determinado período temporal (ex. 50 anos) (Ferreira *et al.*, 2006).

A determinação da taxa atual de subida do nível do mar teve como base os valores descritos por Antunes e Taborda (2009) de 0,0021 m/ano, segundo o marégrafo de Cascais, no período entre 1990 e 2008. As projeções de subida do nível do mar, para os respetivos períodos em estudo, foram obtidos através do *IPCC* (2014), adotando uma vez mais o pior cenário. Como tal, utilizou-se para um período temporal de 25 anos o aumento do nível do mar no valor de 0,15 m (0,0060 m/ano) e para um período de 50 anos um valor de 0,31 m (0,0062 m/ano).

A partir da obtenção do SLR_a é possível aplicar a regra de *Bruun* (Bruun, 1962 cit. em Ferreira *et al.*, 2006), de modo a obter o valor de recuo de linha de costa (R_a) adicional ao esperado, caso a presente tendência de aumento do nível do mar continue ao longo do período temporal em análise (eq. 8):

$$R_a = (SLR_a \times L)/(h + D) \quad (\text{eq. 8})$$

L é a distância horizontal entre o limite superior e inferior do perfil de praia, h é a profundidade de fecho do perfil de praia e D é a elevação da duna (Ferreira *et al.*, 2006). Para a determinação dos parâmetros L e h considerou-se os dados disponibilizados por Silva *et al.* (2013), determinando uma distância horizontal do perfil de praia de 630 m e uma profundidade de fecho de 11 m, para a totalidade do arco Caparica-Espichel. A elevação da duna, para o troço costeiro em estudo, foi obtida através do Modelo Digital do Terreno (MDT), realizado a partir de informação altimétrica vetorial à escala de 1:10 000, referente ao ano de 1995, da atual DGT.

Deste modo, para troços costeiros que evidenciem recuo da linha de costa no passado o ajustamento para o recuo da linha de costa prevista (S_{50c}) é dado por (eq. 9):

$$S_{50c} = S_{50} + R_a \quad (\text{eq. 9})$$

No caso da linha de costa apresente uma estabilidade dinâmica ($S_{50} = S_0$), a linha de recuo associada ao ajuste da ASLR será igual à distância em direção à terra obtida em R_a ($S_{50C} = R_a$).

Nas situações em que a linha de costa apresenta tendências acrecionárias a determinação do S_{50C} não é tão simples, sendo necessário optar por um de dois cenários possíveis. No cenário (a), caso o movimento esperado da linha de costa em direção ao mar causado pela acreção for superior ao deslocamento em direção à terra causado pelo ASLR, o S_{50C} irá permanecer igual ao S_0 ($S_{50C} = S_0$). No cenário (b), caso a erosão prevista devido ao ASLR for superior ao movimento esperado da linha de costa em direção ao mar para um determinado período (ex. 50 anos) (S_{550}), o ajuste da linha de recuo será dado por (eq. 10) (Ferreira *et al.*, 2006):

$$S_{50C} = S_0 + R_a - S_{550} \quad (\text{eq. 10})$$

Deste modo, sempre que se observaram tendências de acreção, optou-se pela utilização do cenário (a), com o S_{50C} a permanecer igual ao S_0 ($S_{50C} = S_0$), uma vez que o movimento esperado da linha de costa em direção ao mar causado pela acreção foi sempre superior ao deslocamento em direção à terra causado pelo ASLR.

A ocorrência de eventos extremos (tempestades, furacões, entre outros) é responsável pela ocorrência de mudanças dramáticas na linha de costa, como tal, a consideração destes eventos é essencial na descrição das flutuações da linha de costa a curto prazo (Honeycutt *et al.*, 2001 cit. em Ferreira *et al.*, 2006). A metodologia utilizada neste estudo tem em consideração os impactos a curto prazo associados a uma tempestade extrema, nomeadamente, (i) o recuo instantâneo da linha de costa induzido por temporal e (ii) o galgamento oceânico.

O recuo instantâneo da linha de costa induzido por temporal é calculado a partir do conhecimento do forçamento oceanográfico e das características morfológicas do perfil de praia (Silva *et al.*, 2013). Como tal, a erosão induzida por temporal pode ser estimada através da aplicação de um modelo validado, tal como, o modelo de convolução desenvolvido por Kriebel e Dean (1993 cit. em Ferreira *et al.*, 2006). O modelo de convolução consiste em soluções analíticas simples de modo a prever o tempo de resposta da morfologia do perfil de praia aquando da ocorrência de temporais extremos (Ferreira *et al.*, 2006).

A expressão matemática que relaciona o recuo máximo expectável da linha de costa em consequência de um temporal extremo, é dada pela equação 11 (Dean *et al.*, 2008 cit. em Silva *et al.*, 2013):

$$R_{50} = (SM + 0,0068 H_b) \frac{W_b}{B+d_b} \quad (\text{eq. 11})$$

R_{50} é o recuo máximo expectável da linha de costa (ex. 50 anos), SM é a sobrelevação meteorológica, H_b é a altura da onda na rebentação, d_b é a profundidade na rebentação W_b corresponde à largura do perfil ativo e B é a cota média da região erodida (Silva *et al.*, 2013).

Dada a diversidade de parâmetros necessários de modo a aplicar o modelo de convolução tornou-se necessário o recurso a diversas fontes de informação. A determinação da sobrelevação meteorológica, de acordo com os respetivos períodos temporais em estudo, foram obtidos através do projeto *Climate Change in Portugal. Scenarios, Impacts and Adaptation Measures (SIAMII)* (Andrade *et al.*, 2006), adotando para um período temporal de 25 anos uma sobrelevação de 0,495 m e para um período de 50 anos uma sobrelevação de 0,536 m. A altura de onda máxima na rebentação é adquirida através do ajuste de uma distribuição de *Gumbel* para uma serie de valores máximos anuais de agitação, respeitante ao período entre 1953 e 2008 (Silva *et al.*, 2013). Como tal, utilizou-se para um período temporal de 25 anos a altura na rebentação de 7,4 m e para o período temporal de 50 anos uma altura de 7,9 m. A profundidade na rebentação é calculada a partir da equação 12, relacionando este parâmetro com a altura da onda na rebentação (H_b):

$$d_b = 1,28 H_b \quad (\text{eq. 12})$$

obtendo, para um período temporal de 25 anos uma profundidade na rebentação de 9,47 m e para um período temporal de 50 anos uma profundidade de rebentação 10,11 m. A determinação da largura do perfil ativo no troço costeiro em estudo, resultou inicialmente na medição da largura do perfil de praia, através da carta topo-batimétrica (Carta hidrográfica do Cabo da Roca ao Cabo de Sines - Oceano Atlântico Norte n.º 5, do Instituto Hidrográfico), a partir da profundidade de fecho e ao longo de toda a extensão submersa do perfil. Juntamente, calculou-se a extensão emersa do perfil de praia através do ortofotomapa de 2008 (fonte de informação disponível mais atualizada). Os valores de cota média de região erodida foram obtidos através do MDT.

Assim, o recuo de linha de costa associado a um determinado período de retorno (25 e 50 anos) de um temporal extremo pode ser calculado através do modelo de convolução, ao qual, deve ser adicionado às linhas de recuo do S_{50c} , de modo a obter as linhas de recuo associadas a um temporal extremo (eq. 13):

$$S_{50S} = S_{50c} + R_{50} \quad (\text{eq. 13})$$

"O galgamento e a inundação costeira podem ser definidos como a concretiza o da condi o de submersão por água marinha, episódica ou duradoura (durante um intervalo de

várias horas), de elementos da faixa costeira que habitualmente se encontram a seco" (Silva *et al.*, 2013).

De acordo com o presente estudo e seguindo a abordagem descrita por Ferreira *et al.* (2006), a obtenção da cota máxima alcançada pelo espraio das ondas depende da soma das seguintes componentes verticais: (i) o alcance vertical do espraio - *run-up* (R_{max}) e (ii) o nível do mar (NM), determinado pela maré astronómica (MA), acrescido da sobrelevação meteorológica (Silva *et al.*, 2013).

Considera-se que o galgamento oceânico ocorre quando a cota máxima alcançada pelo espraio das ondas excede a elevação da duna de acordo com a posição da linha de recuo nos períodos temporais em estudo (S_{25s} e S_{50s}). Deste modo, o alcance vertical do espraio associado a uma tempestade com um determinado período de retorno, pode ser determinado através da aplicação da fórmula de Battjes (1971 cit. em Ferreira *et al.*, 2006) (eq. 14):

$$R_{max} = (H_{so} L_o)^{0,5} \tan \beta \quad (\text{eq. 14})$$

$\tan \beta$ é o declive da face da praia, H_{so} é a altura significativa da onda associada a uma tempestade e L_o é o comprimento da onda, dado por (eq. 15):

$$L_o = 1,56 T^2 \quad (\text{eq. 15})$$

em que, T é o período de pico de um temporal.

Os valores de altura significativa e período de onda (a partir do qual se estimou o comprimento da onda), foram retirados da série temporal de dados da reconstituição do regime de agitação marítima para Sines (Silva *et al.*, 2013), descrito no capítulo II, obtendo uma altura significativa máxima de 13,27 m e um período médio de onda associado a situações de temporal de 11,50 s, resultando num comprimento de onda de 206,31 m. Quanto ao declive da face da praia utilizaram-se os dados descritos por Silva *et al.* (2013), com um declive de 0,04° na praia da Rainha e de 0,09° na Fonte da Telha e Lagoa de Albufeira.

O resultado obtido para o alcance vertical máximo do espraio (R_{max}) integrou a componente relacionada com o nível do mar, de modo a obter a cota máxima alcançada pelo espraio das ondas (Ferreira *et al.*, 2006). Porém, no presente estudo, apenas serão apontados os locais suscetíveis à ocorrência de galgamentos oceânicos e não o zonamento das áreas potencialmente inundáveis associado à ocorrência de galgamentos oceânicos, devido ao elevado grau de incertezas associado a este tipo de modelação. A principal fonte destas incertezas está associada à impossibilidade de determinar, no âmbito deste estudo, a energia horizontal com que a coluna máxima de água atinge a cota máxima da duna e, posteriormente,

a energia que é despendida no espraio condicionado pela diversidade morfológica (rugosidade e atrito).

O nível do mar pode ser determinado através da seguinte equação (eq. 16), relacionando a maré astronómica (MA) com a sobrelevação meteorológica (SM) (Silva *et al.*, 2013):

$$NM = MA + SM \quad (\text{eq. 16})$$

A determinação da maré astronómica teve como base os dados disponibilizados pelo Instituto Hidrográfico, no qual, se procedeu ao levantamento dos dados relativos às tabelas de marés, entre o período de 2010 e 2015, segundo o marégrafo de Cascais. A determinação da MA resultou na diferença entre o nível da maré astronómica mais alta ($PMmax$) de 3,97 m (registado em 2010) e o nível médio (N_M) de 2,08 m, dado pela expressão (eq. 17):

$$MA = PMmax + N_M \quad (\text{eq. 17})$$

A sobrelevação meteorológica teve como base os valores descritos no projeto *SIAMII* (Andrade *et al.*, 2006), adotando de acordo com o marégrafo de Cascais uma sobrelevação de 0,46 m.

A determinação da cota máxima de espraio resulta do somatório entre o alcance vertical do espraio e o nível do mar, dado pela expressão (eq. 18):

$$CME = NM + R_{max} \quad (\text{eq. 18})$$

permitindo a identificação das áreas suscetíveis à ocorrência de galgamentos oceânico, através da comparação da cota máxima de espraio com a elevação da duna ao longo das linhas de recuo do S_{25} e S_{50} (Ferreira *et al.*, 2006). Em termos de comparação dos resultados obtidos, para os respetivos períodos temporais de 25 e 50 anos, com a elevação da duna, é tida em consideração no âmbito do presente estudo a morfologia atual da duna, obtida, uma vez mais, através do MDT.

O zonamento das previsões de recuo permitiu identificar um obstáculo à sua demarcação. Apesar da área em estudo ser dominada por uma extensão de praia, é notável a presença da arriba que acompanha em quase toda a extensão a área em estudo. Esta, em alguns casos, funciona como uma condicionante à demarcação das linhas de recuo, com especial destaque a sul da Fonte da Telha, cuja largura da planície litoral diminui substancialmente, aproximando a arriba do mar. Em alguns casos, a atual posição do indicador de linha de costa coincide com a base da arriba, constituindo um entrave à demarcação em direção à terra das linhas de recuo.

Aquando situações cujo recuo das linhas excede o limite interno da planície litoral, optou-se pela demarcação das linhas de recuo no respetivo limite interior da planície litoral, utilizando a base da arriba para tal.

A abordagem adotada para aplicação ao presente caso de estudo, apresenta-se como sendo uma abordagem robusta, no qual, são incluídos os diversos elementos forçadores da faixa costeira. De acordo com a avaliação do método implícita no próprio estudo (Ferreira *et al.*, 2006) este baseia-se essencialmente em modelos já debatidos pela comunidade científica e como tal, são tidas em consideração as vantagens e limitações associadas a cada modelo, adotando os mais adequados para este tipo de abordagem. De acordo com os estudos mais recentes desenvolvidos no âmbito da determinação da faixa de salvaguarda em sistemas arenosos, tem-se optado pela aplicação deste tipo de abordagem, tal como é exposto em Pinto *et al.* (2013) e Silva *et al.* (2013).

Após a aplicação do método acima descrito procurou-se determinar se os resultados da aplicação do método apresentado correspondem a uma representação do sistema real. Deste modo, com base na informação disponível, a validação do modelo resulta da correlação existente entre a tendência evolutiva do indicador de linha de costa observada ao longo dos 41 anos em estudo (1967-2008) com a projeção prevista a 50 anos da posição da linha de costa (sendo a projeção da posição de linha de costa segundo a escala temporal mais distante).

O presente método considera, não só, a projeção da posição da linha de costa para um determinado período temporal, como também, tem em consideração a determinação de uma faixa de salvaguarda face à potencial extensão dos perigos costeiros. Por outro lado, o método entra em consideração com o pior cenário possível (não sendo necessariamente o ocorrido), e como tal, a presente abordagem contraria, em situações de acreção, a atual tendência evolutiva do indicador de linha de costa.

Face ao exposto, a validação do método exclui da projeção prevista a 50 anos, os valores associados aos elementos forçadores que atuam a curto prazo (o recuo instantâneo da linha de costa induzido por temporal e o galgamento oceânico), sendo que estes são utilizados na determinação de áreas potencialmente afetadas aquando a ocorrência de perigos costeiros de curto prazo, não se traduzindo necessariamente na futura posição da linha de costa. Como tal, é somente tida em consideração os elementos forçadores da faixa costeira a longo prazo, nomeadamente, as taxas evolutivas da linha de costa e o respetivo ajuste face à aceleração da subida do nível do mar (S_{50c}).

Aliado a este, são ainda excluídos da validação do método, todos os perfis que apresentem uma tendência evolutiva de acreção observada ao longo dos 41 anos em estudo. Esta decorre da abordagem apenas entrar em consideração com valores de recuo associado ao pior cenário

possível de ocorrer, permitindo através da exclusão dos perfis associados a tendências acumulativas, efetuar uma comparação entre os resultados obtidos e os previstos.

Face ao exposto determinou-se (i) o coeficiente de correlação linear (coeficiente de correlação de *Pearson*) que consiste na medição do grau de associação entre duas ou mais variáveis e (ii) o coeficiente de determinação que consiste na determinação do rigor de ajustamento da reta de regressão obtida pelo método dos mínimos quadrados, calculando em que medida a regressão explica a variação dos valores observados da variável dependente.

De acordo as variáveis adotadas determinou-se um coeficiente de correlação (r) de 0,8177 (correlação forte positiva) representativo de um elevado grau de associação entre as duas variáveis. Quanto ao coeficiente de determinação (r^2), estabeleceu-se com base na reta de regressão, um $r^2 = 0,6689$ (fig. 3.5), admitindo que 66,89% da variação da variável dependente (projeção da posição da linha de costa) se explica mediante a variação dos valores da variável independente (tendência evolutiva da linha de costa), ou seja, a variável independente explica aproximadamente 70% da variação da variável dependente.

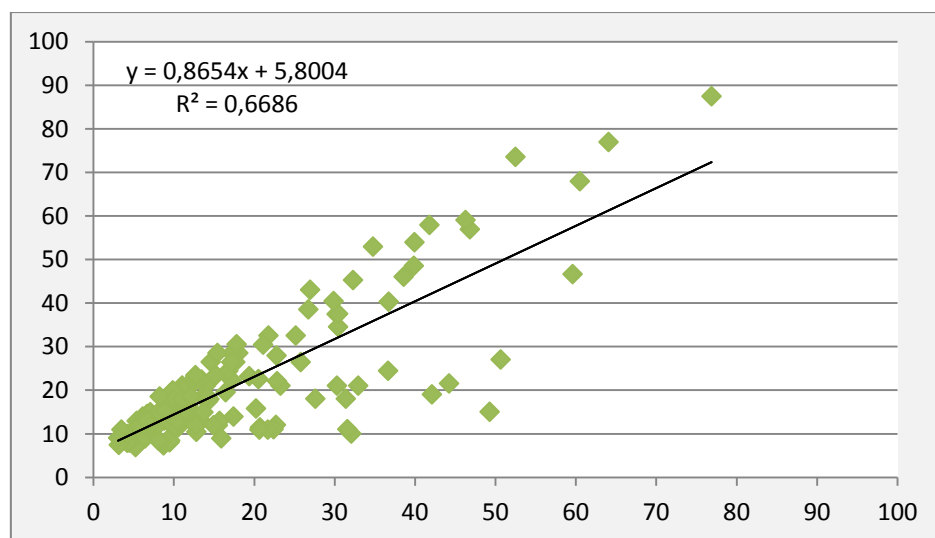


Figura 3.5 - Coeficiente de determinação e a respetiva reta de regressão linear associada à variável independente x (tendência evolutiva da linha de costa) com a variável dependente y (projeção da posição da linha de costa).

3.4. Determinação dos elementos expostos face à projeção das faixas de salvaguarda

Determinadas as faixas de salvaguarda associadas aos fatores forçadores da faixa costeira, para as respetivas escalas temporais de 25 e 50 anos, pretende-se identificar, dentro das faixas de salvaguarda, o tipo de ocupação do solo e os respetivos elementos expostos.

Com base nas faixas de salvaguarda determinadas, para as respetivas escalas temporais de 25 e 50 anos, optou-se pela determinação da ocupação do solo e dos elementos expostos de acordo com a faixa de salvaguarda projetada a 50 anos. A exclusão da faixa de salvaguarda para 25 anos, em prol da faixa para 50 anos, segue a abordagem adotada do pior cenário

passível de ocorrer, e como tal, abrange uma maior extensão de área, abrangendo a faixa de salvaguarda estipulada para 25 anos.

De forma a determinar o tipo de ocupação e os elementos expostos face ao recuo da linha de costa, recorreu-se à utilização de duas fontes de informação disponíveis. É de salientar, que para o presente estudo, ter-se-á em consideração as fontes de informação mais recentes disponíveis, quantificando o tipo de ocupação do solo e os elementos expostos afetados, caso não sofram alterações nos próximos 50 anos.

De modo a determinar as classes de uso do solo afetados, recorreu-se à utilização da Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) da Direção Geral do Território, referente ao ano de 2007, sendo esta a mais recente série cartográfica disponibilizada neste âmbito.

Tal como referido no capítulo anterior, "a COS2007 foi produzida com base na interpretação visual de imagens aéreas ortorrectificadas, com a ajuda de informação auxiliar diversa. Possui uma exatidão posicional melhor ou igual a 5,5 m e uma exatidão temática global de 85,13% com um erro de 2,00% para um nível de confiança de 95%. As fotografias utilizadas para a obtenção desta série cartográfica foram tiradas entre julho e outubro de 2007 (DGT, 2013)."

A nomenclatura apresentada é hierárquica, pois segue diferentes níveis de informação, começando num nível de classes que descreve características mais gerais, passando para níveis mais detalhados em que as primeiras classes se subdividem (Caetano *et. al.*, 2008 cit. em Marcelino, 2011). Deste modo, distinguem-se 5 níveis de informação, sendo que para o tipo de análise que se pretende realizar, aliado à escala espacial em estudo, optou-se pela utilização do nível 2 (quadro 3.8).

Quadro 3.8 - Nomenclatura da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007 (COS2007), segundo o nível 2.Fonte: Adaptado de Pires *et al.*, 2007, p.289.

Nível 1 COS - Descrição	Nível 2 COS - Descrição
1 Territórios artificializados	1.1 Tecido urbano
	1.2 Indústria, comércio e transportes
	1.3 Áreas de extração de inertes, áreas de deposição de resíduos e estaleiros de construção
	1.4 Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas
2 Áreas agrícolas e agroflorestais	2.1 Culturas temporárias
	2.2 Culturas permanentes
	2.3 Pastagens permanentes
	2.4 Áreas agrícolas heterogéneas
3 Florestas e meios naturais e seminaturais	3.1 Florestas
	3.2 Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea
	3.3 Zonas descobertas e com pouca vegetação
4 Zonas húmidas	4.1 Zonas húmidas interiores
	4.2 Zonas húmidas litorais
5 Corpos de água	5.1 Águas interiores
	5.2 Águas marinhas e costeiras

De modo a determinar os elementos expostos face aos perigos costeiros, na área abrangida pela faixa de salvaguarda a 50 anos, recorreu-se à utilização da Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) do Instituto Nacional de Estatística. Utilizaram-se os dados respetivos a 2011, sendo a fonte de informação mais recente disponibilizada neste sentido.

A Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI) consiste num sistema de referenciação geográfica suportado em informação cartográfica ou ortofotocartográfica, em formato digital, para todo o território nacional. Permite a divisão de cada unidade administrativa de base, a freguesia, em pequenas áreas estatísticas - secções e subsecções estatísticas. É composto por dados estatísticos dos censos de Portugal, nomeadamente, ao nível do XV Recenseamento Geral da População e o V Recenseamento Geral da Habitação, obtidos através dos censos realizados em 2011.

Tal como observado na COS, a nomenclatura da BGRI é hierárquica, seguindo diferentes níveis de informação, começando num nível de classes que descreve características mais gerais, passando para níveis mais detalhados (Caetano *et. al.*, 2008 cit. em Marcelino, 2011). Distinguem-se 8 níveis de informação, sendo que para o tipo de análise que se pretende realizar, optou-se pela utilização do nível 8, de modo a obter o maior nível de detalhe, uma vez que as variáveis disponíveis, de acordo com a escala espacial em estudo, assim o exige.

Na determinação dos elementos expostos face aos perigos costeiros, considerou-se: (i) o número de indivíduos residentes, (ii) a tipologia residencial dos edifícios e (iii) a tipologia de construção dos edifícios (fig. 3.6).

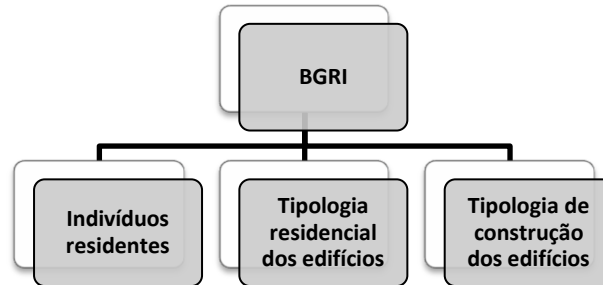


Figura 3.6 - Tipologia de elementos expostos face aos perigos costeiros considerados segundo a BGRI.

O número de indivíduos é dado pela variável dos indivíduos residentes e distinguido segundo faixas etárias. A faixa etária encontra-se definida em 3 classes, estipulando a classe dos 0 aos 19 anos (crianças e jovens), dos 20 aos 64 anos (população ativa) e superior aos 64 anos (população envelhecida) (fig. 3.7).

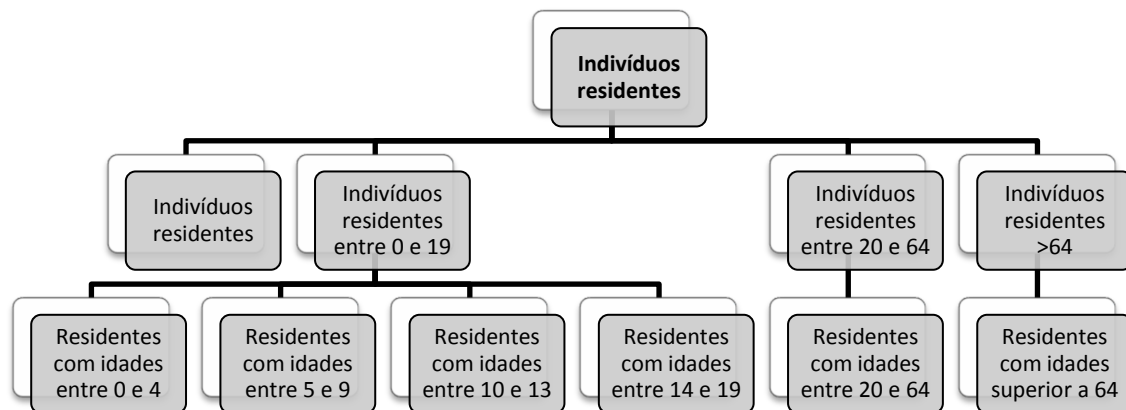


Figura 3.7 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia dos indivíduos residentes.

Na tipologia residencial dos edifícios distinguem-se os edifícios quanto ao facto de estes serem ou não residenciais, atribuindo aos edifícios residencial uma maior exposição aos perigos costeiros face aos edifícios não residenciais (fig. 3.8).



Figura 3.8 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia residencial dos edifícios.

Quanto à tipologia de construção dos edifícios é possível distinguir duas formas de análises, nomeadamente, ao nível (i) da exposição do edifício face ao perigo de erosão costeira e (ii) da exposição dos indivíduos em edifícios face ao perigo de inundação.

A exposição do edifício face ao perigo de erosão costeira é determinado através do material de construção, podendo resultar numa maior ou menor resistência face ao perigo de erosão costeira (fig. 3.9).

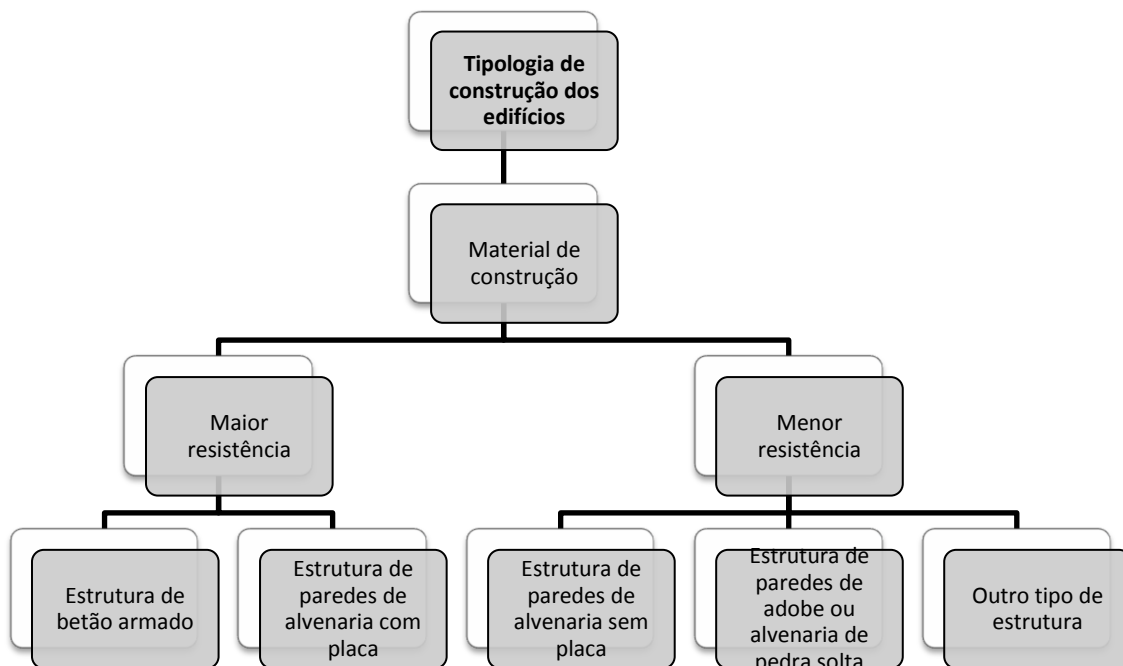


Figura 3.9 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia de construção dos edifícios, associado ao perigo de erosão costeira.

Quanto à exposição dos indivíduos em edifício face ao perigo de inundação é determinado através do número de pisos, estando os indivíduos mais expostos ao perigo de inundação em edifícios com um menor número de pisos (fig. 3.10).

