

apa

agência portuguesa
do ambiente

Cofinanciado por:

POSEUR
PROGRAMA OPERACIONAL
SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS
2014
20

PORTUGAL
2020



UNIÃO EUROPEIA
Fundo de Coesão



INTERVENÇÃO DE MANUTENÇÃO DOS ESPORÕES E DAS OBRAS LONGITUDINAIS ADERENTES NAS PRAIAS DE SÃO JOÃO E COSTA DA CAPARICA

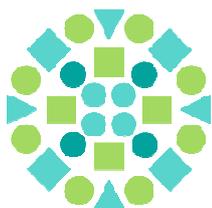
VOLUME 2 – CADERNO DE ENCARGOS

TOMO 1 - PROJETO DE EXECUÇÃO

1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

SETEMBRO DE 2022

**MSW**
ESTUDOS E PROJECTOS DE OBRAS MARÍTIMAS



apa

agência portuguesa
do ambiente

Cofinanciado por:

POSEUR
PROGRAMA OPERACIONAL
SUSTENTABILIDADE E EFICIÊNCIA NO USO DE RECURSOS
2014-2020

**PORTUGAL
2020**

 **UNIÃO EUROPEIA**
Fundo de Coesão

INTERVENÇÃO DE MANUTENÇÃO DOS ESPORÕES E DAS OBRAS LONGITUDINAIS ADERENTES NAS PRAIAS DE SÃO JOÃO E COSTA DA CAPARICA

VOLUME 2 – CADERNO DE ENCARGOS

TOMO 1 - PROJETO DE EXECUÇÃO

1.1 – MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

			CÓDIGO	T1244-0-PE-OBM-MDJ-00-2		
02	20/09/2022	Revisão geral	HL/LF	MD	HL	
01	21/06/2022	Revisão geral	HL/LF	MD	HL	
00	31/03/2022	Primeira emissão	HL/LF	MD	HL	
REVISÃO	DATA	DESCRIÇÃO	PREPARADO	VERIFICADO	APROVADO	

Rua João Saraiva 32
1700-250 Lisboa
Portugal
(+351) 215 831 475
geral@msw-consultores.pt
www.msw-norvia.pt

 **MSW**
ESTUDOS E PROJECTOS DE OBRAS MARÍTIMAS

ÍNDICE

1 - INTRODUÇÃO	1
2 - ENQUADRAMENTO GERAL	2
3 - COMPILAÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO DE BASE.....	3
4 - PRINCIPAIS LACUNAS DE INFORMAÇÃO	8
5 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS DO LOCAL	9
5.1 - Topo-Hidrografia	9
5.2 - Geologia.....	11
5.3 - Níveis de água.....	15
5.4 - Correntes	20
5.5 - Agitação	21
5.6 - Transporte Sólido Litoral.....	29
6 - INSPEÇÃO VISUAL AO LOCAL	32
7 - CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXISTENTES	33
7.1 - Enquadramento histórico	33
7.2 - Considerações gerais	35
7.3 - Descrição dos esporões	35
7.4 - Descrição das obras longitudinais aderentes	37
7.5 - Identificação geral dos estragos e das suas causas.....	38
8 - DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE REPARAÇÃO E REFORÇO	47
8.1 - Considerações iniciais	47
8.2 - Resumo dos estragos sofridos pelos esporões	47
8.3 - Justificação geral das opções de reforço das cabeças dos esporões	49
8.4 - Dimensionamento dos mantos resistentes das cabeças	51
8.5 - Intervenções de reforço	52
8.6 - Intervenções de reforço nas defesas longitudinais	56
9 - DESCRIÇÃO DO MODO DE EXECUÇÃO E DO FASEAMENTO DOS TRABALHOS, DO EQUIPAMENTO A UTILIZAR NOS TRABALHOS E DOS CONDICIONAMENTOS À SUA EXECUÇÃO	57
9.1 - Enquadramento geral	57
9.2 - Condicionantes construtivas	58
9.3 - Considerações gerais	58

9.4 - Prazo global e faseamento construtivo previsto	59
9.5 - Materiais	60
9.6 - Equipamentos.....	60
9.7 - Descrição sumária dos principais processos construtivos.....	60

ANEXOS:

ANEXO I – ESTUDO DE AGITAÇÃO

ANEXO II – HISTORIAL DAS INTERVENÇÕES NA COSTA DA CAPARICA

1 - INTRODUÇÃO

Com o objetivo de controlar os processos erosivos que se manifestavam entre desde a zona a sul da Cova do Vapor até à povoação da Costa da Caparica foram construídas as primeiras obras de proteção. Estas obras de proteção foram construídas na Cova do Vapor. Executadas por fases entre 1959 e 1963, estas obras consistiram em dois esporões e uma defesa aderente. Mais tarde, entre 1968 e 1971, os esporões foram prolongados.

Verificando-se a progressão da erosão para sul, para a zona da frente urbana da Costa da Caparica, colocando esta zona em risco, foi construída em 1971 uma estrutura longitudinal aderente com início a sul da Costa da Caparica, na Praia da Saúde, e estendendo-se, para norte, até à zona frontal ao parque de campismo do Clube de Campismo de Lisboa (CCL). Para além da estrutura longitudinal aderente, e enraizados estrutura, foi ainda executado um campo de esporões composto por sete esporões, designados de sul para norte, por EC1 a EC7).

As obras de proteção descritas têm vindo a sofrer danos estruturais causados pelas ondas, sobretudo resultantes de grandes ondulações que têm vindo a atingir estas estruturas nos invernos mais rigorosos.

Em 2004/2006 o ex-INAG realizou uma intervenção de reparação nos esporões e nas obras de defesa aderentes, na Costa da Caparica e na Cova do Vapor. Após esta intervenção as estruturas foram apenas sujeitas a pequenos trabalhos pontuais de reparação, executados em situações de urgência.

Tendo já decorrido um período de tempo significativo desde a última intervenção de reparação, as obras de proteção, particularmente os esporões, evidenciam danos importantes, os quais devem ser avaliados e reparados. Pretende-se dotar as atuais estruturas de proteção de condições para continuarem a desempenhar o seu papel de defesa de pessoas e bens ao longo da frente urbana da Costa da Caparica e nas zonas costeiras adjacentes. Nesse sentido, a Agência Portuguesa do Ambiente (APA), lançou um concurso para a elaboração de um projeto para a reabilitação das obras de proteção.

O presente documento consiste na Memória Descritiva e Justificativa do Projeto de Execução para a “Intervenção de manutenção dos esporões e das obras longitudinais aderentes nas praias de São João e Costa da Caparica “.

2 - ENQUADRAMENTO GERAL

As obras de reparação e reforço de estruturas preexistentes e com um longo historial de intervenções, como é o caso dos esporões da Costa da Caparica e Cova do Vapor, necessita de um trabalho prévio de caracterização do existente e da reconstituição das várias intervenções que, apesar dos meios tecnológicos atuais que permitem a realização de levantamentos topo-batimétricos e fotografias aéreas de grande qualidade, mas que só caracterizam a envolvente exterior, depende também muito da informação existente sobre essas intervenções, designadamente da existência das peças escritas e desenhadas do Projeto de Execução e Telas Finais das várias obras realizadas, que caracterizem as camadas, subcamadas e núcleo, informação que não foi possível obter até à data.

Apesar de, com a informação obtida, se admitir que já se conseguiu realizar uma caracterização do existente com relativa qualidade, algumas das incertezas que subsistem terão reflexos nas soluções de reforço a adotar para cada esporão, reflexos estes que se poderão refletir também na estimativa das quantidades e respetivas estimativas de custo. Assim, será determinante para o sucesso do projeto que a APA confirme a caracterização apresentada, e se possível, ceda a informação em falta.

Por outro lado, o comportamento estrutural dos esporões, está diretamente dependente das intervenções de manutenção das praias, bem como o sucesso das soluções de reforço a conceber e propor. Ou seja, cenários em que se prevejam mais enchimentos das praias poderão conduzir a soluções de reforço dos esporões mais ligeiras e menos onerosas. Enquanto, cenários em que isso não aconteça terão que conduzir a soluções de reforço mais robustas e conseqüentemente, mais onerosas.

Desconhecendo-se o que está previsto em matéria de manutenção das praias, seria interessante ter orientações da APA sobre que cenário considerar para a reparação e reforço dos esporões.

Alerta-se ainda para o fato de a realização de uma inspeção ao local, sem análise prévia e comparação das plantas correspondentes ao que foi realizado em 2004/2006 e 2015, pode induzir em erro. De facto, se não se conhecer o historial dos estragos e reparações efetuadas nos esporões, pode-se considerar que os estragos serão pouco significativos. Só uma análise conjunta de toda a informação é que permite constatar que os estragos são mais significativos do que uma inspeção visual somente pode indiciar, pois só com essa comparação é que se percebe que vários esporões se encontram agora mais curtos, porque a suas cabeças e troncos adjacentes foram totalmente destruídos, tendo alguns deles recuado entre 10 a 20 metros, aspetos que serão detalhados mais á frente.

3 - COMPILAÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO DE BASE

Procedeu-se a compilação de toda a informação disponibilizada e encontrada com interesse para o objeto da presente prestação de serviços.

A APA facultou à equipa projetista parte dos elementos de base de que dispõe e são de interesse para a elaboração deste estudo, nomeadamente:

- Levantamento topo-hidrográfico da margem esquerda da barra do estuário do Tejo, encomendado pela APA através do programa COSMO, o qual se estende até sensivelmente à cota -20 m (ZH). Os elementos obtidos têm data de setembro de 2020 e são apresentados à escala 1:5500;
- FEUP (2000) – “Estudo de Reabilitação das Obras de Defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica – **Estudo Prévio**”, realizado para o INAG e datado de dezembro de 2000;
- FEUP (2000) – “Estudo de Reabilitação das Obras de Defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica – **Projeto Base**”, realizado para o INAG e datado de dezembro de 2001;
- Mapas de Trabalhos que se julgam associados ao “Estudo de Reabilitação das Obras de Defesa Costeira da Costa da Caparica – **Projeto Base** – Esporões EC1 a EC7 (Costa da Caparica), Esporões EV1 e EV2 (Cova do Vapor) e Obras Aderentes OA1 (Costa da Caparica), OA2 (Cova do Vapor) e OA3 (Obra Aderente no Estuário – Cova do Vapor)”, datados de 20/5/2002;

Através de pesquisa própria, foi possível ter acesso a um conjunto adicional de elementos relacionados sobretudo com os fenómenos de erosão nos taludes de praia e as intervenções realizadas neste trecho de costa desde 2000, do qual se destacam os seguintes:

- Levantamentos topo-hidrográficos da empreitada de Reabilitação das Obras de Defesa Costeira da Costa da Caparica entre 2004 e 2006, realizados por Batimétrica – Consultores Técnicos para a CPTP,SA;
- Projeto da Reabilitação da Estrutura Longitudinal Aderente de S. João da Caparica – 2013”, realizado por um grupo de trabalho da FEUP liderado pelo Professor F. Veloso Gomes, datado de fevereiro de 2013;
- Portela, L., Pedro, L., Brito, F. (abril, 2020) “Modelação para apoio às Intervenções nas praias da Costa da Caparica – Almada – Análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica (1980-2018) – - LNEC RELATÓRIO 125/2020 – DHA/NEC, realizado para a Agência Portuguesa do Ambiente (APA, I.P.);
- Elementos dispersos do “Estudo do Aproveitamento Turístico da Área da Cova do Vapor” (Conselho Superior de Obras Públicas, abril 1968);
- Comunicação “ESTUDO DAS INTERVENÇÕES NA COSTA DA CAPARICA - Costa da Caparica Coastal Protection Works” (Fernando Veloso Gomes, Francisco Taveira Pinto, Joaquim Pais Barbosa, João Costa & António Rodrigues), apresentada nas 1as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (FEUP,2006);

- Comunicação “AS OBRAS DE DEFESA COSTEIRA NA COSTA DA CAPARICA. NA CRISTA DAS ONDAS DO MAR E DA COMUNICAÇÃO SOCIAL - The Defensive Works at Costa da Caparica” (Fernando Veloso Gomes, Francisco Taveira Pinto, Joaquim Pais Barbosa, João Costa & António Rodrigues), apresentada nas 2as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente (FEUP,2007);
- Brochura “Reparação dos Esporões e das Obras Aderentes da Costa da Caparica e da Cova do Vapor”, da autoria do INAG e datada de junho de 2006;
- Apresentação “Erosão Costeira e Ordenamento do Território da Costa da Caparica”, realizada para o INAG pelo grupo de trabalho da FEUP e datada de 2007;
- Relatório 2.3b, “Caracterização das Evoluções Morfológicas e Volumétricas da praia de S. João da Caparica”, do estudo “Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização no Litoral abrangido pela área de jurisdição da Administração da Região Hidrográfica do Tejo”, realizado por um grupo de trabalho da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL) para a APA/ARH do Tejo e datado de junho de 2013;
- Empreitada de Reforço da Defesa Costeira no Paredão das Praias urbanas, na Zona de Intervenção do Programa Polis na Costa de Caparica”, realizado pela CONSULMAR e datado de setembro de 2014 para a CostaPolis;
- Pinto, Celso (APA, 2015) – Apresentação em congresso “Dredging 2015” – “Dredging and beach nourishment: A sustainable sediment management approach in Costa da Caparica beach (Portugal)”;
- Pires, Bruno (FCT, 2017) – Dissertação “Vulnerabilidade e Risco de Galgamento Oceânico em Litorais Baixos e Arenosos” para obtenção de grau de Mestre em Engenharia do Ambiente pela Universidade Nova de Lisboa;
- Almeida, Hugo (ISEC, 2019) – Dissertação “Erosão e Galgamentos na Costa Portuguesa” para obtenção de grau de Mestre em Riscos e Proteção Civil;
- Pinto, Celso (APA, 2020) – Apresentação em Workshop Técnico “Gestão do risco de inundação costeira (LNEC, outubro 2020) – “Galgamento e inundação costeira em Portugal Continental: Exemplos e implicações no ordenamento da zona costeira”;
- Pais, Daniel (FCUL, 2021) – Dissertação “Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial” para obtenção de grau de Mestre em Geologia do Ambiente, Riscos Geológicos e Ordenamento do Território.

