



LABORATÓRIO NACIONAL
DE ENGENHARIA CIVIL

MODELAÇÃO PARA APOIO ÀS INTERVENÇÕES NAS PRAIAS DA COSTA DA CAPARICA - ALMADA

Análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica (1980-2018)

Agência Portuguesa do Ambiente, I.P.

Lisboa • abril de 2020

I&D HIDRÁULICA E AMBIENTE

RELATÓRIO 125/2020 – **DHA/NEC**

Título

MODELAÇÃO PARA APOIO ÀS INTERVENÇÕES NAS PRAIAS DA COSTA DA CAPARICA - ALMADA

Análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica (1980-2018)

Autoria

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Luís Ivens Portela

Investigador Auxiliar, Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Colaboração

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE

Luís Simões Pedro

Técnico Superior, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Fernando Brito

Técnico Superior, Núcleo de Estuários e Zonas Costeiras

Copyright © LABORATÓRIO NACIONAL DE ENGENHARIA CIVIL, I. P.

AV DO BRASIL 101 • 1700-066 LISBOA

e-mail: lnec@lnec.pt

www.lnec.pt

Relatório 125/2020

Proc. 0604/111/ 21737, 0604/111/ 2188001

MODELAÇÃO PARA APOIO ÀS INTERVENÇÕES NAS PRAIAS DA COSTA DA CAPARICA - ALMADA

Análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica (1980-2018)

Resumo

Procede-se à comparação de levantamentos topo-hidrográficos a escalas espaciais e temporais alargadas (desde 1980-1982) com o objetivo de apoiar a interpretação da evolução morfológica do sistema Bugio-Caparica e, em particular, contribuir para: (a) a identificação do destino das areias utilizadas na alimentação das praias da Costa da Caparica; (b) a avaliação da importância dos fluxos sedimentares entre as praias da Caparica e o banco do Bugio; e (c) a apreciação dos efeitos das intervenções estruturais e não-estruturais. Identifica-se uma área de acumulação sedimentar parcialmente no exterior da célula de monitorização, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, no bordo meridional do banco do Bugio, que poderá estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas na envolvente da Cova do Vapor.

Palavras-chave: Costa da Caparica / Levantamentos topo-hidrográficos / Dinâmica sedimentar / Embocadura

MODELLING TO SUPPORT THE INTERVENTIONS AT THE BEACHES OF COSTA DA CAPARICA - ALMADA

Analysis of topo-hydrographic surveys of the Bugio-Caparica system (1980-2018)

Abstract

Topo-hydrographic surveys are compared at extended spatial and temporal scales (since 1980-1982) to support the interpretation of the morphological evolution of the Bugio-Caparica system and, in particular, contribute to: (a) the identification of the fate of the nourishment sand placed at Costa da Caparica beaches; (b) the assessment of the importance of sediment fluxes between the Caparica beaches and the Bugio bank; and (c) the evaluation of the effects of structural and non-structural interventions. A sediment accumulation area partially outside the monitoring cell, at depths of the order of -4 to -2 m ZH, on the southern edge of the Bugio bank, which may be associated with both the beach nourishments at Caparica and morphological changes in the vicinity of Cova do Vapor, is identified.

Keywords: Costa da Caparica / Topo-hydrographic surveys / Sediment dynamics / Tidal inlet

Índice

1	Introdução	1
2	Evolução do sistema Bugio-Caparica entre 1980 e 2018.....	3
	2.1 Introdução	3
	2.2 Metodologia.....	3
	2.3 Resultados e discussão	7
	2.3.1 Zona do Bugio (sectores A, B, C e D)	7
	2.3.2 Sector Bugio-Caparica (sector C).....	9
	2.4 Conclusões	12
3	Erosões localizadas nos esporões da Caparica	13
	3.1 Introdução	13
	3.2 Metodologia.....	13
	3.3 Resultados e discussão	14
	3.4 Conclusões	16
4	Evolução de perfis de praia entre 1980 e 2018	17
	4.1 Introdução	17
	4.2 Metodologia.....	17
	4.3 Resultados e discussão	18
	4.4 Conclusões	23
5	Conclusões.....	24
	Agradecimentos.....	25
	Referências bibliográficas	27

Índice de figuras

Figura 2.1 – Localização da área em análise (a vermelho) sobre esquema da embocadura do estuário do Tejo extraído de Oliveira (1992)	4
Figura 2.2 – Levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio, na embocadura do Tejo, de 1982, 2000 e 2018	5
Figura 2.3 – Comparação de levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio: 2000-1982; 2018-2000; 2018-1982	6
Figura 2.4 – Variação volumétrica (em $\text{hm}^3 = 10^6 \text{ m}^3$) entre levantamentos: 2018-1982	8
Figura 2.5 – Comparação de levantamentos hidrográficos do sector C (2018-1982), com sobreposição das batimétricas do levantamento de 2018	9
Figura 2.6 – Comparação de levantamentos hidrográficos das praias da Caparica (2018-1980) e do sector C (2018-1982); com sobreposição das batimétricas do levantamento de 2018	10
Figura 2.7 – Comparação de levantamentos hidrográficos das praias da Caparica (2018-2001) e do sector C (2018-2000); com sobreposição das batimétricas do levantamento de 2018	10
Figura 2.8 – Possíveis fluxos sedimentares associados à área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio	11
Figura 3.1 – Identificação dos esporões da Costa da Caparica (EC1-EC7) e da Cova do Vapor (EV1-EV2), sobre imagem GoogleEarth de 20-08-2018	13
Figura 3.2 – Levantamentos topo-hidrográficos da Caparica de 1980, 2001, 2008 e 2014	15
Figura 3.3 – Valores máximos observados das erosões localizadas na vizinhança dos esporões da Costa da Caparica (EC1-EC7) e da Cova do Vapor (EV1-EV2)	16
Figura 4.1 – Localização dos perfis de praia sobre batimetria de 2014	17
Figura 4.2 – Perfis de praia 1 a 6 em 1980, 2008 (pré- e pós-alimentação) e 2014	19
Figura 4.3 – Perfis de praia 7 a 12 em 1980, 2008 (pré- e pós-alimentação) e 2014	20
Figura 4.4 – Perfis de praia 1 a 6 em 1980, 2008 (pré-alimentação), 2014 (idem) e 2018	21
Figura 4.5 – Perfis de praia 7 a 12 em 1980, 2008 (pré-alimentação), 2014 (idem) e 2018	22

Índice de quadros

Quadro 1.1 – Plano dos relatórios.....	2
Quadro 2.1 – Levantamentos topo-hidrográficos utilizados.....	4
Quadro 2.2 – Zona circundante do Bugio: variação volumétrica por sector	8
Quadro 2.3 – Pormenorização da variação volumétrica no sector C	8
Quadro 3.1 – Erosões localizadas na vizinhança dos esporões entre 2007 e 2017 (cotas em m ZH)	14
Quadro 4.1 – Traçado dos perfis de praia.....	18

1 | Introdução

A Agência Portuguesa do Ambiente (APA) solicitou ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil (LNEC) a realização de estudos de morfodinâmica, apoiados em modelação numérica, que suportem e otimizem a tomada de decisão futura sobre as intervenções de proteção e defesa costeira nas praias da Costa da Caparica, no concelho de Almada.

Os estudos têm como objetivo contribuir para a compreensão da dinâmica sedimentar e evolução morfológica do sistema, para a quantificação dos processos costeiros e para a orientação das ações a desenvolver a curto e a médio prazo.

Assumindo a forma de um projeto de investigação financiado pela APA, os estudos desenvolvidos pelo LNEC foram os seguintes:

- Estudo I – *Análise da vulnerabilidade da praia a um evento de tempestade marítima;*
- Estudo II – *Modelação da evolução morfológica para diferentes cenários de intervenção;*
- Estudo III – *Modelação morfodinâmica da embocadura do estuário do Tejo;*
- Estudo IV – *Avaliação do comportamento e longevidade das alimentações artificiais.*

Os resultados dos estudos foram entregues à APA sob a forma de oito relatórios, que se encontram identificados no Quadro 1.1.

Entretanto, no decorrer do projeto, verificou-se ser conveniente proceder à realização de comparações de levantamentos topo-hidrográficos a escalas espaciais e temporais alargadas, tirando partido, nomeadamente, da informação disponibilizada pela APA no âmbito do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO). Essas comparações visam apoiar a interpretação da evolução morfológica do sistema Bugio-Caparica e, em particular, contribuir para: (a) a identificação do destino das areias utilizadas na alimentação das praias da Costa da Caparica, quando essas areias abandonam a “célula de monitorização”; (b) a avaliação da importância dos fluxos sedimentares entre as praias da Caparica e o banco do Bugio; e (c) a apreciação dos efeitos das intervenções estruturais e não-estruturais nas praias e na embocadura.

O presente relatório descreve a análise de levantamentos realizada, complementar das avaliações e aplicações de modelos inicialmente previstas.

Quadro 1.1 – Plano dos relatórios

Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica - Almada		
Estudo I	<i>Análise da vulnerabilidade da praia a um evento de tempestade marítima</i>	
	Vulnerabilidade da praia de São João da Caparica	Rel. 221/2019
	Vulnerabilidade das praias urbanas	Rel. 110/2020
Estudo II	<i>Modelação da evolução morfológica para diferentes cenários de intervenção</i>	
	Aplicação do modelo	Rel. 111/2020
	Exploração do modelo	Rel. 112/2020
Estudo III	<i>Modelação morfodinâmica da embocadura do estuário do Tejo</i>	
	Aplicação do modelo	Rel. 222/2019
	Exploração do modelo	Rel. 368/2019
Estudo IV	<i>Avaliação do comportamento e longevidade das alimentações artificiais</i>	
	Efeito do forçamento	Rel. 223/2019
	Apreciação global e modelo de evolução volumétrica	Rel. 113/2020
Aditamento (presente relatório)		
	Análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica (1980-2018)	Rel. 125/2020

2 | Evolução do sistema Bugio-Caparica entre 1980 e 2018

2.1 Introdução

As praias da Costa da Caparica constituem um trecho crítico da costa portuguesa, onde, desde 2007, tem sido posta em prática uma estratégia de proteção baseada na realização de intervenções de alimentação artificial (Pinto *et al.*, 2018). Tendo-se verificado que parte do volume de areia depositado nas praias da Caparica pode abandonar a chamada “célula de monitorização” (com ca. 4,3 km²), foi reconhecida a conveniência de, para analisar o desempenho das intervenções, estender a monitorização da evolução morfológica ao Cachopo Sul/banco do Bugio e, desejavelmente, à totalidade da embocadura do estuário do Tejo (Pinto *et al.*, 2014).