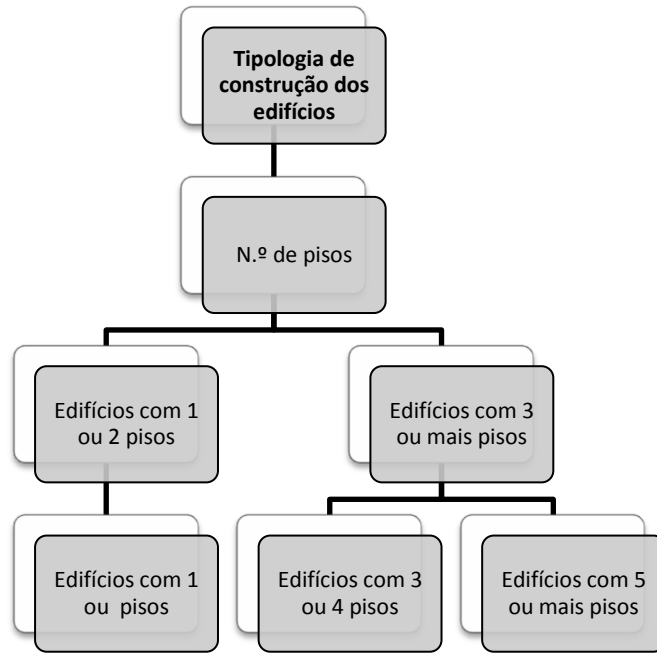


Figura 3.10 - Variáveis da BGRI consideradas na determinação da tipologia de construção dos edifícios, associado ao perigo de inundação costeira.

Capítulo 4. Dinâmica decenal da linha de costa

4.1 Caracterização morfométrica dos sistemas litorais do arco Caparica - Espichel

De modo a caracterizar a morfometria dos sistemas litorais em presença, e tendo em consideração a informação disponível, recorreu-se à utilização de quatro parâmetros que melhor permitem caracterizar a morfometria existente, nomeadamente: (i) a orientação da linha de costa, (ii) a altura das dunas frontais, (iii) a área do sistema praia, e, por fim, (iv) a largura do sistema praia.

A orientação da linha de costa varia de forma gradual entre os $241,24^\circ$ no extremo norte e os $283,97^\circ$ no extremo sul (fig. 4.1), expondo uma direção que pode variar entre WSW na Nova Praia e W no Moinho de Baixo (quadro 4.1).

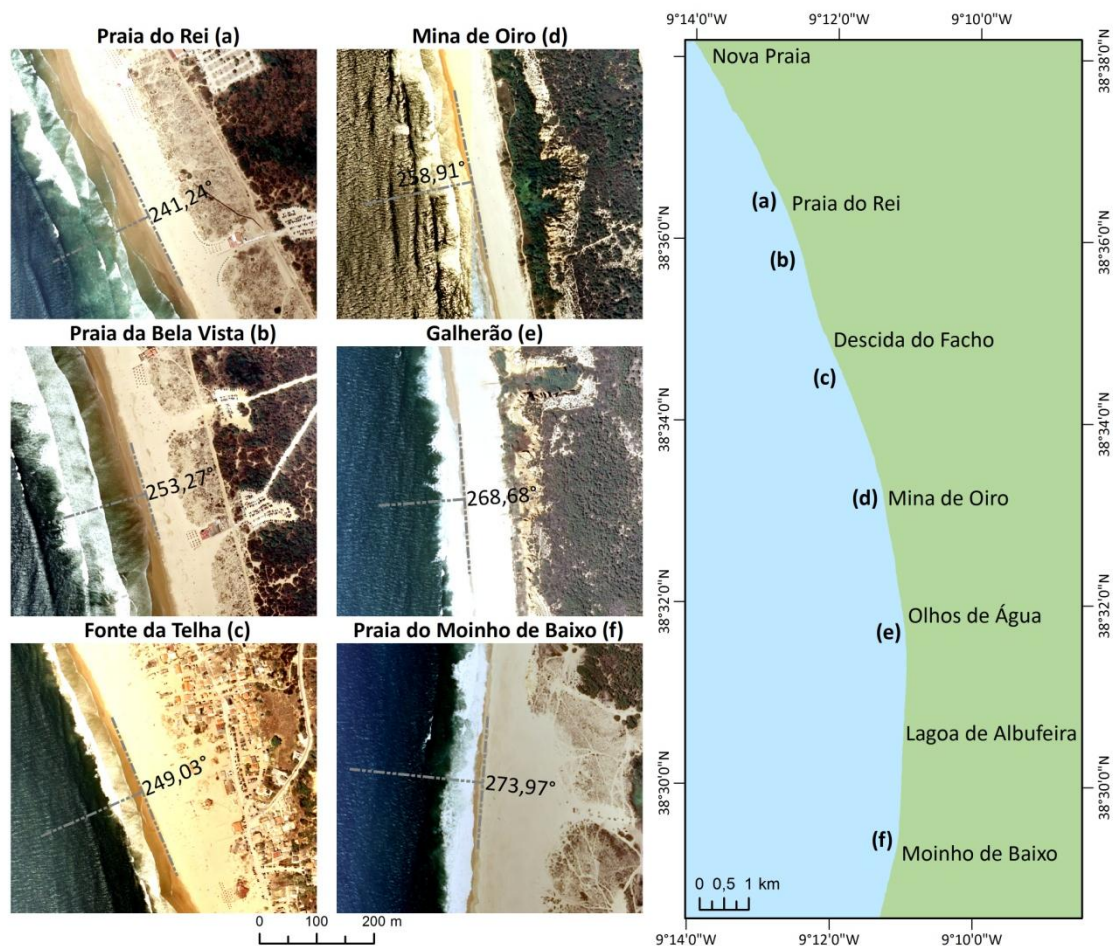


Figura 4.1 - Orientação predominante da linha de costa na área em estudo.

Quadro 4.1 - Orientação predominante da linha de costa na área em estudo.
Nota: Troço costeiro representado na figura 4.1.

Troço costeiro	Orientação (°N)	Orientação
Nova Praia - Praia do Rei	241,24	WSW
Praia do Rei - Descida do Facho	253,27	WSW
Descida do Facho - Mina de Ouro	249,03	WSW
Mina de Ouro - Olhos de Água	258,91	W
Olhos de Água - Lagoa de Albufeira	268,68	W
Lagoa de Albufeira - Moinho de Baixo	273,97	W

A altura das dunas frontais foi obtida com base no modelo digital de terreno (MDT) elaborado a partir da informação altimétrica vetorial à escala de 1:10 000 da Direção Geral do Terreno (DGT), referente ao ano de 1995. Definido o MDT, registou-se a altura da duna frontal de acordo com os perfis previamente traçados, com o recurso à aplicação *DSAS*[®], ao longo de toda a área em estudo.

Deste modo, determinou-se uma altura máxima da duna frontal de aproximadamente 14 m registada imediatamente a sul da Lagoa de Albufeira, contrastando com uma altura mínima de 4,18 m observada a sul da praia da Bela Vista (fig. 4.2). A altura da duna frontal predominante na área em estudo varia entre a classe dos 7 e 8 m, representando 53,07 % das observações registadas (fig. 4.2).

A determinação da área correspondente ao sistema praia foi calculada em função da área existente entre o limite da vegetação dunar e o limite seco-molhado (quadro 4.2). Em 2008 o sistema praia apresentava uma área de 1237456,70 m². Verifica-se ainda que em 1995 e na década de 1980 a área ocupada pelo sistema praia não sofreu alterações significativas, apresentando os respetivos valores de 1220298,14 m² e 1233401,94 m². Já em 1967, a área de praia é superior aos registados posteriormente (1551368,16 m²). Deste modo, verifica-se uma diminuição da área correspondente ao sistema praia entre a janela temporal de 1967 e 2008, tendo as maiores modificações ocorrido entre 1967 e a década de 1980 (quadro 4.2). A diminuição da área correspondente ao sistema praia teve maior incidência junto à área limítrofe norte, com destaque do troço costeiro entre a praia da Mata e a praia do Infante, mas também na Fonte da Telha, embora menos significativo (fig. 4.2).

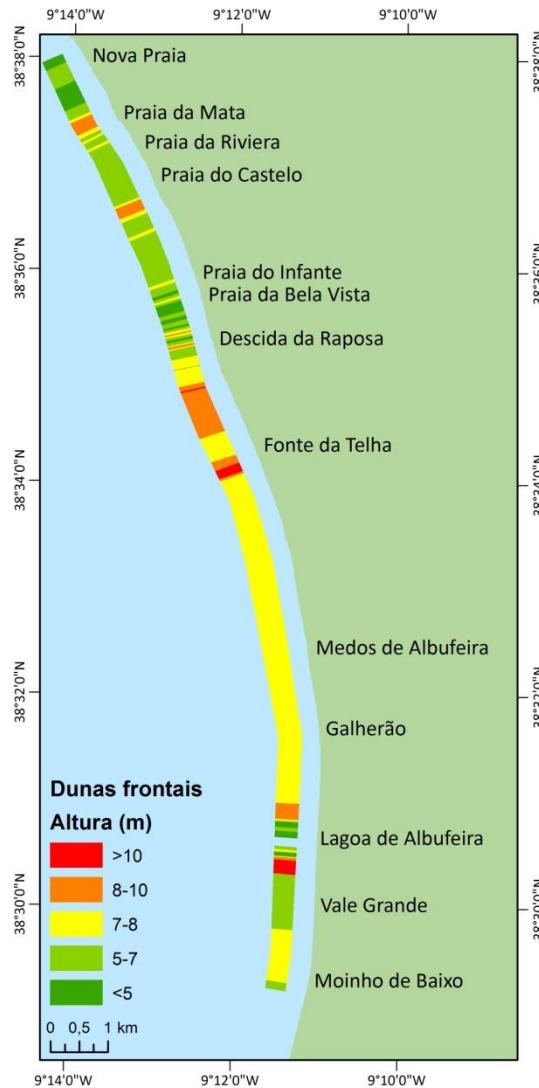


Figura 4.2 - Distribuição da altura das dunas frontais na área em estudo.

Uma hipótese para a diminuição substancial da área de praia ocorrida entre 1967 e a década de 1980 pode estar relacionada com a subida do nível do mar, no qual originaria um recuo da linha de costa. Porém, segundo Antunes e Taborda (2009), de acordo com o marégrafo de Cascais identifica, para o período entre 1966 e 1977, uma diminuição do nível do mar de 3,0 mm/ano (quadro 2.1), apresentando uma tendência inversa ao que seria expectável e excluindo a presente hipótese. Uma outra hipótese que justifica a diminuição substancial da área de praia pode estar relacionada com a implementação, em 1972, da estrutura pesada de defesa costeira na frente urbana da Costa da Caparica. Esta justifica a sobreposição dos efeitos da estrutura aderente face à tendência de diminuição do nível do mar no referido período (1966-1977) e explica a diminuição substancial da área de praia localizada imediatamente a sul da estrutura aderente.

Quadro 4.2 - Tendência e variação total da dimensão da área associada ao indicador do limite da vegetação dunar com a linha de base e a respetiva variação temporal.

Nota: No parâmetro balanço, os valores positivos referem-se a acreção e os negativos a recuo.

Sistema praia				
Escala temporal	1967→1980	1980→1995	1995→2008	1967→2008
Tendência (m²)	-317966,22	-13103,80	17158,56	-313911,47
Variação total (m²)	317966,22	13103,80	17158,56	348228,58
Variação total (%)	91,31	3,76	4,93	100,00

A largura da praia foi calculada com base da distância média entre o limite da vegetação dunar e o limite seco-molhado (quadro 4.3), tendo-se recorrido à utilização de perfis previamente traçados sobre os indicadores de linha de costa. De acordo com a informação cartográfica de 2008, o sistema praia apresenta uma largura média de 71,36 m, variando entre os 160,82 m e os 38,50 m. Uma vez mais, demonstrou-se pertinente a comparação dos valores obtidos com os restantes anos. Em comparação com 1995, verificou-se uma diminuição da largura média, estabelecida em 69,72 m, mas apresentando uma maior amplitude em termos de variação com a máxima a atingir 197,79 m e a mínima nos 35,45 m. A década de 1980 apresenta valores bastante similares aos anteriores, com uma largura média estabelecida nos 71,08 m e uma variação a oscilar entre 166,34 m e 28,22 m. Por fim, o ano de 1967 apresenta os valores mais elevados em termos de largura, cuja média encontra-se estabelecida nos 86,84 m, oscilando entre os 240,26 m e os 39,28 m.

Quadro 4.3 - Largura do sistema praia obtido através da distância média do limite da vegetação dunar e do limite seco-molhado.

Sistema praia				
Escala temporal	1967	1980	1995	2008
Média (m)	86,84	71,08	69,72	71,36
Máximo (m)	240,26	166,34	197,79	160,82
Mínimo (m)	39,28	28,22	35,45	38,50

Tal como foi observado no caso da área ocupada pela praia na área de estudo, é também entre 1967 e a década de 1980 que se registam as maiores perdas na largura deste sistema costeiro, assumindo-se as mesmas ordens de fatores como responsáveis por estes resultados.

4.2. Dinâmica da linha de costa

A determinação dos valores inerentes à dinâmica média do sistema arenoso, numa fase inicial, considerou para o efeito a totalidade da área a partir do indicador de linha de costa.

Tal como debatido no capítulo III, tendo em conta os pressupostos apresentados para a escolha do indicador de linha de costa, bem como das vantagens e limitações apresentadas

pelos mais diversos indicadores, optou-se pela adoção do indicador de limite da vegetação dunar, como sendo o indicador que melhor se adequa às características do presente estudo. Contudo, não se descorou a utilização de um indicador secundário, de modo a ir de encontro com a necessidade de em casos específicos comparar-se resultados. A escolha recaiu sobre o indicador do limite seco-molhado, cuja a sua aplicação permite uma melhor interpretação da dinâmica da linha de costa, integrando a componente da largura da praia emersa.

O quadros 4.4 sintetizam a variação total e a tendência evolutiva da área em estudo segundo o indicador de linha de costa (limite da vegetação dunar).

Quadro 4.4 - Tendência evolutiva e variação total da dimensão da área associada ao indicador do limite da vegetação dunar com a linha de base e a respetiva variação temporal.

Nota: No parâmetro balanço, os valores positivos referem-se a acreção e os negativos a recuo.

Escala temporal	Limite da vegetação dunar			
	1967→1980	1980→1995	1995→2008	1967→2008
Tendência evolutiva (m²)	95336,49	24658,45	40735,07	160730,01
Variação total (m²)	95336,49	24658,45	40735,07	160730,01
Variação total (%)	59,31	15,34	25,34	100,00

As assimetrias existentes na dinâmica da linha de costa entre os respetivos indicadores remetem para uma análise espacialmente mais pormenorizada. De modo a fornecer uma visão mais detalhada sobre a dinâmica da linha de costa, calculou-se a distância entre a linha de costa mais distante e a mais próxima da linha de base (*SCE*, quadro 3.7), bem como, entre a mais antiga e a mais recente (*NSM*, quadro 3.7), recorrendo à utilização dos perfis previamente traçados sobre os indicadores de linha de costa com auxílio do programa *DSAS*[®], tal como referido no capítulo III.

Nas figuras 4.3 e 4.4 é evidenciada a distribuição espacial da dinâmica da linha de costa segundo o método estatístico *SCE* e o *NSM* para ambos indicadores de linha de costa. Os resultados obtidos segundo o método estatístico *NSM* encontram-se de acordo com a questão levantada anteriormente quanto aos locais onde ocorreram as maiores perdas de área de praia (quadro 4.2). É evidente em ambas as figuras (fig. 4.3 e 4.4) o recuo acentuado de ambos indicadores de linha de costa destacando o setor norte da área em estudo, sendo esta a que mais contribuiu para a diminuição da área de praia no período em análise.

A posição da linha de costa segundo o indicador do limite de vegetação dunar (fig. 4.3), não comporta tendências constantes ao longo do troço costeiro. No geral, esta apresenta uma variação média da linha de costa (valores obtidos através do *SCE*), com valores na ordem dos 22,88 m. Contudo, evidenciam-se elevadas amplitudes de variação da linha de costa. As áreas mais estáveis (com os valores mais baixos de *SCE*), encontram-se na área central, entre o sul da

Fonte da Telha e o Galherão (norte da Lagoa de Albufeira). Em oposição, as maiores variações ocorrem junto das áreas limítrofes, nomeadamente, nos setores norte e sul do arco Caparica-Espichel, atingindo o valor máximo de 143,84 m a norte da Lagoa de Albufeira.

Em termos de tendência evolutiva de linha de costa (valores obtidos através do *NSM*), no geral, este apresenta uma tendência global para acreção (tal como verificado anteriormente no quadro 4.4), com 55,52% da linha de costa a apresentar tendências de acreção. Contudo, esta não é uma tendência constante, uma vez que se verificam setores com tendência de recuo (44,48% dos casos analisados). O recuo encontra-se bem explícito nas áreas limítrofes (fig. 4.3), bem como, a norte da Lagoa de Albufeira, mais precisamente no Galherão e na Fonte da Telha.

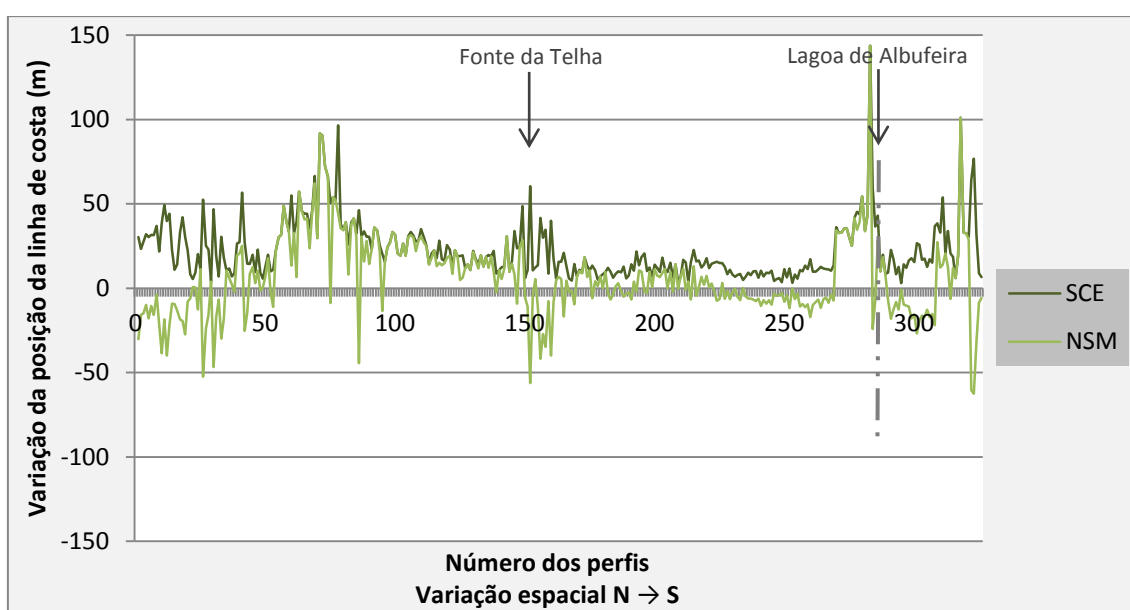


Figura 4.3 - Variação da posição de linha de costa segundo o indicador do limite da vegetação dunar, obtido através do método estatístico *NSM* e *SCE* para cada perfil.

Nota: No *NSM* valores positivos indicam acreção e negativos indicam recuo da linha de costa.

Segundo o indicador do limite seco-molhado (fig. 4.4), a posição da linha de costa apresenta uma variação média (valores obtidos através do *SCE*) com valores na ordem dos 27,91 m, uma variação média do indicador de linha de costa consideravelmente mais elevada, quando comparado entre ambos os indicadores em estudo. Contudo, continuam-se a evidenciar amplitudes de variação da linha de costa. As áreas mais estáveis (com os valores mais baixos de *SCE*), encontram-se na área central, entre o sul da Fonte da Telha e a norte da Lagoa de Albufeira, com valores mínimos de variação de 2,93 m. Em oposição a esta, as maiores variações ocorrem junto das áreas limítrofes, nomeadamente, a norte da Fonte da Telha e a sul da Lagoa de Albufeira, no qual as elevadas intensificações na variação na linha de costa chegam a atingir o valor máximo de 70,83 m. O valor representativo da maior mudança

na linha de costa é referente ao norte da área de estudo, junto ao parque de campismo, entre a praia da Saúde e a praia da Mata, correspondendo a uma das áreas mais exposta a pressão antrópica. Deste modo, a variação, segundo o indicador do limite da vegetação dunar, atinge, para a área em estudo, uma amplitude de 67,90 m.

Em termos de tendência evolutiva de linha de costa (valores obtidos através do *NSM*), no geral, este apresenta uma tendência global para recuo (tal como verificado anteriormente no quadro 4.5), com 71,61% da linha de costa a apresentar tendências de recuo. Contudo, esta não é uma tendência constante, apresentando inversões ao longo da linha de costa, registando 28,39% da linha de costa com tendências de acreção. A acreção encontra-se bem explícita entre a praia do Rei e a sul da Fonte da Telha. A dimensão da tendência de acreção encontra-se bem espelhada na área em estudo. Contudo, é considerada pouco significativa, cujas áreas que evidenciam tendências de acreção, apresentam valores médios na ordem dos 13,51 m. Ao contrário desta, as tendências de recuo compõem uma média de recuo de -16,97 m, valor superior ao auferido nas tendências de acreção, demonstrando o peso das tendências de recuo segundo o indicador do limite seco-molhado para o troço costeiro em estudo.

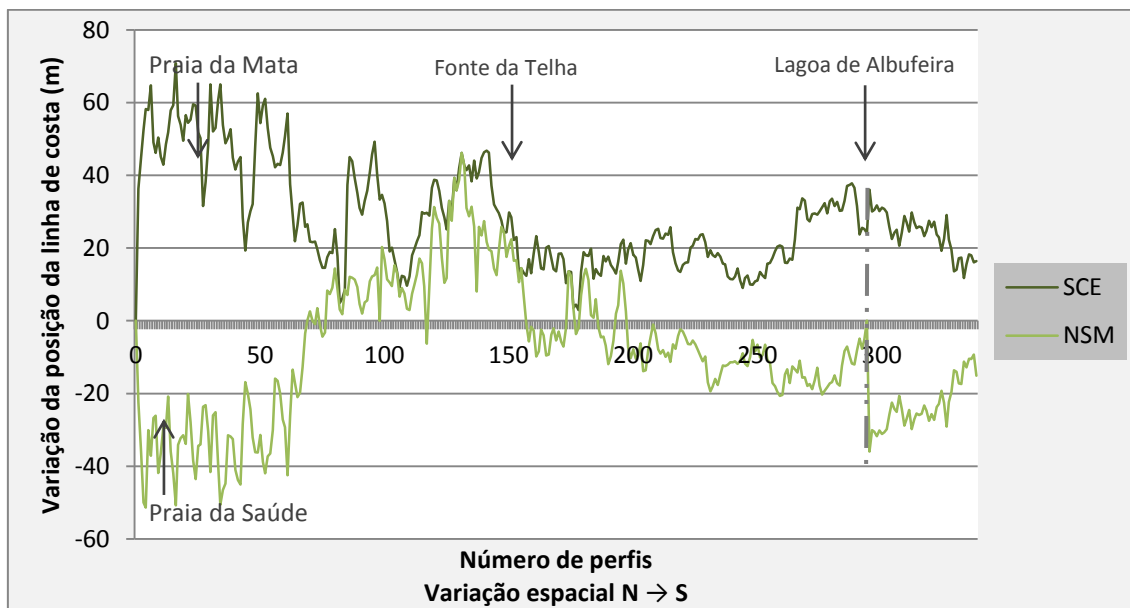


Figura 4.4 - Variação da posição da linha de costa segundo o indicador do limite seco-molhado, obtido através do método estatístico *NSM* e *SCE* para cada perfil.

Nota: No *NSM* valores positivos indicam acreção e negativos indicam recuo da linha de costa.

A figura 4.3 evidencia através do método *NSM* a dinâmica inerente ao limite da vegetação dunar, no qual se observam os efeitos pontuais negativos da pressão antrópica sobre este litoral, nomeadamente, o setor norte desde a Costa da Caparica até à praia da Rainha, a Fonte da Telha e a Lagoa de Albufeira, sendo estes os pontos dentro da área em estudo onde se registam a maior pressão antrópica (urbanística e balnear).

A figura 4.4 através do método *NSM* demonstra de forma muito clara o efeito da construção dos esporões sobre o sistema arenoso, particularmente sobre a praia, registando uma mudança brusca na tendência evolutiva do limite seco-molhado imediatamente a sul do campo de esporões (limite norte da área em estudo) e que se prolonga por cerca de 3 km para sul (praia da Rainha).

De acordo com o método *NSM* (fig. 4.3 e 4.4) a tendência evolutiva da linha de costa inverte na Fonte da Telha, alternando de uma tendência de acreção a norte da Fonte da Telha para uma tendência de recuo imediatamente a sul, registando um aumento gradual do recuo à medida que avança para sul. Esta evidencia a limitação da arriba fóssil à progressão do sistema para o interior e a sua adaptação face à subida do NMM, demonstrando que à medida que a planície litoral estreite-se (fig. 2.1 e 2.5) regista-se um aumento do recuo da linha de costa.

Quanto à estabilidade do sistema dado pelo método *SCE* (fig. 4.3 e 4.4), a maior estabilidade do sistema encontra-se altamente condicionada pela sua largura, ou seja, quanto menor a largura menor é a capacidade de variação da linha de costa. Quanto à maior instabilidade registada pelo *SCE* e no qual se destaca o indicador do limite seco-molhado (fig. 4.4), observa-se a norte da Fonte da Telha os valores mais elevados de instabilidade, determinada não só pela largura superior do sistema mas também pela ação antrópica.

4.2.1 Classificação de pormenor do balanço erosão/acumulação

Pormenorizando a análise tentou-se compreender os resultados obtidos no ponto anterior considerando, tal como afirmado no capítulo anterior, o indicador do limite da vegetação dunar como sendo o indicador mais consistente e adequado a ser aplicado no presente caso em estudo, aplicando somente em casos específicos o indicador secundário referente ao limite seco-molhado.

Tendo em conta a escala espacial de análise associada ao elevado número de perfis traçados, não é viável para o presente estudo, a análise individual de cada perfil. Como tal, tornou-se necessário o agrupamento em 9 setores de perfis de características similares, de forma a obter a posição e as taxas médias da dinâmica de linha de costa associada ao limite da vegetação dunar (fig. 4.5).

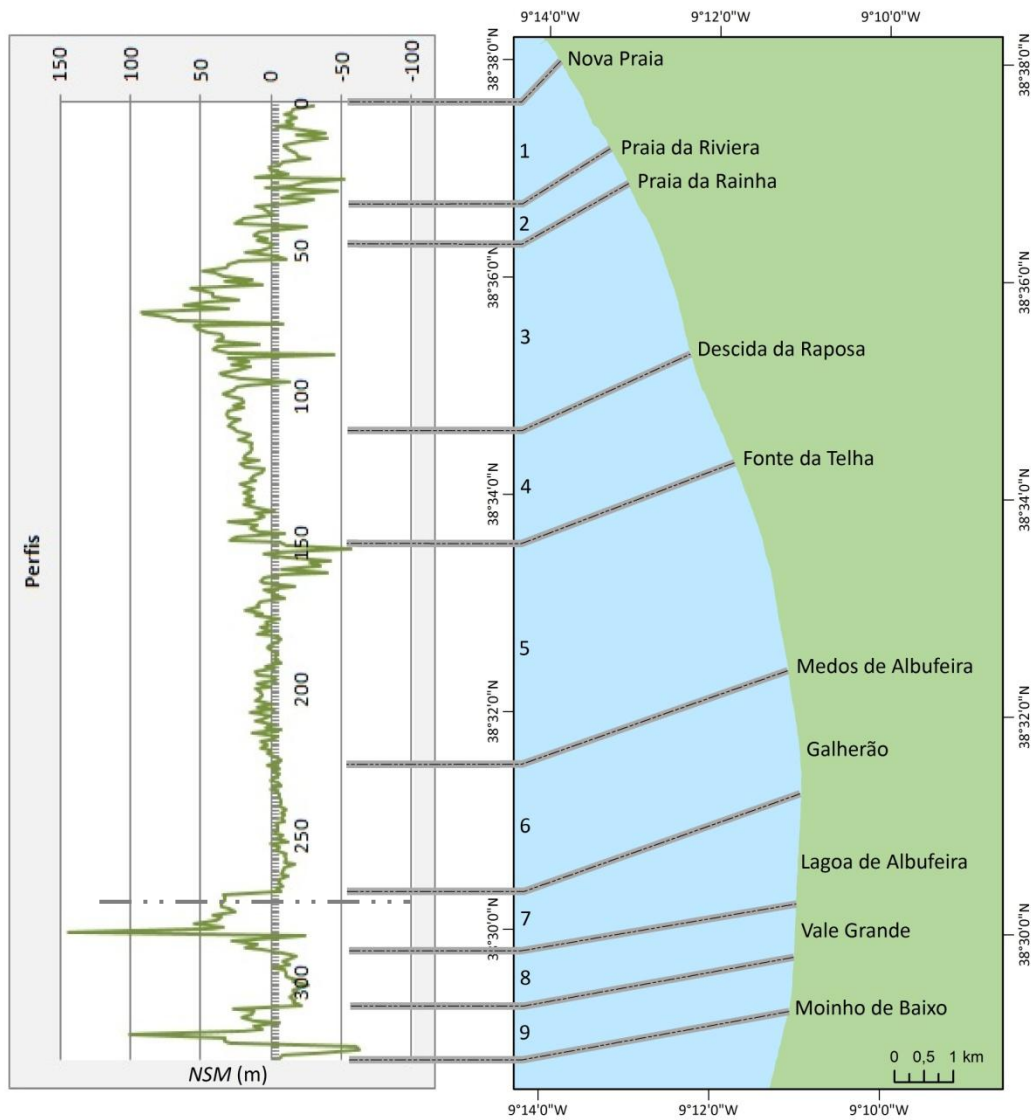


Figura 4.5 - Individualização de setores com características similares de dinâmica litoral segundo o indicador do limite da vegetação dunar. Tendência evolutiva do indicador de linha de costa obtida através do método estatístico *NSM* (m) de acordo com o maior espectro temporal em estudo (1967-2008).