Procedeu-se ainda à execução de um levantamento topo-hidrográfico dos esporões da zona da Cova do Vapor (EV1 e EV2) e do campo de esporões das praias da Caparica (EC1 a EC7), realizado pela AtlanticLand Consulting à data de novembro de 2021 à escala 1:1000. Este incluiu a realização quer de levantamento por Sistema Multifeixes + Scanner Laser 3D como de fotografia aérea de alta qualidade via UAV (drone) de todas as estruturas, elementos que contribuíram para a avaliação do seu estado de conservação.

Como complemento foi ainda realizada pela equipa projetista uma inspeção visual das estruturas dos esporões e das obras longitudinais, a 21 de março de 2022. Nesta visita foi identificado o agravamento de alguns problemas, em relação à informação constante nos elementos disponibilizados.

Através da confrontação dos vários elementos disponíveis, particularmente dos resultados da inspeção visual e da análise do levantamento topo-hidrográfico de novembro de 2021 com os Mapas de Trabalhos de 2002, realça-se a incoerência entre os pesos/volumes dos enrocamentos indicados no Projeto Base com os que se detetam efetivamente a partir da análise do levantamento por fotografia aérea e os que se conseguiram medir durante a inspeção visual.

No que se refere aos elementos obtidos relativamente às intervenções de 2004 a 2006, dos quais só foi possível obter levantamentos realizados pela Batimétrica – Consultores Técnicos para a CPTP, SA., assinala-se que não constam destas peças os perfis transversais conforme construídos, bem como o facto destes levantamentos serem algo escassos na informação que apresentam, quer no espaçamento entre pontos como no número total destes, conforme as imagens seguintes permitem observar:

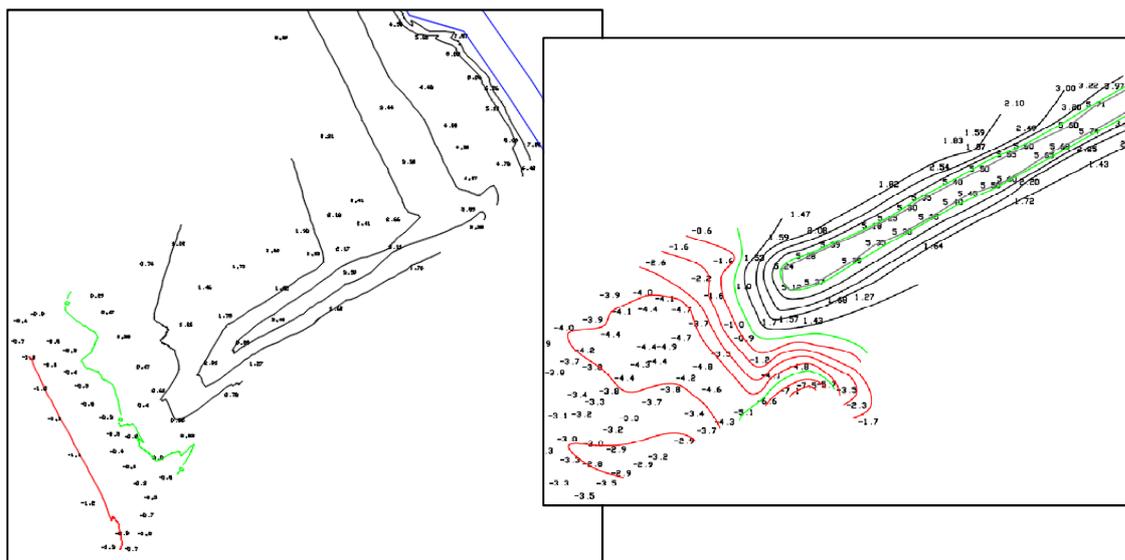


Fig. 1 – Exemplo dos levantamentos realizados pela Batimétrica para a CPTP – Esporão EC1 (Esq: Levantamento a 24/1/2005; Dir: Parte do Levantamento a 21/2/06)

Destaca-se ainda que apenas foi possível obter 3 secções tipo (iguais para todos os esporões) relativamente às intervenções propostas no Projeto Base, as quais não aparentam ser coerentes com os perfis transversais que foi possível traçar a partir dos levantamentos mais recentes do conjunto realizado pela Batimétrica para a CPTP.

Os levantamentos realizados pela AtlanticLand em novembro de 2021 são os elementos mais recentes e detalhados disponíveis e, como tal, serão a base de trabalho para a composição das peças desenhadas. Não obstante, assinala-se que a sua realização sofreu, relativamente aos levantamentos anteriores que foi possível analisar, de limitações naturais da extensão de talude que se encontrava exposto, derivadas do grande preenchimento ainda persistente após a última intervenção de alimentação de 2019.

Assim, caso se verifique uma redução expressiva do volume de areia nos taludes de praia envolventes aos esporões, admite-se que poderão existir danos nos taludes que não foi possível detetar por se encontrarem tapados por sedimentos em novembro de 2021.

Apresentam-se nas imagens seguintes dois exemplos destas discrepâncias.

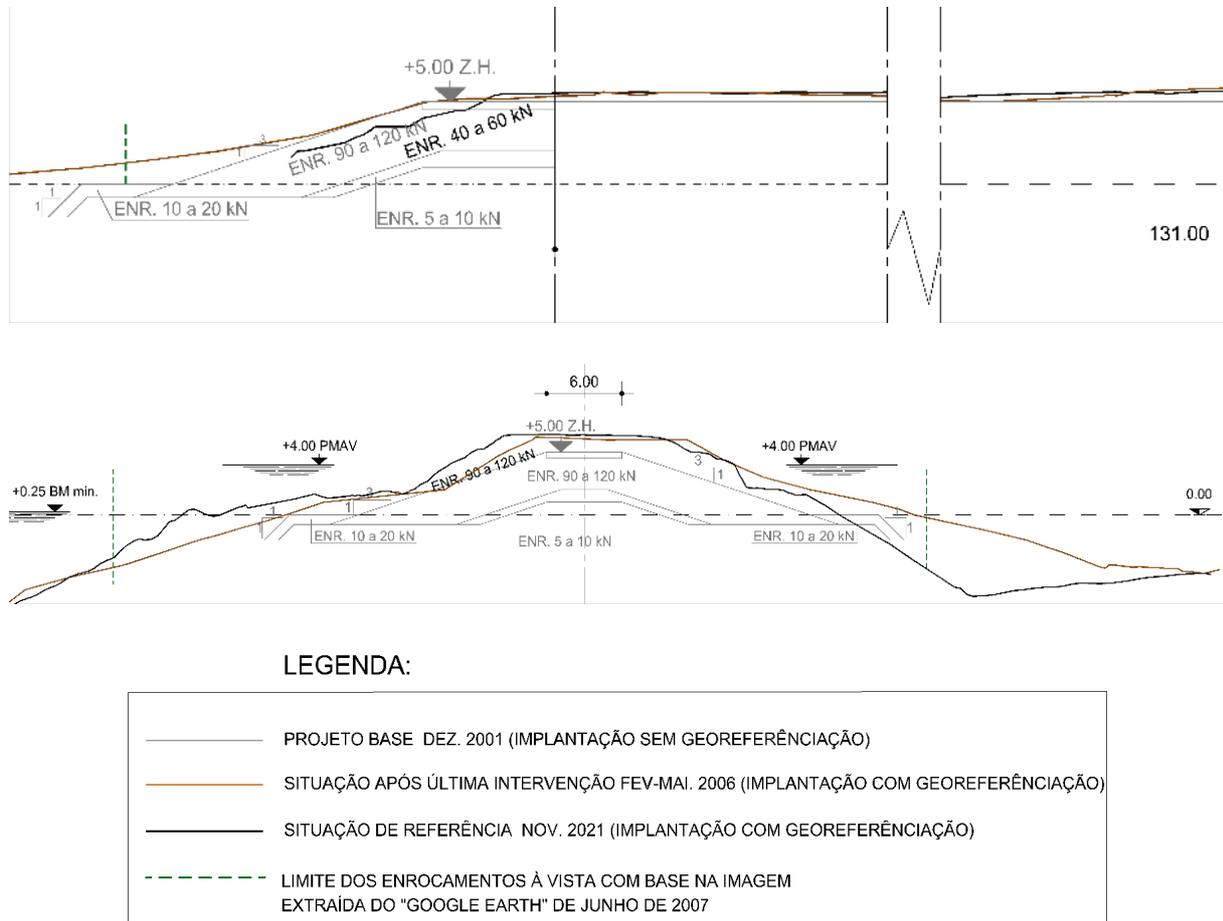


Fig. 2 – Exemplos das discrepâncias encontradas entre os Perfis Longitudinais (exemplo EC1) e Transversais (exemplo Cabeça EC2) do Projeto Base (2001), os levantamentos da Batimétrica do construído (2006) e o levantamento de novembro de 2021

Relativamente às figuras acima apresentadas, no que respeita ao perfil longitudinal, pretende-se demonstrar que o novo levantamento de 2021, em alguns casos, se revela limitado, não definindo toda a estrutura (linha preta termina antes da linha vertical a tracejado), ou seja, antes do limite dos enrocamentos).

Relativamente ao perfil transversal apresentado, assinala-se igualmente que a informação obtida a partir do Projeto Base de 2001 não aparenta corresponder ao que foi efetivamente construído (comparação linha castanha com informação a cinza).

De referir ainda que, embora os levantamentos de 2006 e 2021, tenham como referência o mesmo sistema de coordenadas planimétrico e altimétrico, quando sobrepostos, há situações em que os perfis parecem estar desencontrados e os perfis de 2021 revelam ter mais material que os de 2006, o que não corresponderá à realidade. Apesar de nalguns casos parecer que bastaria deslocar os perfis para que ficassem sobrepostos, optamos por os manter na posição conforme as plantas georreferenciadas.

O levantamento em questão encontra-se igualmente afetado pelas condições de agitação e maré existentes à data da sua realização, que motivam uma faixa de “sombra” na informação disponível relativamente expressiva, particularmente nos esporões com pé de talude na cabeça a cotas superiores ao ZH.

4 - PRINCIPAIS LACUNAS DE INFORMAÇÃO

Importa referir a indisponibilidade de informação importante, particularmente, a seguinte:

- Projeto de Execução associado às últimas intervenções de Reparação e Reforço dos Esporões e Obras Longitudinais da Caparica e Cova do Vapor, nomeadamente Memória Descritiva e Justificativa, Peças Desenhadas e Mapas de Quantidades;
- Telas Finais e Autos de Medição efetivos da Empreitada de Reparação e Reforço dos Esporões e Obras Longitudinais da Caparica e Cova do Vapor.

Esta informação é, efetivamente, de primordial importância para se conhecer, exatamente, a gama de enrocamentos que foram colocados nos trabalhos de reparação, bem como as espessuras das suas camadas e subcamadas adotadas. Sem esta informação torna-se muito difícil estabelecer as cotas de remoção para assentamentos dos novos mantos a definir no âmbito do presente projeto.