O processo erosivo na Costa da Caparica remonta a meados do século passado e deve ser inserido no quadro mais amplo da evolução da embocadura e, em particular, do enfraquecimento e deslocamento para norte do banco do Bugio e do rápido recuo da restinga arenosa que então enraizava na Cova do Vapor. Dada a sua contiguidade, não é de surpreender a possibilidade de ocorrerem trocas sedimentares entre as praias da Caparica e o banco do Bugio, conforme proposto em Pinto *et al.* (2014).

Com o objetivo de contribuir para o esclarecimento do destino das areias depositadas na Caparica, apresenta-se neste capítulo uma análise da evolução morfológica do banco do Bugio e de parte das praias (Figura 2.1). Dada a escassez de levantamentos da embocadura adjacentes à Caparica no período das primeiras intervenções de alimentação artificial (2007-2014), a análise é realizada à escala decenal (desde 1980-1982), o que, constituindo uma condicionante, oferece, por outro lado, uma perspetiva mais longa sobre os processos de evolução. A presente análise, a escalas espaciais e temporais alargadas, procura complementar as efetuadas anteriormente à escala da “célula de monitorização” (Pinto *et al.*, 2014; Freire *et al.*, 2019).

2.2 Metodologia

Foram comparados levantamentos topo-hidrográficos da embocadura de 1982, 2000 e 2018. O primeiro foi realizado pelo Instituto Hidrográfico (IH), tendo sido digitalizado no LNEC a partir de suporte papel (IH, 1982). O segundo, também do IH, foi disponibilizado pelo Porto de Lisboa (APL), tendo sido completado por outro, de 1999, da “Golada do Bugio” (IH, 1999, 2000). O mais recente foi realizado no âmbito do Programa COSMO e disponibilizado pela Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2018; Quadro 2.1).

Utilizou-se o programa Surfer para criar malhas com passo espacial de 10 m, numa área comum determinada principalmente pelo levantamento mais antigo (1982). Consideraram-se quatro sectores com vértice central no Forte do Bugio, coincidentes com as pranchetas de 1982: (A) noroeste (4,70 km²); (B) nordeste (8,45 km²); (C) sudeste (12,58 km²); e (D) sudoeste (6,93 km²). Estes sectores

cobrem uma área total de 32,66 km². Nesta área comum, as cotas em 2018 variam entre +13 e -39 m ZH (Figura 2.2).

Dado que os levantamentos mais antigos tendem a apresentar uma cobertura pouco pormenorizada das praias, nomeadamente na faixa de rebentação, foi também efetuada uma comparação do levantamento COSMO de 2018 com levantamentos locais da Costa da Caparica de 1980 e 2001 (Quadro 2.1). O primeiro foi realizado pela Direção-Geral de Portos (DGP), tendo sido digitalizado no LNEC a partir de cópia em papel (DGP, 1980). O segundo, realizado pelo IH, foi obtido em formato digital (IH, 2001). Neste caso, foram criadas malhas com passo espacial de 5 m. Na área comum local (3,23 km²), as cotas em 2018 variam entre +13 e -10 m ZH.

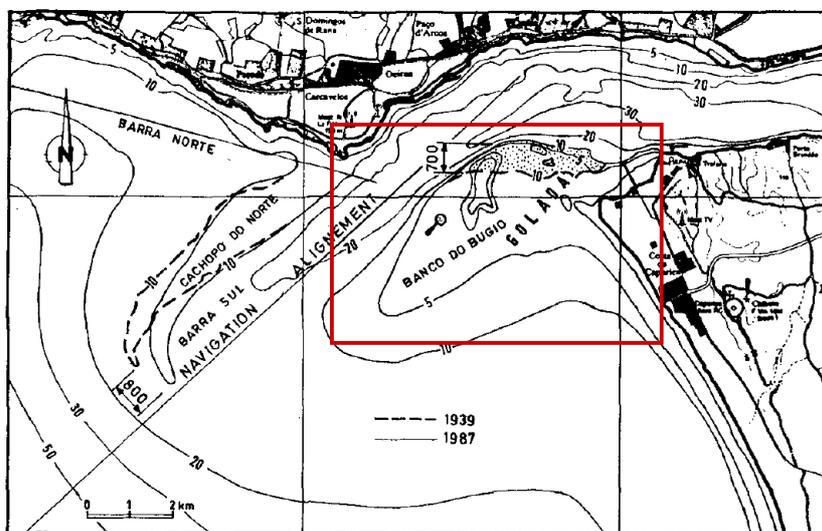


Figura 2.1 – Localização da área em análise (a vermelho) sobre esquema da embocadura do estuário do Tejo extraído de Oliveira (1992)

Quadro 2.1 – Levantamentos topo-hidrográficos utilizados

<i>Embocadura</i>		
1982	Zona circundante do Bugio, julho 1982, escala 1:5000	Instituto Hidrográfico
1999	Lisboa Bugio, set/out 1999, escala 1:5000	Instituto Hidrográfico
2000	Região das barras de Lisboa, jan/abr 2000, escala 1:10000	Instituto Hidrográfico
2018	COSMonline: https://cosmo.apambiente.pt , setembro 2018	Agência Portuguesa do Ambiente
<i>Costa da Caparica</i>		
1980	Costa da Caparica, setembro 1980, escala 1:2000	Direção-Geral de Portos
2001	Costa da Caparica, setembro 2001, escala 1:5000	Instituto Hidrográfico
2018	COSMonline: https://cosmo.apambiente.pt , setembro 2018	Agência Portuguesa do Ambiente

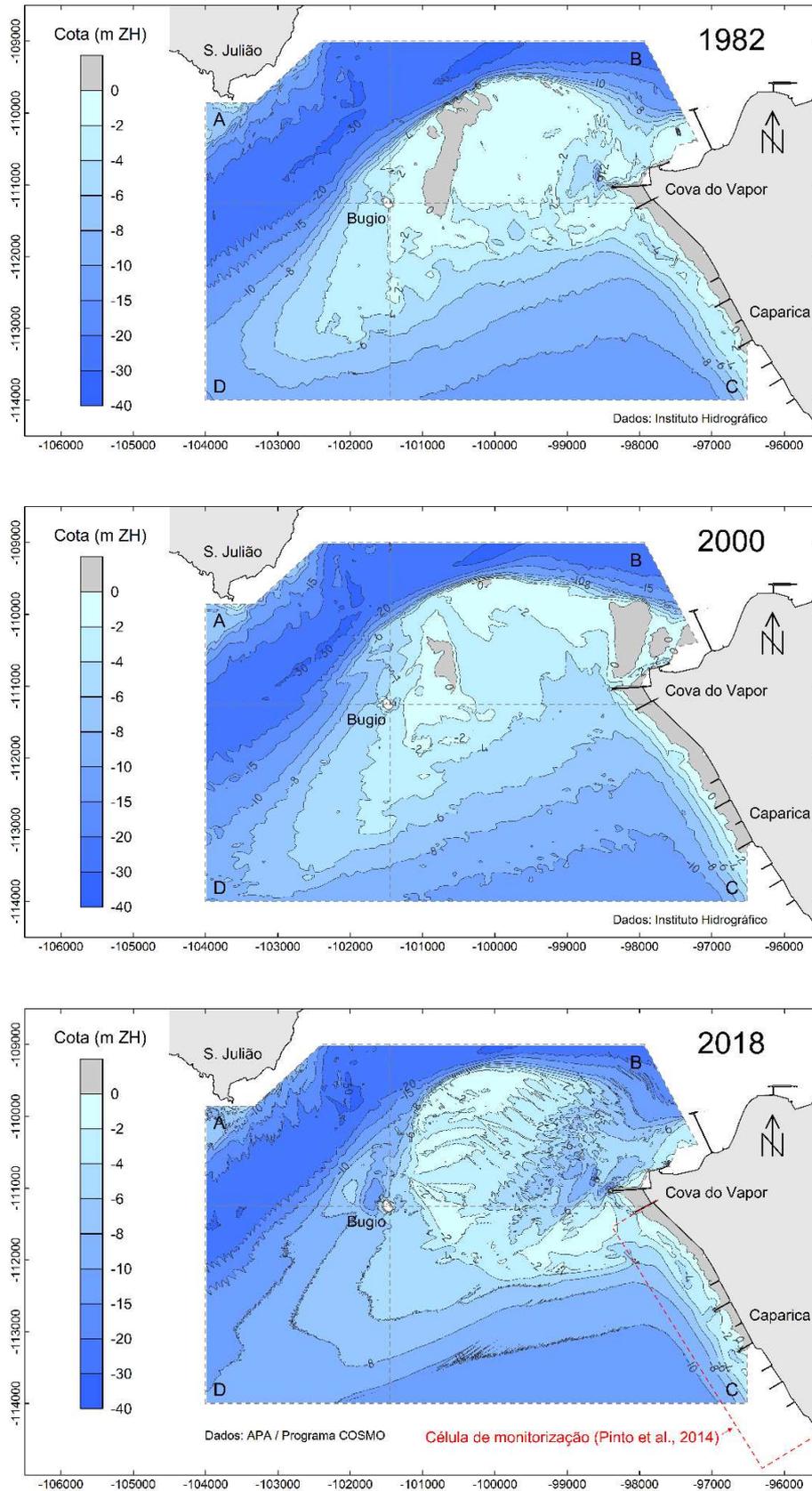


Figura 2.2 – Levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio, na embocadura do Tejo, de 1982, 2000 e 2018