Inicialmente foi considerada a totalidade da área de cada setor, identificando a variação (quadro 4.5) e a respetiva tendência evolutiva (quadro 4.6), tendo como referência a posição temporal mais alargada da linha de costa no ano de 1967 e 2008, bem como os períodos temporais intermédios da década de 1980 e do ano de 1995.

Tendo em conta a variação total da área de acordo com cada setor estabelecido (quadro 4.5), o setor 7 registou a maior variação, com cerca de 206430,40 m², seguido do setor 3 e 1, com 91999,10 m² e 62026,50 m², respetivamente.

Quadro 4.5 - Variação total da dimensão da área para cada setor estabelecido segundo o indicador do limite da vegetação dunar e a respetiva variação temporal.

Setor	Variação total (m ²) do limite da vegetação dunar			
	1967→1980	1980→1995	1995→2008	1967→2008
Setor 1	36923,79	17759,63	7343,08	62026,50
Setor 2	3754,34	156,82	5246,60	9157,75
Setor 3	79896,79	6660,00	5442,30	91999,10
Setor 4	21,06	17893,86	2139,68	20054,60
Setor 5	7821,21	6511,07	13554,72	27887,01
Setor 6	12493,24	28581,69	2973,19	44048,12
Setor 7	130934,86	56761,76	18733,78	206430,40
Setor 8	8273,90	4545,93	1632,44	14452,27
Setor 9	6010,12	6126,29	8850,60	20987,02

Tendo em consideração a tendência evolutiva total da área de acordo com cada setor estabelecido (quadro 4.6), é possível distinguir dois comportamentos distintos. De acordo com a janela temporal mais alargada (1967 a 2008), as tendências de recuo são distinguidas em 5 setores, nomeadamente, o setor 1, com valores de recuo da área mais elevados, a atingir 26507,25 m², seguido do setor 6 e 8, com os respetivos valores de 13115,26 m² e 11187,39 m². Ainda a registar valores de recuo, porém menos significativos, salienta-se os setores 2 e 5, com os respetivos valores de 1335,44 m² e 777,56 m². Quanto às tendências de acreção, estas encontram-se bem definidas em 4 setores, designadamente, o setor 7, com os valores de acreção mais elevados a atingir os 92906,88 m², seguido do setor 3, 4 e 9, com os respetivos valores de 91999,10 m², 20012,49 m² e 8734,43 m².

Quadro 4.6 - Tendência/balço total da dimensão da área para cada setor estabelecido segundo o indicador do limite da vegetação dunar e a respetiva variação temporal.

Nota: No parâmetro balanço, os valores positivos referem-se a acreção e os negativos a recuo.

Setor	Tendência evolutiva total (m ²) do limite da vegetação dunar			
	1967→1980	1980→1995	1995→2008	1967→2008
Setor 1	-36923,79	17759,63	-7343,08	-26507,25
Setor 2	3754,34	156,82	-5246,60	-1335,44
Setor 3	79896,79	6660,00	5442,30	91999,10
Setor 4	-21,06	17893,86	2139,68	20012,49
Setor 5	-7821,21	-6511,07	13554,72	-777,56
Setor 6	12493,24	-28581,69	2973,19	-13115,26
Setor 7	130934,86	-56761,76	18733,78	92906,88
Setor 8	-8273,90	-4545,93	1632,44	-11187,39
Setor 9	6010,12	-6126,29	8850,60	8734,43

Quanto à tendência evolutiva máxima da linha de costa, de acordo com cada setor estabelecido, recorreu-se à utilização dos perfis previamente traçados sobre o indicador de linha de costa (limite da vegetação dunar). Para destacar como a tendência da linha de costa

se comporta ao longo do tempo, calculou-se, entre cada período temporal em estudo, a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, obtendo o *NSM*, respetivamente, para cada perfil definido (quadro 4.7).

A análise dos dados, entre 1967 e 2008, permite concluir que o setor 5 registou o recuo máximo mais importante, atingindo os 56,22 m de recuo. A este seguem-se os setores 1 e 8, apresentando, respetivamente, os valores de 52,48 m e 26,72 m de recuo. Ao contrário destes, o setor 7 registou a acreção máxima mais importante, atingindo os 143,84 m de acreção. A este seguem-se os setores 9, 3, 4 e 2, apresentando os respetivos valores de 101,05 m, 91,72 m, 30,60 m e 25,19 m. Apesar do setor 6 evidenciar resultados com tendências no sentido da erosão, estes são ainda considerados pouco significativos, considerando-o como um setor em estabilidade.

Quadro 4.7 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e respetiva variação temporal por setor, obtida através do método estatístico *NSM*, segundo o indicador de linha de costa.

Nota: No parâmetro balanço, os valores positivos referem-se a acreção e os negativos a recuo.

Setor	Tendência evolutiva máxima (m) do limite da vegetação dunar			
	1967→80	1980→95	1995→08	1967→08
S1	-49,27	-6,50	-38,14	-52,48
S2	25,87	56,64	3,33	25,19
S3	90,07	30,59	96,53	91,72
S4	16,26	44,18	17,26	30,60
S5	-56,10	-21,68	-22,12	-56,22
S6	-12,66	-11,78	-5,48	-17,19
S7	137,82	46,13	39,83	143,84
S8	-25,77	-36,72	-8,73	-26,72
S9	94,69	12,21	53,84	101,05

A análise dos resultados indica que a evolução da linha de costa dentro de cada setor não se comporta de modo uniforme, tanto no tempo como no espaço. Deste modo, a disparidade na dinâmica litoral existente dentro do mesmo setor remete para a necessidade de compreender os fatores que proporcionam este comportamento, remetendo para tal, a uma análise mais pormenorizada, numa tentativa de compreender os resultados obtidos. Assim, seguidamente, considerar-se-á na análise apenas a janela temporal mais alargada (1967-2008), dado que os períodos temporais intermédios, especialmente 1995, contêm incertezas consideráveis (quadro 3.5).

4.2.1.1 Setores tendencialmente erosivos

Tal como salientado anteriormente, foram distinguidos quatro setores cuja tendência evolutiva média demonstrou um recuo do indicador de linha de costa, nomeadamente, os setores 1, 5, 6 e 8 (quadro 4.6).

Setor 1 - Nova Praia e praia da Riviera

O setor 1 (fig. 4.5 e 4.6) localizado no extremo norte da área em estudo, entre a Nova Praia e a praia da Riviera, tendo em conta o maior espetro temporal em estudo, apresenta valores máximos de recuo do indicador de linha de costa na ordem dos 52,48 m, considerado como o recuo médio mais relevante obtido para toda área em estudo.

O presente setor caracteriza-se como sendo um dos setores do arco Caparica-Espichel com maior influência antrópica. A sua posição de proximidade ao centro urbano da Costa da Caparica potencia uma maior acessibilidade ao litoral e permite uma maior pressão sobre o território.

A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor 1 evidencia um comportamento distinto deste troço costeiro, marcado na área norte por valores constantes de recuo, aumentando a amplitude de variação do indicador de linha de costa à medida que avança para sul, encontrando-se no extremo sul valores de recuo mais acentuados intercalados por valores de acreção pouco significativos (fig. 4.6). Tais resultados colocam em evidência a influência antrópica sobre o indicador de linha de costa. Estes resultam, por um lado, da influência das obras estáticas de defesa costeira localizadas imediatamente a norte do setor, e por outro lado, da forte ocupação humana, generalizada em quase toda a totalidade do troço costeiro. A elevada pressão antrópica sobre o troço costeiro resulta essencialmente do tipo de utilização realizada sobre as dunas, descriminando a existência de diversos apoios de praia, de parques de estacionamento e da existência de caminhos não ordenados ao longo de todo o troço costeiro. Aliado a este, é de salientar a existência do parque de campismo de dimensões consideráveis, localizado sobre o corpo dunar, e o qual, percorre quase toda a extensão do setor, excetuando uma porção de área a sul do setor.

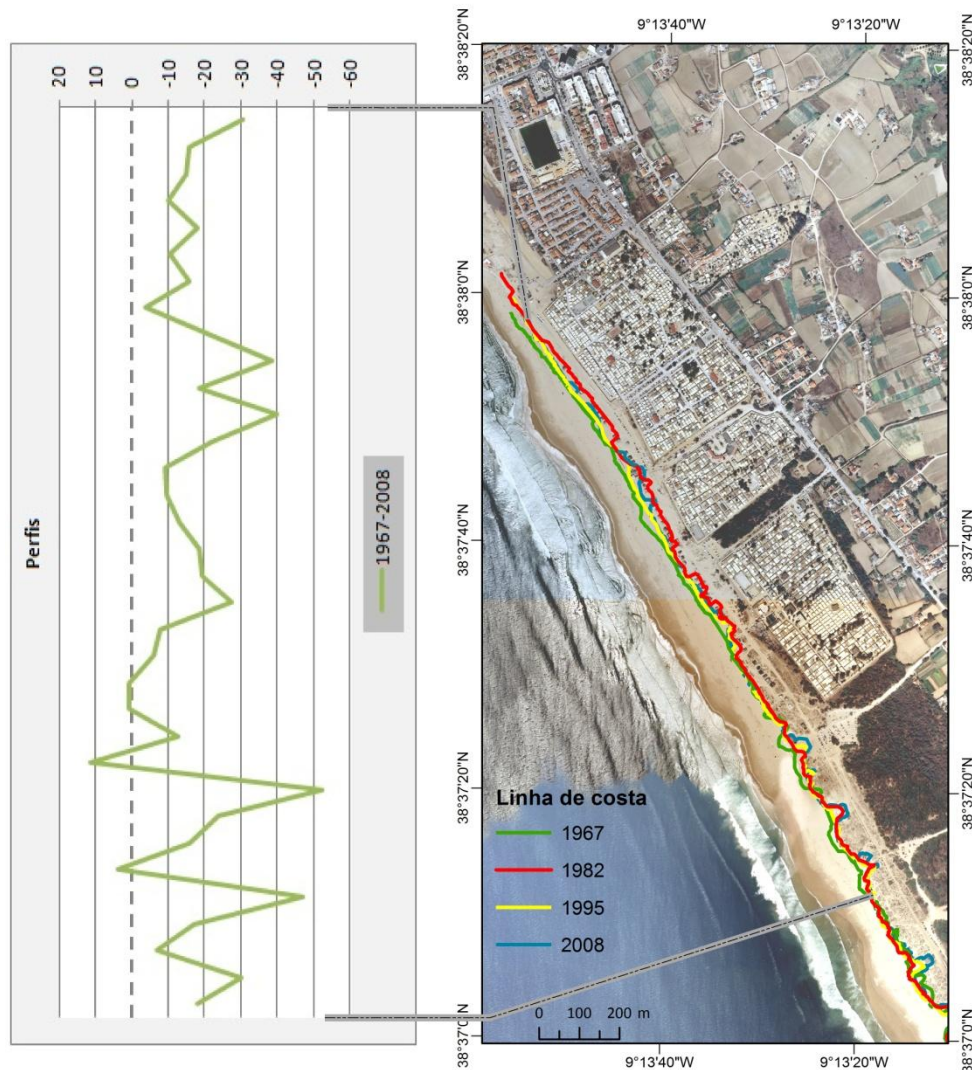


Figura 4.6 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 1, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Nota: Os valores positivos indicam acreção e negativos indicam recuo da linha de costa.

Setor 6 - Medos de Albufeira e norte da Lagoa de Albufeira

O setor 6 (fig. 4.5 e 4.7), que se prolonga para sul, desde os Medos de Albufeira até ao local onde a arriba fóssil é interrompida (a norte da Lagoa de Albufeira), apresenta valores máximos de recuo do indicador de linha de costa na ordem dos 17,19 m, tendo em conta o maior espetro temporal em estudo (1967-2008).

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do troço costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações pouco significativas, decorrente de uma amplitude que atinge os 17,29 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento bastante similar, tal como seria expectável, uma vez que a fraca amplitude de variação das linhas de costa, assim o sugere, remetendo para uma variação da posição da linha de costa sem grandes oscilações ao longo de todo o troço costeiro (fig. 4.7).

Tais resultados colocam em evidência, a ausência da influência antrópica sobre o litoral, apresentando-se como uma área afastada das influências antrópicas, cujas modificações ocorridas dependem das componentes naturais que promovem a dinâmica do litoral. Neste setor a influência da proximidade da arriba fóssil à linha de costa é notável, limitando a dimensão do sistema praia-duna e tornando-o mais vulnerável ao avanço do mar.

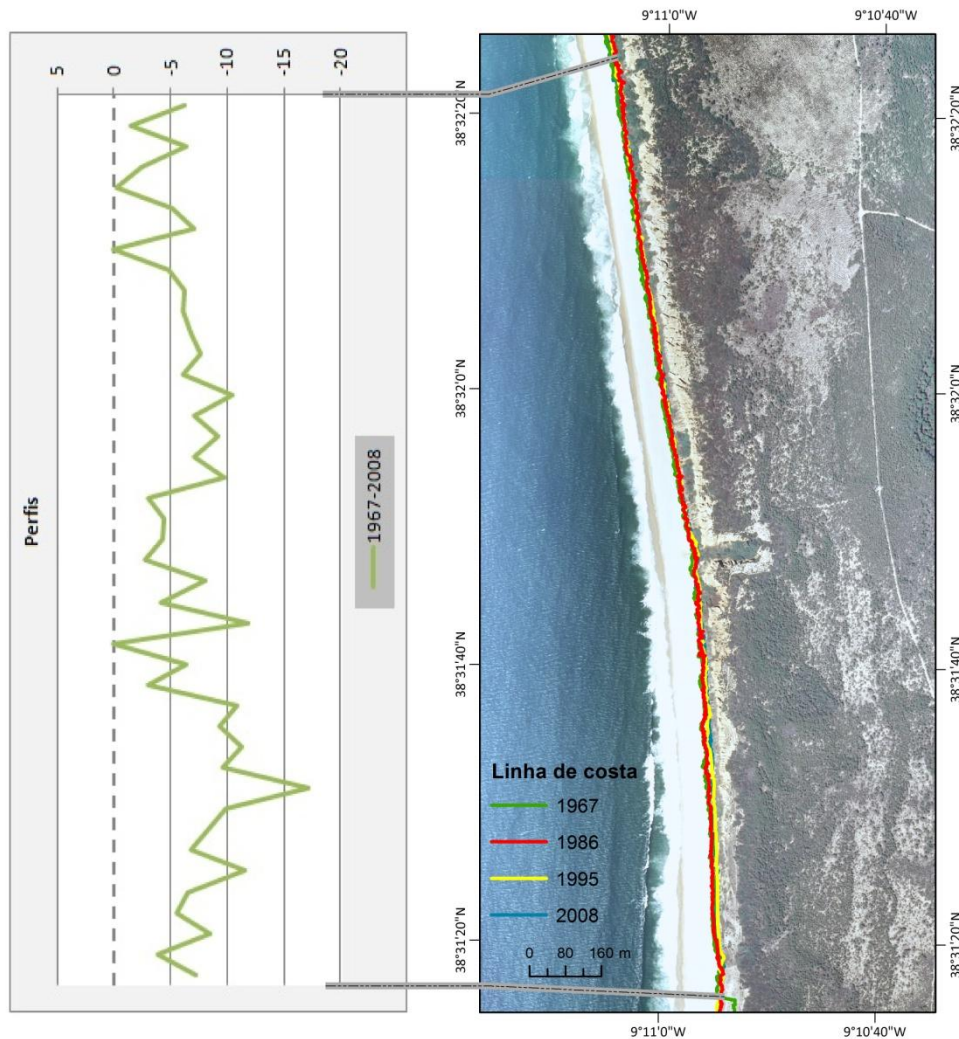


Figura 4.7 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 6, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Setor 8 - Vale Grande

À semelhança do anterior, o setor 8 (fig. 4.5 e 4.8) localizado no Vale Grande e delimitado pela presença da arriba, apresenta valores máximos de recuo do indicador de linha de costa na ordem dos -26,72 m, considerando o maior espectro temporal em estudo.

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do trecho costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações que atingem os 26 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento relativamente estável, marcado por uma ligeira intensificação dos valores de recuo

imediatamente a norte do setor, voltando-se a registar um incremento da erosão junto à área central do setor, prevalecendo à medida que avança para sul (fig. 4.8).

O troço costeiro inserido no presente setor caracteriza-se pela fraca influência antrópica, apresentando uma ligeira pressão sazonal exercida pelo turismo balnear, sobretudo durante a época estival. Os resultados sugerem uma dinâmica natural do sistema, cuja a intensificação na tendência erosiva poderá estar relacionada com a aproximação aos principais acessos das praias localizadas imediatamente a norte (Lagoa de Albufeira) e a sul (praia do Moinho de Baixo) do setor, o qual proporciona pressão sobre o troço costeiro. Deste modo, à semelhança do ocorrido no setor 6, as modificações na tendência evolutiva dependem sobretudo das componentes naturais que promovem a dinâmica litoral, encontrando-se estritamente relacionado com a proximidade da arriba à linha de costa, promovendo a diminuição da largura dos sistemas.

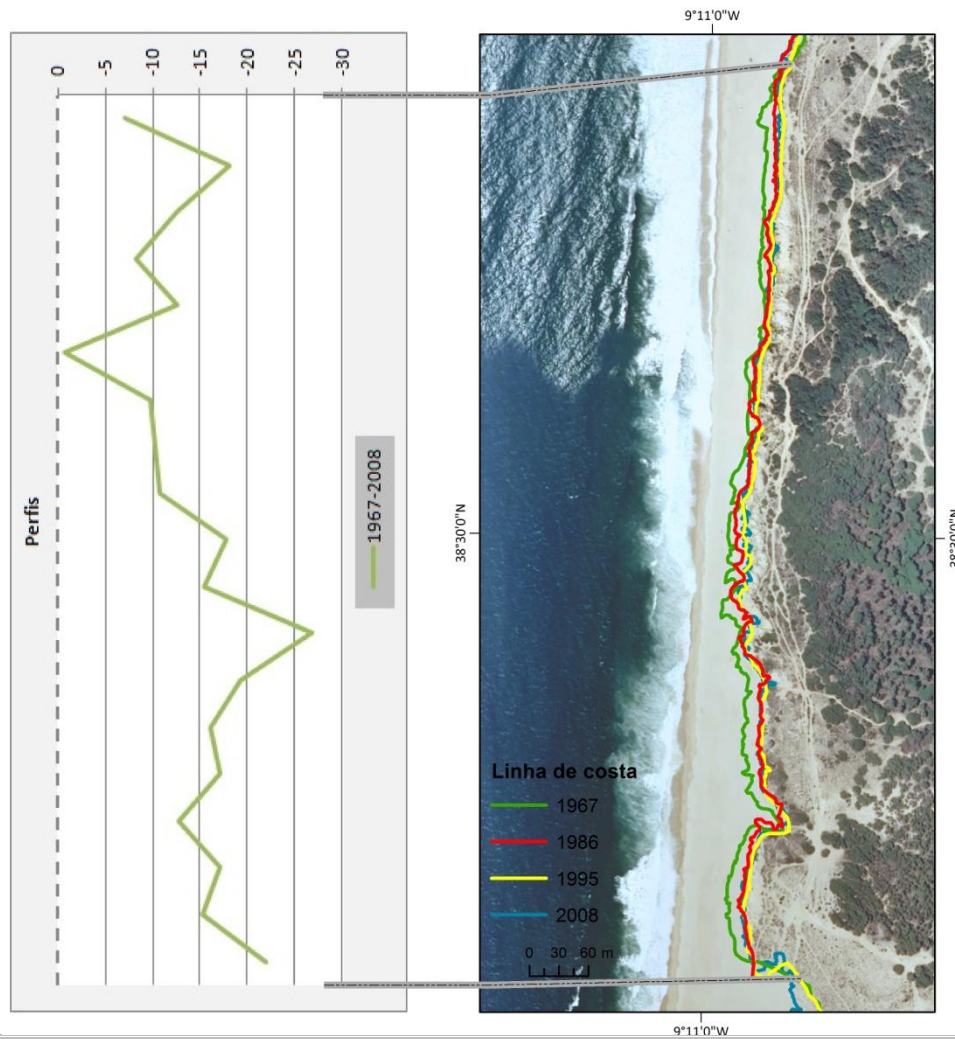


Figura 4.8 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 8, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Setor 5 - Fonte da Telha e Medos de Albufeira

Por fim, o setor 5 (fig. 4.5 e 4.9) localizado entre a Fonte da Telha e os Medos de Albufeira, contemplando todo o espectro temporal em estudo, apresenta valores máximos de recuo do indicador de linha de costa de 56,22 m, porém esta informação pode ser complementada com o valor médio de recuo de 0,81 m, representativo de um litoral em equilíbrio dinâmico.

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do troço costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações bastante expressivas que atingem os 74,65 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento distinto deste troço costeiro, marcado por elevados valores de recuo no extremo norte do setor, nomeadamente, na Fonte da Telha, diminuindo a intensidade com que a linha de costa recua à medida que avança para sul, alternando com valores de acreção pouco significativos (fig. 4.9). A par deste, são ainda registadas as maiores amplitudes de variação da linha de costa no extremo norte do setor, diminuindo substancialmente a amplitude de variação do indicador de linha de costa à medida que avança para sul (fig. 4.9).

A significativa dispersão da posição do indicador da linha de costa ao longo do setor coloca em evidência, a influência da pressão antrópica sobre o litoral. O presente setor comporta registos distintos quanto à influência antrópica sobre o troço costeiro. Tal como salientado anteriormente, o extremo norte do setor 5 apresenta uma forte pressão antrópica sobre o território, induzida essencialmente pela forte pressão sazonal exercida pelo turismo balnear, o qual integra parques de estacionamento e apoios de praia, promovendo o constante pisoteio do corpo dunar, sobretudo durante a época estival. A influência antrópica diminui à medida que avança para sul, sendo praticamente nula junto à zona limítrofe do setor.

Esta conjuntura contribui para os valores de recuo na área onde se verificou uma maior pressão humana, bem como, registou nas áreas pouco antropizadas uma estabilidade dinâmica, apresentando alternância pouco significativa entre valores de recuo e acreção.

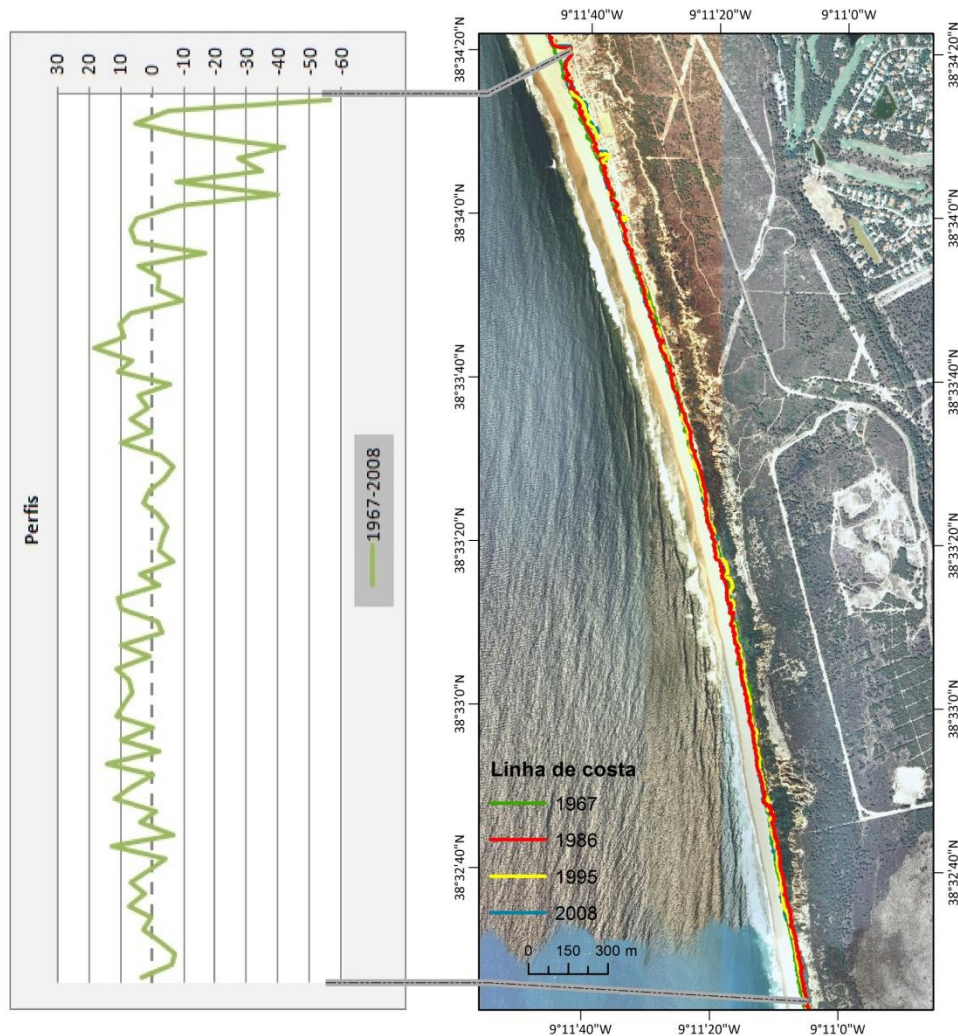


Figura 4.9 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respectiva variação espacial ao longo do setor 5, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

4.2.1.2 Setores tendencialmente acumulativos

Em oposição aos setores anteriormente citados, foram distinguidos cinco setores cuja tendência evolutiva média demonstrou uma acumulação do indicador de linha de costa nomeadamente, os setores 2, 3, 4, 7 e 9 (quadro 4.6).

Setor 2 - Praia da Riviera e praia da Rainha

O setor 2 (fig. 4.5 e 4.10) localizado entre a praia da Riviera e a praia da Rainha, tendo em conta o maior espectro temporal em estudo, apresenta uma tendência máxima de acreção, do indicador de linha de costa, na ordem dos 25,19 m.

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do troço costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações que atingem os 50,40 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento distinto deste troço costeiro, marcado por valores de acreção pouco

significativos nas extremidades do setor, com uma ligeira intensificação da acreção junto à área central, alternando ao longo do troço costeiro com recuos pontuais (fig. 4.10).

Comparativamente com o setor 1, este encontra-se mais distante do perímetro urbano e possui uma menor densidade de caminhos e, conseqüentemente, menor acessibilidade ao sistema. Não deixa de ter no entanto uma forte pressão sazonal exercida pelo turismo balnear, sobretudo durante a época estival. As inversões pontuais na tendência de acreção do indicador de linha de costa, encontram-se intimamente relacionados com a localização dos principais acessos às praias, que ao comportar parques de estacionamento sobre o campo dunar, bem como, apoios de praia, originam um intenso pisoteio sobre o corpo dunar, contribuindo para a sua degradação.

O presente setor constitui uma zona de transição, entre um setor com uma tendência evolutiva do indicador de linha de costa de recuo (setor 1 - Nova Praia à praia da Riviera) para uma setor com uma tendência predominantemente acumulativa (setor 3 - praia do Castelo à Descida da Raposa), assemelhando-se à tendência evolutiva do setor 3, porém, com um ritmo de acumulação menos significativo (quadro 4.6).

A tendência geral de acreção do indicador de vegetação dunar, contraria a tendência predominantemente erosiva da zona costeira arenosa portuguesa. A integração do indicador do limite seco-molhado, neste caso específico, permite uma melhor interpretação da dinâmica da linha de costa, integrando a componente da largura da praia emersa. Em contrassenso com a tendência de acreção do indicador do limite de vegetação dunar, o limite seco-molhado evidência uma tendência geral de recuo pouco expressiva neste setor. Esta divergência proporciona uma diminuição considerável em termos de largura de praia emersa.