5 - CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES NATURAIS DO LOCAL

5.1 - TOPO-HIDROGRAFIA

A caracterização da topo-hidrografia local baseia-se em dois levantamentos da zona de intervenção:

- Levantamento topo-hidrográfico da margem esquerda da barra do estuário do Tejo, encomendado pela APA através do programa COSMO, o qual se estende até sensivelmente à cota -20 m (ZH). Os elementos obtidos têm data de setembro de 2020 e são apresentados à escala 1:5500;
- Levantamento topo-hidrográfico dos esporões da zona da Cova do Vapor (EV1 e EV2) e do campo de esporões das praias da Caparica (EC1 a EC7), realizado pela AtlanticLand Consulting à data de novembro de 2021 à escala 1:1000.

A área em estudo engloba os campos de esporões das praias de São João da Caparica e Costa da Caparica, os quais agrupam 7 estruturas deste tipo (desde EC7 no extremo Norte até EC1 no extremo Sul), aos quais se juntam os dois esporões que enraizam na zona da Cova do Vapor, nomeadamente EV2 a Norte e EV1 a Sul.

Destaca-se igualmente a presença de uma Obra Longitudinal que se desenvolve quer entre esporões como para Norte e para Sul dos campos de esporões EC1-EC7 e EV1-EV2.

O esporão EC7 encontra-se cerca de 1,4 km a Sul do esporão EV1, enquanto o esporão EC1 se encontra sensivelmente 2 km a Sul do esporão EC7. Estes encontram-se dispersos numa faixa de costa com sensivelmente 3,5 km de comprimento, conforme apresentado nas figuras seguintes.



Fig. 3 – Localização dos esporões EV1, EV2 e EC7



Fig. 4 – Localização dos esporões EC1 a EC7

De acordo com o observado no levantamento realizado pela APA (incluído no programa COSMO), os fundos oceânicos a sul do canal de acesso ao estuário do Tejo tendem a desenvolver-se aproximadamente entre O-E e OSO-ENE a distâncias superiores a 2 km da linha de costa, a partir sensivelmente da cota -16 m (ZH).

Ao progredir no sentido da linha de costa, observa-se que a orientação das batimétricas se altera de forma a ficarem aproximadamente paralelas a esta, verificando-se na extensão em análise que tal acontece a partir da cota -10 m (ZH) no alinhamento do esporão EC1, a uma distância na ordem dos 875 m relativamente à linha de costa.

A batimetria apresenta-se com espaçamento relativamente regular a partir de -9 m (ZH) até sensivelmente a -2 m (ZH) na extensão defronte do campo de esporões da Caparica entre EC1 e EC5, com declive médio à data do levantamento COSMO (setembro de 2020) na ordem de 1:70 (V:H). Estima-se que os declives médios se encontrem nesta ordem igualmente a norte do esporão EC6, particularmente no alinhamento do esporão EC7 e na zona defronte da Obra Longitudinal que se localiza a Norte desta.

Na zona do esporão EC6, a configuração do fundo é distinta, com as batimétricas entre -3 m (ZH) e -5 m (ZH) a infletir para o largo, aumentando o declive médio para cerca de 1:60 (V:H) até -3 m (ZH). Após esta batimétrica, verifica-se uma depressão imediatamente à frente da cabeça do esporão EC6, onde as cotas do fundo atingem valores ligeiramente inferiores a -5 m (ZH), embora não aparente atingir o pé da estrutura, que se estima encontrar-se sensivelmente a -3 m (ZH).

Observa-se que a cota de fundo junto à cabeça dos esporões EC1 a EC3 aparenta encontrar-se acima do ZH em todos, encontrando-se sensivelmente entre ZH – EC2 - e +1,5 m (ZH) – (EC1). Já relativamente ao esporão EC4, esta aparenta encontrar-se sensivelmente ao -1 m (ZH), enquanto no EC5, mais recuado, volta a ser superior, na ordem de +2 m (ZH). O esporão EC7 aparenta que a sua cabeça tenha o seu pé sensivelmente ao ZH. Admite-se que as fundações dos taludes se possam encontrar a cotas ligeiramente inferiores.

Todos os esporões têm o seu enraizamento a cotas emersas superiores a +6 m (ZH), encontrando-se entre estas estruturas taludes de praia maioritariamente emersos com declives médios que se estimam na ordem do 1:20 (V:H) a partir do ZH.

Assinala-se que a situação atual não será estática, já que foi realizada uma alimentação artificial destas praias entre agosto e setembro de 2019, sendo o levantamento obtido realizado cerca de um ano após a sua conclusão. Assim sendo, as cotas indicadas poderão ir reduzindo gradualmente nas praias entre esporões, e os declives estimados poderão ter maior inclinação face ao apresentado neste levantamento.

Relativamente aos esporões EV1 e EV2, localizados junto à boca de entrada no estuário do Tejo, a configuração dos fundos imediatamente à frente destas estruturas é influenciada pela transição entre a secção final do canal da barra, com orientação aproximadamente NNO-ESE, e a configuração mais ao largo a Sul, com orientação mais próxima de O-E.

Forma-se nesta transição uma plataforma de cotas com base na vertente do canal do estuário a -8 m (ZH) e topo entre -1 m (ZH) e ZH, a qual é alimentada pela deriva litoral de Sudeste. A vertente desta plataforma voltada para os esporões tem a sua base a -5 m (ZH) sensivelmente no alinhamento do esporão EV1 e a -9 m (ZH) junto ao esporão EV2. A partir desta vala a -5 m (ZH) forma-se um talude de praia entre EV1 e EV2 com declive médio na ordem de 1:30 (V:H) até ao enraizamento destas obras acima de +6 m (ZH).

O talude de praia a Sul do esporão EV1 partilha das características apresentadas para os taludes na zona dos esporões EC1 a EC7, com declive médio na ordem de 1:40 (V:H) entre -3 m (ZH) e cotas superiores a +6 m (ZH). As cotas máximas atingidas pelo pé do talude na cabeça do esporão EV1 aparentam encontrar-se sensivelmente ao -2 m (ZH).

5.2 - GEOLOGIA

De acordo com Pais (2021), a geologia da região onde se localiza a área em estudo encontra-se representada nas folhas 34-C Cascais e 34-D Lisboa da Carta Geológica de Portugal à escala 1:50 000 (respetivamente, Pais et al., 2006 e Ramalho et al., 2001a) e na Carta Geológica do Concelho de Almada à escala 1:20 000, elaborada pela Câmara Municipal de Almada em parceria com a Faculdade de Ciências e Tecnologias da Universidade NOVA de Lisboa (CMA/DEGAS & FCT/CICEGe, 2005).

Geologicamente, o concelho de Almada insere-se na parte terminal da Bacia do Baixo Tejo, uma vasta depressão tectónica cenozoica que sofreu vários episódios de transgressões e regressões marinhas testemunhadas no registo sedimentar. Apesar de algumas sondagens terem alcançado rochas datadas do Cretácico superior, as formações que hoje afloram no concelho de Almada foram datadas do Miocénico médio, do Plio-Plistocénico e do Holocénico (Ramalho et al., 2001b; Pais et al., 2006).

As formações miocénicas afloram ao longo das arribas da margem esquerda do rio Tejo e na Arriba Fóssil da Costa da Caparica, são de fácies marinha a continental, fruto dos sucessivos avanços e recuos do mar na região, e são constituídas por espessas sucessões de areias finas a grosseiras, micáceas, mais ou menos consolidadas, com intercalações de arenitos finos argilosos e, por vezes, de níveis calcários fossilíferos (Azevedo, 1982; Manuppella et al., 1994).

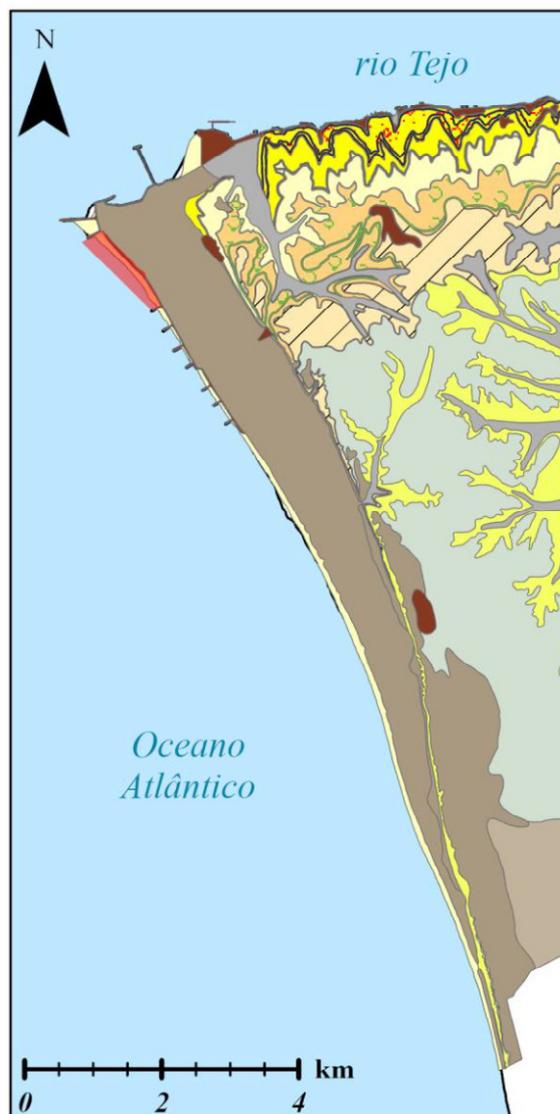
O Pliocénico é representado pela formação das Areias de Santa Marta, de fácies continental-estuarina, que se encontra presente, principalmente, na Arriba Fóssil da Costa da Caparica e que é composta por areias arcósicas, arenitos amarelados ou avermelhados, argilas e, por vezes, conglomerados.

Do Plistocénico, aflora o Conglomerado de Belverde que se encontra, por exemplo, na plataforma litoral que encima a arriba fóssil a sul da ribeira da Foz do Rego e é composta por areias e cascalheiras com clastos subrolados de quartzo e de quartzitos, que representam depósitos de antigas praias e terraços fluviais.

O Holocénico é representado pelas areias de praia e de duna, para além dos depósitos de vertente, as aluviões e os aterros. As areias de praia estendem-se numa faixa contínua ao longo de todo o arco litoral Caparica-Espichel, são constituídas maioritariamente por grãos de quartzo e por bioclastos carbonatados e possuem uma dimensão média a fina, boa calibração e assimetria nula (Freire, 1986).

As areias de duna, segundo Teixeira (1990), são areias finas quártzicas, bem a muito bem calibradas, e compõem toda a planície litoral desde a Trafaria até à Fonte da Telha, formando cordões dunares paralelos à arriba fóssil, estando também presentes no topo desta, onde se encontram dunas mais antigas e estáveis designadas por “medos” (Abreu & Pena, 2006). Na base da arriba fóssil é possível também encontrar níveis de seixos e calhaus, correspondentes a antigas praias (Silva, 2000).

Os depósitos de vertente acumulam-se ao longo do sopé da arriba fóssil e resultam da erosão da mesma por ação pluvial e por abarrancamento (Pais et al., 2005). As aluviões ocorrem ao longo da rede de drenagem do concelho, com espessuras muito variáveis, enquanto os aterros resultam, essencialmente, da atividade antrópica na região (Abreu & Pena, 2006).



Legenda:

Miocénico

- Areolas de Estefânia
- Calcários de Entrecampos
- Areolas de Braço de Prata & Areolas de Cabo Ruivo
- Areias da Quinta do Bacalhau
- Areolas de Braço de Prata
- Calcários de Marvila
- Argilas de Xabregas

Calcários de Casal Vistoso

Areias com Placuna miocénica

Calcários de Musgueira

Areias do Vale de Chelas & Calcários de Quinta das Conchas

Pliocénico

Areias de Santa Marta

Plistocénico

Conglomerado de Belverde

Holocénico

Areias de duna

Areias de praia

Aterros

Dunas

Depósitos de vertente

Aluviões

Fig. 5 – Geologia da zona da Cova do Vapor e Caparica [adaptação de Pais (2021) de CMA/DEGAS & FCT/CICEGe (2005)]

Do ponto de vista da geomorfologia, o litoral da península de Setúbal evidencia uma acentuada assimetria morfológica em virtude do regime de agitação marítima a que está exposto e da natureza e estrutura do substrato rochoso que o suporta. A fachada ocidental, desde a Cova do Vapor, a norte, até ao Cabo Espichel, a sul, é um arco litoral de grande raio de curvatura, formando uma ampla enseada definida, essencialmente, em rochas detríticas brandas (Cruces et al., 2002).

Ainda segundo os mesmos autores, cerca de dois terços deste troço costeiro, onde se encontra a zona em estudo, resultam de acumulação sedimentar (litoral anamórfico), formando uma costa baixa, arenosa e contínua desde Cova do Vapor até à praia das Bicas, enquanto o terço sul do arco é rochoso, contendo apenas algumas pequenas praias encastradas, constituindo, fundamentalmente, formas litorais erosivas (litoral catamórfico).