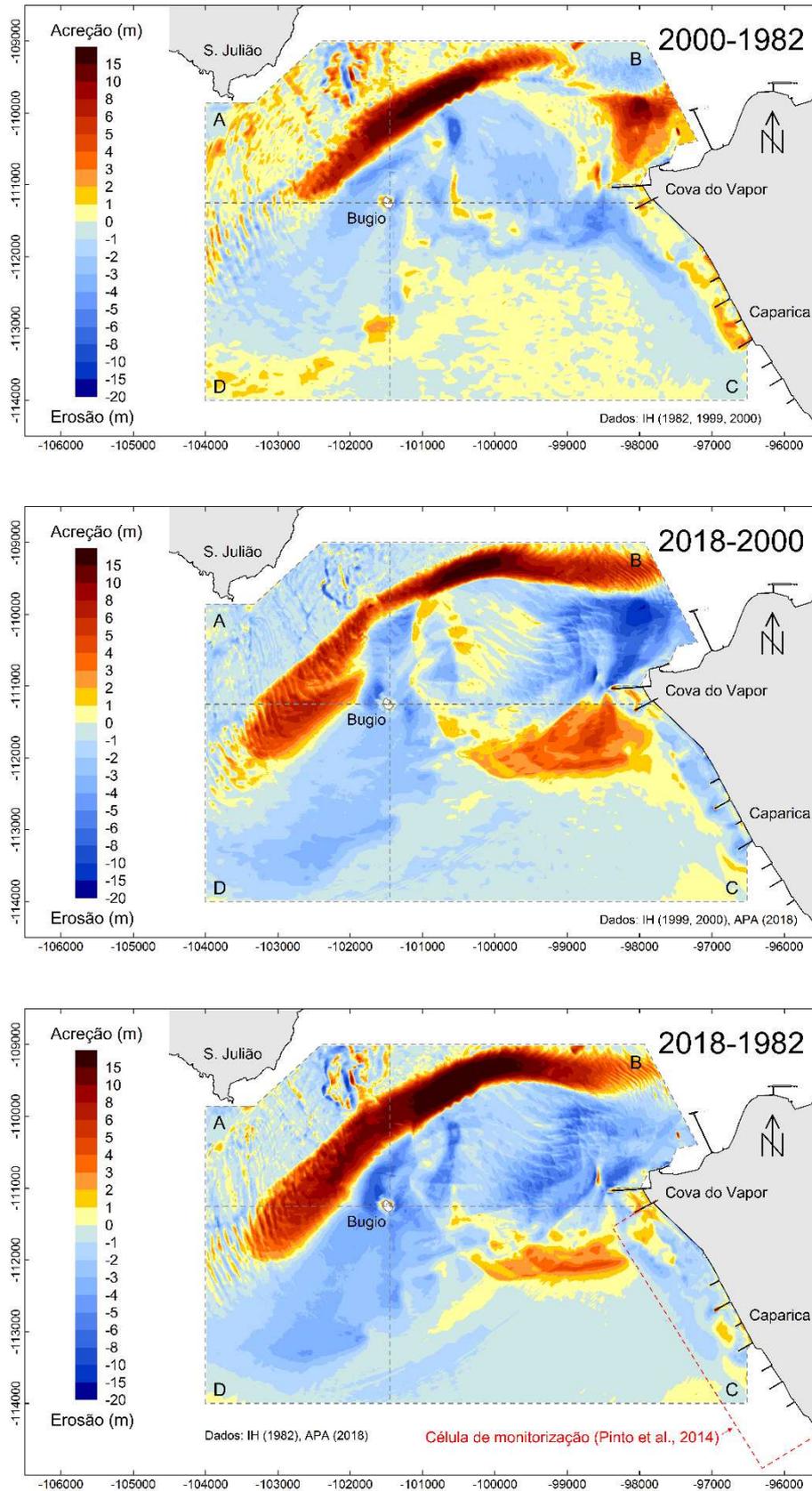


Figura 2.3 – Comparação de levantamentos topo-hidrográficos da zona do Bugio: 2000-1982; 2018-2000; 2018-1982

2.3 Resultados e discussão

2.3.1 Zona do Bugio (sectores A, B, C e D)

Apresentam-se na Figura 2.3 os resultados relativos à evolução da zona circundante do Bugio, incluindo parte das praias da Caparica. Devido ao intervalo de 36 anos entre os levantamentos de 1982 e 2018, a evolução nesse período, muito complexa, encontra-se filtrada, resumindo-se no essencial a uma continuação das tendências, registadas há várias décadas (Oliveira, 1992; Barata *et al.*, 2013), de aprofundamento do Cachopo Sul/banco do Bugio e de acumulação sedimentar no talude norte desse banco. Os resultados apresentam imperfeições (*e.g.* em 1982-2000, nos sectores A e D, observa-se um padrão circular com centro no Bugio, não realista, que reflete a disposição radial das sondas do levantamento de 1982), mas sem implicações relevantes.

Do ponto de vista de saber para onde se estão a deslocar as areias das alimentações artificiais das praias da Caparica, a comparação dos levantamentos de 1982 e 2018 revela uma área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio, a cerca de 1500 m do sector norte da praia de S. João da Caparica, que merece especial atenção. Analisando apenas o período de 2000 a 2018, o volume acumulado é claramente mais elevado, o que se afigura compatível com o facto de as alimentações de praia se terem iniciado apenas em 2007. Porém, a interpretação da evolução neste período é complicada pela alteração ocorrida em torno da extremidade do esporão EV2, na Cova do Vapor. Com efeito, em 2000 tinha-se formado um banco acima do ZH a norte do esporão EV2, em resultado da migração da parte emersa do banco do Bugio para nascente. Em 2018, assiste-se na mesma área ao aprofundamento do canal da Golada, podendo, assim, a acumulação no bordo sul do banco do Bugio ter sido promovida, não apenas pelas intervenções nas praias da Caparica, a sul, mas também por um eventual transporte sedimentar a partir de norte do esporão EV2.

A variação volumétrica entre os sectores a norte e a sul de um paralelo que passa pelo Bugio e pela Cova do Vapor é apresentada na Figura 2.4. Entre 1982 e 2018, foi estimada uma perda sedimentar de cerca de $15 \times 10^6 \text{ m}^3$ a sul e uma acumulação de cerca de $10 \times 10^6 \text{ m}^3$ a norte. Estes resultados sugerem uma perda total de cerca de $5 \times 10^6 \text{ m}^3$, mas esta perda, correspondente a uma variação de cota média de -0,15 m, estará dentro do limite de incerteza admissível (cf. margem de erro de 0,30 m assumida por Pinto *et al.*, 2014). O que não parece oferecer dúvidas, neste período, é a persistência de um fluxo sedimentar dirigido de sul para norte.

Porém, analisando separadamente os períodos 1982-2000 e 2000-2018, verifica-se que a evolução volumétrica foi muito distinta, sugerindo um abrandamento do transporte sedimentar de sul para norte e a sua limitação aos sectores a poente, do primeiro período para o segundo (Quadro 2.2). Parece também poder concluir-se, dos resultados obtidos, que a área de comparação de levantamentos considerada, embora superior à de outros estudos sobre a evolução da zona do Bugio e Golada (Barata *et al.*, 2013; Freire *et al.*, 2018), é ainda insuficiente para uma completa interpretação da dinâmica do Cachopo Sul/banco do Bugio.

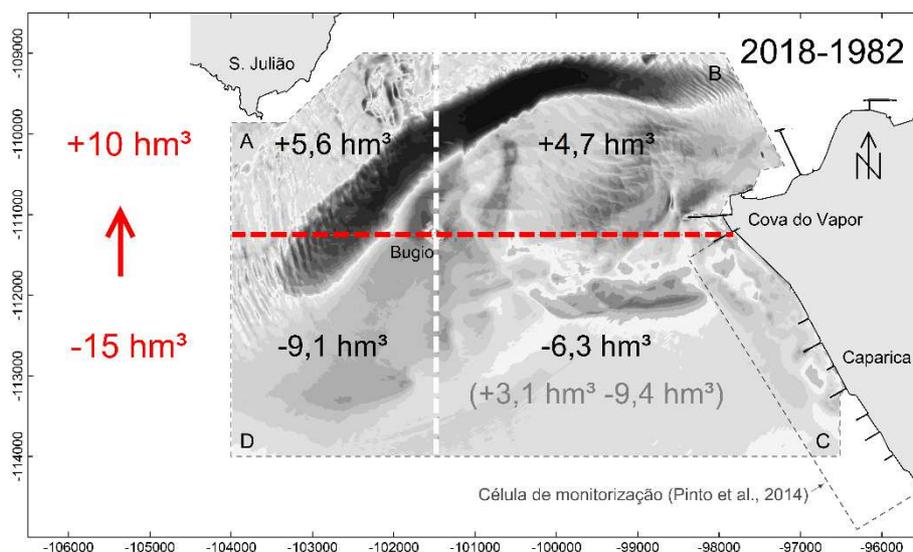


Figura 2.4 – Variação volumétrica (em $hm^3 = 10^6 m^3$) entre levantamentos: 2018-1982

Quadro 2.2 – Zona circundante do Bugio: variação volumétrica por sector

Levantamentos	Volume acumulado ($10^6 m^3$)				
	A	B	C	D	Total
2000 – 1982	+5,2	+7,2	-5,0	-3,5	+3,8
2018 – 2000	+0,5	-2,5	-1,2	-5,7	-8,9
2018 – 1982	+5,6	+4,7	-6,3	-9,1	-5,1

Nota: Valores positivos: acreção; valores negativos: erosão.

Quadro 2.3 – Pormenorização da variação volumétrica no sector C

Levantamentos	Volume ($10^6 m^3$)		
	Acumulado bruto	Erodido bruto	Total
2000 – 1982	2,1	7,1	-5,0
2018 – 2000	6,2	7,4	-1,2
2018 – 1982	3,1	9,4	-6,3

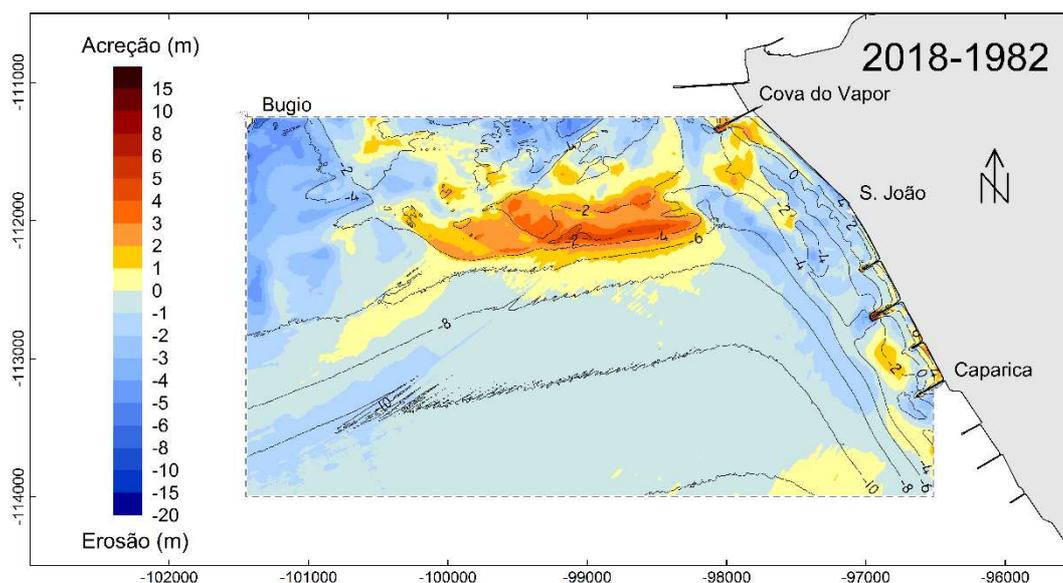


Figura 2.5 – Comparação de levantamentos hidrográficos do sector C (2018-1982), com sobreposição das batimétricas do levantamento de 2018

2.3.2 Sector Bugio-Caparica (sector C)

Uma análise mais pormenorizada do sector C (12,58 km²), adjacente a parte das praias da Caparica, indica que o volume acumulado bruto entre 2000 e 2018 (6,2 x 10⁶ m³; Quadro 2.3) é superior ao volume das intervenções de alimentação artificial (3,5 x 10⁶ m³; Pinto *et al.*, 2014). Este resultado reforça a hipótese de que, nesse período, a acumulação sedimentar a sudoeste dos esporões da Cova do Vapor envolva também material proveniente de NNE. No período anterior (1982-2000), a evolução em relação à extremidade do esporão EV2 teve um padrão simétrico, isto é, acumulação a NNE e erosão a SSW (Figura 2.3). Verifica-se também que, no período completo entre 1982 e 2018, o volume acumulado bruto (3,1 x 10⁶ m³; Quadro 2.3) tem uma magnitude comparável ao das alimentações artificiais na Caparica. A área de acumulação, razoavelmente bem delimitada, apresenta em 2018 cotas típicas da ordem de -4 a -2 m ZH (Figura 2.5).