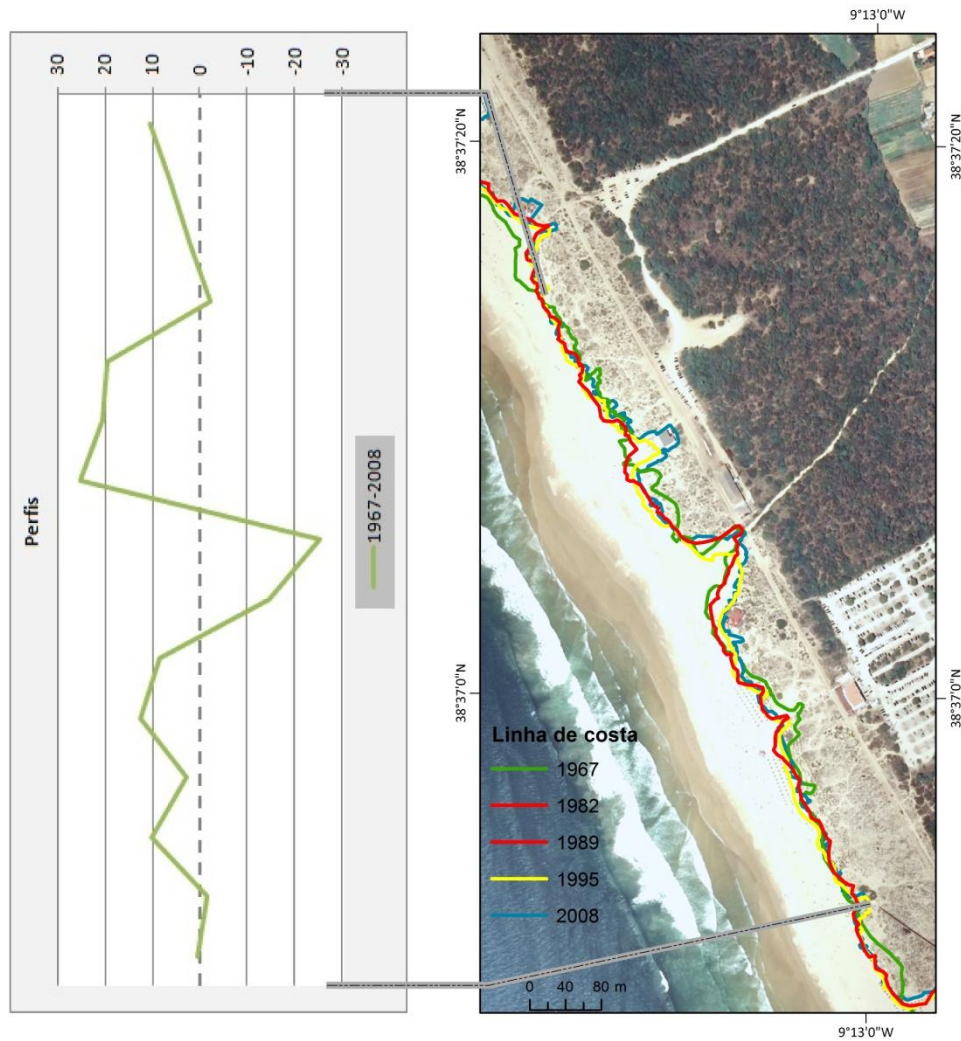


Figura 4.10 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respectiva variação espacial ao longo do setor 2, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Setor 3 - Praia do Castelo e Descida da Raposa

O setor 3 (fig. 4.5 e 4.11) localizado entre a praia do Castelo e a Descida da Raposa, tendo em conta o maior espectro temporal em estudo (1967-2008), apresenta valores máximos de acreção na ordem dos 91,72 m.

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do troço costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações que atingem os 136,23 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento distinto deste troço costeiro, marcado por valores de avanço da vegetação dunar em direção ao sistema praia bastante significativos ao longo de todo o troço costeiro e alternando com recuos pontuais (fig. 4.11).

A posição da linha de costa ao longo do setor 3 evidencia pontualmente a influência antrópica localizada. Esta resulta no essencial de uma forte pressão sazonal exercida pelo

turismo balnear, sobretudo durante a época estival, localizada nos pontos de acesso às praias, dotados e parques de estacionamento e caminhos ordenados de acesso à praia.

Assim, verifica-se na generalidade do setor 3, uma tendência geral de avanço da vegetação dunar, que possui uma baixa densidade de caminhos não ordenados sobre as dunas.

Uma vez mais a tendência geral de acreção obtida segundo o indicador de linha de costa (limite da vegetação dunar), contraria a tendência predominantemente erosiva da zona costeira arenosa portuguesa. Como tal, demonstrou-se vantajoso a utilização do indicador do limite seco-molhado de modo a permitir uma melhor interpretação da dinâmica da linha de costa. Ao contrário da tendência de acreção do indicador do limite de vegetação dunar, o limite seco-molhado evidência uma tendência geral de recuo bastante expressiva, proporcionando uma diminuição considerável em termos de largura de praia emersa.

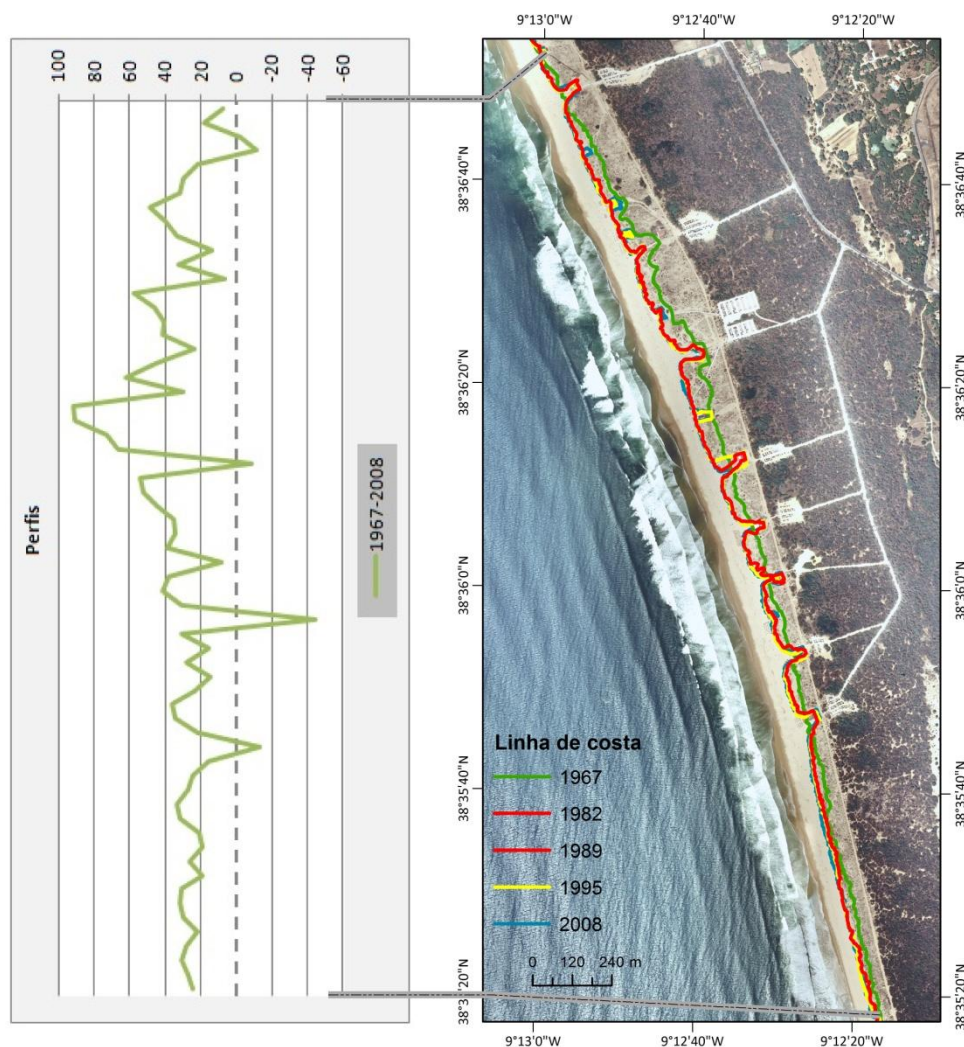


Figura 4.11 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 3, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Setor 4 - Descida da Raposa e Fonte da Telha

O setor 4 (fig. 4.5 e 4.12) localizado entre a Descida da Raposa e a Fonte da Telha, apresenta valores máximos de acreção do indicador de linha costa, na ordem dos 30,60 m.

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do trecho costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações que atingem os 41,44 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento distinto deste trecho costeiro, essencialmente marcada em quase toda a sua totalidade por uma acreção pouco acentuada do indicador de linha de costa, invertendo-se no extremo sul do setor para uma tendência de recuo, porém pouco significativa (fig. 4.12).

Na generalidade do setor 4, a influência antrópica pode ser considerada reduzida, aumentando à medida que avança para sul, com uma clara intensificação sobre a Fonte da Telha. Salienta-se que, neste caso, que a presença do aglomerado e a densidade de construção dentro do perímetro urbano sofreu alterações profundas desde os finais da década de 1980, em resultado da demolição em massa das habitações clandestinas que aqui existiam, o que contribuiu para atenuar possíveis impactos sobre o sistema costeiro. É, no entanto, evidente o recuo do limite da vegetação dunar no extremo sul do setor, encontrando-se este estritamente relacionado com a forte pressão sazonal exercida pelo turismo balnear, o qual integra parques de estacionamento e apoios de praia, promovendo o constante pisoteio do corpo dunar, sobretudo durante a época estival.

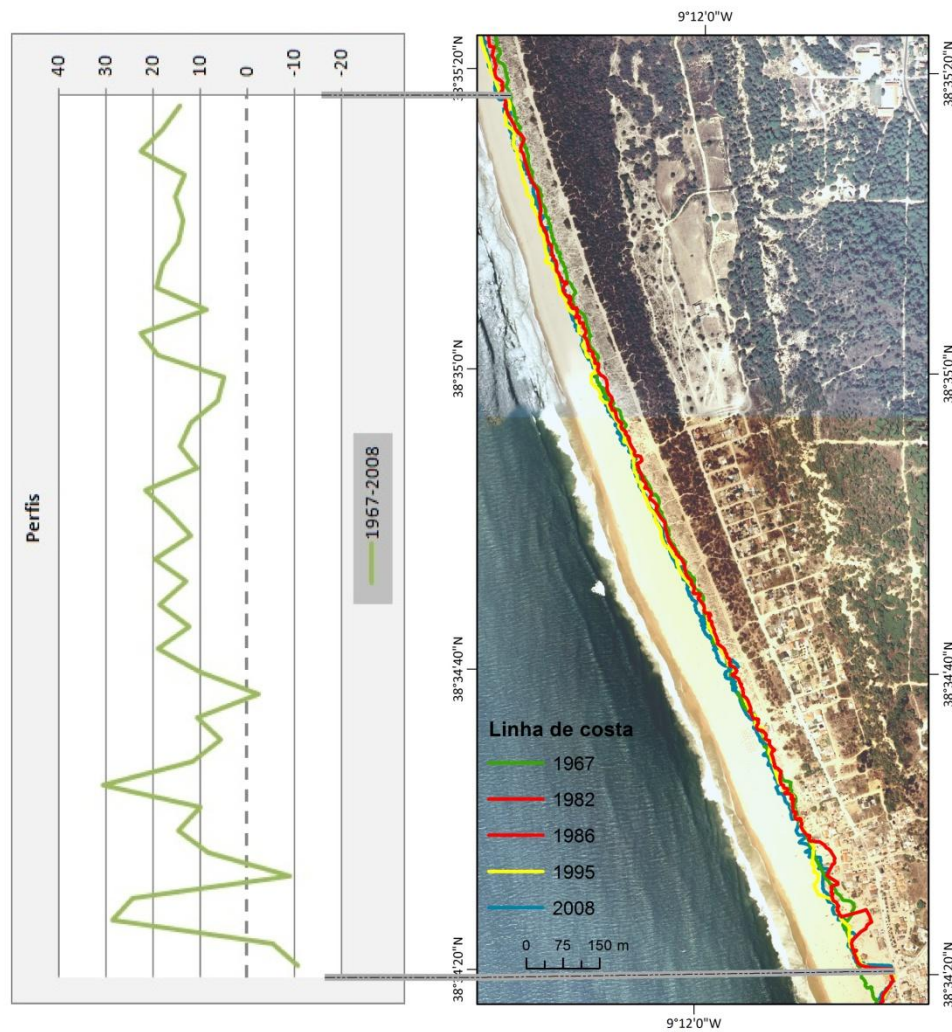


Figura 4.12 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 4, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Setor 7 - Lagoa de Albufeira

O setor 7 (fig. 4.5 e 4.13) localizado na Lagoa de Albufeira, contempla todo o troço costeiro no qual a arribo fóssil se encontra interrompida. Este, tendo por base o maior espectro temporal em estudo, apresenta valores máximos de acreção na ordem dos 143,84 m, considerado como a acreção média mais relevante obtida para toda área em estudo, contrariando a tendência de recuo obtida nos setores limítrofes (setor 4 e 6).

Quanto à variação espacial da posição do indicador de linha de costa ao longo do troço costeiro compreendido no setor em questão, são registadas oscilações bastante expressivas que atingem os 167,91 m. A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor, evidencia um comportamento distinto deste troço costeiro, marcado por maiores valores de acreção a norte da Lagoa de Albufeira, intensificando-se com a aproximação à lagoa. A tendência evolutiva da linha de costa inverte-se imediatamente a sul da lagoa, com a linha de

costa a apresentar sinais de recuo, retomando novamente a sul para uma tendência de acreção, embora menos significativa do que obtido a norte da lagoa (fig. 4.13).

O presente setor 7 comporta registos distintos quanto à influência antrópica sobre o troço costeiro, evidenciando a norte da lagoa uma escassa influência antrópica, aumentando à medida que avança para sul, com uma clara intensificação imediatamente a sul da lagoa. Neste caso, as acessibilidades à lagoa realizam-se maioritariamente a sul da mesma, promovendo uma forte ocupação humana sobre esta área, integrando parques de estacionamento e apoios de praia. Aliada a esta, também a ligação temporária da lagoa ao mar, coloca entraves à acessibilidade ao norte da lagoa, com a abertura do canal de vazão durante a época estival de maior afluência à praia. Esta conjuntura justifica um recuo pontual do indicador de linha de costa na área onde se verificou uma maior pressão humana e um avanço da vegetação dunar sobre a praia nas áreas pouco antropizadas a norte da lagoa, podendo estas relacionar-se com uma recuperação do sistema. Uma hipótese para o crescimento dunar neste setor, pode estar relacionado com a intervenção de recuperação nas dunas, através da instalação de armadilhas de areia, identificadas imediatamente a norte da lagoa. Esta prática permitiu a fixação da vegetação, numa área praticamente destituída da mesma, promovendo uma clara recuperação do sistema.

Contrariando a tendência de acreção do indicador do limite de vegetação dunar, o limite seco-molhado evidencia uma tendência geral de recuo, embora pouco expressivo. Porém, aquando a conjugação de ambos indicadores, estes proporcionam uma diminuição em termos de largura de praia emersa.

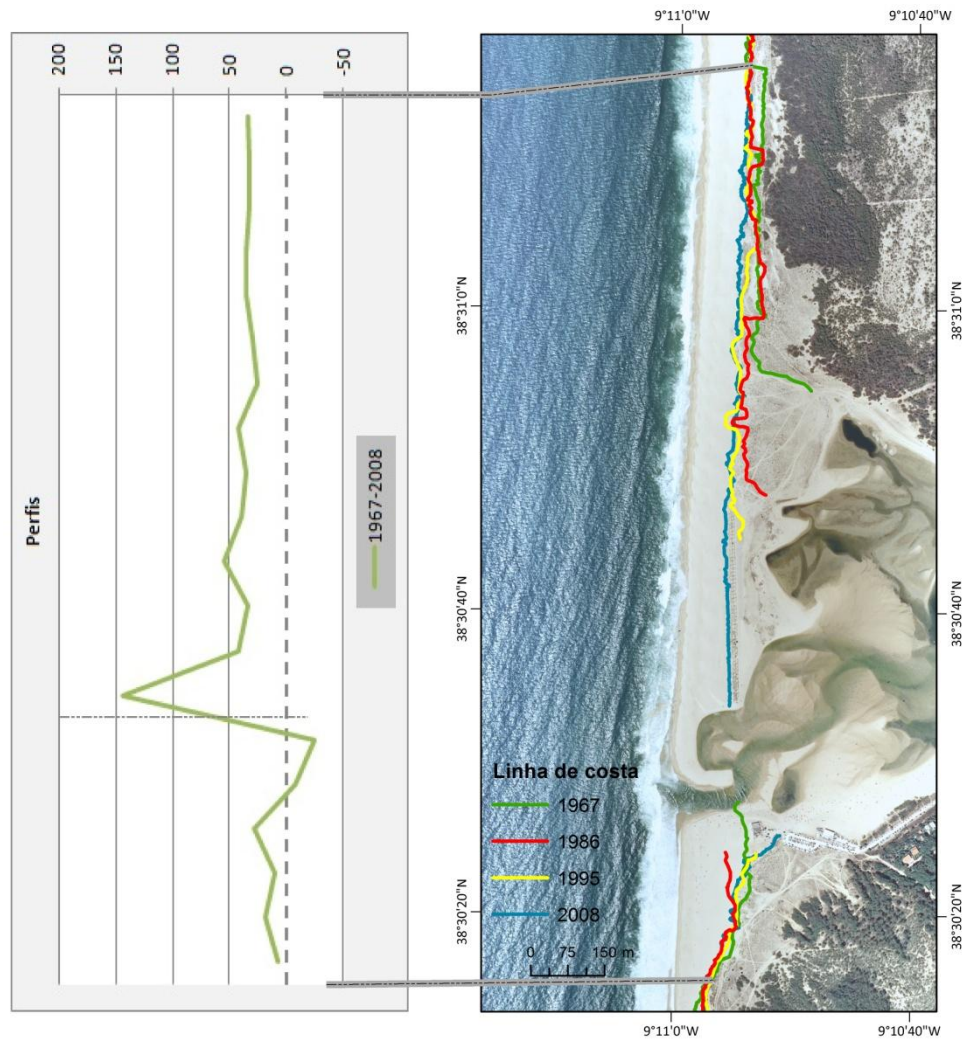


Figura 4.13 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 7, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Setor 9 - Praia do Moinho de Baixo

À semelhança dos anteriores, o setor 9 (fig. 4.5 e 4.14) localizado no extremo sul da área em estudo, na praia do Moinho de Baixo, apresenta valores máximos de acreção do indicador de linha de costa na ordem dos 101,05 m.

A análise espacial da posição das linhas de costa dentro do setor é marcada por valores de acreção pouco significativos na extremidade norte, aumentando à medida que avança para sul, intensificando-se na área central do setor 9. Esta tendência evolutiva inverte-se imediatamente a sul (fig. 4.14) do principal acesso à praia do Moinho de Baixo.

As modificações na tendência evolutiva de linha de costa neste troço costeiro encontram-se estritamente relacionadas, no caso de recuo da vegetação dunar, com a elevada pressão antrópica ao qual este setor tem vindo a ser sujeito, desempenhado maioritariamente pelo turismo balnear, sobretudo durante a época estival. Já nas áreas onde se registaram uma

acrecção da vegetação dunar, esta caracteriza-se como uma área pouco antropizada, afastada do principal acesso à praia.

Contrariando a tendência de acreção do indicador do limite de vegetação dunar, o limite seco-molhado evidência uma tendência constante de recuo. Esta discordância evidência um claro recuo da linha de costa perante um crescimento dunar.

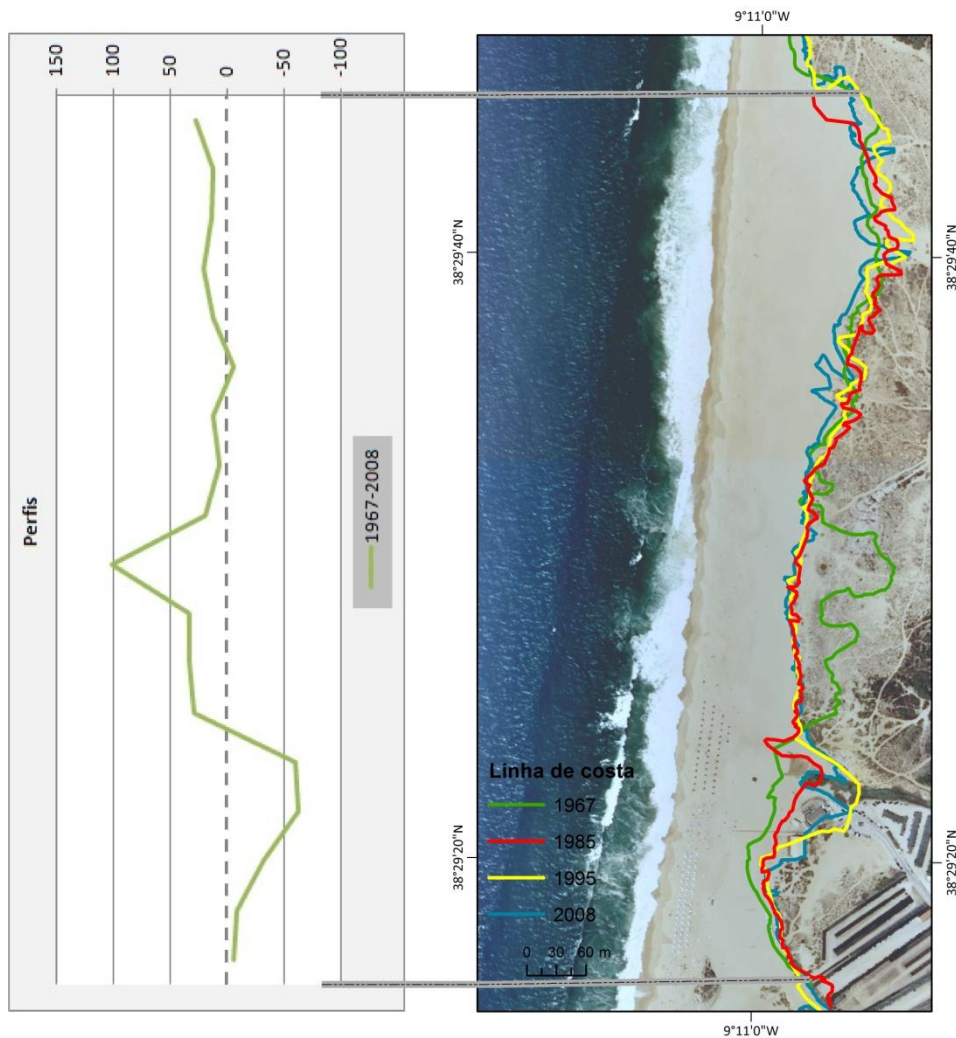


Figura 4.14 - Tendência evolutiva média da linha de costa (m) e a respetiva variação espacial ao longo do setor 9, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

4.3. Cartografia de recuo médio, mínimo e máximo

Para a obtenção das taxas de variação da linha de costa neste troço costeiro, foi considerada a janela temporal de 41 anos, tendo como referência a posição temporal mais alargada da linha de costa no ano de 1967 e 2008, bem como os períodos temporais intermédios da década de 1980 e do ano de 1995. As taxas de variação foram obtidas com recurso do programa *DSAS*[®], cujo programa permite o cálculo de taxas de variação da linha de costa a partir das suas múltiplas posições, tal como descrito no capítulo III.

Os resultados obtidos encontram-se diretamente dependentes da escolha do método estatístico. Cada método utilizado no cálculo das taxas de variação da linha de costa é baseado em diferentes pressupostos estatísticos associados às posições da linha de costa ao longo do tempo. Tal como já discutido no capítulo III, optou-se pela utilização de três abordagens distintas, de modo a equiparar as taxas de variação da linha de costa obtidas: o *End Point Rate (EPR)*, o *Linear Regression Rate (LRR)* e o *Weighted Linear Regression (WLR)*.

De acordo com a discussão realizada no capítulo III e associando esta discussão aos resultados obtidos através da aplicação dos três métodos estatísticos, optou-se pela utilização do método *WLR* (quadro 4.15). A escolha do método estatístico teve em consideração os resultados obtidos no processo de apuramento de erros associados às fontes de informação.

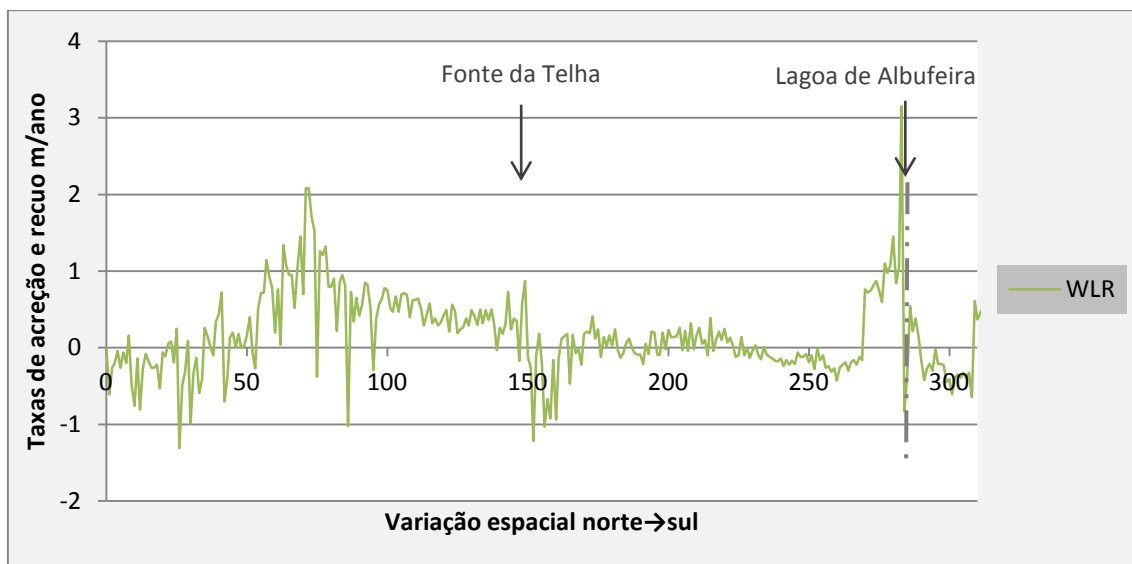


Figura 4.15 - Taxas de variação da linha de costa, segundo o indicador do limite da vegetação dunar, expresso através do método estatístico *Weighted Linear Regression (WLR)*.

Seguindo a divisão por setores já estabelecida no ponto anterior as taxas de variação da linha de costa encontram-se explicitas na figura 4.16.

Segundo o indicador do limite da vegetação dunar, as taxas de variação da linha de costa não apresentam tendências constantes ao longo de todos os setores (fig. 4.16). Deste modo, verifica-se uma tendência de recuo da linha de costa no setor 1, 5, 6 e 8, com os respetivos valores médios de *WLR* de 0,29 m/ano, 0,01 m/ano, 0,16 m/ano e 0,33 m/ano, destacando o setor 8, como tendo a taxa média de recuo da linha de costa mais elevada. Em oposição a estes, o setor 2, 3, 4, 7 e 9 apresentam tendências de acreção da linha de costa, apresentando os respetivos valores médios de *WLR* de 0,08 m/ano, 0,70 m/ano, 0,34 m/ano, 0,75 m/ano e 0,20 m/ano, destacando o setor 7, como tendo a maior taxa média de acreção da linha de costa.

Por mais generalizado que seja, é necessário ter em consideração que dentro do mesmo setor existem dinâmicas diferentes. Exemplo disso, são as amplitudes em termos de taxa de variação da linha de costa registadas em cada setor (fig. 4.16). O setor 7 coloca em evidência este contraste, apresentando o maior desfasamento entre valores registados em termos de taxas dentro do mesmo setor, com o valor máximo de acreção a atingir os 3,15 m/ano enquanto o valor máximo de recuo atinge os 0,83 m/ano, correspondendo a uma amplitude de 3,98 m/ano. Muito próximo deste valor encontra-se o setor 9 e 3, com as respetivas amplitudes de 3,80 m/ano e 3,10 m/ano. A este se segue o setor 5, 1 e 2 com 1,63 m/ano, 1,56 m/ano e 1,42 m/ano. A registar os valores mais baixos de amplitude encontra-se o setor 6 com 0,46 m/ano, seguido do setor 8 a registar 0,62 m/ano e do setor 4 com 1,14 m/ano em termos de amplitude.