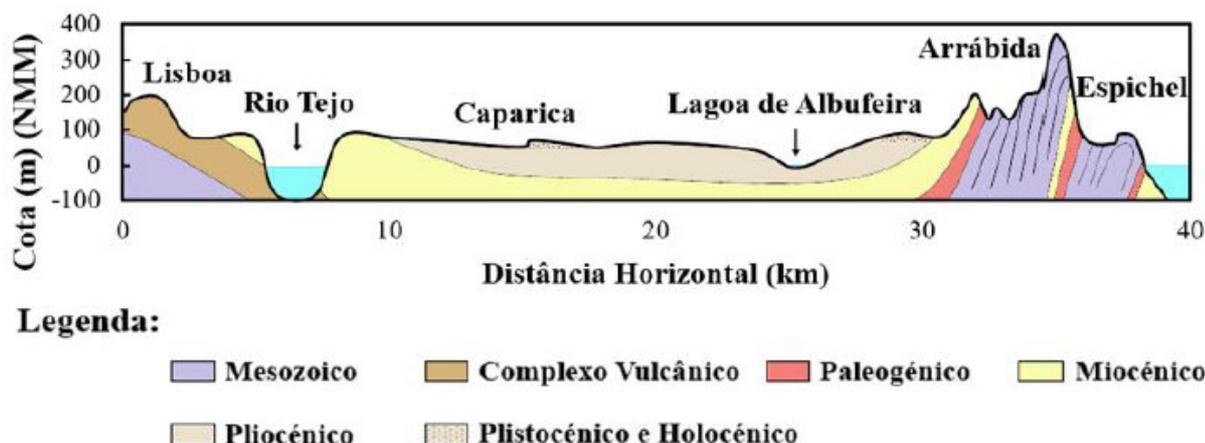


Fig. 6 – Geomorfologia da península de Setúbal (adaptado de Cruces et al., 2002)

A orla mais ocidental do concelho, onde se localiza a área de estudo, subdivide-se em três tipos de relevo principais (Freire, 1986):

- Plataforma litoral: extensa plataforma orientada N-S que corresponde a uma antiga superfície aluvionar do sistema fluvial “pré-Tejo”, limitada a oeste pela atual Arriba Fóssil da Costa da Caparica. Destaca-se neste território a presença de extensas zonas de pinhal manso, plantadas no século XVIII para fixar as dunas aqui existentes (Fonseca, 1995) constituindo a Mata Nacional dos Medos;
- Arriba fóssil: materializa a convergência entre duas regiões aplanadas, a leste e a cotas mais altas, a plataforma litoral e a oeste a planície litoral. Corresponde a uma vertente muito inclinada e abarrancada, originalmente talhada por ação marinha, mas hoje separada do mar pela planície litoral (para sul da praia da Adiça esta vertente é, esporadicamente, atuada pelo mar em alturas de temporal e marés vivas e, daí para sul, constitui uma arriba viva);
- Planície litoral: representa uma faixa de orientação, aproximadamente, NNW-SSE, desde a Trafaria até à Fonte da Telha, encaixada entre a arriba fóssil e o oceano Atlântico cuja largura diminui para sul.

A planície litoral contém três elementos morfológicos formados, essencialmente, por areias: uma praia e um cordão dunar frontal longitudinal e, mais para o interior, um campo de dunas longitudinais e transversais, vegetadas e fixadas, com cotas até 10 m (NNM). A morfologia dos fundos submarinos adjacentes à área de estudo é dominada por uma plataforma continental de declive suave, com aproximadamente 20 km de largura ao largo da foz do rio Tejo e que estreita progressivamente para sul, onde os declives atingem valores maiores.

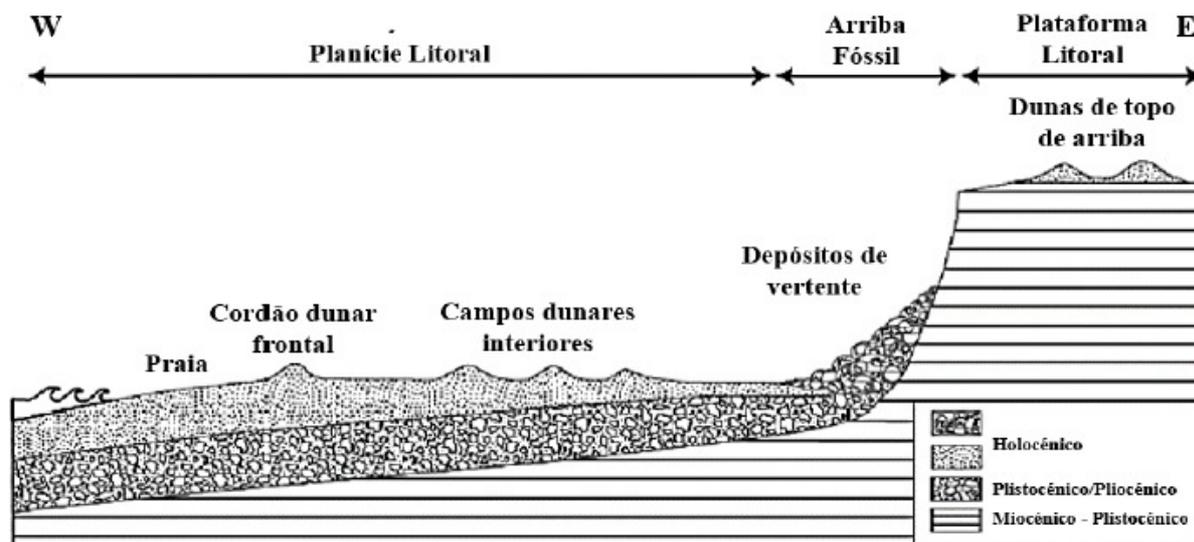


Fig. 7 – Perfil geomorfológico esquemático do limite oeste do concelho de Almada (adaptado por Pais (2021) de FCUL/CG & CMA/ DEGAS, 2012)

5.3 - NÍVEIS DE ÁGUA

5.3.1 - Maré astronómica

As marés na Caparica, tal como ao longo da costa de Portugal continental, são do tipo semidiurno, com amplitudes médias, em águas-vivas, de cerca de 3 m, e, em águas mortas, da ordem de metade desse valor. O marégrafo mais próximo é o de Cascais cujos valores da maré se podem válidos/representativos dos que ocorrem na Caparica.

De acordo com os valores publicados nas Tabelas de Maré editadas pelo Instituto Hidrográfico entre 1982 e 2022, são os seguintes os elementos de maré em Cascais:

PMmáx	+3,99 m (ZH)
PMAV	+3,49 m (ZH)
PMAM	+2,71 m (ZH)
NM	+2,08 m (ZH)
BMAM	+1,45 m (ZH)
BMAV	+0,67 m (ZH)
BMmín	+0,25 m (ZH)

em que:

- PM máx e BM mín - são os valores extremos das alturas de maré que se prevê possam ocorrer sob condições meteorológicas normais;
- PM AV e BM AV - são os valores médios das alturas de água de duas preia-mares/baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando

- PM AM e BM AM - são os valores médios das alturas de água de duas preia-
mares/baixa-mares sucessivas, que ocorrem quinzenalmente quando
- NM - é o valor médio adotado para a altura de maré, relativamente ao qual
foram feitas as previsões.

A estes valores, referidos a um nível médio adotado há umas décadas atrás, deverá somar-se cerca de 0,1 m, para se ter em conta a subida do nível médio do mar.

5.3.2 - Sobrelevações meteorológicas e devidas à agitação

Os valores acima indicados correspondem a situações meteorológicas normais. No entanto, a ocorrência de ventos fortes ou de prolongada duração ou de pressões atmosféricas anormalmente baixas ou elevadas poderão provocar diferenças significativas nestes valores.

Por outro lado, a agitação marítima também pode contribuir para a variação da cota do plano de águas. De facto, a chegada contínua de grupos de onda de pequeno comprimento e período, mas alta declividade (maior altura), provoca, após o seu rebentamento, a elevação do nível da água (do Inglês “*set-up*”) na direção da costa, dizendo-se por vezes que “o ‘mar’ está a encher”. Trata-se do resultado do transporte e acumulação progressiva das massas de água que vão sendo mobilizadas e movimentadas, em direção à costa ou, neste caso, margem, devido ao processo de rebentação das ondas.

À exceção da maré astronómica, todos os restantes fenómenos (denominados globalmente por “*storm surge*”) são de muito difícil quantificação, não existindo em Portugal medições sistemáticas destas grandezas.

No entanto, o tratamento dos registos processados por sete marégrafos (Viana do Castelo, Aveiro, Cascais, Lisboa, Tróia, Sines e Lagos) durante um período de dois anos (junho de 1986 a maio de 1988), permitiu o cálculo indireto da variação do nível da água devido a efeitos meteorológicos e à agitação marítima (ou, no caso de Lisboa, estuarina), assim como a sua extrapolação estatística (LITTORAL, 1994). Reproduzem-se alguns dos valores apresentados no trabalho referido, para os casos de Lisboa e Cascais.

Sobrelevações do nível da água em Cascais e Lisboa (1986 a 1988)
(Taborda e Dias (LITTORAL, 1994))

Estação Marégrafo	Cascais	Lisboa
Aproveitamento dos Registos (%)	87	93
Valores ultrapassados em 5% dos casos (cm)	26	23
Valores ultrapassados em 1% dos casos (cm)	34	29
Valores ultrapassados em 0,1% dos casos (cm)	43	39
Máximo valor observado (cm)	52	48

A análise destes valores tem vindo a abranger períodos de dados cada vez superiores, tal como expresso por exemplo no relatório do Projeto SIAM II “Alterações Climáticas em Portugal. Cenários, Impactos e medidas de adaptação” (F. D. Santos; P. Miranda, 2006), da Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. São abaixo apresentadas as cotas máximas, relativas ao ZH, estimadas para o nível do mar em Cascais, para vários períodos de retorno de ocorrência simultânea da maré astronómica e sobrelevações (“*storm surge*”).

Sobrelevações do nível da água em Cascais (1986 a 2000)
 (F. D. Santos; P. Miranda, 2006)

Estação Marégrafo de Cascais	Período dos registos	Período de Retorno (anos)				
		5	10	25	50	100
2 anos de dados (LITTORAL)	jun1986 - mai1988	+4,15	+4,19	+4,22	-	-
14 anos de dados (SIAM II)	1987 - 2000	+4,1/+4,3	+4,2/+4,3	+4,3/+4,4	+4,3/+4,4	+4,4/+4,4

Na comunicação "Caracterização da sobrelevação meteorológica em Cascais nos últimos 50 anos" (R. Vieira (FCUL), C. Antunes (IDL) e R. Taborda (IDL), jun. 2012) às 2as Jornadas de Engenharia Hidrográfica (IH, 2012) foram analisados todos os registos horários de sobrelevações superiores a 10 cm observados no marégrafo de Cascais entre 1960 e 2010. São abaixo apresentados os principais resultados obtidos. Salienta-se que os períodos de retorno seguidamente indicados se referem unicamente à ocorrência de sobrelevações, sem ter assim em conta a ocorrência da maré astronómica.

Sobrelevações do nível da água em Cascais (1960 a 2010)
 (R. Vieira, C. Antunes e R. Taborda, Jun2012)

Estação Marégrafo (1960-2010)	Cascais
Valores ultrapassados em 50% dos casos (cm)	39
Valores ultrapassados em 10% dos casos (cm)	50
Valores ultrapassados em 5% dos casos (cm)	53
Máximo valor observado (cm)	64
Período de retorno de 25 anos	58
Período de retorno de 50 anos	62
Período de retorno de 100 anos	67

Não obstante estas atualizações versarem outros marégrafos que não o de Lisboa, elas são úteis na medida em que, baseadas em séries de registos mais longas, permitem extrapolar, por relatividade, as gamas de variação expectáveis em Lisboa. Os valores característicos da preia-mar e baixa-mar médias em Cascais, já incluindo a correção de 0,1 m para a evolução do NM até ao presente são os seguintes:

- ♦ PMAV - Preia-mar média +3,10 m (ZH)
- ♦ NM - Nível Médio +2,18 m (ZH)
- ♦ BMAV - Baixa-mar média +1,06 m (ZH)

Assim, admite-se que a cota máxima do nível da água na Caparica possa ser sobrelevada pelo menos até 0,6 m acima da PMAV para T = 50 anos, o que constitui uma condicionante adicional além da maré atmosférica descrita.