Para uma avaliação complementar da fiabilidade dos resultados, procedeu-se, na zona da Caparica, à comparação de levantamentos locais de 1980 e 2001 com o levantamento de 2018. Embora os resultados obtidos com os levantamentos de 1980 e 1982 apresentem pequenas diferenças, a distribuição das áreas de maior acumulação é concordante, nomeadamente no que se refere ao sector norte da praia de S. João da Caparica (Figura 2.6). No caso dos levantamentos de 2000 e 2001, em que o primeiro apresenta uma cobertura menos completa da faixa de rebentação, verifica-se também muito boa concordância (Figura 2.7). Assim, os levantamentos locais confirmam os resultados obtidos com os levantamentos gerais relativamente à acumulação sedimentar na proximidade do sector norte da praia de S. João da Caparica e no limite sul do banco do Bugio.

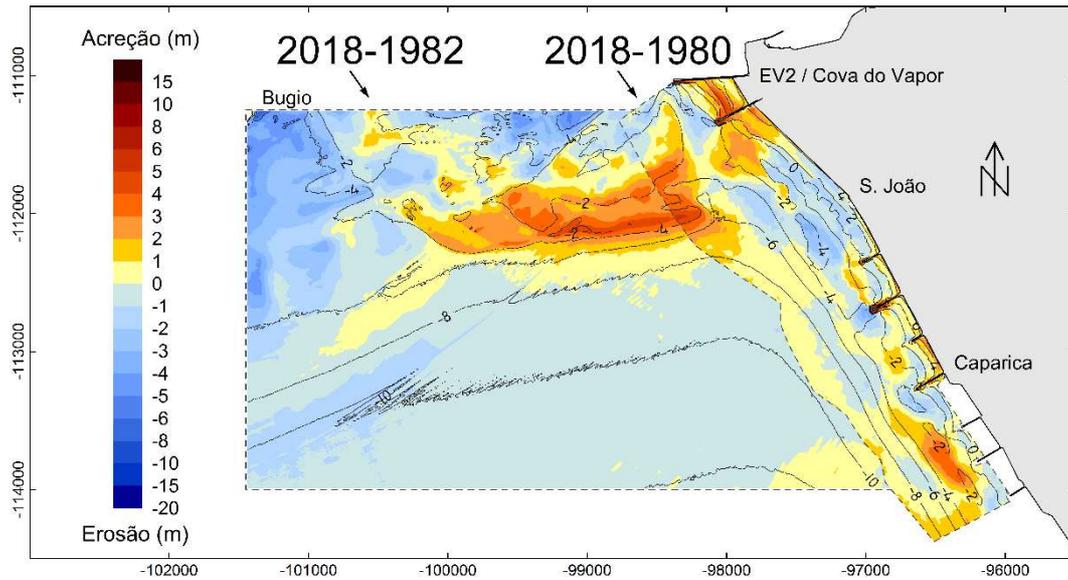


Figura 2.6 – Comparação de levantamentos hidrográficos das praias da Caparica (2018-1980) e do sector C (2018-1982); com sobreposição das batimétricas do levantamento de 2018

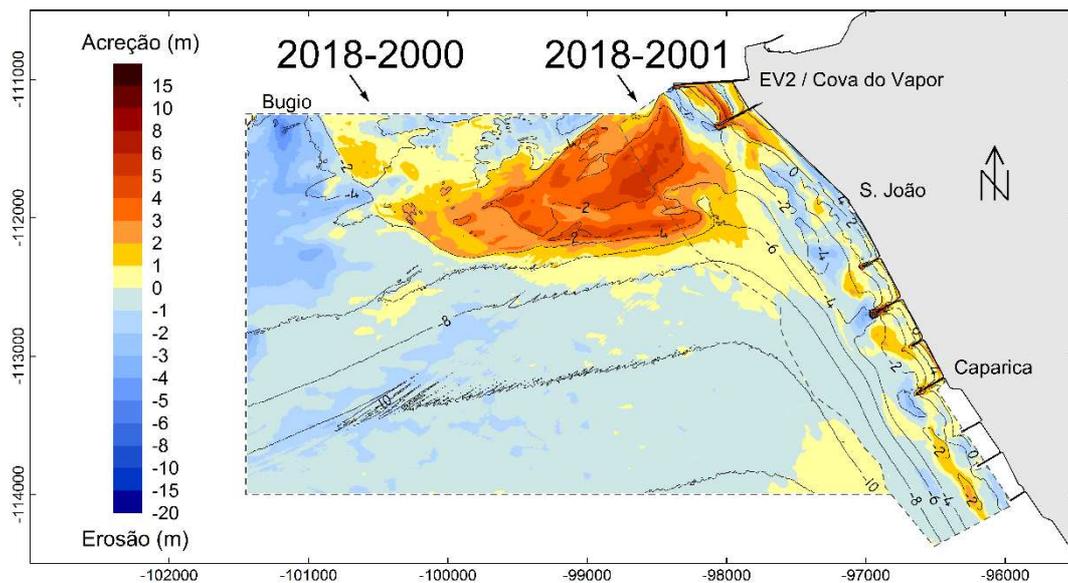


Figura 2.7 – Comparação de levantamentos hidrográficos das praias da Caparica (2018-2001) e do sector C (2018-2000); com sobreposição das batimétricas do levantamento de 2018

Considerando apenas a zona da Caparica (3,23 km²), a evolução volumétrica nos períodos 1980-2001 e 2001-2018, determinada com base nos levantamentos locais, é distinta, verificando-se quase neutralidade entre volumes acumulados e erodidos em 1980-2001 e acumulação sedimentar em 2001-2018 (Quadro 2.4). Os resultados sugerem que parte significativa do volume das alimentações artificiais permanece, em 2018, na zona da Caparica, distribuído de forma heterogénea, mas que parte igualmente significativa a terá abandonado, nomeadamente para o banco do Bugio.

Quadro 2.4 – Pormenorização da variação volumétrica na Caparica

Levantamentos	Volume (10 ⁶ m ³)		
	Acumulado bruto	Erodido bruto	Total
2001 – 1980	1,6	1,5	+0,2
2018 – 2001	2,4	1,0	+1,4
2018 – 1980	2,5	0,9	+1,6

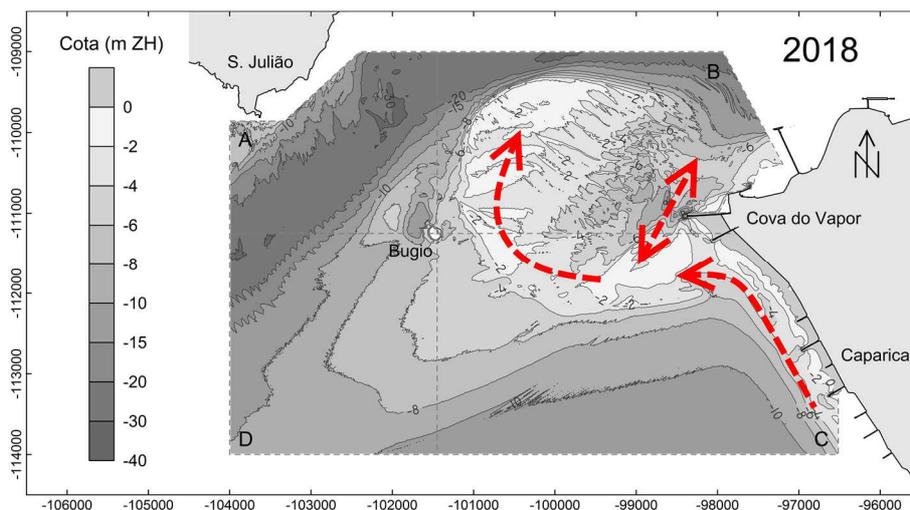


Figura 2.8 – Possíveis fluxos sedimentares associados à área de acumulação no bordo sul do banco do Bugio

Os valores em concreto indicados no Quadro 2.4 devem ser encarados com prudência. Note-se que a área considerada tem limites diferentes da “célula de monitorização” de Pinto *et al.* (2014), e que o período de análise é também diferente.

Aparentemente, após as intervenções de alimentação artificial, verificar-se-á uma tendência de transporte de sul para norte das areias depositadas, com acumulação no sector norte da praia de S. João da Caparica e eventual perda para NW, para a área identificada (Figura 2.8). Por outro lado, entre 2000 e 2018, o enraizamento submerso do banco do Bugio na Cova do Vapor tendeu a deslocar-se de norte para sul do esporão EV2, o que poderá explicar ganhos da “célula de monitorização” atribuídos a fontes externas (Pinto *et al.*, 2014); não é de excluir que, noutros períodos, as alterações na vizinhança do esporão EV2 tenham efeito contrário. A acumulação sedimentar no sector C em 2000-2018 refletirá, assim, as intervenções de alimentação artificial e uma possível fonte sedimentar com origem a norte do esporão EV2. As batimétricas -4 a -2 m ZH sugerem que as formas elevadas do fundo associadas à área de acumulação se desloquem gradualmente para W-NW.

2.4 Conclusões

O destino final das areias utilizadas nas intervenções de alimentação artificial das praias da Caparica tem suscitado algumas dúvidas. Estudos de balanço realizados na “célula de monitorização” indicam que a maior parte do volume das alimentações tem permanecido nessa célula (Pinto *et al.*, 2014; Freire *et al.*, 2019). Neste capítulo, na comparação de levantamentos de 1982-2018 e 2000-2018 a uma escala espacial alargada, foi identificada uma área de acumulação maioritariamente exterior à célula, no bordo sul do banco do Bugio, a SW dos esporões da Cova do Vapor. Os elementos analisados sugerem que esta área de acumulação, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, possa estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas a norte e a sul do esporão EV2.