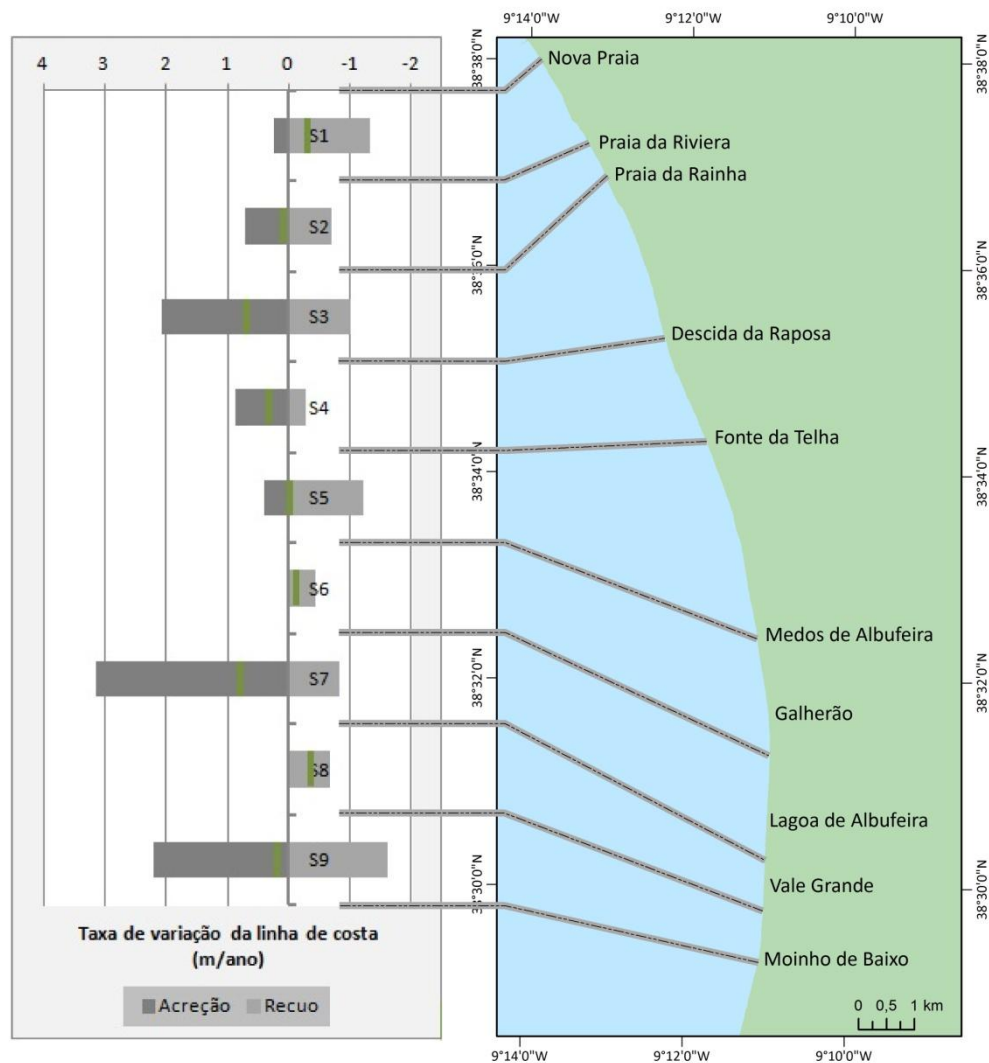


Figura 4.16 - Taxas de variação da linha de costa de acordo com cada setor estabelecido, resultante da aplicação do método estatístico *Weighted Linear Regression (WLR)*, segundo o indicador do limite da vegetação dunar.

Tal como referido anteriormente (fig. 4.16) identificaram-se quatro setores com tendências predominantemente erosivas, nomeadamente, os setores 1, 5, 6 e 8. Tendo em consideração as taxas de recuo máximas nestes setores registaram-se recuos na ordem dos 1,31 m/ano, 1,22 m/ano, 0,43 m/ano e 0,64 m/ano, respetivamente.

Na generalidade, os resultados obtidos ficam bastante aquém das taxas máximas registadas no litoral arenoso português (fig. 1.2). Saliencia-se de acordo com a figura 1.2 taxas de recuo obtidas no presente estudo mais baixas que em relação ao registado no litoral norte de Portugal continental, nomeadamente, na Maceda (12,50 m/ano), em São Jacinto (13,00 m/ano), na Barra (16,00 m/ano), Costa Nova do Prado (15,00 m/ano) e na Vagueira (16,00 m/ano). À medida que avança para sul as taxas máximas de recuo no litoral ocidental diminuem, apresentando valores de acordo com o registado na área em estudo, tais como, a Figueira da Foz, Lavos e Leirosa (0,70 m/ano) e em São Pedro de Moel (1,00 m/ano). No extremo norte do arco Caparica-Espichel registaram-se as taxas de recuo mais elevadas deste troço costeiro, nomeadamente, na Cova do Vapor (7,45 m/ano) e em São João da Caparica (4,30 m/ano), registando valores mais elevados em relação ao apresentado no presente estudo. Quanto ao litoral meridional, a Ilha de Faro regista a taxa máxima de recuo mais elevada (4,00 m/ano), taxa superior ao registado no presente estudo. Quanto às taxas registadas na Ilha de Tavira (1,30 m/ano) e na Península do Ancão (0,80 m/ano) estas apresentam-se de acordo com as taxas obtidas na área em estudo.

Capítulo 5. Projeção das faixas de salvaguarda e determinação dos elementos expostos

5.1. Instrumentos de gestão territorial no estabelecimento das faixas de salvaguarda

"A determinação e cartografia da perigosidade associada à erosão de praias e ao galgamento oceânico são fundamentais para o ordenamento e gestão do espaço e risco costeiros" (Silva *et al.*, 2013). O estabelecimento das faixas de salvaguarda corresponde a princípios já consagrados nos diversos instrumentos de gestão territorial da faixa costeira. Distinguem-se (i) as faixas de risco, instituídas nos Planos de Ordenamento da Orla Costeira (POOC's) e posteriormente aplicada nos Programas para a Orla Costeira (POC's) e (ii) as zonas ameaçadas pelo mar (ZAM), instituídas no âmbito da Reserva Ecológica Nacional (REN).

De acordo com o Decreto-Lei n.º 159/2012, de 24 de julho (posteriormente revisto pelo Decreto-Lei n.º 132/2015, de 9 de julho, como será referido mais à frente), "os POOC são planos especiais de ordenamento do território 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".

Dos diversos POOC que intersectam a área de jurisdição da ARH do Tejo /APA I.P., apenas o POOC Sintra-Sado define faixas de salvaguarda e respetivos critérios de delimitação em contexto de litoral baixo e arenoso (quadro 5.1) (Lira *et al.*, 2013). Neste seguimento, o artigo 44º da Resolução do Conselho de Ministros n.º 86/2003, de 3 de junho, define faixas de salvaguarda em litoral baixo e arenoso, como faixas de risco e proteção, no qual abrangem "as áreas diretamente ameaçadas pelo mar, ou que se prevê que o venham a ser, e aquelas áreas que se consideram necessárias para reter o avanço do mar, com o objetivo de contribuir para o equilíbrio morfodinâmico e sedimentar das praias. As faixas de risco e de proteção encontram-se identificadas nos planos de praia e no anexo IV a este Regulamento, que dele é parte integrante, para as áreas não abrangidas por planos de praia. Estas faixas subdividem-se em: a) Faixa de risco em litoral baixo e arenoso e b) Faixa de proteção em litoral baixo e arenoso".

Com a publicação da lei de bases gerais de política pública de solos, de ordenamento do território e de urbanismo (LBPSOTU) implícita no Decreto-Lei n.º 31/2014, de 30 de maio, alterou-se o sistema de gestão territorial (APA, 2015). "De acordo com a nova lei de bases, os planos especiais (nos quais se incluem os POOC) passam a ser designados Programas da Orla Costeira (POC), mantendo o seu âmbito nacional, mas assumindo um nível mais programático, estabelecendo exclusivamente regimes de salvaguarda de recursos e valores naturais, através de princípios e normas orientadores e de gestão" (APA, 2015). O Decreto-Lei n.º 159/2012, de

24 de julho, que até à data regulava a elaboração e implementação dos POOC, é revisto de acordo com os princípios estipulado na LBPSOTU (Decreto-Lei n.º 31/2014, de 30 de maio), dando lugar ao Decreto-Lei n.º 132/2015, de 9 de julho, no qual substitui os planos especiais onde os POOC se inseriam, pelos POC.

Quadro 5.1 - Definições e critérios utilizados na delimitação das faixas de risco/salvaguarda para litoral baixo e arenoso, consagrado no POOC Sintra-Sado (Resolução de Conselho de Ministros n.º 86/2003 de 3 de junho).

Fonte: Adaptado de Lira *et al.*, 2013, p.10.

POOC Sintra-Sado (Resolução de Conselho de Ministros n.º 86/2003)			
Faixas de risco		Faixa de proteção	
Definição	Critérios	Definição	Critérios
"Área destinadas a absorver a erosão para o interior dos sistemas dunares."	"Variável, definida por uma linha paralela à curva de nível dos 6 m (8 ZH), dela distando 35 m para terra, e desenvolvendo-se até ao plano de água."	"Faixas de limitação de fatores de instabilidade na vizinhança imediata dos sistemas dunares, e absorção de erosão adjacente à faixa de risco e do galgamento, com largura igual à cartografada para essa faixa ou com base num critério altimétrico."	"Faixa definida para terra, adjacente à faixa de risco e desenvolvendo-se até: a) À cota 6 m (8 ZH), quando atrás da faixa de risco as cotas são inferiores à cota de referência da faixa de risco (6 m); b) À curva de nível dos 8 m (10 ZH), com um valor mínimo de largura de 35 m, quando as cotas do terreno são superiores à cota de referência da faixa de risco."

A Reserva Ecológica Nacional (REN) constituída em 1983, através do Decreto-Lei n.º 321/83, de 5 de julho, "é concebida como uma estrutura de enquadramento e proteção dos espaços produtivos, agrícolas e urbanos, destinada a garantir a permanência de determinadas ocorrências físicas e um mínimo de atividade biológica" (Resolução de Conselho de Ministros n.º 81/2012).

O Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto, posteriormente revisto pelo Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro, veio reforçar a importância dos fenómenos associados à erosão e galgamento do litoral, ao incluir na REN as ZAM, caracterizadas como unidades de território com "elevada suscetibilidade à ocorrência de inundações por galgamento oceânico" (Silva *et al.*, 2013).

As orientações estratégicas de âmbito nacional e regional que compreendem as diretrizes e os critérios para a delimitação das áreas integradas na REN, a nível municipal, encontram-se implícitas na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 (Silva *et al.*, 2013). Esta, identifica a "faixa terrestre de proteção costeira", cuja sua delimitação deve considerar "a faixa

onde se inclui a margem do mar, medida a partir da linha que limita o leito das águas do mar para o interior, com a largura adequada à proteção eficaz da zona costeira e à prevenção de inundações e galgamentos costeiros, a definir com base em informação geomorfológica, topográfica, meteorológica e oceanográfica. Para a delimitação desta faixa considera-se a aplicação de um critério baseado no efeito combinado de pelo menos quatro componentes: a cota do nível médio do mar, a elevação da maré astronómica, a sobrelevação meteorológica e o espraio da onda".

Tal como se verifica, "os diferentes instrumentos reguladores do ordenamento e gestão do espaço costeiro, ou de restrições ao uso do solo naquele espaço, convergem, sem exceção, para a necessidade de caracterizar e cartografar faixas do território costeiro suscetíveis a inundação ou erosão induzidas por forçamento oceanográfico, considerando escalas temporais adequadas à incorporação dos efeitos das alterações climáticas, com o objetivo de minimizar a perigosidade e o risco, embora as designem por termos diferentes" (Silva *et al.*, 2013). É neste seguimento que se desenvolve o presente capítulo, adotando como conceito de faixa de salvaguarda os princípios estipulados na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012 (REN).

5.2. Determinação e cartografia de linhas de recuo nos próximos 25 e 50 anos

Com base nos princípios consagrados nos diversos instrumentos de gestão territorial da faixa costeira, citados anteriormente, pretende-se projetar no arco Caparica-Espichel, a posição da linha de costa, deduzindo assim a respetiva faixa de salvaguarda face aos perigos costeiros (erosão e galgamento oceânico).

Tal como referido no capítulo III, ponto 3.3, a abordagem adotada na determinação da faixa de salvaguarda, segue os pressupostos definidos por Ferreira *et al.* (2006), cuja abordagem integra diversos elementos de perigosidade que constituem fatores forçadores da faixa costeira. A determinação da faixa de salvaguarda, segundo a abordagem adotada, considera o critério estipulado na Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2012, na determinação da faixa terrestre de proteção costeira, cuja delimitação deve considerar "um critério baseado no efeito combinado de pelo menos quatro componentes: a cota do nível médio do mar, a elevação da maré astronómica, a sobrelevação meteorológica e o espraio da onda". A abordagem adotada é baseada na combinação de taxas de evolução da linha de costa (*SER*), com a resposta da linha de costa à elevação esperada do nível do mar e aos impactos das tempestades, incluindo as componentes consideradas na determinação da faixa terrestre de proteção costeira.

O método foi desenvolvido para a aplicação em litorais arenosos contínuos. O modelo deve ser aplicado, não só para áreas que evidenciem erosão costeira, como também para áreas que apresentem tendências de estabilidade dinâmica e acreção (Ferreira *et al.*, 2006).

As faixas de salvaguarda são apresentadas em conjuntos de linhas de recuo, cuja posição é definida para um determinado horizonte temporal. No presente caso, considerou-se a determinação da projeção da linha de costa, para 25 e 50 anos, sendo estas escalas temporais tidas em conta em questões de planeamento.

A faixa de salvaguarda baseia-se no presente estudo na posição do limite da vegetação dunar e na aplicação do método. A utilização do limite da vegetação dunar segue os pressupostos para a demarcação das áreas sob jurisdição do ex-Instituto da Água (INAG) (posteriormente integrado na Agência Portuguesa do Ambiente) (Despacho n.º 12/2010), cuja delimitação das áreas do leito e margem das águas do mar, deve atender à linha de máxima preia-mar de águas vivas equinociais (LMPAVE), que consiste na linha que limita o leito das águas do mar, bem como das demais águas sujeitas à influência das marés. A delimitação da LMPAVE em praias deve atender às suas características naturais, sendo que em praias suportadas por dunas, a LMPAVE coincide com a base da duna (Despacho n.º 12/2010, INAG). Deste modo, o indicador do limite da vegetação dunar corresponde, no presente caso, a linha que melhor delimita o leito das águas do mar, cuja largura é dada pela soma das diferentes componentes acima descritas (taxas de evolução da linha de costa (*SER*), com a resposta da linha de costa à elevação esperada do nível do mar e aos impactos das tempestades) (Ferreira *et al.*, 2006; Silva *et al.*, 2013).

5.2.1 Horizonte temporal a 25 anos

De acordo com a metodologia utilizada (Ferreira *et al.*, 2006), numa primeira fase, projetou-se a faixa de salvaguarda para um horizonte temporal a 25 anos, no qual se distinguem três procedimentos: (i) a quantificação da evolução da linha de costa e a previsão da futura posição da linha de costa (S_{25} , eq. 6), (ii) o ajuste para a aceleração da subida do nível do mar (S_{25C} , eq. 9) e (iii) a avaliação dos impactos associados às tempestades extremas (S_{25S} , eq. 13).

Tal como seria espectável, dado que a tendência evolutiva da linha de costa apresenta uma grande diversidade, a projeção das linhas de recuo não comportam tendências constantes ao longo do troço costeiro. A figura 5.1 coloca em evidência a presente situação, demonstrando a distribuição espacial das linhas de recuo de acordo com cada procedimento estabelecido.

Considerando a componente da quantificação da evolução da linha de costa e a previsão da futura posição da linha de costa (S_{25}), esta apresenta um recuo médio com valores na ordem dos 3,12 m em 25 anos, ou seja, uma taxa de recuo médio de 0,13 m/ano. Porém, dadas as assimetrias existentes, os resultados da presente componente, podem variar entre os 0 m e os 40,25 m (1,61 m/ano). Quanto à integração da componente relativa ao ajuste para a aceleração da subida do nível do mar (S_{25c}), cujos valores de projeção foram já discutidos no ponto 3.3 do capítulo III, os valores de recuo médio da linha aumentam ligeiramente, com um valor de recuo de 4,63 m (0,19 m/ano). No seguimento do aumento do recuo médio, também a amplitude existente aumenta, variando no presente caso entre os 0 m e os 43,57 m (1,743 m/ano). Integrando a componente de avaliação dos impactos associados às tempestades extremas (S_{25s}), verificam-se aumentos significativos de recuo da linha. Em termos médios, a faixa de salvaguarda apresenta um recuo de 41,47 m em 25 anos, no qual a amplitude varia entre os 18,16 m e os 94,97 m (3,80 m/ano).

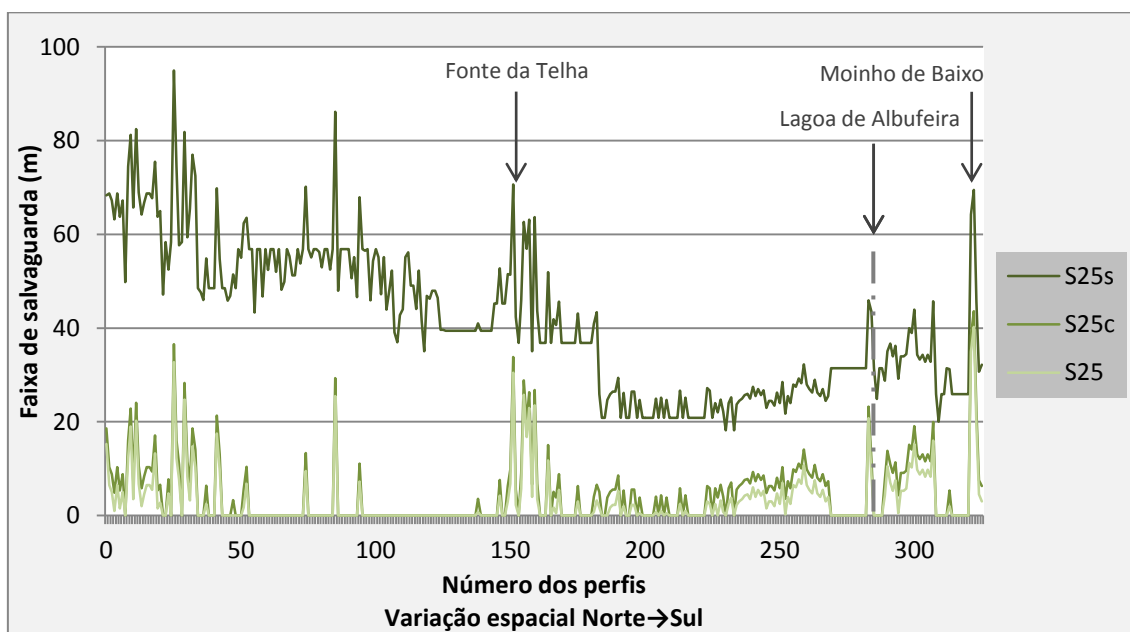


Figura 5.1 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo da área em estudo de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.

A análise espacial da variação da posição das linhas de recuo, demonstra tendências similares em todas as linhas de recuo resultantes dos procedimentos estipulados. Estas caracterizam-se por valores de recuo mais elevados junto às áreas limítrofes, nomeadamente, junto aos limites norte e sul. Os elevados valores de recuo a norte diminuem gradualmente à medida que avançam para sul, apresentando uma diminuição considerável dos valores de recuo a sul da Fonte da Telha. Os valores de recuo mais baixos, encontram-se bem espelhados na metade sul da área em estudo, mais especificamente, desde sul da Fonte da Telha até à

Lagoa de Albufeira. Esta tendência de diminuição dos valores de recuo inverte-se junto à área limítrofe sul, mas especificamente na praia do Moinho de Baixo, no qual os valores de recuo apresentam um aumento considerável.

A variabilidade na distribuição dos valores de recuo previstos, a que se associará a faixa de salvaguarda, remetem para uma análise mais pormenorizada, numa tentativa de compreender os resultados obtidos. Tendo em consideração a escala espacial de análise associada ao elevado número de perfis traçados (a determinação da faixa de salvaguarda tem em consideração a posição de cada perfil traçado), não é viável para o presente estudo, a análise individual de cada perfil. Como tal, tornou-se pertinente, uma vez mais, a análise dos valores obtidos através dos setores já apresentados no ponto 4.2.1 do capítulo IV e localizado na figura 4.5.

A análise por setor das linhas de recuo (S_{255}) respeitantes ao horizonte temporal a 25 anos (quadro 5.2), permite concluir que o setor 1 apresenta o recuo da faixa de salvaguarda mais significativo, com um valor médio de 67,30 m. A este seguem-se por ordem decrescente os setores 3, 2 e 4 apresentando um recuo médio da faixa de salvaguarda de respetivamente 54,34 m, 50,46 m e 43,31 m.

Os valores médios de recuo mais significativos centram-se nos setores localizados na metade norte da área em estudo (setores 1, 2, 3 e 4), tal como referido anteriormente, a maioria dos valores de recuo mais significativo localizam-se na área norte do setor, diminuindo gradualmente à medida que avança para sul e aumentando novamente junto da área limítrofe sul (fig. 5.1). O setor 3, localizado entre a praia da Rainha e a Descida da Raposa, apresenta uma exceção ao referido, tendo sido um dos setores cujo o indicador do limite da vegetação dunar mais cresceu. Porém, aquando a integração da componente de avaliação dos impactos associados às tempestades extremas (S_{255}), na qual foi avaliado a cota máxima da duna, os valores de recuo aumentaram significativamente (quadro 5.2), devido às baixas cotas máximas da duna aqui registado. Neste seguimento, os setores mais a sul, (setores 8, 7 e 9) apresentam valores de recuo elevado (quadro 5.2). Os setores centrais localizados a sul da Fonte da Telha e a norte da Lagoa de Albufeira, apresentam os recuos médios menos significativos, no qual, o setor 5 apresenta um recuo médio de 31,54 m e o setor 6 o recuo médio menos expressivo de 25,34 m.

Quadro 5.2 - Projeção por setor do recuo médio (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.**Nota:** Localização dos setores na figura 4.5.

Setor	Recuo médio (m) da linha de costa no horizonte temporal de 25 anos		
	S25	S25c	S25s
S1	7,76	10,94	67,30
S2	1,98	2,94	50,46
S3	0,81	1,11	54,34
S4	0,38	0,70	43,31
S5	2,57	4,03	31,54
S6	4,01	7,19	25,34
S7	1,48	1,76	32,44
S8	8,34	11,98	35,40
S9	5,79	6,86	32,43

A disposição espacial das linhas de recuo não é uniforme ao longo da área em estudo. O quadro 5.3 apresenta o recuo máximo da faixa de salvaguarda registado em cada setor no horizonte temporal a 25 anos. O setor 1 apresenta o recuo da faixa de salvaguarda mais significativo, com um valor máximo de 94,97 m. A este seguem-se por ordem decrescente os setores 3, 5 e 2 apresentando um recuo máximo da faixa de salvaguarda de respetivamente 86,20 m, 70,65 m e 69,86 m.

Quadro 5.3 - Projeção por setor do recuo máximo (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.

Setor	Recuo máximo (m) da linha de costa no horizonte temporal de 25 anos		
	S25	S25c	S25s
S1	32,75	36,59	94,97
S2	17,50	21,34	69,86
S3	33,57	97,41	86,20
S4	6,75	9,82	56,20
S5	30,50	33,82	70,65
S6	10,75	14,07	32,23
S7	20,75	23,21	45,94
S8	16,00	19,96	45,72
S9	40,25	43,57	69,46

Para além das linhas de recuo, que ajudam a definir a faixa de salvaguarda, determinaram-se também as áreas de potencial galgamento oceânico, segundo a metodologia já descrita.

As figuras 5.2, 5.3 e 5.4 apresentam o zonamento: (i) das previsões de recuo com base nos resultados obtidos em S_0 , S_{25} , S_{25c} , S_{25s} , (ii) da faixa de salvaguarda e (iii) das áreas suscetíveis à ocorrência de galgamento oceânico, para o horizonte temporal a 25 anos.

Como referido anteriormente, o galgamento oceânico ocorre quando a cota máxima alcançada pelo espraio das ondas excede a elevação da duna de acordo com a posição da linha de recuo num determinado horizonte temporal. Dado às incertezas associadas à determinação da área interior afetada pelo galgamento optou-se por assinalar apenas os troços costeiros onde existe suscetibilidade de ocorrência de galgamentos oceânicos. De acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para um horizonte temporal a 25 anos, os setores litorais mais suscetíveis à ocorrência de galgamento oceânico localizam-se na metade norte da área em estudo, nomeadamente, nos setores 1, 2, 3 e 4 (fig. 5.2 e 5.3), principalmente condicionados pelas baixas altitudes registadas nos topos das dunas. Dos setores referidos, o potencial de galgamento oceânico apresenta uma maior expressão espacial no setor 3, localizado entre a praia do Castelo e a Descida da Raposa (fig. 5.2), estendendo-se ao setor 2, localizado entre a praia da Riviera e a praia do Castelo (fig. 5.2) e ao setor 4, situado entre a Descida da Raposa e a Fonte da Telha (fig. 5.3). A semelhança do setor 1, localizado no extremo norte da área em estudo entre a Nova Praia e a praia da Riviera (fig. 5.2), também o setor 9, localizado no extremo sul da área em estudo na praia do Moinho de Baixo (fig. 5.4), apresentam pontualmente locais com potencial de galgamento oceânico.

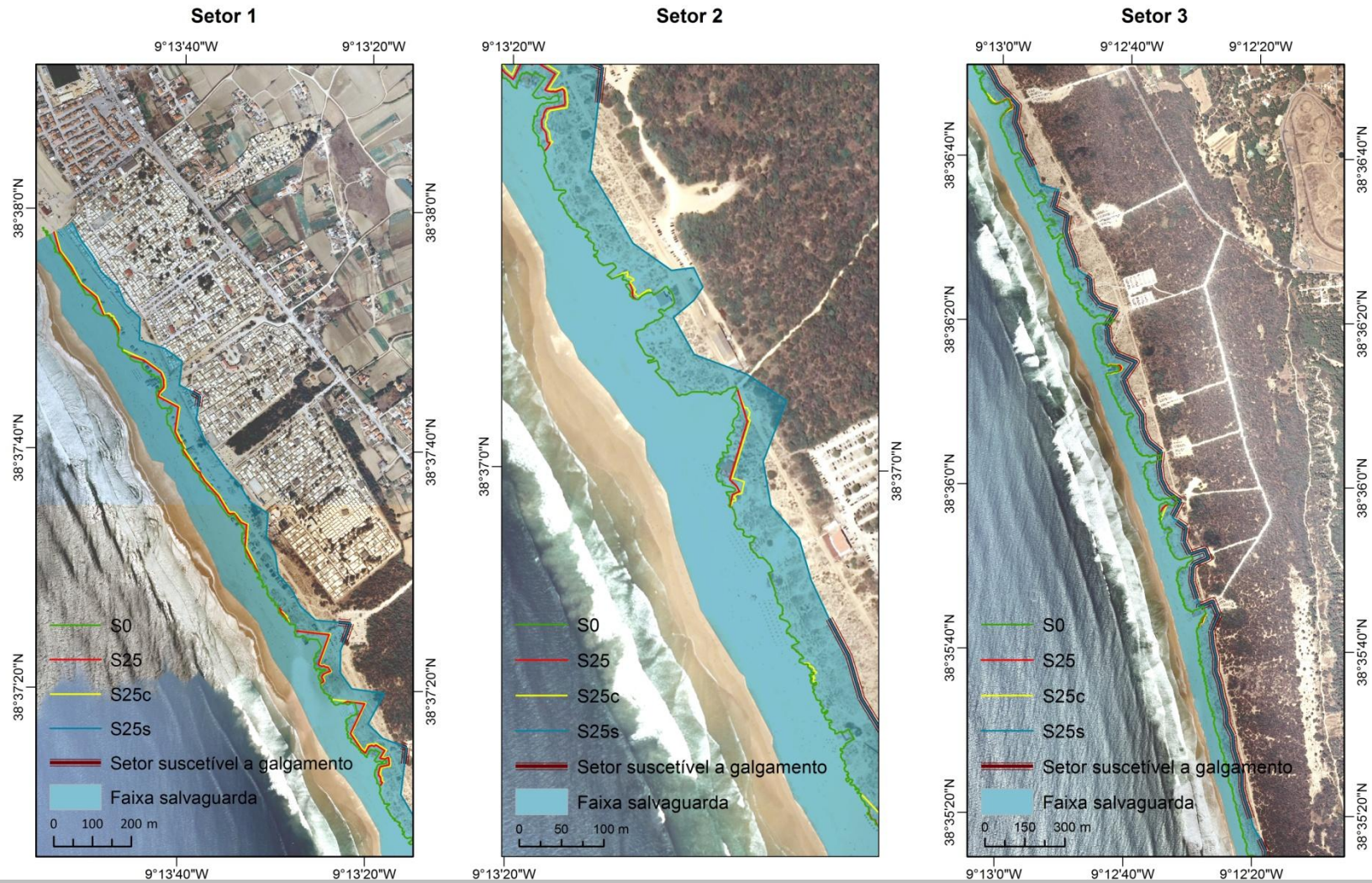


Figura 5.2 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 1, 2 e 3 de acordo com o respectivo horizonte temporal a 25 anos.