5.3.3 - Evolução do nível médio do mar

O nível médio do mar tem vindo gradualmente a subir, conforme o comprovam registos maregráficos antigos dispersos pelo planeta, não sendo, porém, consensual a sua quantificação e, sobretudo, projeção no futuro. Para ultrapassar esta dificuldade são periodicamente realizadas por entidades internacionalmente credenciadas projeções de elevação do nível do mar para conjuntos de cenários pré-definidos (IPCC, RECE, etc.), recorrendo a complexos modelos, calibrados pelas medições entretanto registadas.

No Quarto Relatório de Avaliação do Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas (IPCC, 2007b) estimava-se que o nível médio global do mar crescesse a uma taxa média de cerca de $1,7 \pm 0,5$ mm/ano durante o

século XX. Trata-se aqui de uma variação eustática (o nível do mar no globo como uma única bacia marítima), não traduzindo eventuais variações locais. O mesmo relatório mostra que a variação local expectável para o arquipélago dos Açores é ligeiramente positiva.

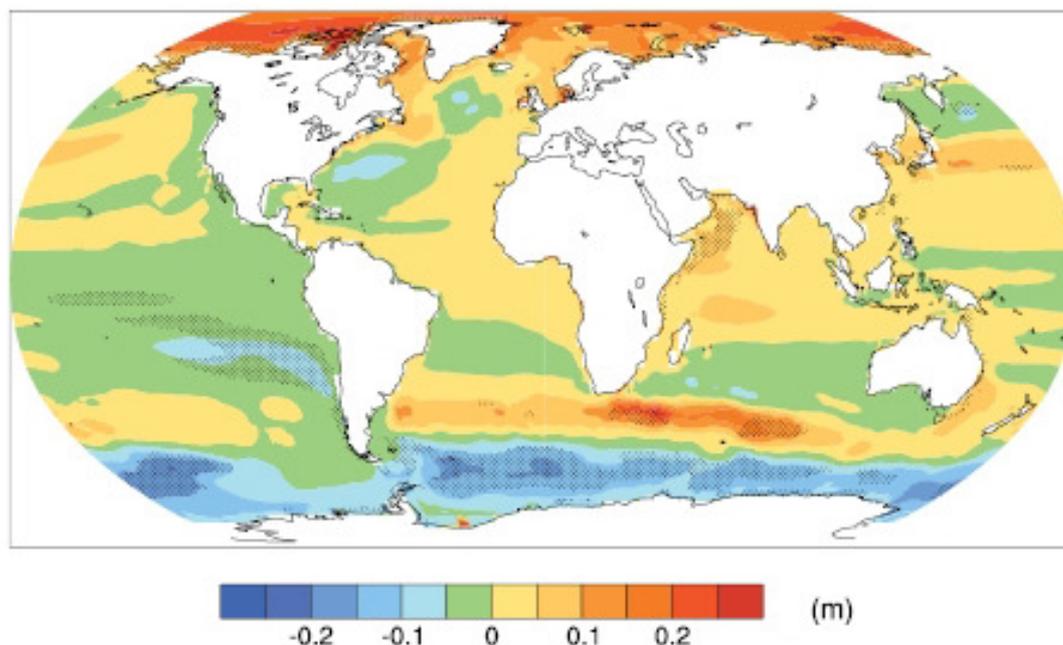


Fig. 8 – Variação regional do nível médio do mar (m) em relação às previsões globais eustáticas para o Séc. XXI (extraído de IPCC, 2007)

De acordo com o 5.º (mais recente) Relatório de Avaliação do IPCC (Painel Intergovernamental sobre Alterações Climáticas), AR5, as projeções para a subida média do nível do mar global, relativamente ao período de referência de 1986-2005, são as indicadas na figura e o quadro seguintes.

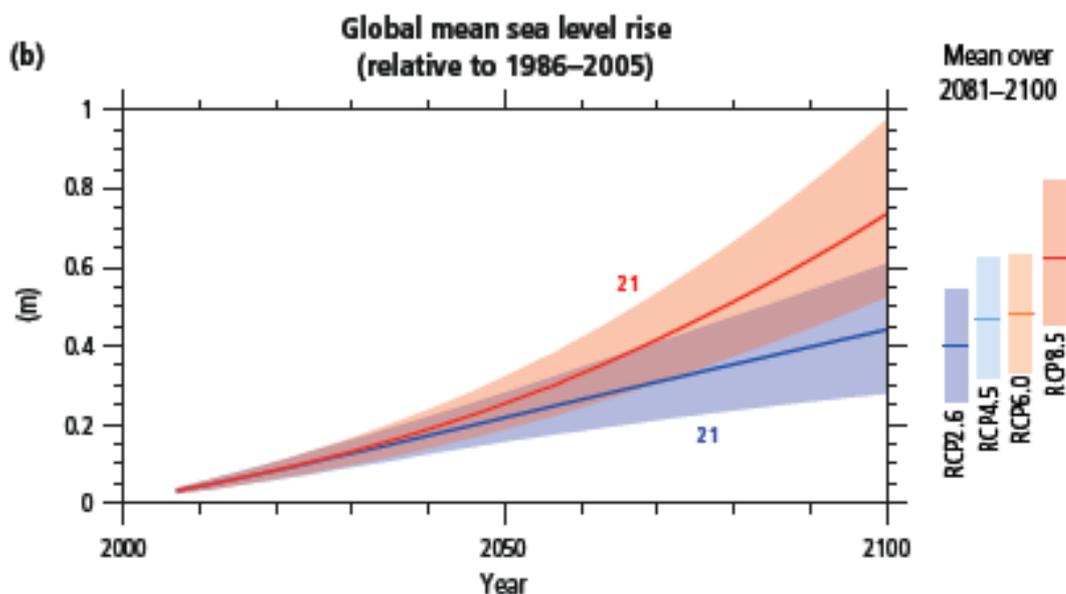


Fig. 9 – Cenários de variação do nível médio do mar (m) para o Séc. XXI (extraído de IPCC, 2014)

Quadro 1 – Resumo das projeções de evolução do nível médio do mar

Ano	Cenários				
	SRES A1B	RCP2.6	RCP4.5	RCP6.0	RCP8.5
2015*	0,06 [0,04 to 0,08]				
2040	0,17 [0,13 to 0,22]	0,17 [0,13 to 0,22]	0,17 [0,13 to 0,22]	0,17 [0,12 to 0,21]	0,19 [0,14 to 0,24]
2065*	0,33 [0,23 to 0,42]	0,29 [0,19 to 0,38]	0,31 [0,24 to 0,41]	0,30 [0,21 to 0,39]	0,37 [0,27 to 0,48]
2100	0,60 [0,42 to 0,80]	0,44 [0,28 to 0,61]	0,53 [0,36 to 0,71]	0,55 [0,38 to 0,73]	0,74 [0,53 to 0,98]

As projeções são apresentadas por origem, ou causa, da subida e para vários cenários de evolução das concentrações dos gases com efeitos de estufa (RCP, ou “Representative Concentration Pathway”). Estes cenários correspondem a:

- RCP 2.6 – Admite que as emissões globais de gases atingem um pico em 2010-2020 e que decrescem substancialmente após esse pico;
- RCP 4.5 – Admite que o pico das emissões é atingido cerca de 2040, e que estas decrescem após essa data;
- RCP 6.0 – Admite que as emissões continuam a crescer até 2080, e depois decrescem;
- RCP 8.5 – Admite que as emissões continuam a crescer ao longo de todo o séc. XXI.

(O cenário SRES A1B, “Special Report on Emissions Scenario”, corresponde a metodologia utilizada em anteriores relatórios)

Verifica-se assim que a estimativa mediana da variação do nível médio do mar, projetada a partir de 2015 oscila entre:

- 0,11 e 0,13 m - para 2040 (4,8 mm/ano), 25 anos após 2015;
- 0,23 e 0,31 m - para 2065 (5,4 mm/ano), 50 anos após 2015;
- 0,38 e 0,68 m - para 2100 (6,2 mm/ano), 85 anos após 2015.

De acordo com vários autores, citados por exemplo no projeto SIAM II (F. D. Santos et al., FCUL, 2006), o nível médio do mar subiu durante o séc. XX cerca de 15 cm no litoral de Portugal continental, o que corresponde a uma taxa média da ordem de 1,5 mm/ano. Este valor é semelhante, embora ligeiramente inferior, aos indicados pela IPCC para o Séc. XX.

No âmbito do projeto “Consultoria para a Criação e Implementação de um Sistema de Monitorização do Litoral abrangido pela área de Jurisdição da ARH do Tejo”, realizado em 2013 pela Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa (FCUL), para a Agência Portuguesa do Ambiente, I.P. / Administração da Região Hidrográfica do Tejo (APA, I.P. /ARH do Tejo), foi apresentada uma estimativa mais recente para a taxa de elevação do NM do mar em Cascais, para o período de 2000 – 2010, avaliada em 3,84 mm/ano, valor de acordo com as projeções avançadas pela IPCC.

5.3.4 - Níveis da superfície do mar considerados

Baseado no conjunto de dados apresentados, procurou-se estimar níveis médios do mar associados a eventos extremos, admitindo a possibilidade de conjugação destes com a ocorrência de Águas-Vivas (PMAV médio).

Para as sobrelevações meteorológicas, considerou-se um intervalo de valores entre um valor mínimo que resulta da diferença da PMmáx estimada para a maré atmosférica +4 m (ZH) e os valores estabelecidos para T = 50 anos e T = 100 anos no Projeto SIAM II [+4,3 e +4,4 m (ZH), respetivamente], e um máximo correspondente sensivelmente aos resultados obtidos para estes períodos de retorno no estudo de R. Vieira, C. Antunes e R. Taborda, cujo quadro-síntese se apresentou anteriormente. Para a sobrelevação do nível médio do mar admitiram-se os valores correspondentes aos cenários centrais de evolução das concentrações dos gases com efeitos de estufa (RCP4.5 e 6.0).

Tomando os mesmos horizontes temporais do IPCC, os níveis da superfície do mar nestas condições são estimados em:

Em 2046 – 2060

+3,49 m (ZH) (PMAV) + 0,1 m (correção IH) + 0,3 a 0,6 m (sobrelevação atmosférica) + 0,25 m (subida do nível do mar) = +4,14 a +4,44 m (ZH)

Em 2100

+3,49 m (ZH) (PMAV) + 0,1 m (correção IH) + 0,4 a 0,65 m (sobrelevação atmosférica) + 0,55 m (subida do nível do mar) = +4,54 a +4,79 m ZH

5.4 - CORRENTES

As praias da Cova do Vapor, de São João da Caparica e da Costa da Caparica localizam-se imediatamente no quadrante Sul-Sudeste da boca de entrada no Estuário do Tejo, sendo assim influenciadas por um enquadramento hidrodinâmico caracterizado pela confluência de correntes de maré associadas à enchente e vazante do estuário e por correntes ascendentes de Sul para Norte relativas à agitação marítima associadas à difração da agitação dominante do largo em várias estruturas, com destaque para o Cabo Raso.

Relativamente à primeira, as correntes surgem associadas às correntes de maré de forma muito marcada em grande parte do estuário do Rio Tejo e, no geral, orientadas segundo o eixo do rio. Em águas-vivas as correntes de vazante atingem velocidades de 3 a 4 nós, mas em águas-mortas não excedem os 2 nós.

Em situação de cheias no rio, a velocidade da vazante chega a atingir 5 a 6 nós, a W da Torre de Belém, a meio do rio, chegando igualmente a atingir os 5 nós junto à Trafaria, já mais próximo da Cova do Vapor. Próximo dos estofos de maré, as correntes podem ser transversais à orientação do eixo do rio, mas têm valores diminutos. As correntes de maré correm em direções aproximadamente paralelas às margens.

Segundo Pais (2021), citando Freire (1986); Andrade (1998); Oliveira et al. (1999); e Silveira *et al.* (2013), a agitação costeira é afetada pelo efeito de abrigo induzido pelo alinhamento E-W do troço costeiro Lisboa-Cascais, pela configuração arqueada da faixa costeira entre a Trafaria e o Cabo Espichel e ainda pela configuração batimétrica dos bancos de areia na desembocadura do rio Tejo, condicionando a propagação da agitação marítima em águas pouco profundas.

A agitação marítima proveniente de W a NW é fortemente atenuada por efeito de abrigo e difração na região do Cabo Raso e, também, de refração sobre os bancos do estuário exterior do Tejo, passando a incidir na costa com obliquidade pequena, de SW, no troço norte do arco, e quase perpendicular à linha de costa, no troço central e sul, praticamente durante todo o ano (Freire, 1986; Andrade, 1998; Oliveira *et al.*, 1999; Silveira *et al.*, 2013).

Como este troço costeiro está aberto e exposto a SW, a ondulação proveniente deste quadrante, também refratada pelos bancos submarinos do estuário exterior, contribui para a deriva residual ser S-N, com exceção das correntes associadas à rebentação das ondas de geração local, que podem vir de N ou NW e inverter o sentido da deriva litoral prevalecente.