A acumulação sedimentar registada nos últimos anos na proximidade do sector norte de S. João da Caparica, nomeadamente na praia imersa, é um desenvolvimento local favorável à estabilidade das praias da Caparica, em particular da de S. João. Porém, podendo essa acumulação não ter origem exclusivamente nas intervenções de alimentação artificial, a evolução futura das praias é difícil de prever. Neste contexto, o prosseguimento da realização de intervenções de alimentação artificial, associado a um programa mais completo de monitorização do sistema, afigura-se uma estratégia prudente.

3 | Erosões localizadas nos esporões da Caparica

3.1 Introdução

O campo de esporões da Costa da Caparica, formado por 7 esporões (EC1 a EC7) construídos no início da década de 70, com cerca de 180 m de comprimento cada e distribuídos por uma frente de 2000 m, foi objeto de uma intervenção entre 2004 e 2006. Nesta intervenção, procedeu-se a um aumento do comprimento dos esporões que passariam a ter um papel estruturante e a uma redução parcial do comprimento dos restantes (Veloso-Gomes *et al.*, 2007). Os esporões EC6, EC4 e EC2 adquiriram, então, comprimentos de 260, 235 e 200 m, respetivamente (Figura 3.1). Neste capítulo, analisa-se a ocorrência de erosões localizadas na vizinhança dos esporões da Caparica e a possível influência exercida nessas erosões pelas intervenções de alimentação artificial.

3.2 Metodologia

Analisaram-se 18 levantamentos hidrográficos da Costa da Caparica, realizados entre julho de 2007 e dezembro de 2017, cedidos pela Agência Portuguesa do Ambiente. Para comparação com a situação anterior à intervenção de 2004-2006, foram ainda considerados 2 levantamentos adicionais, de 1980 (Direção-Geral de Portos) e 2001 (Instituto Hidrográfico). Para distinguir as cavidades de erosão induzidas pelas estruturas de outras alterações do fundo, admitiu-se que as primeiras se situam num raio máximo de 150 m da extremidade de cada esporão. A análise incide sobre os esporões da Caparica (EC1 a EC7); o esporão EV2 da Cova do Vapor foi abordado em Portela (2019).

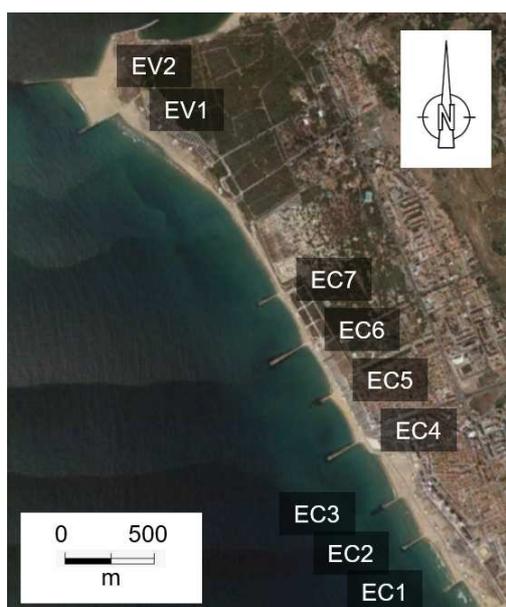


Figura 3.1 – Identificação dos esporões da Costa da Caparica (EC1-EC7) e da Cova do Vapor (EV1-EV2), sobre imagem GoogleEarth de 20-08-2018

3.3 Resultados e discussão

Os resultados relativos à presença e à profundidade máxima das erosões localizadas, em cada levantamento e em cada esporão, são apresentados no Quadro 3.1. Verifica-se que as maiores profundidades das cavidades de erosão estão associadas aos esporões EC6 (-9,4 m ZH), EC4 (-7,6 m) e EC7 (-6,5 m). As erosões localizadas são também mais frequentes em EC4 e EC6 (12 levantamentos, isto é, 2/3 do total) e em EC7 (11), sendo pouco frequentes nos restantes. Porém, no esporão EC7 tendem a confundir-se com a evolução dos fundos frente à praia de S. João da Caparica. Conclui-se que as erosões localizadas são mais importantes: (a) nos esporões longos do que nos esporões curtos; e (b) nos esporões a norte do que nos esporões a sul.

Esta última conclusão indica que as condições hidrodinâmicas não devem ser consideradas uniformes ao longo de todo o campo de esporões. A resultante das correntes de maré e da ação das ondas, que promove as erosões, aparenta ser mais forte a norte do que a sul.

Quadro 3.1 – Erosões localizadas na vizinhança dos esporões entre 2007 e 2017 (cotas em m ZH)

Levantamento	Esporão						
	EC7	EC6	EC5	EC4	EC3	EC2	EC1
2007-jul	-4,5	-6,2	-	-		não abrangidos	
2007-set	-4,1	-5,4	-	-		não abrangidos	
2007-dez	-	-	-	-		não abrangidos	
2008-abr	-3,7	-9,4	-	-7,3		não abrangidos	
2008-jul-ago	-4,8	-6,4	-	-6,3	-	-	-
2008-ago	-4,5	-6,5	-	-5,5		não abrangidos	
2008-nov	-	-	-	-	-	-	-
2009-mai	-6,5	-4,3	-	-5,8	-	-	-
2009-jul	-5,0	-	-	-5,0	-	-	-
2009-ago	-5,1	-	-	-5,1	-	-	-
2009-ago-set	-	-	-	-4,9	-	-	-
2010-mai	-	-7,9	-	-6,4	-	-	-
2013-jun	-	-6,2	-	-	-	-	-
2014-jul	-3,1	-8,6	-	-7,6	-	-3,4	-
2014-ago	-2,7	-8,0	-	-7,5	-	-2,6	-
2014-out	-2,4	-6,2	-	-6,5	-	-	-
2016-out	-	-4,5	-	-	-	-	-
2017-dez	-	-	-1,6	-1,5	-	-	-
n	11	12	1	12	0	2	0
máx.	-6,5	-9,4	-1,6	-7,6	-	-3,4	-

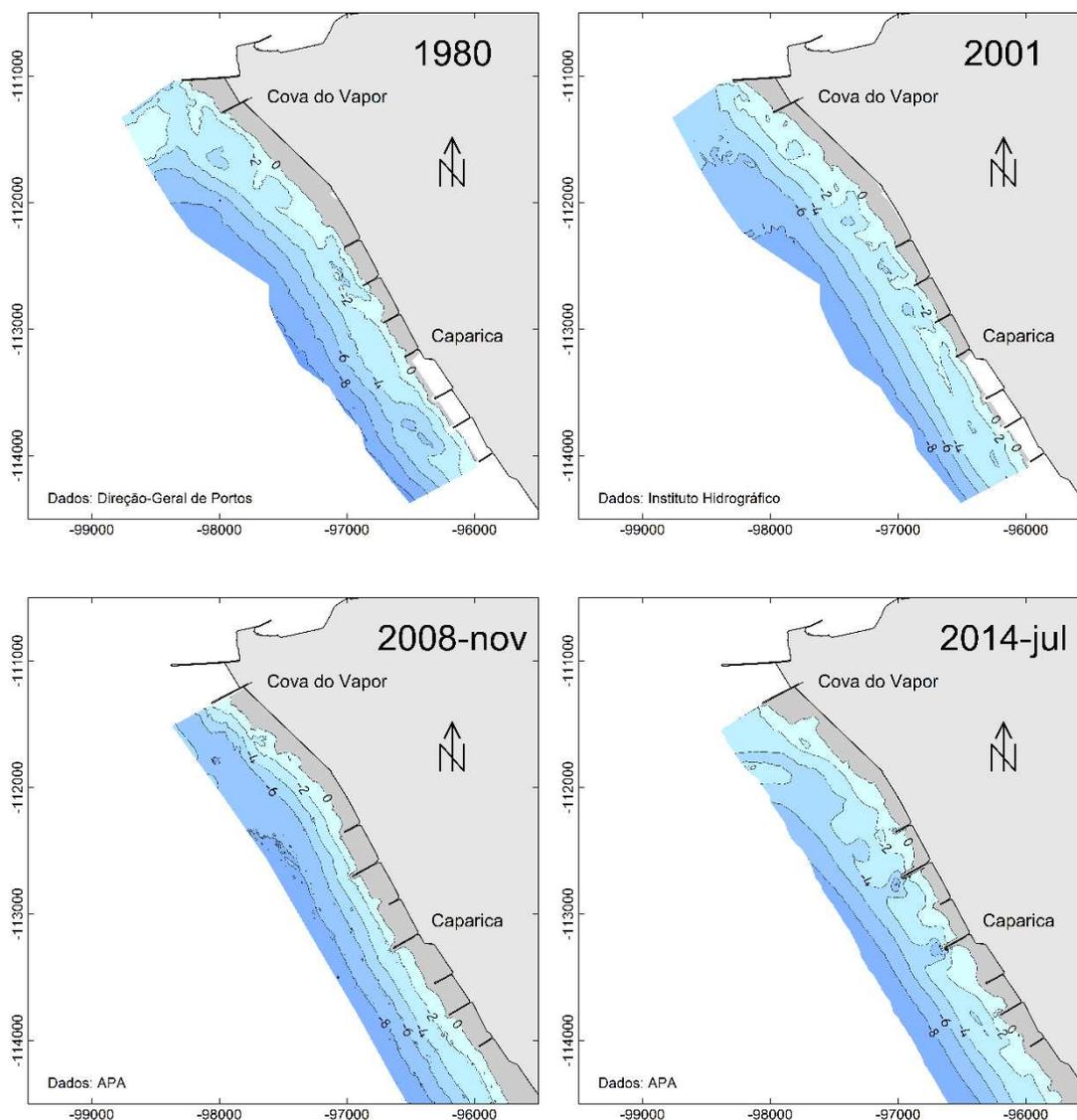


Figura 3.2 – Levantamentos topo-hidrográficos da Caparica de 1980, 2001, 2008 e 2014

Verifica-se também no Quadro 3.1 que as erosões localizadas se tendem a manifestar em vários esporões em simultâneo (e.g. levantamento de julho de 2014). Especula-se que isso possa refletir, em parte, a ocorrência de eventos de elevada energia em período anterior (e.g. tempestade Hércules no início de 2014).

A variabilidade da morfologia do fundo é exemplificada na Figura 3.2. Os levantamentos de 1980 e 2001, anteriores à intervenção estrutural de 2004-2006, parecem corresponder a uma situação intermédia, de alguma complexidade entre as batimétricas -4 e 0 m ZH; a distinção entre erosões localizadas e outro tipo de efeitos morfológicos não se apresenta simples. O levantamento de novembro de 2008, posterior a uma alimentação artificial, caracteriza-se pelo paralelismo das batimétricas e pela ausência de erosões localizadas. Pelo contrário, o já referido levantamento de julho de 2014, anterior a uma alimentação artificial, evidencia a ocorrência de erosões localizadas claramente associadas aos esporões mais longos.