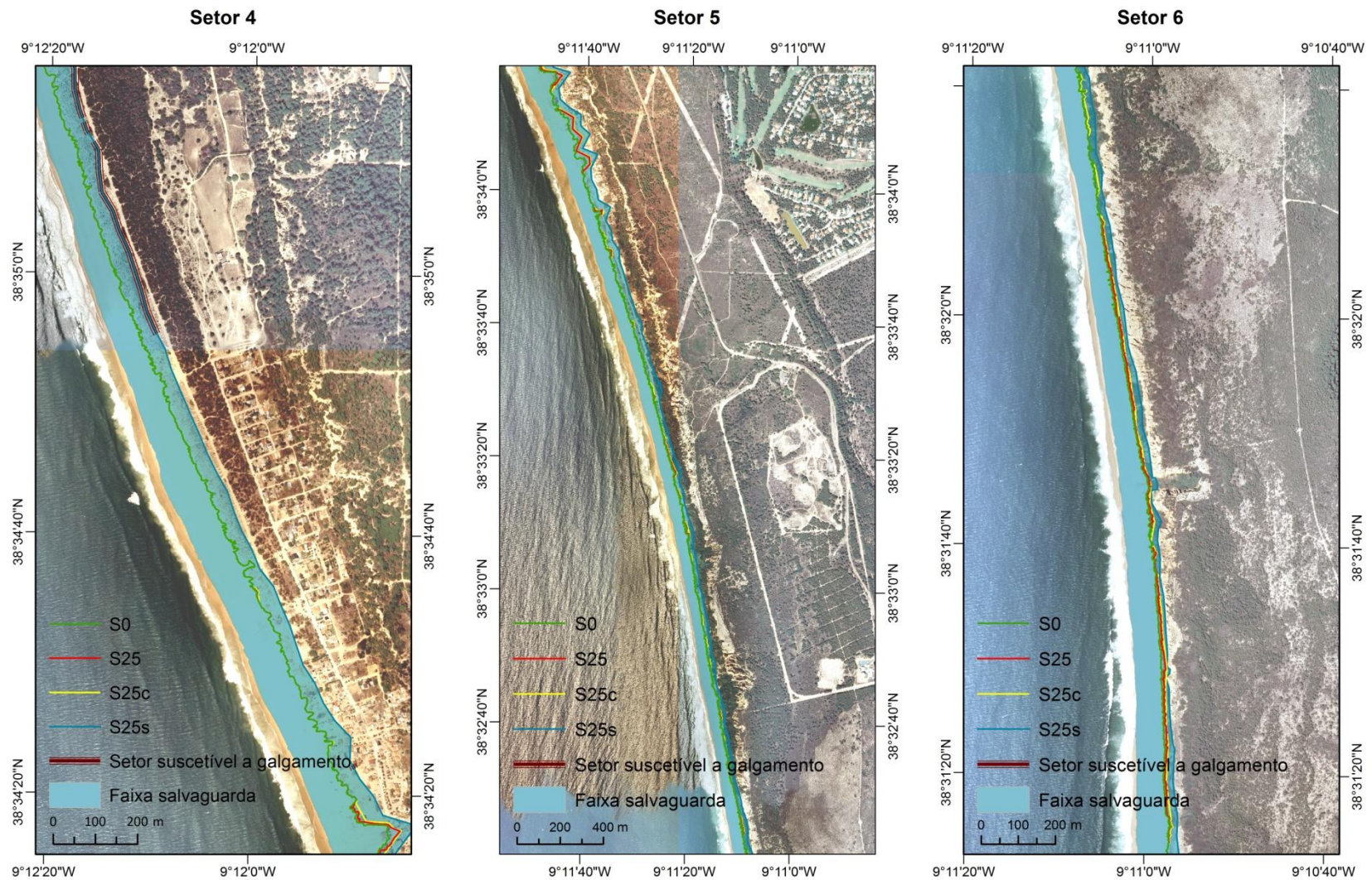


Figura 5.3 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 4, 5 e 6 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.

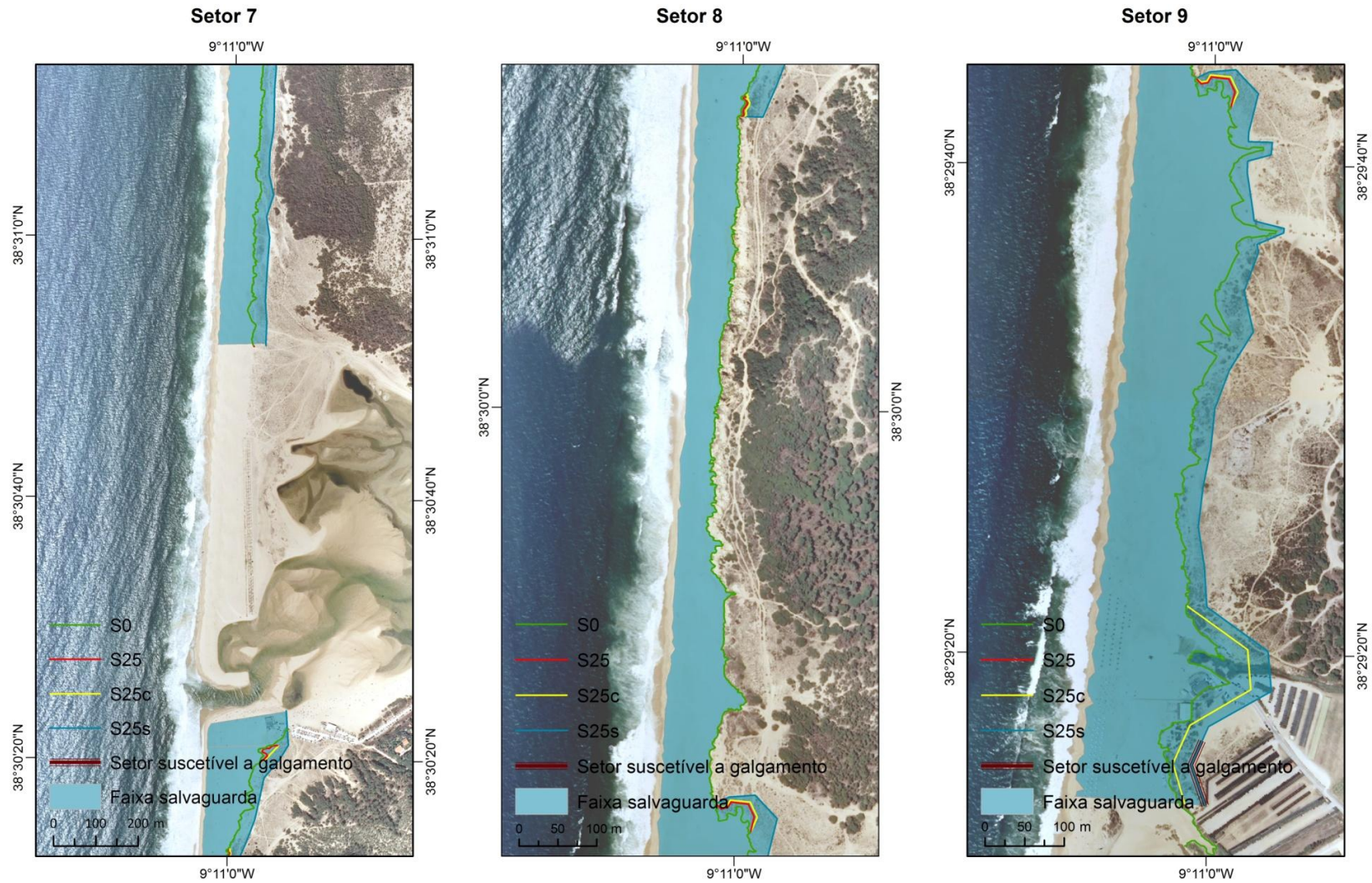


Figura 5.4 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 7, 8 e 9 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 25 anos.

5.2.2 Horizonte temporal a 50 anos

Após a determinação da faixa de salvaguarda para um horizonte temporal a 25 anos, projetou-se a faixa de salvaguarda para um horizonte temporal a 50 anos, utilizando os mesmos três procedimentos: (i) a quantificação da evolução da linha de costa e a previsão da futura posição da linha de costa (S_{50} , eq. 6), (ii) o ajuste para a aceleração da subida do nível do mar (S_{50C} , eq. 9) e (iii) a avaliação dos impactos associados às tempestades extremas (S_{50S} , eq. 13).

De acordo com a figura 5.5, verifica-se a distribuição espacial das linhas de recuo de acordo com cada procedimento estabelecido. Considerando a componente da quantificação da evolução da linha de costa e a previsão da futura posição da linha de costa (S_{50}), esta apresenta um recuo médio com valores na ordem dos 6,24 m em 50 anos, ou seja, uma taxa de recuo médio de 0,13 m/ano. Porém, dado às assimetrias existentes, os resultados da presente componente, podem variar entre os 0 m e os 80,50 m (1,61 m/ano). Quanto à integração da componente relativa ao ajuste para a aceleração da subida do nível do mar (S_{50C}), cujos valores de projeção foram já discutidos no ponto 3.3 do capítulo III, os valores de recuo médio da linha aumentam ligeiramente, com um valor de recuo de 7,52 m (0,15 m/ano). No seguimento do aumento do recuo médio, também a amplitude existente aumenta, variando no presente caso entre os 0 m e os 87,48 m (1,75 m/ano). Com a integração da componente de avaliação dos impactos associados às tempestades extremas (S_{50S}), registaram-se os aumentos significativos de recuo da linha. Em termos médios, a faixa de salvaguarda apresenta um recuo de 50,33 m em 50 anos, no qual a amplitude varia entre os 23,38 m e os 139,01 m (2,78 m/ano).

Tal como referido na análise espacial da variação da posição das linhas de recuo para o horizonte temporal a 25 anos, estas demonstram tendências similares em todas as linhas de recuo resultantes dos procedimentos estipulados. Quanto à sua variação espacial ao longo da área em estudo, este apresenta as mesmas tendências observadas no horizonte temporal a 25 anos, porém, com valores mais elevados (fig. 5.5).

A variabilidade na distribuição dos valores de recuo previsto, a que se associará a faixa de salvaguarda, remetem para uma análise pormenorizada. Tendo em consideração a escala espacial de análise associada ao elevado número de perfis traçados, tornou-se pertinente, uma vez mais, a análise dos valores obtidos através dos setores já apresentados no ponto 4.2.1 do capítulo IV e localizado na figura 4.5.

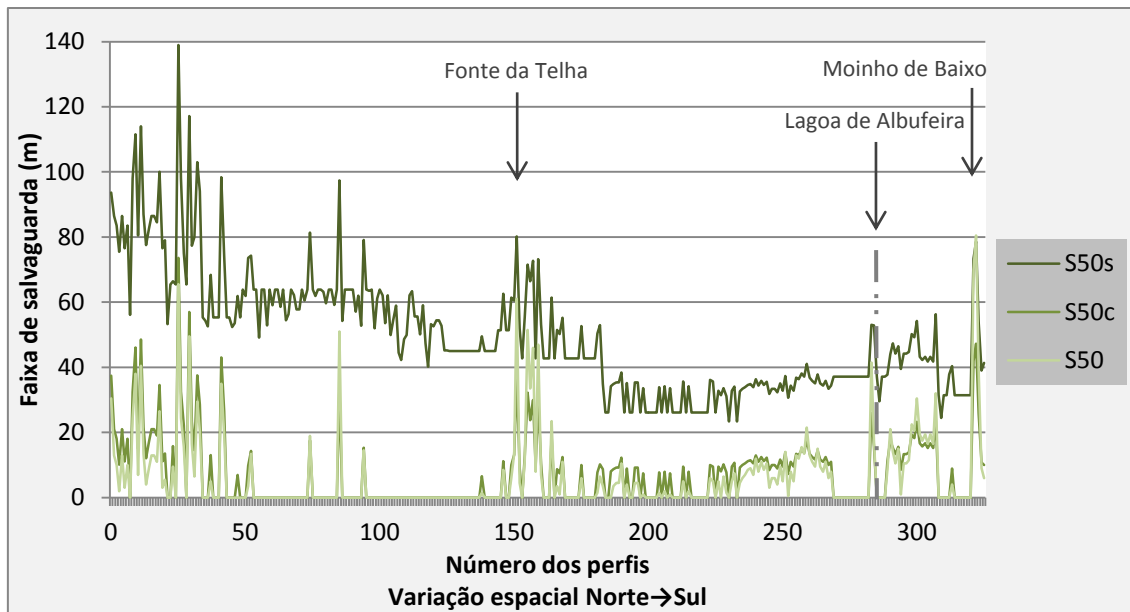


Figura 5.5 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo da área em estudo de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.

A análise por setor das linhas de recuo (S_{50s}) respeitantes ao horizonte temporal a 50 anos (quadro 5.4), permite concluir que o setor 1 apresenta o recuo da faixa de salvaguarda mais significativo, com um valor médio de 85,46 m. A este seguem-se por ordem decrescente os setores 3, 2 e 4 apresentando um recuo médio da faixa de salvaguarda de respetivamente 61,39 m, 60,17 m e 49,59 m. Os valores médios de recuo mais significativos centram-se nos setores localizados na metade norte da área em estudo (setores 1, 2, 3 e 4. Neste seguimento, os setores mais a sul (setores 8 e 9) apresentam valores de recuo elevados (quadro 5.2). Os setores centrais localizados a sul da Fonte da Telha e a norte da Lagoa de Albufeira, apresentam os recuos médios menos significativos, no qual se distinguem os setores 5 e 7 apresentando respetivamente um recuo médio de 38,70 m e 38,35 m e o setor 6 com o recuo médio menos expressivo de 34,07 m.

Quadro 5.4 - Projeção por setor do recuo médio (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.

Nota: Localização dos setores na figura 4.5.

Setor	Recuo médio (m) da linha de costa no horizonte temporal de 50 anos		
	S50	S50c	S50s
S1	15,51	22,22	85,46
S2	3,97	5,98	60,17
S3	1,61	1,44	61,39
S4	0,76	1,05	49,59
S5	5,15	5,63	38,70
S6	8,02	10,69	34,07
S7	2,95	2,08	38,35
S8	16,68	15,98	45,18
S9	11,58	13,72	44,74

O quadro 5.5 apresenta o recuo máximo da faixa de salvaguarda registado em cada setor no horizonte temporal a 50 anos. O setor 1 apresenta o recuo da faixa de salvaguarda mais significativo, com um valor máximo de 139,01 m. A este seguem-se por ordem decrescente os setores 9, 2 e 3 apresentando um recuo máximo da faixa de salvaguarda de respetivamente 118,88 m, 98,36 m e 97,41 m.

Quadro 5.5 - Projeção por setor do recuo máximo e mínimo (m) da faixa de salvaguarda de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.

Setor	Recuo máximo (m) da linha de costa no horizonte temporal de 50 anos		
	S50	S50c	S50s
S1	65,50	73,57	139,01
S2	35,00	43,07	98,36
S3	51,00	33,57	97,41
S4	13,50	13,21	63,35
S5	61,00	37,48	80,21
S6	21,50	17,73	41,11
S7	41,50	25,92	53,05
S8	32,00	24,33	56,32
S9	80,50	87,48	118,88

Para além das linhas de recuo, que ajudam a definir a faixa de salvaguarda, determinaram-se também as áreas de potencial galgamento oceânico.

As figuras 5.6, 5.7 e 5.8 representam cartograficamente a distribuição espacial das linhas de recuo de acordo com cada procedimento estabelecido pela abordagem adotada, bem como as áreas suscetíveis à ocorrência de galgamento oceânico, segundo cada setor estabelecido, para o horizonte temporal a 50 anos.

Como referido anteriormente, o galgamento oceânico ocorre quando a cota máxima alcançada pelo espraio das ondas excede a elevação da duna de acordo com a posição da linha de recuo num determinado horizonte temporal. Dado às incertezas associadas à determinação da área interior afetada pelo galgamento assinalou-se apenas os troços costeiros onde existe suscetibilidade de ocorrência de galgamentos oceânico. De acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para um horizonte temporal a 50 anos, os setores litorais mais suscetíveis à ocorrência de galgamento oceânico, localizam-se na metade norte da área em estudo, nomeadamente, nos setores 1, 2, 3 e 4 (fig. 5.6 e 5.7), principalmente condicionados pelas baixas altitudes registadas nos topos das dunas. Dos setores referidos, o potencial de galgamento oceânico apresenta uma maior expressão espacial no setor 3, localizado entre a praia do Castelo e a Descida da Raposa (fig. 5.6), estendendo-se ao setor 2, localizado entre a praia da Riviera e a praia do Castelo (fig. 5.6) e ao setor 4, situado entre a Descida da Raposa e a Fonte da Telha (fig. 5.7). A semelhança do setor 1, localizado no extremo norte da área em estudo entre a Nova Praia e a praia da Riviera (fig. 5.6), também o setor 9, localizado no extremo sul da área em estudo na praia do Moinho de Baixo (fig. 5.8), apresentam pontualmente locais com potencial de galgamento oceânico. Apesar dos locais de potencial galgamento oceânico serem bastante idênticos aos locais determinados para o horizonte temporal a 25 anos, são os setores limítrofes, especialmente no setor limítrofe norte, que apresentam as maiores diferenças, com uma maior extensão de locais expostos a potenciais galgamentos oceânico.

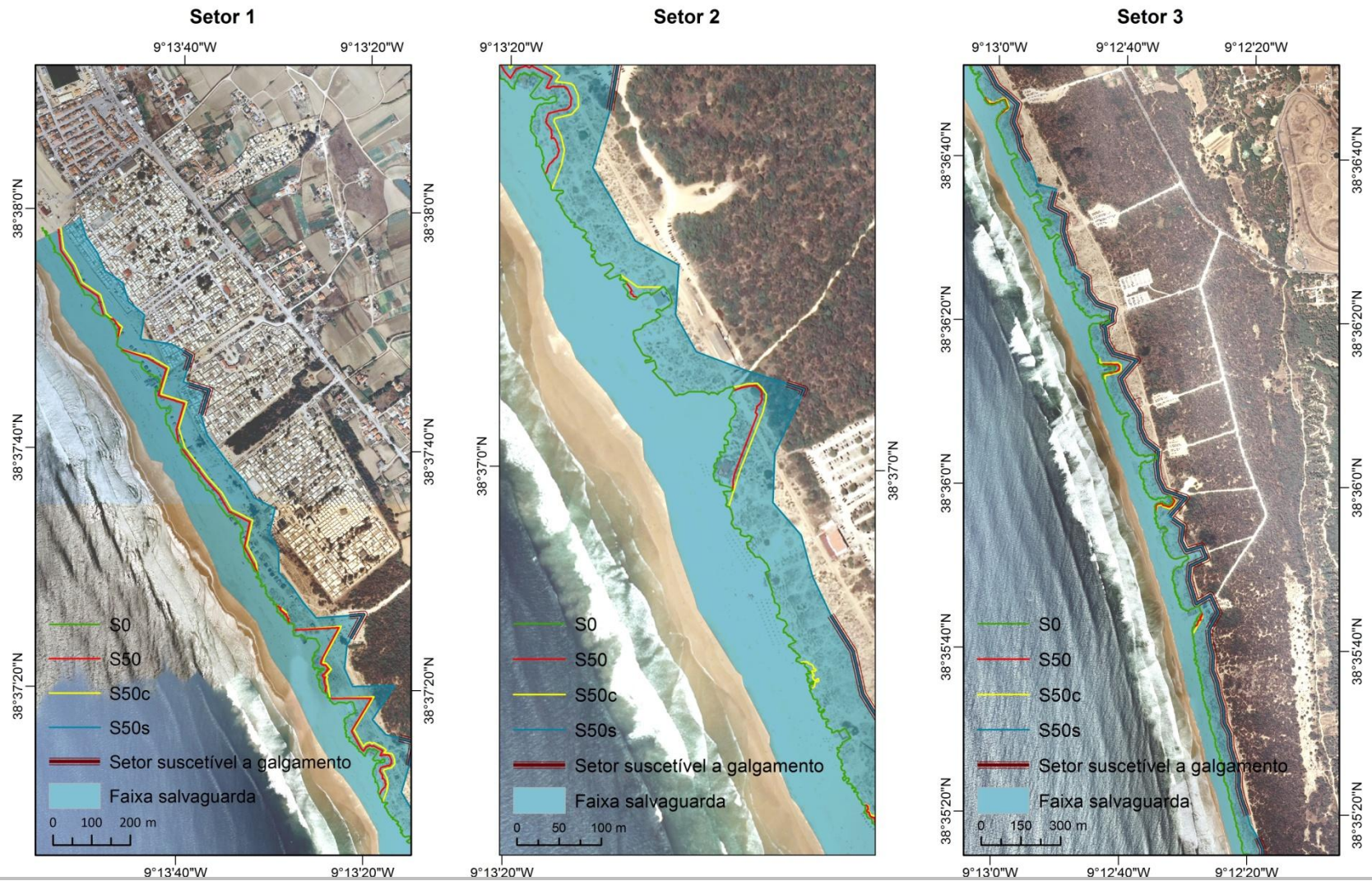


Figura 5.6 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 1, 2 e 3 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.

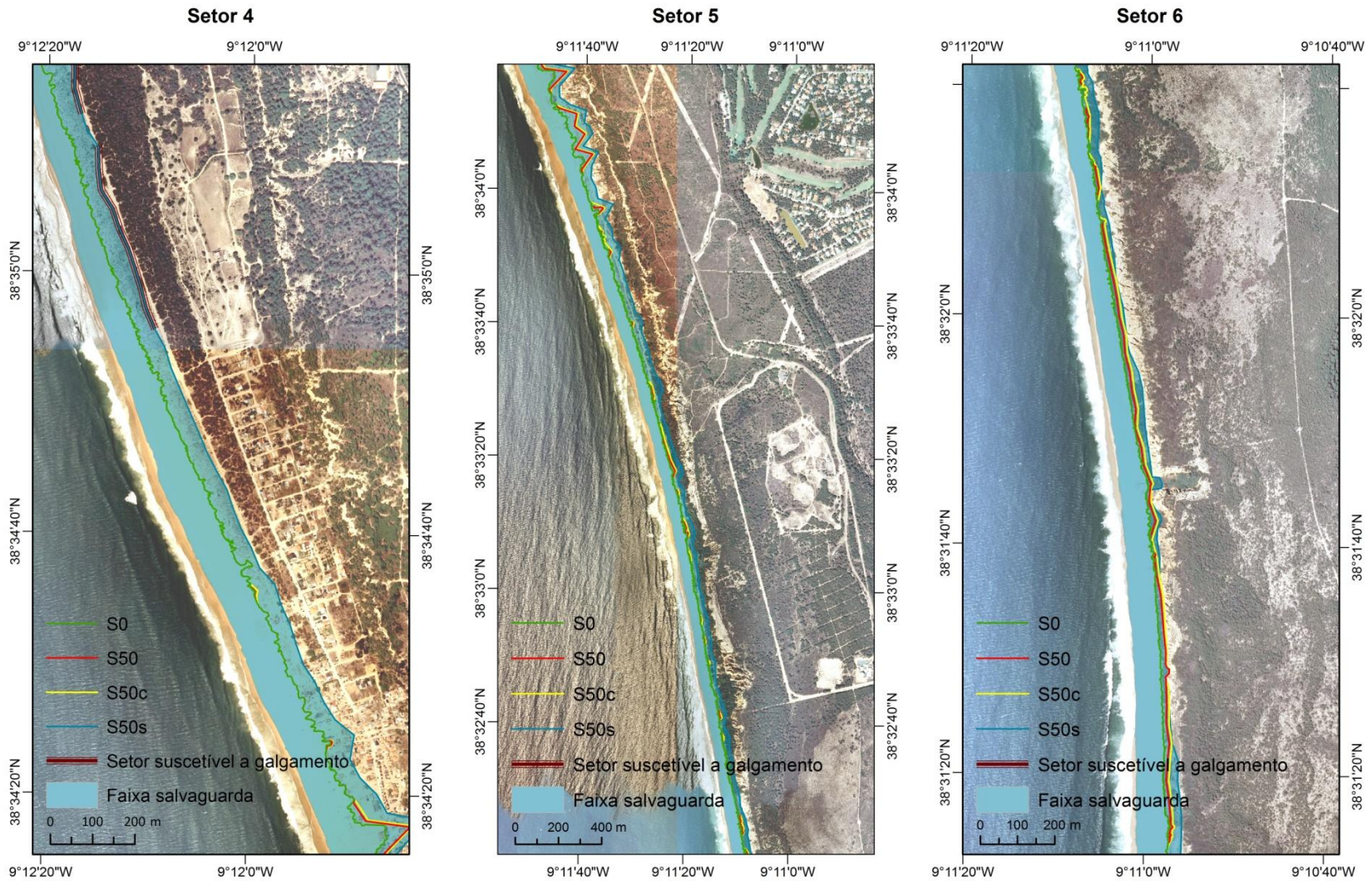


Figura 5.7 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 4, 5 e 6 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.

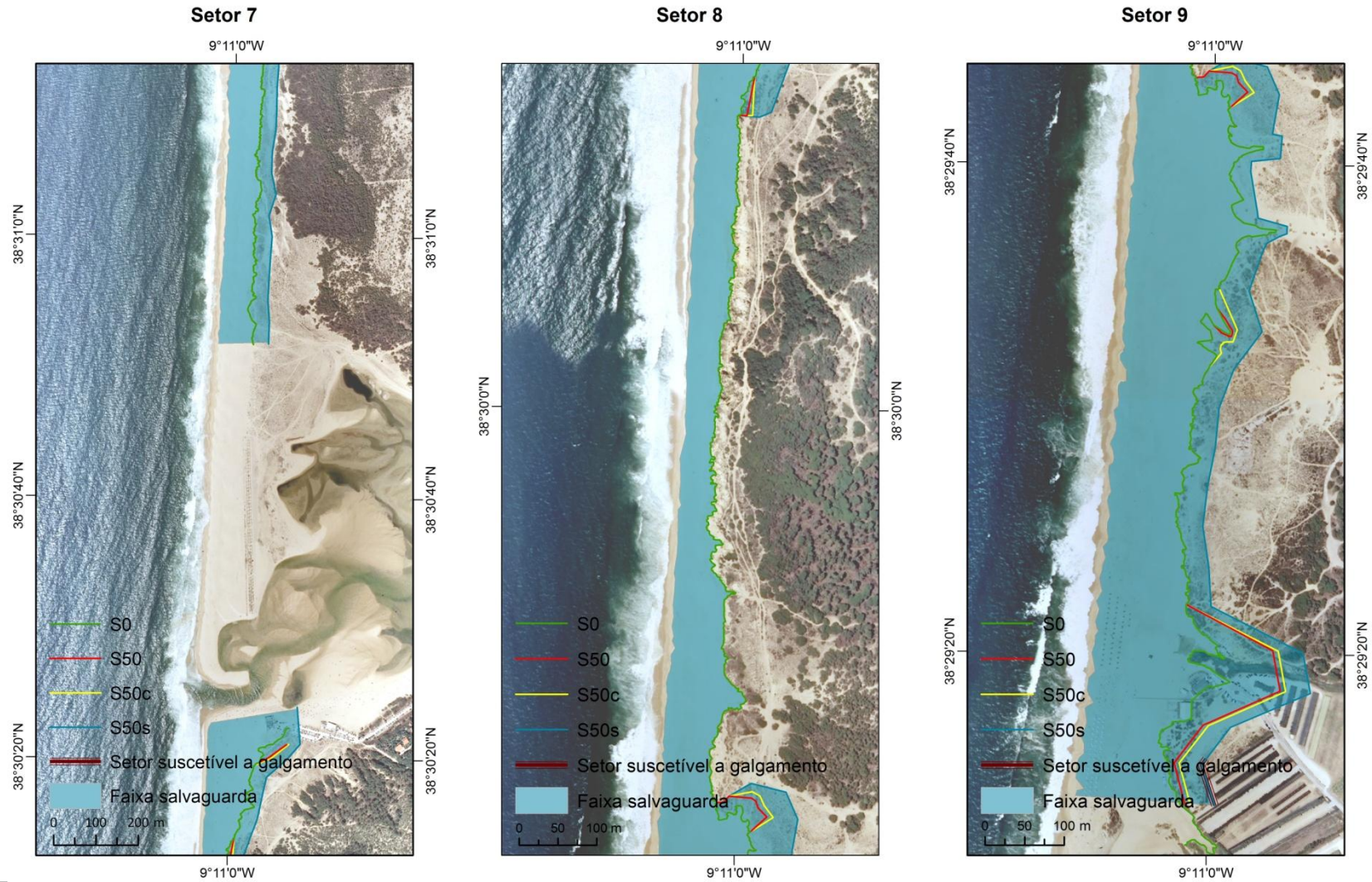


Figura 5.8 - Variação da posição da faixa de salvaguarda ao longo dos setores 7, 8 e 9 de acordo com o respetivo horizonte temporal a 50 anos.