A ação conjugada das ondas e correntes de maré, principalmente durante a enchente sobre o banco do Bugio, reforça o transporte de sedimentos sobre aquele banco, também na direção S-N, que se depositam na vertente norte, contribuindo, assim, para a sua progressão também para norte. Já durante a vazante, as fortes correntes que se verificam no local direcionam os sedimentos para o exterior da barra, depositando-os à medida que a intensidade das correntes diminui, sendo, por isso, responsáveis pelos frequentes assoreamentos e pela alteração da morfologia neste local (Velo-Gomes et al., 2006).

Segundo Velo-Gomes et al. no Estudo Prévio (2000), relativamente às correntes residuais de maré na zona frontal à Costa da Caparica, tipicamente com direção S-N como já descrito, estas apresentam valores máximos de 0,4 m/s a Noroeste da parte emersa do banco do Bugio e de 0,2 m/s na extensão mais a sul da zona em estudo.

5.5 - AGITAÇÃO

Para a caracterização da agitação, numa primeira fase, recorreu-se a informação já existente de outros estudos e que é a que se descreve a seguir. Paralelamente, realizou-se um novo estudo de agitação. O novo estudo de agitação, integrado no Anexo I, é especialmente destinado à estimativa das alturas de onda na proximidade de cada esporão.

5.5.1 - Regime ao largo

Para caracterização do regime de agitação ao largo da Costa da Caparica recorreram-se ao modelo de reconstituição da agitação (“hindcast”) do projeto europeu ERA-Interim (ECMWF), para um ponto ao largo do arco Trafaria-Cabo Espichel para o período compreendido entre 1 de janeiro de 1979 e 31 de março de 2014, num total de 35 anos e 3 meses.

A recolha de dados foi realizada a partir de uma malha de pontos com resolução de 0.5° , num intervalo temporal de 6 em 6 horas, a partir do qual se selecionaram os dados correspondentes ao ponto P1, de coordenadas (38.5° N, 10° W), apresentado na figura seguinte.

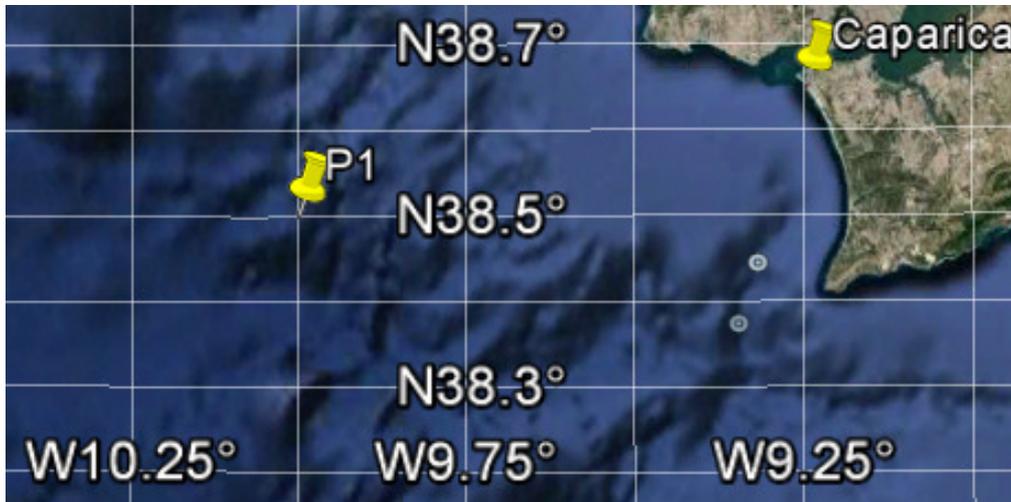


Fig. 10 – Localização do ponto P1 (Largo)

Foi igualmente feita a confrontação dos dados recolhidos com dados da boia de Sines entre 29 de agosto de 1999 e 31 de março de 2014, concluindo-se pela validação dos dados do ECMWF.

Apresentam-se nas figuras seguintes os resultados obtidos do tratamento dos dados do "hindcast", em termos das distribuições de rumos, alturas significativas (H_s) e períodos de pico (T_p) das ondas ao largo (valores médios anuais), em escalões de 22.5° , 0,5 m e 2 s, respetivamente.

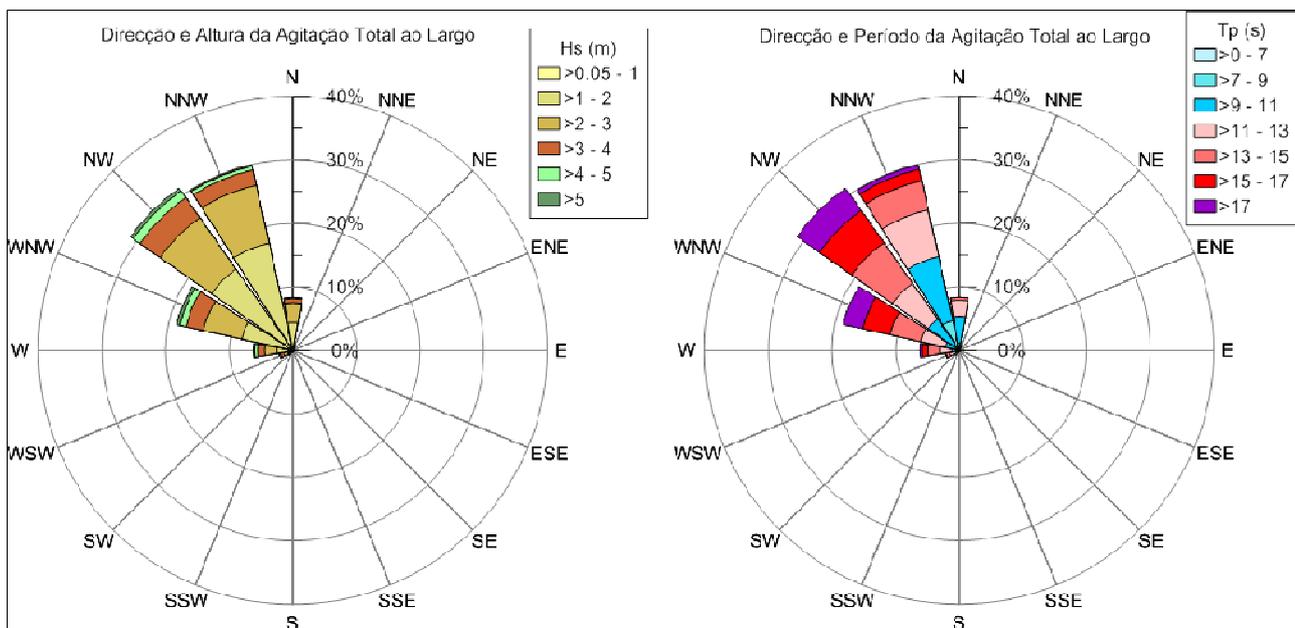


Fig. 11 – Distribuição das alturas e períodos da agitação ao largo segundo o rumo

Distribuição de Alturas ao Largo

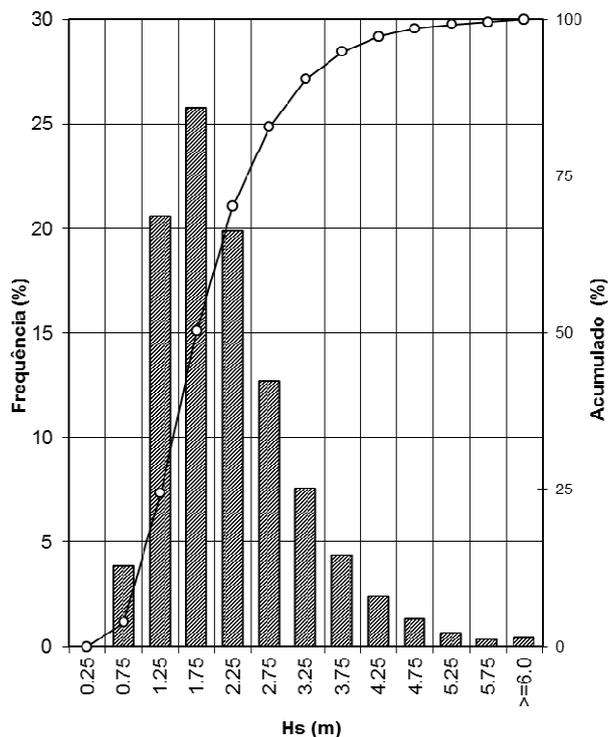


Fig. 12 – Distribuição das alturas da agitação ao largo

Distribuição de Períodos ao Largo

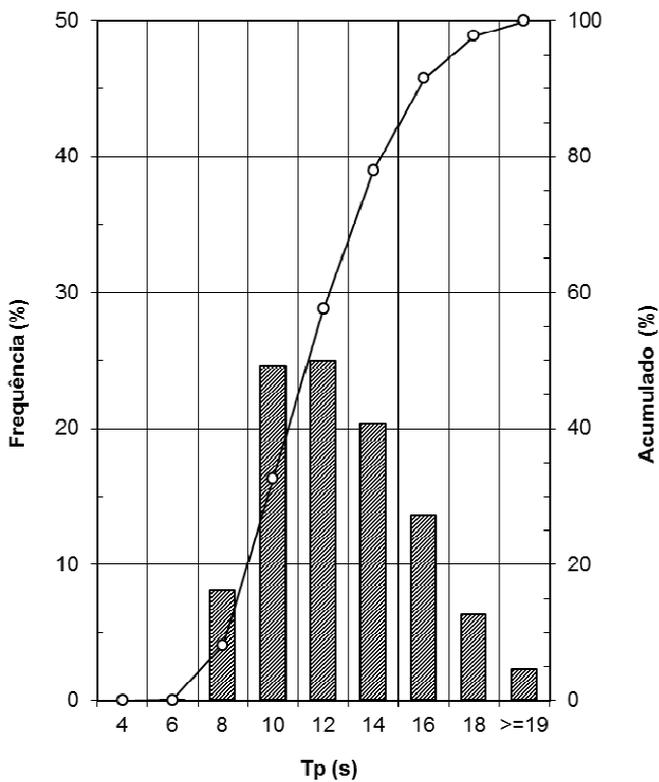


Fig. 13 – Distribuição dos períodos da agitação ao largo

Com base nos resultados obtidos, verifica-se:

a) - Rumos

A faixa costeira a sul da foz do Tejo encontra-se exposta à agitação do quadrante (sector de 90°) de NW (quase 95%).

A percentagem de ocorrência de agitação por octantes de rumos (sectores de 45°) toma valores máximos aproximados de 31 (NW) e 30% (NNW), diminuindo depois até 19% (WNW), 8% a N e 6% a W.

b) - Alturas

Tendo em conta a totalidade dos rumos (360°), as alturas inferiores a 1 m têm uma ocorrência média de cerca de 4%. As maiores frequências correspondem a ondas com alturas entre 1 e 2 m, com aproximadamente 46% das ocorrências.

As ondas com alturas superiores a 3 e 5 m representam aproximadamente 10% e 1.5 % das ocorrências, respetivamente.

c) - Períodos

Verifica-se a predominância dos escalões entre os 10 e os 14 s, com a maioria (70%) das ocorrências registadas. Os períodos mais frequentes pertencem aos escalões dos 10 e 12 s, com cerca de 25% das ocorrências a registarem em cada um destes, seguidos pelo escalão dos 14 s com cerca de 20%.

Os períodos inferiores a 9 s têm uma frequência média anual de cerca de 8%, registando os períodos superiores a 17 s similarmente uma frequência média anual de cerca de 8%.

5.5.2 - Regime médio na aproximação à linha de costa

A exposição atlântica da Costa da Caparica, embora com alguma limitação ao nível das alturas de onda incidentes devido à configuração do fundo oceânico na zona mais próxima da linha de costa, leva a que esta esteja sujeita ao impacto das grandes tempestades que se geram ao largo da costa portuguesa.

A agitação ao largo foi transposta para as proximidades da linha costeira da Costa da Caparica através de um programa de cálculo automático de Refração Espectral, baseado no método da Hydraulics Research Station – Wallingford, que tem em conta o empolamento não linear das ondas e a sua rebentação. Para o efeito, foi selecionado o ponto P1 a -10 m (ZH), representativo das condições de agitação na aproximação ao local devido à sua posição central face ao trecho de costa em análise.