Figura 3.3 – Valores máximos observados das erosões localizadas na vizinhança dos esporões da Costa da Caparica (EC1-EC7) e da Cova do Vapor (EV1-EV2)

3.4 Conclusões

As erosões localizadas são mais frequentes e apresentam maiores profundidades nos esporões mais longos e situados mais a norte, EC6 (-9,4 m ZH), EC4 (-7,6 m) e EC7 (-6,5 m; Figura 3.3). Refletem as condições hidrodinâmicas locais, sendo menores do que as observadas no esporão EV2 da Cova do Vapor (Portela, 2019). A configuração morfológica da “célula de monitorização” da Caparica considerada em Oliveira *et al.* (2019) como mais favorável (novembro de 2008) caracteriza-se pela ausência de erosões localizadas. O prolongamento dos esporões EC4 e EC6 em 2004-2006 poderá ter favorecido a ocorrência de erosões localizadas na sua vizinhança. As intervenções de alimentação artificial parecem reduzir a presença e a profundidade das erosões localizadas. Esta diminuição de importância das erosões localizadas após as alimentações artificiais sugere que estas protegem temporariamente as estruturas.

4 | Evolução de perfis de praia entre 1980 e 2018

4.1 Introdução

Desde 2001, realizaram-se na “célula de monitorização” das praias da Costa da Caparica cerca de duas dezenas de levantamentos topo-hidrográficos (Pinto *et al.*, 2014; Freire *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2019). Anteriormente, de entre um conjunto de 12 respeitantes ao período 2008-2017, e com base no volume de praia acima das cotas -1m ZH e +2m ZH, os levantamentos de julho-agosto 2008 e julho 2014 foram considerados como representando as configurações morfológicas mais desfavoráveis e o de novembro 2008 como sendo o mais robusto (Freire *et al.*, 2019; Oliveira *et al.*, 2019). Neste capítulo, comparam-se perfis dos três levantamentos referidos com perfis de 1980, com o objetivo de avaliar se a situação das praias em 2008-2017 difere significativamente da que se observava em 1980, cerca de uma década após a construção do campo de esporões da Caparica. Comparam-se também os perfis de 1980 com perfis de 2018, extraídos do levantamento mais recente realizado no âmbito do Programa COSMO da Agência Portuguesa do Ambiente (APA, 2018).

4.2 Metodologia

Foram utilizados o levantamento hidrográfico de 1980, realizado pela Direção-Geral de Portos, três levantamentos cedidos pela Agência Portuguesa do Ambiente, de 2008 (pré- e pós-alimentação) e 2014 (pré-alimentação), e o levantamento de 2018 do Programa COSMO. Criaram-se malhas com passo espacial de 5 m e extraíram-se 12 perfis (Figura 4.1).

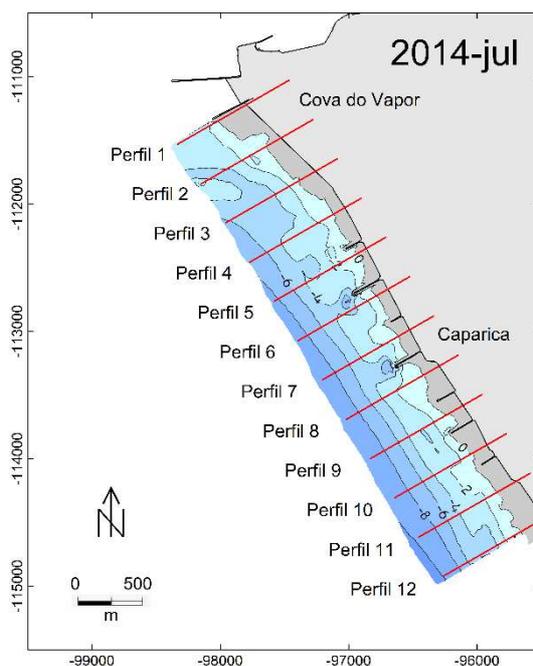


Figura 4.1 – Localização dos perfis de praia sobre batimetria de 2014

Quadro 4.1 – Traçado dos perfis de praia

Perfil	Coordenadas da origem			Azimute (°)
	M (m)	P (m)	Cota (m ZH)	
1	-98333,31	-111529,51	-3,38	60
2	-98145,21	-111837,88	-5,64	60
3	-97957,1	-112146,26	-7,78	60
4	-97769,00	-112454,63	-7,62	60
5	-97580,89	-112763,01	-8,41	60
6	-97392,79	-113071,39	-8,78	60
7	-97204,68	-113379,76	-8,96	60
8	-97016,58	-113688,14	-9,03	60
9	-96828,47	-113996,52	-9,17	60
10	-96640,37	-114304,89	-9,16	60
11	-96452,26	-114613,27	-9,63	60
12	-96264,16	-114921,64	-9,98	60

Nota: Cotas (m ZH) do ponto de origem referem-se ao levantamento de 2014

Os perfis têm origem em pontos de cálculo de agitação marítima do estudo do LNEC (Quadro 4.1), não devendo ser confundidos com os perfis dos estudos de monitorização da APA e FCUL (Silveira *et al.*, 2013; Diogo *et al.*, 2013; Pinto *et al.*, 2014).

4.3 Resultados e discussão

Os resultados relativos a 1980, 2008 (pré- e pós-alimentação) e 2014 (pré-alimentação) encontram-se representados na Figura 4.4 (perfis 1 a 6, a norte do esporão EC5) e na Figura 4.5 (perfis 7 a 12, a sul do esporão EC5). Observa-se que:

- A variação morfológica entre diferentes datas tende a ser mais acentuada nos perfis a norte do que nos perfis a sul, considere-se ou não o levantamento de 1980;
- Alguns perfis nas praias urbanas (*e.g.* perfil 8) apresentam variações pouco significativas, sendo a principal diferença a situação da praia emersa entre pré- e pós-alimentação, e não a diferença entre 1980 e datas mais recentes;
- Nos perfis mais a norte (*e.g.* perfis 1 e 2), a variação morfológica é mais acentuada na parte submersa do que na parte emersa. O perfil da parte submersa em 1980 e 2014 apresenta semelhanças, correspondendo a uma situação de maior robustez do que em 2008;
- Nos perfis mais a sul (*e.g.* perfis 11 e 12), a situação em 1980 parece menos favorável do que em 2008 e 2014, principalmente na parte submersa.