5.3. Determinação de cenários de vulnerabilidade de elementos atuais expostos

Determinadas as faixas de salvaguarda associadas aos fatores forçadores da faixa costeira arenosa, pretende-se identificar o tipo de ocupação do solo e os respetivos elementos expostos presentes. De acordo com o estipulado no capítulo III, a determinação do tipo de ocupação do solo e os respetivos elementos expostos apenas terão em consideração a projeção da faixa de salvaguarda estabelecida para o horizonte temporal de 50 anos, dado que este tem a capacidade de cobrir uma maior extensão de área face à faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal de 25 anos.

De forma a determinar o tipo de ocupação e os elementos expostos face ao recuo da linha de costa, recorreu-se à utilização de duas fontes de informação disponíveis: (i) a Carta de Uso e Ocupação do Solo (COS) e (ii) a Base Geográfica de Referenciação de Informação (BGRI). É de salientar que, para o presente estudo, ter-se-á em consideração as fontes de informação mais recentes disponíveis, quantificando o tipo de ocupação do solo e os elementos expostos afetados, caso não sofram alterações nos próximos 50 anos.

A tipologia de ocupação do solo presente na faixa de salvaguarda encontra-se explícita no quadro 5.6. De acordo com a informação disponibilizada é possível distinguir 3 tipologias de ocupação do solo presentes na faixa de salvaguarda: (i) territórios artificializados, (ii) florestas e meios naturais e seminaturais e (iii) corpos de água.

Contrariando a tendência verificada nos municípios de Almada e Sesimbra, no qual a área de estudo se insere (capítulo II), a tipologia de ocupação do solo de florestas e meios naturais e seminaturais constitui a classe predominante existente na faixa de salvaguarda, ocorrendo em 95,50% dos casos. Uma análise mais detalhada, com recurso ao nível 2 da COS, permitiu identificar que a presente tipologia é essencialmente constituída por zonas descobertas e com pouca vegetação, comportando 92,57% das ocorrências face aos 95,50% que esta classe incorpora.

Porém, é a tipologia dos territórios artificializados que acrescenta uma maior vulnerabilidade face aos perigos oceânicos. Esta tipologia constitui 4,27% da área afetada pela faixa de salvaguarda, em que de acordo com uma análise mais detalhada, encontra-se individualizada em duas classes, nomeadamente: (i) tecido urbano, cuja área comporta 3,04% e (ii) espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas englobando os restantes 1,23% da área.

Quadro 5.6 - Tipologia de ocupação do solo (COS) afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos.

Nível 1	Nível 2	Descrição COS	Faixa de salvaguarda (50 anos) Nível 1		Faixa de salvaguarda (50 anos) Nível 2	
			Área (ha)	%	Área (ha)	%
1		Territórios artificializados	81766,08	4,27		
	1.1	Tecido urbano			58214,99	3,04
	1.4	Espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer, e zonas históricas			23551,10	1,23
3		Florestas e meios naturais e seminaturais	1830819,61	95,50		
	3.1	Florestas			17573,16	0,92
	3.2	Florestas abertas e vegetação arbustiva e herbácea			38685,82	2,01
	3.3	Zonas descobertas e com pouca vegetação			1774560,62	92,57
5		Corpos de água	4495,24	0,23		
	5.2	Águas marinhas e costeiras			4495,24	0,23
Total			1901259,43	100,00	1901924,84	100,00

A representação espacial dos tipos de ocupação do solo teve em consideração o nível 2 da COS, cuja determinação da tipologia de ocupação do solo afetada pela faixa de salvaguarda (horizonte temporal a 50 anos), encontra-se representada nas figuras 5.9, 5.10 e 5.11, de acordo com cada setor estabelecido (fig. 4.5).

Os territórios artificializados localizam-se essencialmente junto dos focos populacionais, pelo qual se distinguem o setor 1, localizado junto à Costa da Caparica (fig. 5.9) e os setores 4 e 5, que integram a Fonte da Telha (fig. 5.10). Para além destes, distinguem-se também os setores 7 e 9 (fig. 5.11), apresentando áreas de território artificializado. Porém, nestes dois casos, a presente tipologia reflete os principais acessos às praias da Lagoa de Albufeira e do Moinho de Baixo. A tipologia de território artificializado no setor 1, distingue-se dos restantes presentes na faixa de salvaguarda devido à presença do parque de campismos, atribuindo-lhe a classe dos espaços verdes urbanos, equipamentos desportivos, culturais e de lazer e zonas históricas.

De acordo com a BGRI, na determinação dos elementos expostos face aos perigos costeiros consideraram-se três indicadores, nomeadamente, (i) o número de indivíduos residentes (quadro 5.7), (ii) a tipologia residencial dos edifícios (quadro 5.8) e (iii) a tipologia de construção dos edifícios (quadro 5.8).

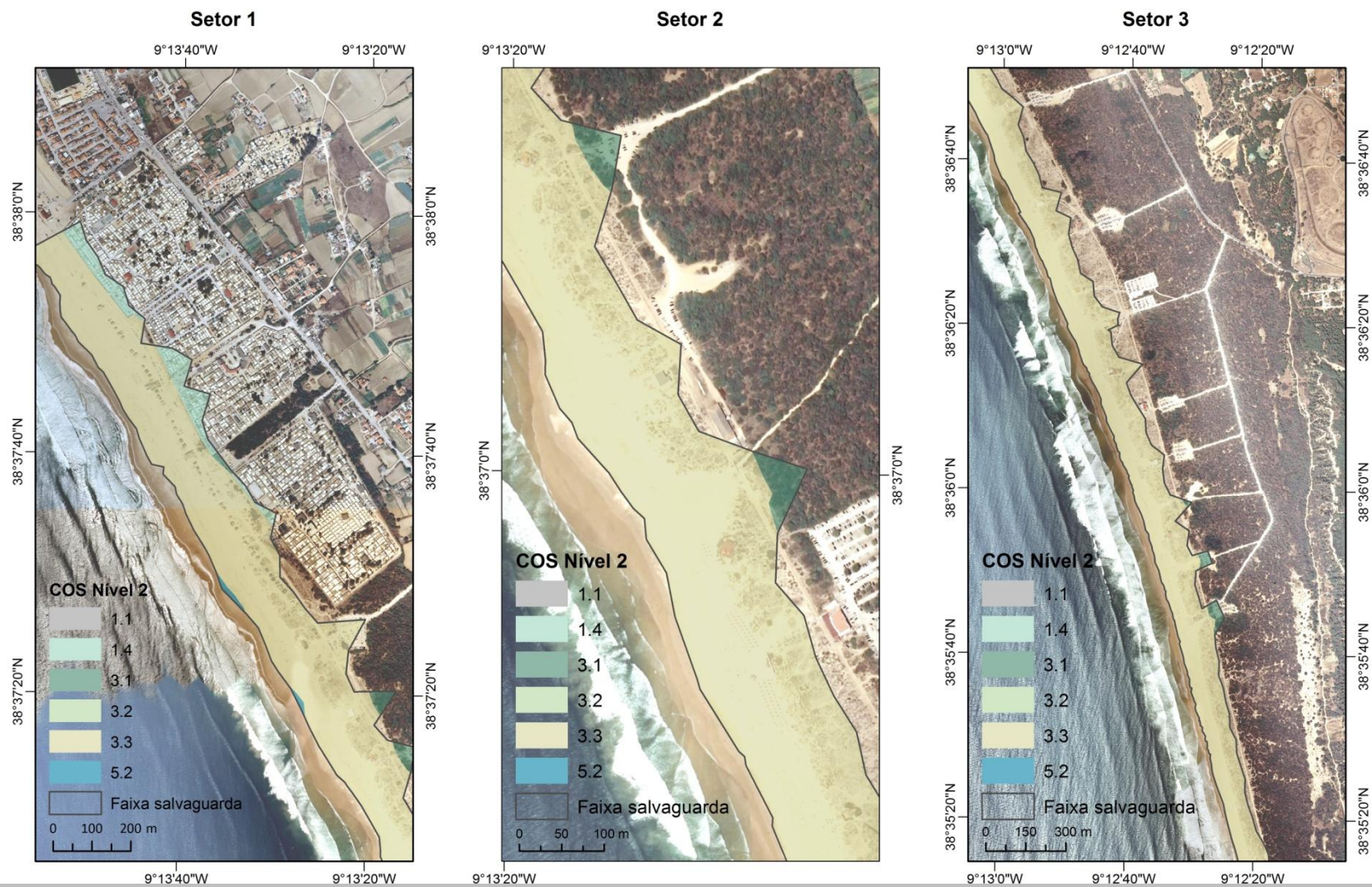


Figura 5.9 - Tipologia de ocupação do solo afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos ao longo dos setores 1, 2 e 3.

Nota: Descrição da COS presente no quadro 4.6.

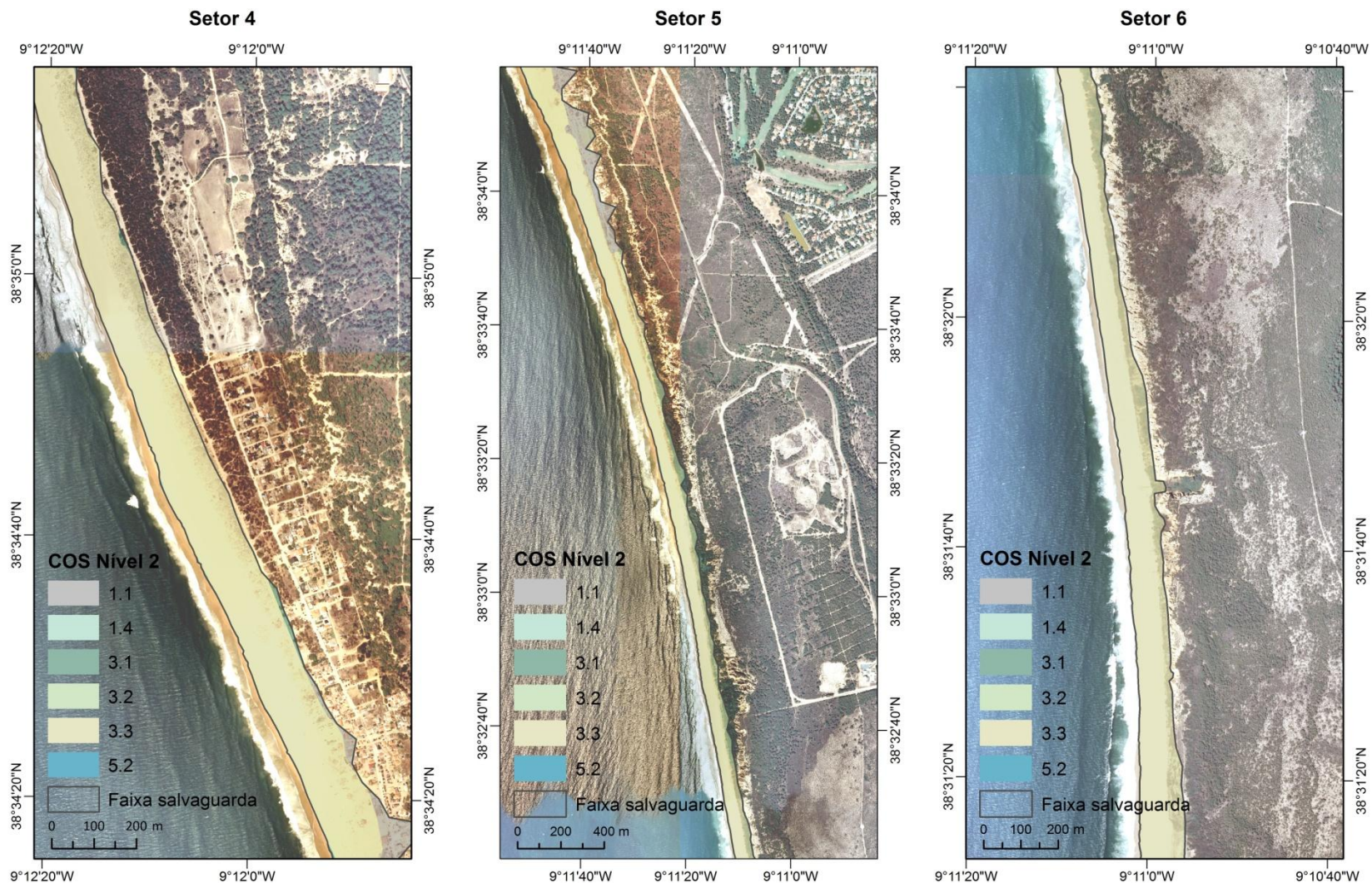


Figura 5.10 - Tipologia de ocupação do solo afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos ao longo dos setores 4, 5 e 6.

Nota: Descrição da COS presente no quadro 4.6.

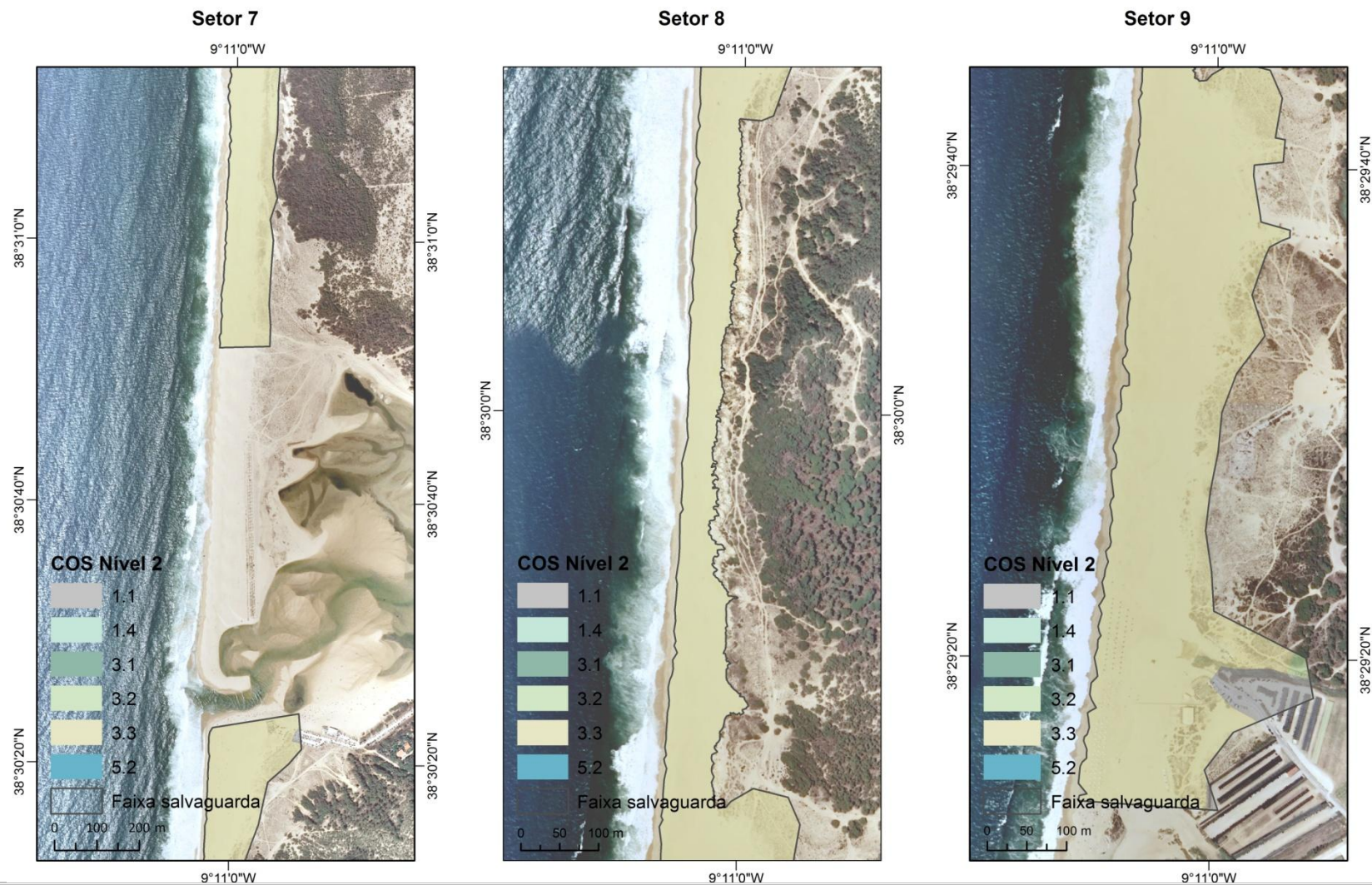


Figura 5.11 - Tipologia de ocupação do solo afetada de acordo com a faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos ao longo dos setores 7, 8 e 9.

Nota: Descrição da COS presente no quadro 4.6.

De acordo com o indicador do número de indivíduos residentes (quadro 5.7), identificou-se um total de 131 indivíduos residentes expostos aos perigos costeiros num horizonte temporal de 50 anos. Realizando uma análise mais detalhada, verifica-se um predomínio da chamada "população ativa" a ser afetada, com 82 indivíduos entre os 20 e os 64 anos vulneráveis aos perigos costeiros.

A distribuição espacial do número de indivíduos residentes não se apresenta homogénea ao longo da faixa de salvaguarda. O presente indicador apresenta-se repartido por 3 setores, nomeadamente, o setor 1, 4 e 5, coincidindo com os principais focos populacionais existentes na área de estudo, a Costa da Caparica e a Fonte da Telha.

Quadro 5.7 - Tipologia de elementos expostos de acordo com a BGRI face à projeção da faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos.

Setores	Indivíduos residentes			
	Indivíduos residentes	Indivíduos residentes 0 - 19	Indivíduos residentes 20 - 64	Indivíduos residentes > 64
S1	39	7	24	8
S2	0	0	0	0
S3	0	0	0	0
S4	29	5	19	5
S5	63	12	39	12
S6	0	0	0	0
S7	0	0	0	0
S8	0	0	0	0
S9	0	0	0	0
Total	131	24	82	25

Quanto à tipologia residencial dos edifícios (quadro 5.8), é atribuído aos edifícios residenciais uma maior exposição aos perigos costeiros face aos edifícios não residenciais. De acordo com o presente indicador identificou-se um total de 104 edifícios, distribuídos em 73 edifícios residenciais e 31 edifícios não residenciais.

Quanto à sua distribuição espacial, verifica-se que os edifícios residenciais, apesar de existirem em maior número, apresentam uma distribuição heterogénea, concentrada em apenas 3 setores, que correspondem aos setores onde se concentram os indivíduos residentes (quadro 5.7).

Quanto à tipologia de construção dos edifícios é possível distinguir duas formas de análises, nomeadamente, (i) a exposição do edifício face ao perigo de erosão costeira obtido através da resistência associada a cada edifício e (ii) a exposição dos indivíduos em edifícios face ao perigo de inundação obtido através da altura associada a cada edifício.

A exposição do edifício face ao perigo de erosão costeira é determinado através do material de construção, podendo resultar numa maior ou menor resistência face ao perigo de erosão costeira. De acordo com os 104 edifícios identificados, regista-se a existência de 44 que apresentam uma maior resistência face aos 60 edifícios de baixa resistência.

Quanto à sua distribuição espacial, verifica-se que dos 60 edifícios que apresentaram uma baixa resistência, mais de metade destes localizam-se em setores com presença de edifícios residenciais, com principal destaque para o setor 5, mas especificamente a Fonte da Telha, que inclui 27 edifícios com pouca resistência.

Quanto à exposição dos indivíduos em edifício face ao perigo de inundação é determinado através do número de pisos, estando os indivíduos mais expostos ao perigo de inundação em edifícios com um menor número de pisos. De acordo com os 104 edifícios identificados, regista-se a existência de 103 edifícios que possuem até um máximo de 2 pisos, registando-se apenas 1 edifício com mais de 3 pisos.

Quadro 5.8 - Tipologia de elementos expostos de acordo com a BGRI face à projeção da faixa de salvaguarda estipulada para o horizonte temporal a 50 anos.

Setores	Tipologia residencial dos edifícios		Tipologia construção dos edifícios			
	Edifícios residenciais	Edifícios não residenciais	Maior resistência	Menor resistência	N.º pisos 1 - 2	N.º pisos > 3
S1	32	3	29	6	35	0
S2	0	3	0	3	3	0
S3	0	11	0	11	11	0
S4	11	2	3	10	13	0
S5	30	9	12	27	38	1
S6	0	0	0	0	0	0
S7	0	1	0	1	1	0
S8	0	0	0	0	0	0
S9	0	2	0	2	2	0
Total	73	31	44	60	103	1

Apesar da presente determinação dos elementos expostos face aos perigos costeiros estar de acordo com a faixa de salvaguarda projetada para o horizonte temporal a 50 anos, é de salientar que atualmente já existem elementos expostos aos perigos costeiros em situações de temporal.

Capítulo 6. Considerações finais

O presente estudo teve como objetivo principal a análise da dinâmica da linha de costa no setor não artificializado do litoral arenoso do arco Caparica-Espichel, no qual se projetou as faixas de salvaguarda para um horizonte temporal de 25 e 50 anos, permitindo avaliar as consequências no território. Como consequência dos dados obtidos, procedeu-se ao zonamento da vulnerabilidade à erosão associada à subida gradual do nível do mar. De modo a atingir o objetivo geral proposto, foi necessário a utilização de um extenso conjunto de métodos e técnicas.

A determinação da dinâmica da linha de costa teve por base a análise de fotografias aéreas verticais e ortofotomapas. As fontes documentais utilizadas permitiram compreender o ritmo de evolução da linha de costa em aproximadamente meio século. Apesar dos erros associados optou-se por não se descartar a respetiva fonte de informação, embora a sua utilização remeta para questões a ter em consideração na caracterização da dinâmica da linha de costa.

Dado que o conceito de linha de costa se apresenta demasiado lato para ser considerado na demarcação e na consequente obtenção da variação da linha de costa, tornou-se necessário a utilização de um indicador (*proxies*) que permitisse representar a posição de linha de costa de modo a caracterizar a dinâmica geral de longo prazo ao longo do troço costeiro. Deste modo, optou-se pela utilização do limite da vegetação dunar como sendo o indicador que melhor se adequa às características do presente estudo.

O presente indicador apesar de ser considerado o mais adequável apresenta algumas fragilidades para a aplicação no troço costeiro em estudo que devem ser tidas em consideração.

Numa primeira fase, não foi possível vetorizar o indicador de linha de costa em dois setores do troço costeiro devido à inexistência de vegetação dunar, distinguindo-se (i) a existência de um espelho de água associado ao sistema lagunar da Lagoa de Albufeira e (ii) a ação direta do mar sobre a arriba imediatamente a sul da praia do Moinho de Baixo não permitindo o desenvolvimento de vegetação dunar. Esta situação levou à exclusão dos respetivos setores da análise.

Por outro lado, o indicador do limite da vegetação dunar verificou-se inadequável face à representação da dinâmica da linha de costa em alguns setores específicos, nomeadamente, onde a influência antrópica provocou a modificação das dunas. Deste modo, optou-se pela utilização do limite seco-molhado como indicador secundário de linha de costa, permitindo uma melhor interpretação da dinâmica da linha de costa e consequentemente integrando a componente da largura da praia emersa.

A obtenção da dinâmica da linha de costa teve por base a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System*® v.4.3, tendo-se demonstrado uma mais-valia no cálculo da variação da linha de costa permitindo agilizar todo o processo.

Foi possível identificar dinâmicas distintas ao longo do troço costeiro em análise, dependendo dos diferentes condicionalismos a que o troço costeiro se encontra sujeito, concretamente o tipo e a intensidade de utilização antrópica do sistema. O setor 1, no extremo norte da área em estudo, entre a Nova Praia e a praia da Riviera (fig. 4.6), constitui um excelente exemplo, já que aí existe uma elevada pressão antrópica sobre todo o sistema, contribuindo para a sua degradação e o conseqüente recuo generalizado do indicador de linha de costa.

Em oposição ao ocorrido entre a Nova Praia e a praia da Riviera, a sul, o setor 3 localizado entre a praia do Castelo e a Descida da Raposa (fig. 4.11), constitui o melhor exemplo no âmbito da dicotomia entre o antrópico e o natural. Dado à sua localização, o sistema apresenta-se no geral pouco antropizado, cuja pressão antrópica aqui existente resulta essencialmente do turismo balnear, centralizando-se junto dos principais acessos às praias. É neste contexto que se torna evidente o contraste entre o espaço natural e antropizado, sendo possível distinguir um espaço que na sua generalidade apresenta uma recuperação do sistema dunar, face a uma erosão localizada, estritamente relacionada com a elevada pressão antrópica sobre o local.

A influência antrópica desempenha um papel preponderante na dinâmica do sistema litoral. Porém, o tipo de utilização antrópica realizada sobre o mesmo, pode sugerir dinâmicas distintas. Neste sentido, distingue-se o caso da Fonte da Telha, que apesar de constituir uma área fortemente artificializada, apresenta uma dinâmica antagónica, derivada dos diferentes processos antrópicos a que se encontra sujeito. Neste contexto torna-se evidente o contraste norte e sul, sendo possível distinguir a norte (setor 4, fig. 4.12) um espaço cuja pressão antrópica resulta essencialmente do aglomerado populacional aí presente, não promovendo um recuo do indicador de linha de costa, contrastando a sul (setor 5, fig. 4.9), com um espaço cuja elevada pressão antrópica provém principalmente do turismo balnear, originando um recuo acentuado do indicador de linha de costa. É por isso necessário ter em consideração que o tipo de utilização exercida sobre o litoral, pode condicionar a sua dinâmica.

O arco Caparica-Espichel, tal como referido anteriormente, encontra-se estreitamente relacionado com os processos territoriais ocorridos na AML, onde a pressão antrópica é elevada, particularmente a norte. Embora o crescente processo de litoralização afete a área em estudo, é possível distinguir dentro dela, espaços naturais ou pouco antropizados, localizando-se predominantemente na área sul do arco Caparica-Espichel. Deste modo,

identificou-se uma diferenciação em termos de dinâmica da linha de costa dentro dos espaços naturais, colocando em evidência a influência da presença da arriba fóssil sobre o mesmo.

O interface entre o setor localizado entre os Medos de Albufeira e o norte da Lagoa de Albufeira (setor 6, fig. 4.7), bem como, o setor imediatamente a sul, correspondente à Lagoa de Albufeira (setor 7, fig. 4.13), estabelece uma mudança abrupta na tendência da linha de costa, encontrando-se relacionada com a presença da arriba fóssil. Neste contexto torna-se evidente a diferenciação norte-sul, sendo possível distinguir a norte (setor 6) um espaço caracterizado pela presença da arriba fóssil, cuja dinâmica apresenta uma tendência de recuo pouco significativa do indicador de linha de costa, contrastando imediatamente a sul (setor 7), cuja interrupção da arriba fóssil, comporta uma inversão direta na tendência erosiva do indicador de linha de costa para uma tendência acumulativa. Aliado a estes, também os setores 8 (fig. 4.8) e 9 (fig. 4.14) evidenciam o mesmo comportamento, invertendo a tendência do indicador de linha de costa consoante a presença da arriba fóssil.

A tendência evolutiva da linha de costa face ao condicionalismo da presença da arriba fóssil num espaço natural ou pouco antropizado, pode estar relacionado com a posição do nível do mar. Tal como afirmado no capítulo II, existe um consenso na comunidade científica de que o nível médio do mar tem vindo a elevar-se, proporcionando por si só um recuo da linha de costa. Porém, é necessário ter-se em consideração que o indicador de linha de costa baseia-se no limite da vegetação dunar. No presente caso, uma das hipóteses que pode estar na base da justificação dos comportamentos antagónicos na tendência do indicador de linha de costa em setores naturais, pode estar relacionada com a capacidade de resiliência do sistema. Face à subida do nível do mar, a presença da arriba fóssil pode provocar um condicionalismo na recuperação da vegetação no sistema dunar, provocando um recuo do indicador de linha de costa. Em oposição, a subida do nível do mar num setor cuja arriba é inexistente e se verifica uma elevada disponibilidade de sedimentos, pode proporcionar uma recuperação do sistema face ao avanço do mar, demonstrando a capacidade de resiliência do sistema duna.

Como consequência dos dados obtidos, projetaram-se as faixas de salvaguarda para os respetivos horizontes temporais de 25 e 50 anos. A abordagem adotada segue os pressupostos definidos por Ferreira *et al.* (2006), sendo esta abordagem a que melhor se adequa às características do presente área em estudo. O presente método encontra-se desenvolvido para litorais arenosos, integrando simultaneamente os diversos elementos de perigosidade (erosão e galgamento oceânico) que constituem fatores forçadores (subida do nível do mar, ondas, marés, *storm surge* e *runup*) da faixa costeira. Aliado a este, o presente método tem em consideração diferentes abordagens dependendo da tendência evolutiva da linha de costa (erosão, estabilidade dinâmica e acreção) (Ferreira *et al.*, 2006).