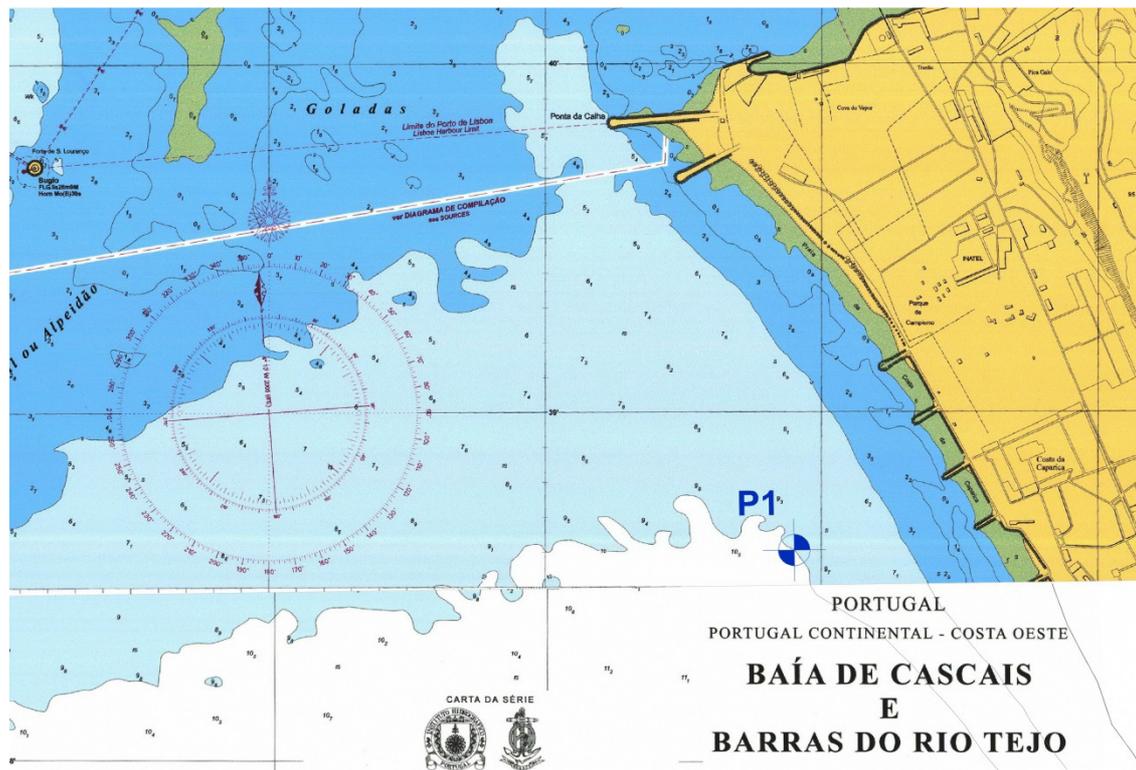


Fig. 14 – Localização do ponto P1 (Local)

A posição recuada da orla costeira a sul da foz do rio Tejo face à linha de costa a norte desta, associada à orientação desta orla costeira e do fundo oceânico segundo sensivelmente NNW-SSE, gera proteção face ao rumo dominante de NW, sendo a agitação incidente resultado da transformação das ondas devido a fenómenos de difração e refração segundo a configuração do fundo.

Nas figuras seguintes são apresentadas as distribuições de rumos, alturas significativas (H_s) e períodos de pico (T_p) da agitação marítima local, para o ponto P1, em escalões de 22,5°, 0,5 m e 2 s, respetivamente.

Todas as frequências indicadas estão referidas ao total da agitação transferida do largo (360°), podendo incluir ondas que não chegam a atingir o ponto considerado. Este efeito é aqui, contudo, pouco sentido. Com efeito, tratando-se de uma orla costeira completamente exposta à agitação dominante, verifica-se que cerca de 99,3% das ondas ao largo atingem a Costa da Caparica no ponto considerado.

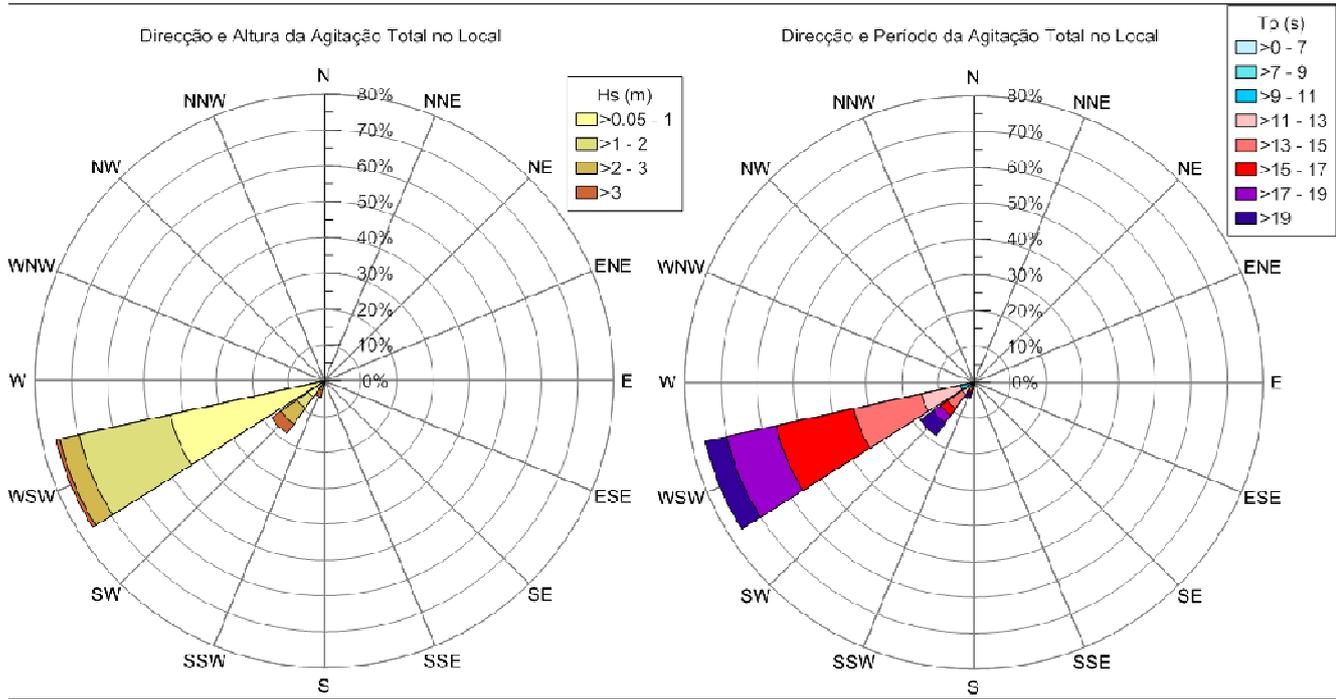


Fig. 15 – Distribuição das alturas e períodos da agitação no local segundo o rumo

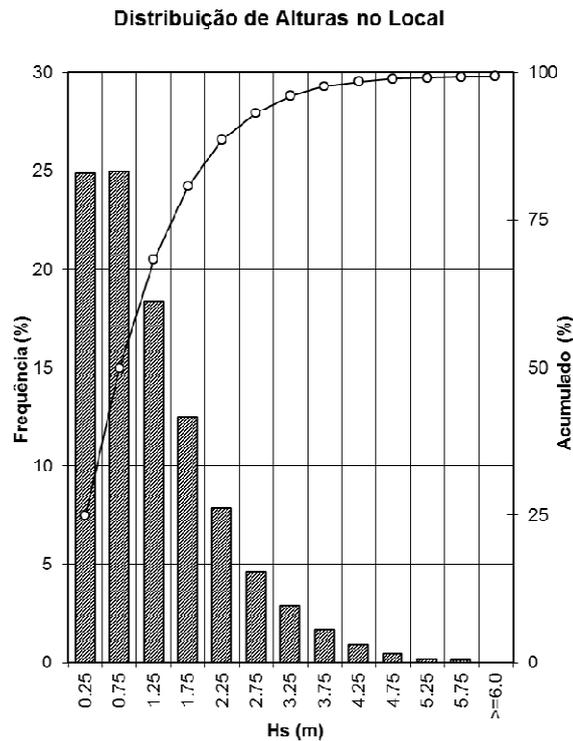


Fig. 16 – Distribuição das alturas da agitação no local

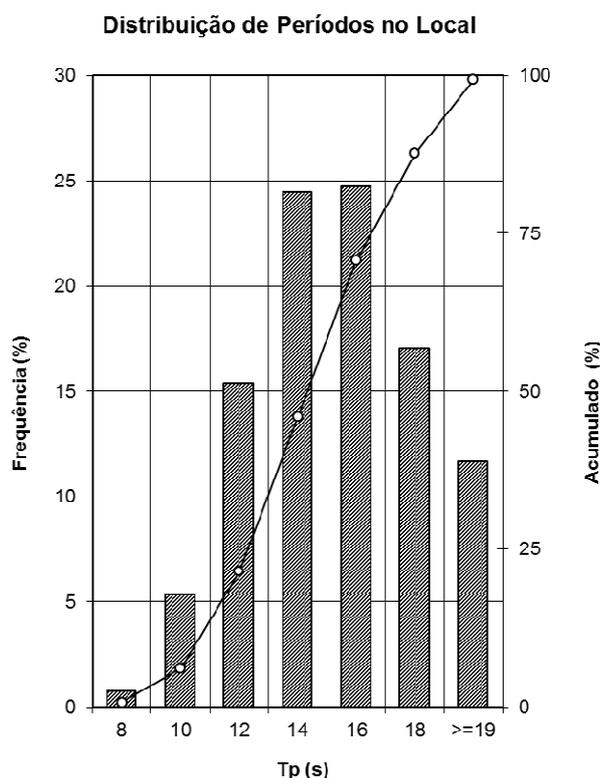


Fig. 17 – Distribuição dos períodos da agitação no local

Assim, no que diz respeito ao regime médio da agitação, pode-se constatar que:

a) – Rumos

A agitação que atinge ambos os pontos abrange uma “janela” de direções entre W e S, sendo claramente mais frequentes os rumos do octante WSW, com sensivelmente 76% das ocorrências. Destaca-se ainda a agitação proveniente do octante SW, com sensivelmente 18% das ocorrências, e a agitação proveniente do octante SSW, com sensivelmente 5% das ocorrências.

b) Alturas

A frequência de alturas de onda inferiores a 1 m é maioritária, com sensivelmente 50% das ocorrências, sendo seguida pelo escalão de alturas entre 1 e 2 m com aproximadamente 31% das ocorrências. As ondas com alturas superiores a 3 e 5 m representam cerca de 6 e 0,5% das ocorrências, respetivamente.

c) Períodos

Os períodos mais frequentes encontram-se nos escalões dos 14 e 16 s, respetivamente com sensivelmente 24 e 25% das observações totais. Destacam-se ainda o escalão dos 18 s, com sensivelmente 17% das observações, e o escalão dos 12 s, com sensivelmente 15 % das observações. Verifica-se que a frequência de períodos inferiores a 11 s é aproximadamente de 6% e a de períodos superiores a 19 s é de cerca de 12%.

5.5.3 - Valores extremos na aproximação à linha de costa

A onda de projeto considerada no dimensionamento de obras marítimas está, em geral, associada a períodos de retorno na ordem dos 50 e 100 anos, consoante a importância da obra. Para a sua obtenção é necessário extrapolar-se os dados de agitação local existentes para os períodos de retorno considerados. Os dados disponíveis, relativos a cerca de 34 anos, permitem já uma estima relativamente segura das condições de agitação com períodos de retorno compatíveis com a onda de projeto a adotar.

Assim, com base no regime geral local obtido em cada ponto, selecionaram-se, para cada rumo, as alturas significativas (H_s) máximas anuais. Estes dados foram em seguida agrupados em amostras representativas e extrapolados para períodos de retorno de 5, 10, 20, 50 e 100 anos, adotando a distribuição de máximos de Gumbel, geralmente aceite como representativa dos valores máximos anuais das alturas de onda significativas. A forma desta distribuição é dada por:

$$F(H) = \exp [- \exp (- \alpha (H - \beta))],$$

onde α e β são parâmetros que podem ser determinados diretamente a partir da amostra de dados.

Os valores extremos obtidos no ponto P1 são apresentados no quadro seguinte:

Quadro 2 – Valores de H_s (m) em P1, a -10 m (ZH) (34 anos de dados)

T (anos)	RUMO LOCAL (em P1, a -10)			
	WSW	SW	SSW	S
5	4,62	5,80	6,43	1,37
10	4,93	6,29	7,08	1,63
20	5,25	6,77	7,74	1,90
50	5,66	7,41	8,60	2,24
100	5,97	7,89	9,26	2,51

A leitura deste quadro mostra que as condições de agitação extremas são maiores para rumos próximos de SSW, embora a frequência de incidência de agitação proveniente destes ser relativamente reduzida (aproximadamente 5% do total), e num segundo plano para agitação proveniente de rumos próximos de SW, que tem um maior grau de representatividade (aproximadamente 18 % do total). A posição do ponto P1 contribui para estes resultados, visto localizar-se numa concavidade das linhas batimétricas (cala de fundos) que beneficia agitação proveniente destes rumos.