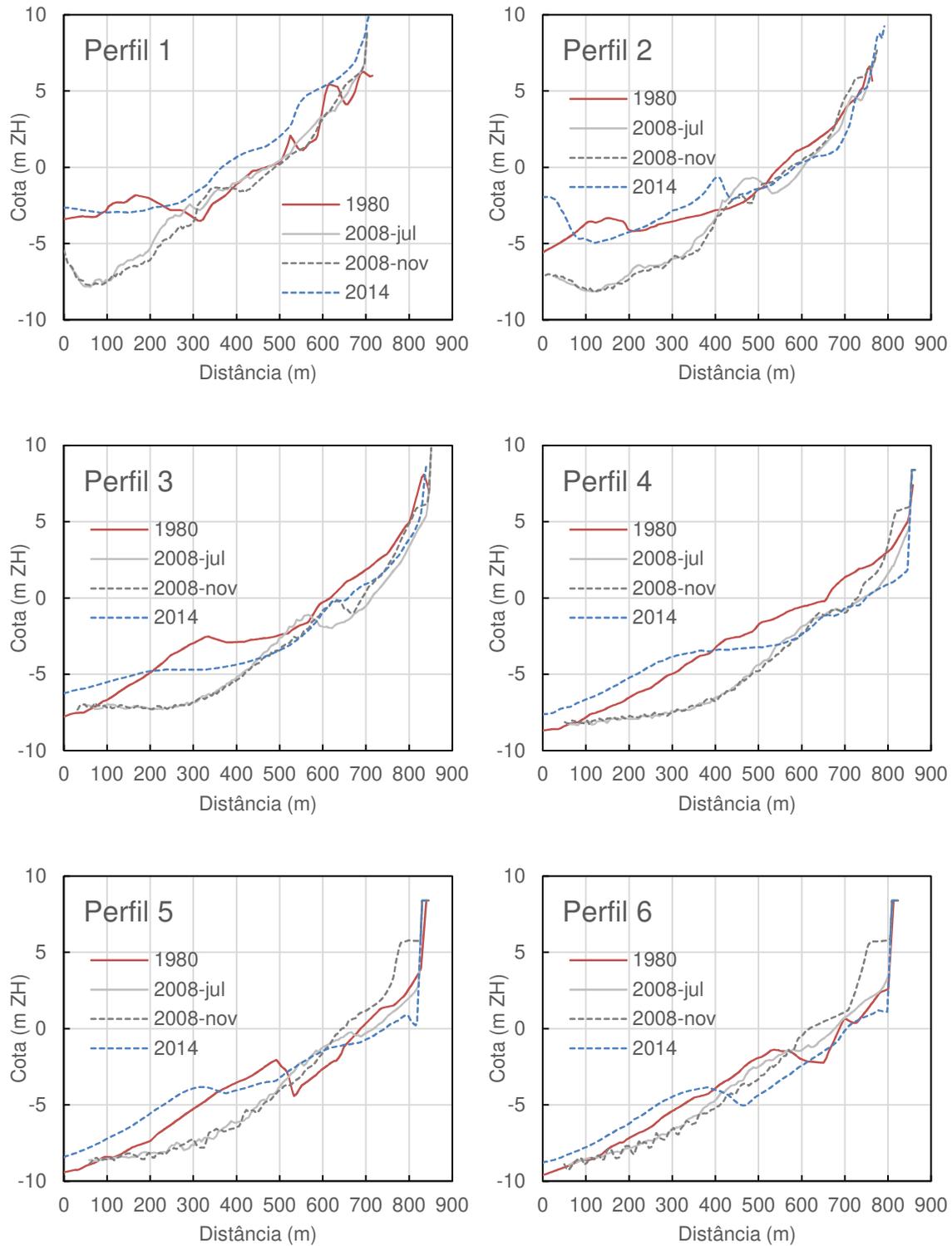


Figura 4.2 – Perfis de praia 1 a 6 em 1980, 2008 (pré- e pós-alimentação) e 2014

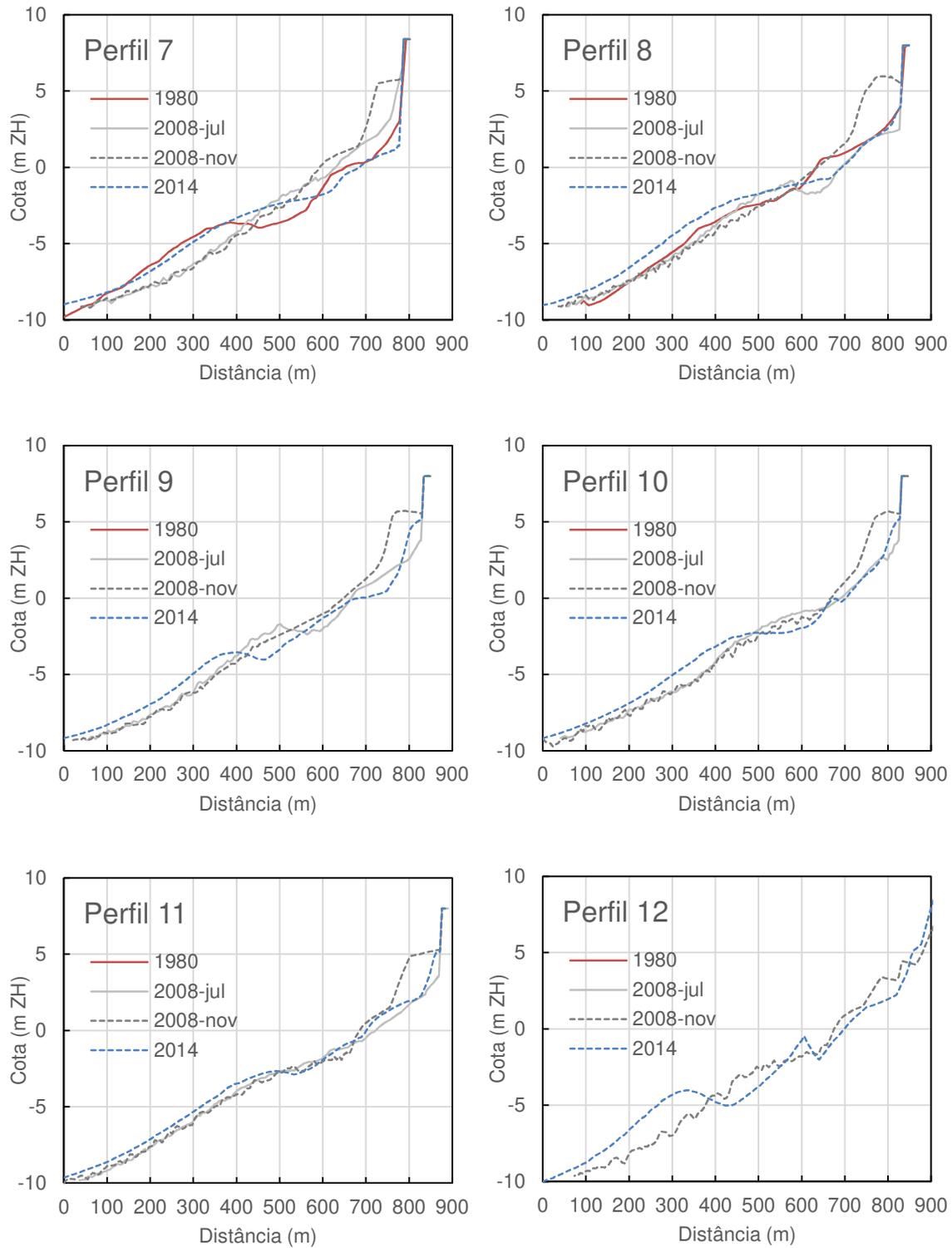


Figura 4.3 – Perfis de praia 7 a 12 em 1980, 2008 (pré- e pós-alimentação) e 2014

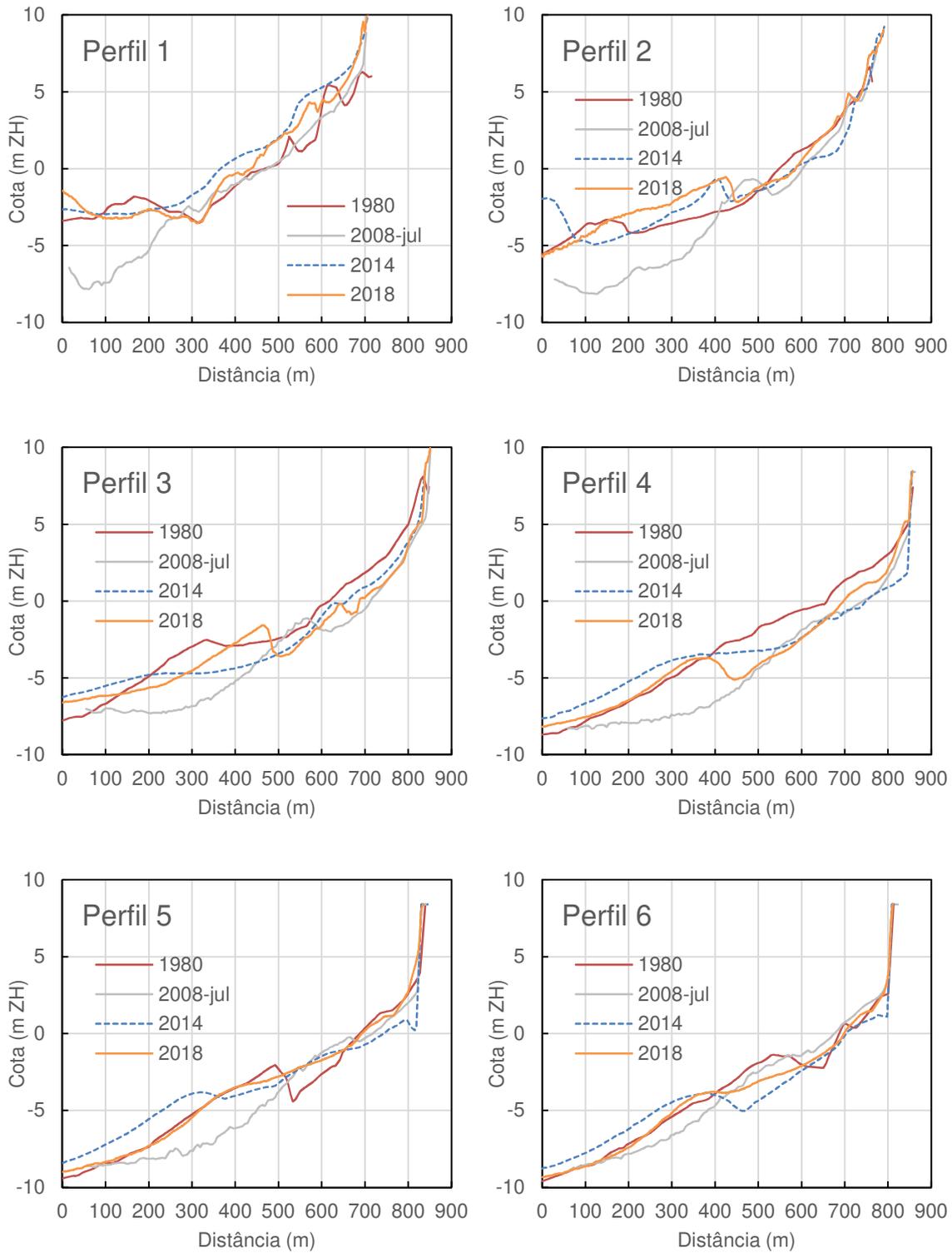


Figura 4.4 – Perfis de praia 1 a 6 em 1980, 2008 (pré-alimentação), 2014 (idem) e 2018

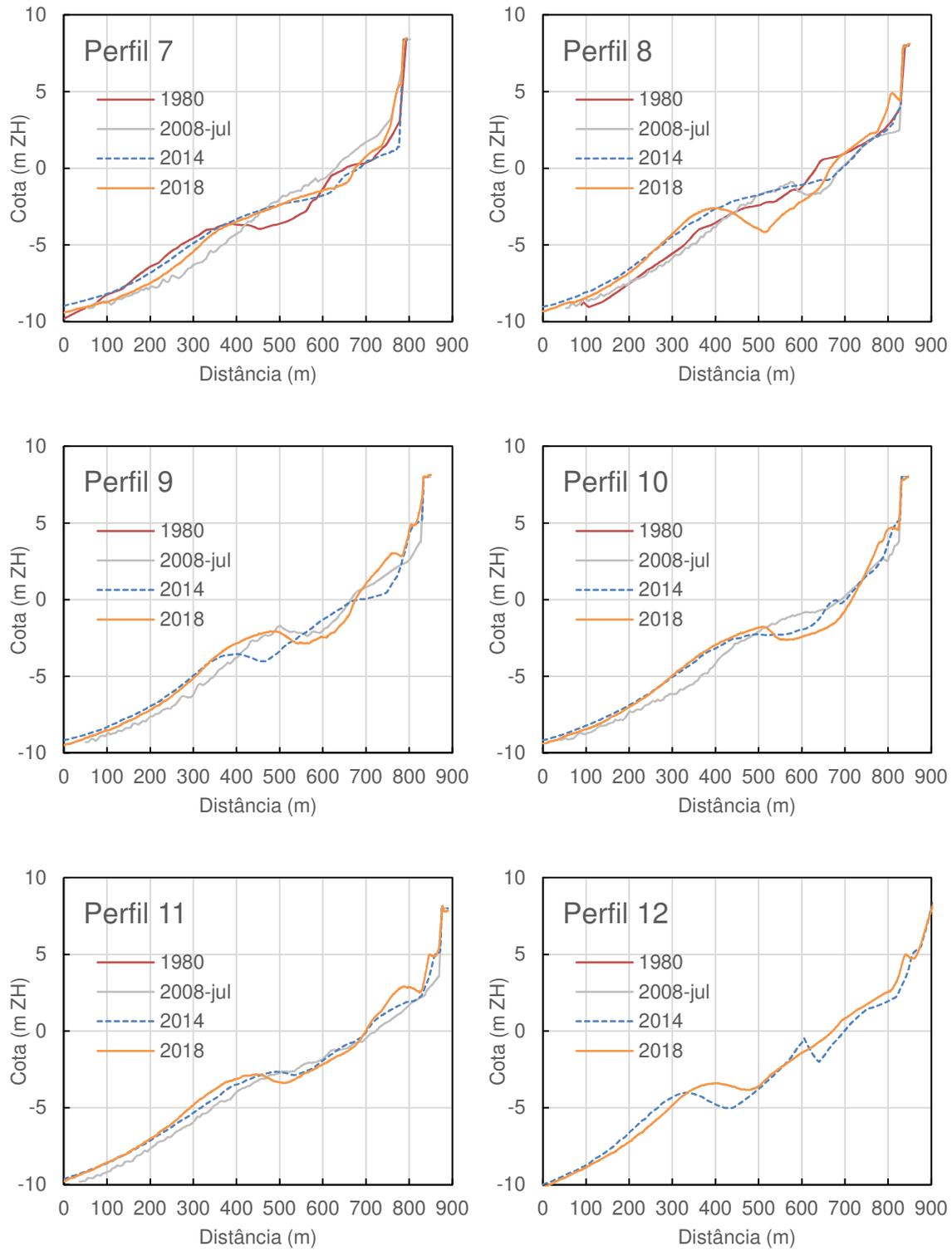


Figura 4.5 – Perfis de praia 7 a 12 em 1980, 2008 (pré-alimentação), 2014 (idem) e 2018

Para ilustrar a evolução mais recente, mas anterior à alimentação artificial de agosto-setembro 2019, os perfis em 2018 são representados conjuntamente com os de 1980, 2008 (pré-alimentação) e 2014 (idem) na Figura 4.4 (perfis 1 a 6, a norte do esporão EC5) e na Figura 4.5 (perfis 7 a 12, a sul do esporão EC5). Observa-se que:

- Nos perfis mais a norte, a morfologia da parte submersa em 2018 apresenta semelhanças com a situação em 1980 e 2014, sendo substancialmente diferente da situação menos favorável observada em 2008;
- Em alguns perfis centrais (*e.g.* perfis 5 e 6), a situação em 2018 apresenta notáveis semelhanças, não apenas com a de 2014, mas principalmente com a de 1980, nomeadamente abaixo da cota -4 m ZH;
- Nos perfis mais a sul, a parte submersa abaixo da cota -4 m ZH em 2018, tal como em 2008 e 2014, encontra-se menos recuada do que em 1980;
- Assim, a parte submersa parece encontrar-se em 2018 numa situação mais favorável do que em 2008, a norte, e do que em 1980, a sul.