A análise das faixas de salvaguardas projetadas para o horizonte temporal de 25 e 50 anos, caracterizam-se por valores de recuo mais elevados junto às áreas limítrofes, nomeadamente, junto aos limites norte e sul. Os elevados valores de recuo a norte diminuem gradualmente à medida que avançam para sul, apresentando uma diminuição considerável dos valores de recuo a sul da Fonte da Telha. Os valores de recuo mais baixos, encontram-se bem espelhados na metade sul da área em estudo, mais especificamente, desde sul da Fonte da Telha até à Lagoa de Albufeira. Esta tendência de diminuição dos valores de recuo inverte-se na praia do Moinho de Baixo, cujo recuo apresenta um aumento notável. Dos setores litorais mais suscetíveis à ocorrência de galgamento oceânico destaca-se a metade norte da área em estudo, nomeadamente, nos setores 1, 2, 3 e 4 (fig. 5.2 e 5.3), encontrando-se intimamente relacionado com as baixas altitudes registadas nos topos das dunas.

O zonamento das previsões de recuo permitiu identificar um obstáculo à sua demarcação. A arriba fóssil, em alguns casos, funciona como uma condicionante à demarcação das linhas de recuo, com especial destaque a sul da Fonte da Telha, local onde a linha de costa se encontra mais próxima da arriba. Em situações cujo recuo das linhas excede o limite interno da planície litoral, optou-se pela demarcação das linhas de recuo no respetivo limite interior da planície litoral, utilizando a base da arriba para tal. Esta situação reflete em parte o facto de tipologias de litoral distintas apresentarem dinâmicas distintas, não sendo coerente a aplicação de resultados desenvolvidos para sistemas arenosos em sistemas rochosos.

Determinadas as faixas de salvaguarda associadas aos fatores forçadores da faixa costeira, identificou-se, de acordo com a faixa de salvaguarda estabelecida para o horizonte temporal a 50 anos, o tipo de ocupação do solo e os respetivos elementos expostos.

Dado à inexistência de modelações que permitam averiguar o tipo de ocupação do solo e os elementos expostos afetados para um determinado horizonte temporal, optou-se por considerar as fontes de informação mais recentes disponíveis, assumindo para o presente estudo a determinação do tipo de ocupação do solo e os elementos expostos caso estes não sofram alterações nos próximos 50 anos.

Os resultados apresentados no presente estudo demonstram num cenário a 25 e 50 anos setores bastante suscetíveis aos perigos costeiros, tais como, erosão e galgamento oceânico, coincidindo com áreas de elevada ocupação humana e, como tal, devem ser tidas em consideração no ordenamento do território.

Referências bibliográficas

- Abecassis F (1987) O regime aluvionar na costa portuguesa entre Peniche e a Foz do Mira. *Ingenium*, n.º8: 4-18.
- Agência Portuguesa do Ambiente (2015) Programas da Orla Costeira. <http://apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=7&sub2ref=10&sub3ref=1193> [acedido em 12 de agosto de 2015].
- Alveirinho-Dias J (1993) *Estudo da avaliação da situação ambiental e propostas de medidas de salvaguarda para a faixa costeira portuguesa* (Geologia costeira). Liga para a Proteção da Natureza, Ministério do Ambiente.
- Alveirinho-Dias J (1987) *Dinâmica sedimentar e evolução recente da plataforma continental portuguesa setentrional*. Dissertação de Doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Alveirinho-Dias J e Taborda R (1992) Tidal Gauge Data in Deducing Secular Trends of Relative Sea Level and Crustal Movements in Portugal. *Journal of Coastal Research*, vol.8, n.º3: 655-659.
- Alveirinho-Dias J e Taborda R (1989) Evolução Recente do Nível Médio do Mar em Portugal. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 9, Lisboa: 83-97.
- Andrade C, Oliveira Pires H, Silva P, Taborda R, Freitas M C (2006) Zonas Costeiras in Santos, F D e Miranda P, *Alterações climáticas em Portugal. Cenários, impactos e medidas de adaptação*. Projeto SIAM II. Gradiva, (4): 169-208.
- Andrade C, Taborda R, Marques F, Freitas M C, Antunes C, Mendes T, Carreira D (2008) Alterações climáticas no município de Sintra. Zonas Costeiras in *Plano Estratégico do concelho de Sintra face às Alterações Climáticas*: 20-23.
- Ângelo C (1991) Taxas de variação do litoral oeste: Uma avaliação temporal e espacial. *Comunicações do seminário A zona costeira e os problemas ambientais*, Eurocoast Comissão Nacional, Aveiro: 109-120.
- Antunes C (2010) Monitorização da variação do nível médio do mar. *1^{as} Jornadas de Engenharia Hidrográfica*, Lisboa.
- Antunes C e Taborda R (2009) Sea level at Cascais tide gauge: Data, Analysis and results. *Journal of Coastal Research*, n.º56: 218-222.
- Barceló J (1971) *Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems*. LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa.
- Bettencourt P e Ângelo C (1992) Faixa costeira centro oeste (Espinho-Nazaré): Enquadramento Geomorfológico e evolução recente. *Geonovas, Revista da Associação Portuguesa de Geólogos, A Geologia e o Ambiente*, n.º especial 1, Lisboa: 7-30.

- Boak E e Turner I (2005) Shoreline definition and detection: A review. *Journal of Coastal Research*, vol.21, n.º4: 688-703.
- Brooks S e Spencer T (2012) Shoreline retreat and sediment release in response to accelerating sea level rise: Measuring and modelling cliffline dynamics on the Suffolk Coast, UK. *Global and Planetary Change*, 80-81: 165-179.
- Carvalho I (2013) *Impactes do storm surge em Portugal continental*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Castanho J, Gomes N, Carvalho J, Veracruz D, Araújo O, Teixeira A, Weinholtz M (1974) *Means of controlling littoral drift to protect beaches, dunes, estuaries and harbour entrances: Establishment of artificial beaches*. Memória n.º448, LNEC, Lisboa, Portugal.
- Castedo R, la Vega-Panizo R, Fernández-Hernández M, Paredes C (2015) Measurement of historical cliff-top changes and estimation of future trends using GIS data between Bridlington and Hornsea – Holderness Coast (UK). *Geomorphology*, 230: 146-160.
- Ceia F (2009) Vulnerabilidade das Ilhas-Barreira e Dinâmica da Ria Formosa na Óptica da Gestão. *Revista de Gestão Costeira Integrada* n.º9: 57-77.
- Cenci L, Disperati L, Sousa L, Phillips M, Alves F (2013) Geomatics for Integrated Coastal Zone Management: multitemporal shoreline analysis and future regional perspective for the Portuguese Central Region. *Journal of Coastal Research*, Special Issue n.º65: 1349-1354.
- Costa M (1994) Agitação marítima na costa portuguesa. *Anais do Instituto Hidrográfico*, 13: 35-40.
- Costa M, Silva R, Vitorino J (2001) Contribuição para o estudo do clima de agitação marítima na costa portuguesa. *Actas das 2as Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*. Associação Internacional de Navegação, Sines, CDROM, 20p.
- Crowell M, Leatherman S, Buckley M (1991) Historical Shoreline Change: Error Analysis and Mapping Accuracy. *Journal of Coastal Research*, vol.7, n.º3: 839-852.
- Cruces A, Lopes I, Freitas M, Andrade C (2002) A Geologia no Litoral. Parte I: Do Tejo à Lagoa de Albufeira. Guia de Excursão: Geologia no Verão, Agência Ciência Viva, Centro de Geologia, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Dodet G, Bertin X, Tabora R (2010) Wave climate variability in the North-East Atlantic Ocean over the last six decades. *Ocean Modelling* n.º31: 120-131.
- Douglas B e Peltier W (2002) The puzzle of global sea-level rise. University of Toronto, Canadá.
- Feio M e Daveau S (2004) *O relevo de Portugal. Grandes unidades regionais*. Associação Portuguesa de Geomorfólogos, Volume II, Coimbra.
- Ferreira J (1999) *Vulnerabilidade e risco biofísico em áreas costeiras: o arco litoral Caparica-Espichel*. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.

- Ferreira Ó (1993) *Caracterização dos principais factores condicionantes do balanço sedimentar e da evolução da linha e costa entre Aveiro e o Cabo Mondego*. Dissertação de mestrado, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ferreira O, Garcia T, Matias A, Taborda R, Alvarinho Dias J (2006) An integrated method for the determination of set-back lines for coastal erosion hazards on sandy shores. *Continental Shelf Research* 26: 1030–1044.
- Ford M (2013) Shoreline changes interpreted from multi-temporal aerial photographs and high resolution satellite images: Wotje Atoll, Marshall Islands. *Remote Sensing of Environment*, n.º135: 130-140.
- Freire M (1986) *A planície litoral entre a Trafaria e a Lagoa de Albufeira. Estudo de geomorfologia litoral*. Dissertação de mestrado em Geografia Física e Regional, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Freitas M C, Ferreira T (2004) *Lagoa de Albufeira. Geologia*. Instituto da Conservação da Natureza, Centro de Zonas Húmidas.
- Gama C, Dias J, Ferreira Ó, Taborda R (1994) Analysis of storm surge in Portugal, between June 1986 and May 1988. *Proceedings of Littoral 94*, Lisboa: 26-29.
- Genz A, Fletcher C, Dunn R, Frazer I, Rooney J (2007) The Predictive accuracy of shoreline change rate methods and alongshore beach variation on Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, vol.23, nº1: 87-105.
- Hagedoorn J M, Wolf D, Martinec Z (2007) An estimate of global mean sea-level rise inferred from tide-gauge measurements using glacial-isostatic models consistent with the relative sea-level record. *Pure and Applied Geophysics*, 164: 791-818.
- Instituto da Conservação da Natureza (2001) *Paisagem protegida da arriba fóssil da Costa da Caparica*. Enquadramento estratégico, turismo de natureza.
- Instituto Geográfico Português (2010) *Memória descritiva da Carta de Uso e Ocupação do Solo de Portugal Continental para 2007*.
- Instituto Nacional de Estatística (2013) *Superfície (km²) das unidades territoriais por Localização geográfica (NUTS - 2002)*. <http://www.ine.pt>. [acedido em 24 de novembro de 2014].
- IPCC (2014) *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York
- IPCC (2007) *The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, United Kingdom and New York, 996 pp.

- Julião R, Nery F, Ribeiro J, Branco M, Zêzere J (2009) *Guia metodológico para a produção de cartografia municipal de risco e par a criação de sistemas de informação geográfica de base municipal*. Autoridade Nacional de Protecção Civil.
- Lira C, Diogo Z, Silva A, Taborda R, Andrade C, Freitas M (2013) Estudo de caso da Costa da Caparica. Estudo da adequabilidade das faixas de risco/salvaguarda definidas no POOC em vigor para a Costa da Caparica. *Criação e implementação de um sistema de monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da administração da região hidrográfica do Tejo*, entregável 2.5.a, Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa.
- Manca E, Pascucci V, Deluca M, Cossu A, Andreucci S (2013) Shoreline evolution related to coastal development of a managed beach in Alghero, Sardinia, Italy. *Ocean & Coastal Management* 85: 65-76.
- Manuppella G, Antunes M, Cardoso J, Ramalho M, Rey J (1999) Notício explicativa da folha 38-B Setúbal. Departamento de Geologia, Instituto Geológico e Mineiro, Lisboa.
- Marcelino F (2011) *Cartografia e análise da incerteza temática da COS2007 e do CLC2006*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências Sociais e Humanas da Universidade Nova de Lisboa, Lisboa.
- Moore L (2000) Shoreline Mapping Techniques. *Journal of Coastal Research*, vol.16, n.º1: 111-124.
- Neves M (2004) *Evolução actual dos litorais rochosos da Estremadura Norte. Estudo de Geomorfologia*. Doutoramento em Geografia, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Oliveira S (2005) *Evolução recente da linha de costa no troço costeiro Forte Novo – Garrão (Algarve)*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Pais-Barbosa J, Veloso-Gomes F, Taveira-Pinto F (2010) Análise de formas e padrões costeiros como indicadores de erosão na zona costeira noroeste de Portugal. *Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos*, vol.31: 15-26.
- Pajak M, Leatherman S (2002) The High Water Line as Shoreline Indicator. *Journal of Coastal Research*, vol.8, n.º2: 329-337.
- Pinheiro J (2008) *Avaliação dos processos de transposição artificial de sedimentos em embocaduras*. Dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
- Pinto C A, Silveira T, Taborda R, Andrade C, Freitas C (2013) Reavaliação de faixas de risco em litoral baixo e arenoso: aplicação ao setor de São João da Caparica (Costa da Caparica - Portugal). *2ª Conferência sobre morfodinâmica estuarina e costeira*, Universidade de Aveiro.

- Pinto C A, Silveira T, Taborda R, Andrade C, Freitas C (2012) Morfodinâmica e evolução recente de praias alimentadas artificialmente. O exemplo da Costa da Caparica - Portugal. *VII Simpósio da Margem Ibérica Atlântica*, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Agência Portuguesa do Ambiente.
- Pinto C A, Taborda R, Andrade C (2007) Evolução recente da linha de costa no troço Cova do Vapor - S. João da Caparica. *5^{as} Jornadas Portuguesas de Engenharia Costeira e Portuária*, Lisboa.
- Pires A, Vinagre A, Gomes A, Chaminé H I (2007) Aplicação SIG ao Ordenamento do Território na frente urbana de Espinho: uma previsão baseada na análise histórica da dinâmica costeira. *Publicações da Associação Portuguesa de Geomorfólogos*, Volume V, APGeom, Lisboa: 281-291.
- Pita C e Santos J (1989) *Análise dos temporais da costa oeste de Portugal Continental*. Report 1/89-A, Instituto Hidrográfico/LNEC.
- Rahmstorf S (2007) A semi-empirical approach to projecting future sea-level rise. *Science*, vol. 315: 368-370.
- Ramos-Pereira A (2008) *Programa de sistemas litorais: dinâmicas e ordenamento*. Centro de Estudos Geográficos, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Ramos-Pereira A (2001) *O(s) Oceano(s) e as suas Margens*. Instituto de Inovação Educacional, Cadernos de Educação Ambiental, n.º5, Lisboa.
- Ramos-Pereira A (1988) Aspectos do relevo de Portugal. Litorais ocidental e meridional da Península de Setúbal. *Finisterra*, XXIII (46): 336-349.
- Rocha J, Ferreira J C, Simões J, Tenedório J A (2007) Modelling Coastal and Land Use Evolution Patterns through Neural Network and Cellular Automata Integration. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 50: 827-831.
- Romine B, Fletcher C (2013) A Summary of Historical Shoreline Changes on Beaches of Kauai, Oahu, and Maui, Hawaii. *Journal of Coastal Research*, vol.29, n.º3: 605-614.
- Rovere A, Casella E, Vacchi M, Mucerino L, Pedroncini A, Ferrari M, Firpo M (2013) First results of the research project MIRAMAR, Innovative Methodologies for Coastal Environmental Monitoring and Analysis. *American Geophysical Union*, Fall Meeting 2013.
- Santos F, Lopes A, Moniz G, Ramos L, Taborda R (2014) *Gestão da zona costeira. O desafio da mudança*. Relatório do Grupo de Trabalho do Litoral.
- Silva A, Taborda R, Lira C, Andrade C, Silveira T, Freitas M (2013) Estudo de caso da Costa da Caparica. Determinação e cartografia da perigosidade associada à erosão de praias e ao galgamento oceânico na Costa da Caparica. *Criação e implementação de um sistema de*

- monitorização no litoral abrangido pela área de jurisdição da administração da região hidrográfica do Tejo*, entregável 2.4.a, Agência Portuguesa do Ambiente, Lisboa.
- Silva P (2012) *A tendência da linha de costa entre as praias de Maceda e S. Jacinto*. Dissertação de mestrado, Universidade de Aveiro, Aveiro.
- Soares A (1999) *Caracterização do clima de agitação marítima em Portugal continental utilizando os resultados do modelo numérico MAR3G.2*. Nota técnica VAM2 – 2/99, Instituto de Meteorologia, 8p. + anexos.
- Taborda R, Andrade C (2014) *Morfodinâmica do estuário exterior do Tejo e intervenção na região da Caparica – v1*. Contributo para o Grupo de Trabalho do Litoral.
- Taborda R, Andrade C, Silva A, Silveira T, Lira C, Freitas M, Pinto C (2014) Modelo de circulação sedimentar litoral no arco Caparica-Espichel. *Actas do IX Congresso Nacional de Geologia, Especial II*, Faculdade de Ciências da Universidade do Porto, Porto: 641-644.
- Teixeira S (1994) *Dinâmica morfossedimentar da Ria de Aveiro (Portugal)*. Dissertação de doutoramento, Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, Ayhan (2009) *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change*. U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. *current version 4.3.
- Trindade J (2010) *Dinâmica morfossedimentar de praias dominadas por sistemas de arriba (Peniche - Cascais)*. Doutoramento em Geografia, Especialidade Geografia Física, Universidade Aberta.
- Valero N (2013) *Dinâmica dos sistemas de arriba entre Consolação e Paimogo (Portugal). Estudo de geomorfologia*. Dissertação de mestrado, Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa, Lisboa.
- Veloso-Gomes F, Costa J, Rodrigues A, Taveira-Pinto F, Pais-Barbosa J, Neves L (2009) Costa da Caparica Artificial Sand Nourishment and Coastal Dynamics. *Journal of Coastal Research, Special Issue 56*: 678-682.
- Veloso-Gomes F, Barroco A, Ramos-Pereira A, Sousa-Reis C, Calado H, Ferreira J, Conceição-Freitas M, Biscoito M (2007a) *Bases para a Estratégia de Gestão Integrada da Zona Costeira Nacional*. Ministério do Ambiente, do Ordenamento do Território e do Desenvolvimento Regional.
- Veloso-Gomes F, Taveira-Pinto F, Pais-Barbosa J, Costa J, Rodrigues A (2007b) *As Obras de Defesa Costeira na Costa da Caparica*. Na Crista das Ondas do Mar e da Comunicação Social. 2^{as} *Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*, FEUP.

Veloso-Gomes F, Taveira-Pinto F, Pais-Barbosa J, Costa J, Rodrigues A (2006) Estudo das Intervenções na Costa da Caparica. 1^{as} *Jornadas de Hidráulica Recursos Hídricos e Ambiente*, FEUP.

Virdis S, Oggiano G, Disperati L (2012) A Geomatics Approach to Multitemporal Shoreline Analysis in Western Mediterranean: The Case of Platamona-Maritza Beach (Northwest Sardinia, Italy). *Journal of Coastal Research*, vol.28, n.º3: 624-640.

Legislação

Decreto-Lei n.º 132/2015, de 09 de julho (POC).

Decreto-Lei n.º 31/2014, de 30 de maio (LBPSOTU).

Decreto-Lei n.º 239/2012, de 2 de novembro (REN).

Decreto-Lei n.º 159/2012, de 24 de julho (POOC).

Decreto-Lei n.º 166/2008, de 22 de agosto (REN).

Decreto-Lei n.º 321/1983, de 5 de julho (REN).

Decreto Regulamentar n.º 10/2009, de 29 de maio (Instrumentos de Gestão Territorial).

Despacho n.º 12/2010, de 25 de janeiro (INAG).

Resolução de Conselho de Ministros n.º 81/2012, de 3 de outubro (REN).

Resolução do Conselho de Ministros n.º 86/2003, de 3 de junho (POOC Sintra-Sado).

Anexo

Anexo 1 - Taxas de recuo máximas registadas no litoral português.

Localização	Escala temporal	Taxa (m/ano)	Referência bibliográfica
Espinho-Cortegaça	1880-1900	-4,30 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Espinho-Cortegaça	1990-1958	-2,70 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Espinho-Cortegaça	1958-1984	-3,20 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Espinho-Furadouro	1947-1958	-3,20 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Espinho-Furadouro	1958-1973	-1,80 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Espinho-Furadouro	1973-1978	-8,50 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Espinho-Furadouro	1870-1947	-1,80 m	Teixeira, 1994
Espinho-Furadouro	1947-1973	-3,20 m	Teixeira, 1994
Espinho-Furadouro	1973-1986	-2,50 m	Teixeira, 1994
Espinho	1870-1954	-3,80 m	Ângelo, 1991
Espinho	1954-1990	-0,70 m	Ângelo, 1991
Espinho	1885-1910	-9,00 m	Veloso Gomes <i>et al.</i> , 2006 cit. em Pires <i>et al.</i> , 2007
Praia de Paramos	1870-1954	-3,30 m	Ângelo, 1991
Praia de Paramos	1954-1990	-6,00 m	Ângelo, 1991
Praia de Esmoriz	1870-1954	-1,60 m	Ângelo, 1991
Praia de Esmoriz	1954-1990	-3,70 m	Ângelo, 1991
Praia de Esmoriz	1984-1990	-8,00 m	Ângelo, 1991
Praia de Cortegaça	1870-1954	-0,90 m	Ângelo, 1991
Praia de Cortegaça	1954-1990	-3,60 m	Ângelo, 1991
Praia de Maceda	1984-1990	-3,00 m	Ângelo, 1991
Praia de Maceda	1996-2007	-5,00 m	Sener, 2011 cit. em Silva, 2012
Praia de Maceda	2008-2010	-12,50 m	Sener, 2011 cit. em Silva, 2012
Maceda-Furadouro	1973-1999	-4,80 m	Reis, 2000 cit. em Silva, 2012
Maceda-Furadouro	2000-2001	-8,60 m	Baptista, 2006 cit. em Silva, 2012
Maceda-Furadouro	2006-2010	-5,30 m	POOC OMG, 2012 cit. em Silva, 2012
Maceda-Furadouro	1958-2010	-2,69 m	Silva, 2012
Maceda-Furadouro	2010-2012	-4,04 m	Silva, 2012
Furadouro Norte	1947-1954	-3,60 m	Ângelo, 1991
Furadouro Norte	1954-1990	-2,60 m	Ângelo, 1991
Furadouro	1954-1990	-2,80 m	Ângelo, 1991
Furadouro	1984-1990	-8,00 m	Ângelo, 1991
Furadouro	1958-1998	-1,90 m	Caetano, 2002 cit. em Silva, 2012
Furadouro	1980-1990	-8,00 m	Eurosion, 2006 cit. em Silva, 2012
Furadouro Sul	1984-1990	-4,00 m	Ângelo, 1991
Furadouro-Torrão do Lameiro	1973-1999	-2,50 m	Reis, 2000 cit. em Silva, 2012
Furadouro-Torrão do Lameiro	2000-2001	-10,50 m	Baptista, 2006 cit. em Silva, 2012
Furadouro-Torreira	2006-2010	-0,60 m	POOC OMG, 2012 cit. em Silva, 2012
Furadouro-Torreira	1958-2010	-0,49 m	Silva, 2012
Furadouro-São Jacinto	1947-1958	-0,60 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Furadouro-São Jacinto	1958-1973	-0,80 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Furadouro-São Jacinto	1973-1978	-4,60 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994

Furadouro-São Jacinto	1870-1947	-2,20 m	Teixeira, 1994
Furadouro-São Jacinto	1952-1973	-0,80 m	Teixeira, 1994
Furadouro-São Jacinto	1973-1986	-0,80 m	Teixeira, 1994
Furadouro-São Jacinto	1986-1988	-3,30 m	Teixeira, 1994
Praia da Torreira Norte	1984-1990	-4,00 m	Ângelo, 1991
São Jacinto	1986-1989	-13,00 m	Teixeira, 1994
São Jacinto-Vagueira	1870-1900	-0,45 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
São Jacinto-Vagueira	1990-1958	-1,65 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
São Jacinto-Vagueira	1958-1985	-2,15 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Aveiro-Costa Nova do Prado	1947-1951	-3,90 m	Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1951-1966	-7,00 m	Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1966-1975	-0,80 m	Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1975-1977	-0,20 m	Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1977-1986	-1,40 m	Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1947-1958	-8,20 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1958-1973	-5,20 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Aveiro-Costa Nova do Prado	1973-1978	-4,00 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Praia da Barra Norte	1984-1990	-5,00 m	Ângelo, 1991
Praia da Barra	1947-1954	-16,00 m	Ângelo, 1991
Praia Barra-Costa Nova do Prado	1947-1958	-4,60 m	Ferreira, 1993
Praia da Barra-Costa Nova do Prado	1958-1970	-4,30 m	Ferreira, 1993
Praia da Barra-Costa Nova do Prado	1970-1980	-4,40 m	Ferreira, 1993
Costa Nova do Prado	1947-1954	-15,00 m	Ângelo, 1991
Costa Nova do Prado	1954-1990	-5,20 m	Ângelo, 1991
Costa Nova do Prado	1984-1990	-8,00 m	Ângelo, 1991
Costa Nova do Prado	1958-1973	-10,00 m	Oliveira <i>et al.</i> , 1982 cit. em Ferreira, 1993
Costa Nova do Prado-Canto do Marco	1947-1958	-0,40 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Costa Nova do Prado-Canto do Marco	1958-1973	-2,90 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Costa Nova do Prado-Canto do Marco	1973-1978	-2,40 m	Hidrotécnica Portuguesa, 1980 cit. em Teixeira, 1994
Costa Nova do Prado-Canto do Marco	1947-1973	-0,20 m	Teixeira, 1994
Costa Nova do Prado-Vagueira	1947-1958	-1,50 m	Ferreira, 1993
Costa Nova do Prado-Vagueira	1958-1970	-6,30 m	Ferreira, 1993
Costa Nova do Prado-Vagueira	1970-1980	-3,80 m	Ferreira, 1993
Costa Nova do Prado-Vagueira	1980-1990	-3,70 m	Ferreira, 1993
Praia da Vagueira Sul	1954-1990	-3,00 m	Ângelo, 1991
Praia da Vagueira Sul	1984-1990	-16,00 m	Ângelo, 1991
Vagueira-Praia do Areão	1947-1958	-0,10 m	Ferreira, 1993
Vagueira-Praia do Areão	1958-1970	-1,60 m	Ferreira, 1993
Vagueira-Praia do Areão	1970-1980	-2,40 m	Ferreira, 1993
Vagueira-Praia do Areão	1980-1990	-3,90 m	Ferreira, 1993
Praia do Areão-Praia de Mira	1958-1970	-1,30 m	Ferreira, 1993
Praia do Areão-Praia de Mira	1970-1980	-1,40 m	Ferreira, 1993
Praia do Areão-Praia de Mira	1980-1990	-1,80 m	Ferreira, 1993
Praia de Mira Sul	1954-1990	-1,50 m	Ângelo, 1991
Praia de Mira-Canto do Marco	1947-1958	-0,10 m	Ferreira, 1993

Praia de Mira-Canto do Marco	1958-1970	-1,10 m	Ferreira, 1993
Praia de Mira-Canto do Marco	1970-1980	-1,00 m	Ferreira, 1993
Praia de Mira-Canto do Marco	1980-1990	-1,20 m	Ferreira, 1993
Praia da Tocha Norte	1954-1990	-1,00 m	Ângelo, 1991
Praia da Tocha Sul	1954-1990	-1,00 m	Ângelo, 1991
Praia da Tocha Sul	1984-1990	-2,00 m	Ângelo, 1991
Praia de Quiaios Norte	1954-1990	-1,00 m	Ângelo, 1991
Praia de Quiaios	1954-1990	-1,50 m	Ângelo, 1991
Praia de Quiaios	1984-1990	-2,00 m	Ângelo, 1991
Praia de Quiaios	1900-1958	-3,20 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Praia de Quiaios	1958-1985	-0,93 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Figueira da Foz	1871-1947	-0,70 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Lavos-Leirosa	1958-1985	-0,70 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
S. Pedro de Moel	1900-1958	-0,60 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
S. Pedro de Moel	1958-1985	-1,00 m	Bettencourt e Ângelo, 1992
Restinga Cova do Vapor	1845-1879	-22,06 m	Pinto <i>et al.</i> , 2007
Restinga Cova do Vapor	1879-1893	-28,57 m	Pinto <i>et al.</i> , 2007
Cova do Vapor	1940-1995	-7,45 m	Rocha <i>et al.</i> , 2007
Cova do Vapor-São João da Caparica	1999-2002	- 4,90 m	Pinto <i>et al.</i> , 2007
Cova do Vapor-São João da Caparica	2002-2007	-2,30 m	Pinto <i>et al.</i> , 2007
Cova do Vapor-São João da Caparica	1999-2007	- 3,30 m	Pinto <i>et al.</i> , 2007
São João da Caparica	1958-2007	-4,30 m	Pinto <i>et al.</i> , 2012
Ilha de Faro	1945-1964	-1,70 m	Weinholtz, 1978 cit. em Alveirinho-Dias <i>et al.</i> , 2004
Ilha de Faro	1980-1990	-4,00 m	Alveirinho-Dias, 1993
Península do Ancão W (Garrão-Faro)	1989-2001	-0,80 m	Ferreira <i>et al.</i> , 2006 cit. em Ceia, 2009
Ilha de Tavira Central (Arraial do Barril)	1976-2001	-1,30 m	Garcia <i>et al.</i> , 2005 cit. em Ceia, 2009