4.4 Conclusões

Os perfis de praia em 1980 apresentam semelhanças com os de 2014 e 2018, o que sugere que a situação uma década após a construção das principais estruturas de defesa seria já próxima da atual, embora sujeita a oscilações e a evoluções plurianuais importantes, nomeadamente na praia de S. João da Caparica. A fixação da linha de costa não se traduziu por uma praia emersa de largura e estabilidade elevadas. Com efeito, os perfis pós-alimentação correspondem a estados de maior robustez da praia emersa do que as situações observadas em 1980 ou 2018. As intervenções de alimentação artificial, associadas a alterações morfológicas na envolvente da Cova do Vapor, serão responsáveis pelo facto de a praia imersa, em 2018, apresentar declives mais suaves a norte, próximo do esporão EV1, do que em 2008. Regista-se também o facto de a praia imersa abaixo da cota -4 m ZH, em 2018, se apresentar mais desenvolvida a sul do esporão EC1 do que em 1980.

5 | Conclusões

Procedeu-se a uma análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica à escala decenal (desde 1980-1982), recorrendo, entre outras fontes, à informação disponibilizada pela APA no âmbito do Programa COSMO. Esta análise visou contribuir para uma melhor compreensão da relação entre o banco do Bugio e as praias da Caparica, bem como dos efeitos das intervenções estruturais e não-estruturais realizadas na Costa da Caparica.

Estudos realizados na “célula de monitorização” das praias da Caparica indicam que a maior parte do volume das intervenções de alimentação artificial efetuadas em 2007-2014 terá permanecido nessa célula (Pinto *et al.*, 2014; Freire *et al.*, 2019). A presente comparação de levantamentos revelou uma área de acumulação sedimentar parcialmente no exterior da “célula de monitorização”, com cotas da ordem de -4 a -2 m ZH, no bordo meridional do banco do Bugio, a SW dos esporões da Cova do Vapor, entre 2000 e 2018. Os elementos analisados sugerem que essa área de acumulação possa estar associada quer às alimentações artificiais realizadas na Caparica, quer a alterações morfológicas ocorridas na envolvente do esporão EV2. Com efeito, no mesmo período, o enraizamento submerso do banco do Bugio na Cova do Vapor tendeu a deslocar-se de norte para sul do esporão EV2.

As erosões localizadas nos esporões da Caparica são mais frequentes e apresentam maiores profundidades nos esporões mais longos e situados mais a norte, o que indica que a resultante das correntes induzidas pelas ondas e das correntes de maré é mais forte a norte do que a sul. O prolongamento dos esporões EC4 e EC6 em 2004-2006 poderá ter favorecido a ocorrência de erosões localizadas na sua extremidade.

Os perfis de praia em 1980 apresentam semelhanças com os de 2018, o que sugere que a situação uma década após a construção das principais estruturas de defesa seria já próxima da atual, embora sujeita a oscilações e a evoluções plurianuais importantes, nomeadamente na praia de S. João da Caparica. A fixação da linha de costa não se traduziu por uma praia emersa de largura e estabilidade elevadas. Com efeito, os perfis pós-alimentação correspondem a estados de maior robustez da praia emersa do que as situações observadas em 1980 ou 2018. Porém, abaixo da cota -4 m ZH, a praia imersa parece encontrar-se em 2018 numa situação mais favorável do que em 2008 a norte do trecho, próximo do esporão EV1, e do que em 1980, a sul do esporão EC1.

Agradecimentos

Os dados topo-hidrográficos de 2018 estão acessíveis no âmbito do Programa de Monitorização da Faixa Costeira de Portugal Continental (COSMO), da Agência Portuguesa do Ambiente, cofinanciado pelo Programa Operacional Sustentabilidade e Eficiência no Uso de Recursos (POSEUR); disponível em: <https://cosmo.apambiente.pt>. Os levantamentos realizados pelo Instituto Hidrográfico da Marinha foram amavelmente disponibilizados pela Administração do Porto de Lisboa ou recolhidos nos arquivos do LNEC. Os levantamentos realizados pela Direção-Geral de Portos foram amavelmente cedidos pela Direção-Geral de Recursos Naturais, Segurança e Serviços Marítimos.

Lisboa, LNEC, abril de 2020

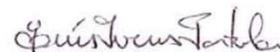
VISTO

A Diretora do Departamento de Hidráulica e
Ambiente



Helena Alegre

AUTORIA



Luís Ivens Portela
Investigador Auxiliar
Chefe do Núcleo de Estuários e Zonas
Costeiras

Referências bibliográficas

- APA, 2018 – **Levantamento topo-hidrográfico Praia da Cova do Vapor - Praia da Cornélia**. Programa COSMO da Agência Portuguesa do Ambiente. Setembro 2018, sistema de referência ETRS89/ PT-TM06. Disponível em: <https://cosmo.apambiente.pt>.
- BARATA, A.; ROSA, T.; CABAÇO, J.; TELES, M.; ANDRADE, C.F.; SILVEIRA, T., 2013 – **Evolução morfodinâmica da região das Barras do Tejo**. Estudo do litoral na área de intervenção da APA I.P./ARH do Tejo. Entregável 1.2.3.f., junho 2013, 34 pp. Relatório da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
- DGP, 1980 – **Costa da Caparica**. Direcção-Geral de Portos, Direcção dos Serviços de Obras, Divisão de Estudos e Projectos. Setembro 1980, escala 1:2000, duas folhas.
- DIOGO, Z.S.; SILVEIRA, T.M.; SOUSA, H.; CARAPUÇO, A.M.; SILVA, A.N.; LIRA C.; TABORDA, R.; ANDRADE, C.F., 2013 – **Estudo de caso da Costa da Caparica. Caracterização da variabilidade morfodinâmica sazonal e pós-temporal das praias da Costa da Caparica**. Entregável 2.2.c. Relatório da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 119 p.
- FREIRE, P.; PORTELA, L.I.; FORTUNATO, A.B., 2018 – **Assoreamento do cais da SILOPOR na Trafaria. Caracterização da situação atual**. LNEC - Proc. 0604/121/21377. Relatório 269/2018 – DHA/NEC.
- FREIRE, P.; FORTUNATO, A.; OLIVEIRA, F.S.B.F., 2019 – **Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada. Estudo IV – Avaliação do comportamento e longevidade das alimentações artificiais. Efeito do forçamento**. LNEC - Proc. 0604/111/21737. Relatório 223/2019 – DHA/NEC.
- IH, 1982 – **Levantamento hidrográfico da zona circundante do Bugio**. Instituto Hidrográfico, Brigada Hidrográfica nº1. Julho 1982, escala 1:5000, pranchetas 72/82, projecção Hayford-Gauss.
- IH, 1999 – **Levantamento hidrográfico do Bugio**. Instituto Hidrográfico, Brigada Hidrográfica. Setembro a outubro de 1999, escala 1:5000, pranchetas 26304/99, projecção Hayford-Gauss.
- IH, 2000 – **Levantamento hidrográfico da região das barras de Lisboa**. Instituto Hidrográfico, Brigada Hidrográfica. Janeiro a abril de 2000, escala 1:10000, pranchetas 24204/00, projecção Hayford-Gauss.
- IH, 2001 – **Levantamento hidrográfico da Costa da Caparica**. Instituto Hidrográfico, Brigada Hidrográfica. 5 e 11 de setembro de 2000, escala 1:5000, prancheta 26304A4/01ST, projecção Hayford-Gauss.
- OLIVEIRA, I.B.M., 1992 – **Port of Lisbon: improvement of the access conditions through the Tagus estuary entrance**. In: Proceedings of the 23rd International Conference on Coastal Engineering (ICCE 1992), pp. 2745-2757.
- OLIVEIRA, F.S.B.F.; FORTUNATO, A.; FREIRE, P, 2019 – **Modelação para apoio às intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada. Estudo I – Análise da**

- vulnerabilidade da praia de S. João da Caparica a um evento de tempestade marítima.**
LNEC - Proc. 0604/111/21737. Relatório 221/2019 – DHA/NEC.
- PINTO, C.A.; TABORDA, R.; SILVEIRA, T., 2014 – **Alimentação artificial das praias da Costa da Caparica. Síntese dos resultados de monitorização (2007 a 2014).** Contributo para o Grupo de Trabalho do Litoral (Anexo VI), pp. 218-242.
- PINTO, C.A.; SILVEIRA, T.M.; TEIXEIRA, S.B., 2018 – **Alimentação artificial de praias na faixa costeira de Portugal continental: Enquadramento e retrospectiva das intervenções realizadas (1950-2017).** Relatório técnico. Agência Portuguesa do Ambiente, 60 p.
- PORTELA, L.I., 2019 – **Erosões localizadas na vizinhança do esporão EV2 da Cova do Vapor.** In: 5ª Conferência sobre Morfodinâmica Estuarina e Costeira, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, Lisboa, 24-26 de junho de 2019, pp. 9-10.
- SILVEIRA, T.M.; GUIMARÃES, H.; SOUSA, H.; TABORDA, R.; ANDRADE, C.F., 2013 – **Rede de pontos de apoio da Costa da Caparica.** Entregável 2.1.a. Relatório da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa, 30 p.
- VELOSO-GOMES, F.; TAVEIRA-PINTO, F.; PAIS-BARBOSA, J.; COSTA, J.; RODRIGUES, A., 2007 – **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, 23-32.