No entanto, as ondas de maior altura patentes neste quadro não têm condições de atuar diretamente sobre as obras de defesa costeira existentes por limitação dos fundos. Note-se que este efeito, considerado nos cálculos de refração espectral que levaram à transferência da agitação do largo até ao local, embora reduzindo as alturas de onda extrapoladas subestima o seu efeito real.

Apresentam-se no quadro seguinte os valores da altura de onda determinados, compatíveis com a profundidade, através do método empírico de Y.Goda (2000) para $H_{1/3}$, conforme constante no Rock Manual, para $PMAV = +4,0$ m (ZH) e $T_p = 18$ s.

Dada a grande variação do perfil de praia quer na mudança sazonal de Verão e Inverno em cada ano como ao longo dos anos, explorou-se um leque de hipóteses para o declive da praia e a cota do pé de talude dos Esporões e

das Obras Longitudinais. Fixou-se o rumo da agitação em SSW, dados os valores de H_s estimados em condições de agitação extrema.

Quadro 3 – Valores de $H_{1/3}$ (m) para diferentes profundidades

SSW (T=50) ($H_s=8.6$ m)		$H_{1/3}$ (m) (Goda, 2000)						
Declive Fundo		1/100	1/50	1/40	1/35	1/30	1/25	1/20
Batimétrica mZH	-8	7.6	7.9	8.1	8.2	8.4	8.6	9.0
	-3	4.8	5.0	5.1	5.2	5.3	5.5	5.8
	-2	4.3	4.5	4.6	4.6	4.7	4.9	5.1
	-1	3.8	3.9	4.0	4.1	4.1	4.3	4.5
	0	3.2	3.3	3.4	3.5	3.5	3.7	3.8
	1	2.7	2.8	2.8	2.9	2.9	3.0	3.2

SSW (T=100) ($H_s=9.3$ m)		$H_{1/3}$ (m) (Goda, 2000)						
Declive Fundo		1/100	1/50	1/40	1/35	1/30	1/25	1/20
Batimétrica mZH	-8	7.6	7.9	8.1	8.2	8.4	8.6	9.0
	-3	4.9	5.1	5.2	5.3	5.4	5.6	5.9
	-2	4.4	4.6	4.7	4.7	4.8	5.0	5.2
	-1	3.9	4.0	4.1	4.2	4.2	4.4	4.6
	0	3.3	3.4	3.5	3.6	3.6	3.8	3.9
	1	2.8	2.9	2.9	3.0	3.0	3.1	3.3

5.6 - TRANSPORTE SÓLIDO LITORAL

Conforme explicitado no Estudo Prévio do “Estudo de Reabilitação das Obras de Defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica” (FEUP, 2000), o transporte sólido litoral e morfodinâmica local na zona em análise são modelados pela ação conjunta da agitação marítima que atinge o arco de costa Trafaria-Espichel, das marés no Estuário do Tejo e dos caudais fluviais.

O estudo referido explicita como razões para as erosões no troço costeiro entre a Trafaria, Cova do Vapor e a Caparica, bem como as erosões no banco do Bugio, citando SNPRCN (1989), os seguintes fenómenos:

- “Práticas agrícolas e ocupação urbana na vasta planície entre a arriba fóssil da Costa da Caparica e a linha de costa, impedindo a alimentação do litoral com sedimentos provenientes da erosão da arriba”.
- “Redução das contribuições sedimentares de proveniência fluvial e continental, devida às obras de regularização realizadas na bacia do Tejo a partir dos anos 20 até à década de 50, período em que o recuo da linha de costa é mais acentuado. Deste modo, a ação erosiva dos agentes marinhos (agitação marinha e dinâmica das marés) não mais fora compensada com material sólido afluente de montante”.
- “Elevadas quantidades de areia dragadas na zona litoral para abastecimento de obras a decorrer em outros locais, incluindo a alimentação artificial das praias da Costa do Sol. A alteração morfológica assim induzida terá contribuído para a alteração das condições de propagação e incidência da agitação marítima e do padrão das correntes de maré, resultando na perda do equilíbrio existente na dinâmica sedimentar local”.

- “Ocorrência de regimes extremos de agitação que, pontualmente, mas de forma significativa, contribuíram para a rotura definitiva do equilíbrio morfodinâmico existente”.

Apesar disto, de acordo com a mesma fonte, citando Oliveira (1993,1994), esta extensão de trecho de costa insere-se num sistema (Bugio-Caparica) que se encontra em equilíbrio dinâmico no seu todo, em resultado de uma movimentação em circuito fechado dos sedimentos generalizadamente em torno do Farol do Bugio, provocada pela ação conjunta das ondas e das correntes de maré prevaletentes nesta zona.

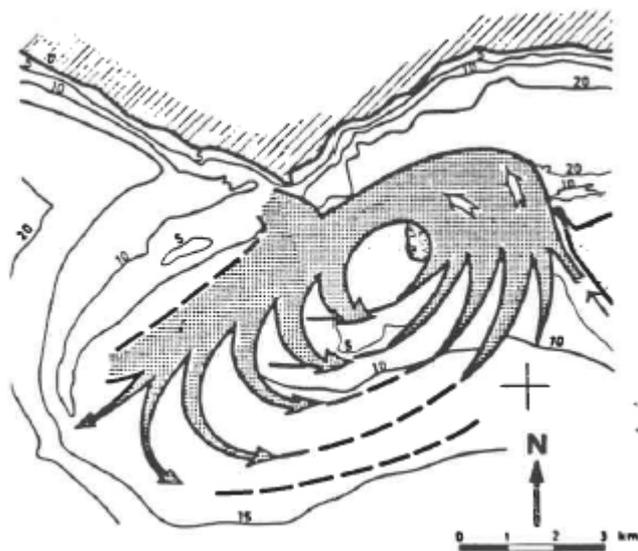


Fig. 18 – Movimentação aluvionar em circuito fechado provável na embocadura do Tejo (Mota Oliveira, 1973)

A evolução dos perfis de praia nos trechos de costa pertencentes ao sistema Bugio-Caparica, particularmente após a construção dos esporões e das alimentações artificiais realizadas a partir de 1971/74, foi analisada para o período 1980-2018 no relatório “Modelação para apoio às Intervenções nas praias da Costa da Caparica - Almada – Análise de levantamentos topo-hidrográficos do sistema Bugio-Caparica (1980-2018) – LNEC RELATÓRIO 125/2020 – - DHA/NEC (Portela *et al.*, 2020), realizado para a APA, I.P.

Os autores procederam neste estudo 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.

O estudo referido conclui 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.”.

6 - INSPEÇÃO VISUAL AO LOCAL

No dia 21 de março de 2022, foi efetuada uma inspeção visual aos esporões e obras longitudinais aderentes da Cova do Vapor e Costa da Caparica. A visita decorreu aproximadamente entre as 9 h30 min e as 14 h30 min, tendo a baixa-mar nesse dia ocorrido por volta das 10 h e 53 min, com um nível de +0,5 m (ZH).

Apesar das condições de agitação do estado do mar nesse dia não serem as ideais, foi possível examinar toda a extensão dos esporões, no que corresponde às partes emersas e não soterradas. De forma geral foi possível confirmar as anomalias já detetadas através da visualização das fotos de drone, e detetar outras de menor dimensão não facilmente identificáveis de outra forma.

Na inspeção efetuada aos esporões, detetou-se que os mantos de proteção exteriores terão sido executados com apenas uma camada, podendo ser facilmente observados os submantos através dos vazios, tendo provavelmente sido esta uma das causas da degradação ou mesmo ruína das cabeças e troços adjacentes, principalmente dos esporões EC2, EC3, EC4, EC6 e EV1.

Foi detetado em alguns esporões um assentamento dos taludes (EC6, EV2), evidenciado pelo espaçamento existente no encontro entre o coroamento e o talude, tendo-se observado no esporão EC6 novos enrocamentos nestas zonas, o que pode significar aí terem sido feitas recargas pontuais, posteriormente à intervenção de 2004-2006.

Também se identificaram várias aberturas nos enrocamentos e betão ciclópico do coroamento, o que evidência as fortes subpressões que ocorrem devido ao escoamento através das estruturas permeáveis dos esporões.

De forma generalizada, parece que, na última intervenção efetuada entre 2004 e 2006, terá sido removido material dos mantos e depositado na base do pé de talude da cabeça e parte do tronco.

A inspeção efetuada às obras longitudinais aderentes, confirmou que numa extensão de aproximadamente 820 m desde sul do esporão EC1 até ao esporão EC3 estas se encontram quase totalmente soterradas, o que não permitiu neste trecho confirmar a sua composição e classificar o seu estado. Na restante extensão, as obras longitudinais apresentam-se em bom estado, tendo apenas sido identificados estragos pontuais, correspondendo os mais gravosos a perda de material do manto exterior e a assentamento do talude. Da observação destas anomalias, existem sinais de que o manto seja apenas composto por uma camada de enrocamento, à semelhança dos esporões.

A caracterização pormenorizada dos estragos identificados em cada estrutura, é apresentada em capítulo respetivo, mais à frente.

7 - CARACTERIZAÇÃO DAS ESTRUTURAS EXISTENTES

7.1 - ENQUADRAMENTO HISTÓRICO

Focando-se o presente estudo na reabilitação dos campos de Esporões e das Obras Longitudinais da Cova do Vapor e da Costa da Caparica, considera-se relevante realizar um enquadramento histórico dos acontecimentos e intervenções que levaram à construção, assim como de todo o historial de danos sofridos e intervenções de reparação posteriores à sua construção.

Existem registos desde a segunda metade do século XIX de alterações morfo-sedimentológicas na margem esquerda da embocadura do Estuário do Tejo. A realização de dragagens nos anos 40 e 50 do século XX no Cachopo do Sul aparentam contribuir para a destabilização da célula sedimentar Bugio-Caparica, assim como a abertura da Golada do Tejo detetada em 1957. O recuo da linha de costa gerado motivou a realização do primeiro esporão da Cova do Vapor (EV1) em 1959.

As intervenções descritas nesta memória inserem-se num processo contínuo de defesa da frente urbana da linha costeira entre a Cova do Vapor e a Costa da Caparica, que se inicia como referido em 1959 e prolonga até 1963, englobando a execução das primeiras estruturas de defesa costeira, que consistiram na construção dos primeiros três (3) Esporões (EV1 a EV3) e Obras Longitudinais na Cova do Vapor (Pinto, Taborda e Andrade, 2007).

O motivo para tais intervenções prende-se com a migração da restinga existente durante a primeira metade do século XX no sentido de terra, com um recuo total de cerca de 1,5 km à altura das primeiras intervenções, o que expôs a frente urbana às ações diretas do mar, em especial durante a ocorrência de tempestades. Desde então, a restinga continuou a recuar para o interior do estuário do Tejo, na região do terminal da NATO, num total de 3 km, com conseqüente desaparecimento (Velooso Gomes *et al*, 2009).

A pressão urbana sobre a Costa da Caparica acelerou a partir da conclusão da construção da Ponte 25 de Abril, tendo a população residente aumentado 344% na segunda metade do século XX, aos quais se somam 65% de população sazonal. (Schmidt, Santos *et al*, 2012).

As exigências desta expansão de procura, associadas ao recuo da restinga, levaram à expansão do campo de esporões da Cova do Vapor, com a construção de um campo de esporões na Costa da Caparica entre 1969 e 1972, num total de sete (7) esporões – EC1 a EC7 – com 180 m de comprimento e afastados entre si de 330 m, incluindo uma obra longitudinal aderente com 2,5 km de comprimento (Pinto, Taborda e Andrade, 2007). Após a conclusão destas obras foi realizado o primeiro processo de alimentação artificial das praias da Costa da Caparica entre 1971 e 1974 (Castanho *et al*, 1974 *in* SNPRCN, 1989).

Com o passar dos anos, os fenómenos de erosão foram-se acentuando incrementalmente, começando a gerar danos cada vez mais assinaláveis nas estruturas de proteção e apoios de praia a partir do final da década de 90, em particular nos Invernos Marítimos de 1998/1999 e 2000/2001 (Pais, 2001), bem como um evidente recuo do talude de praia entre esporões.

Tal motivou um conjunto de intervenções de emergência *ad-hoc* por parte do INAG entre 2002 e 2004 para mitigar os danos sofridos (que se julgam ter sido realizadas sobretudo nas estruturas das Obras Longitudinais), bem como o desenvolvimento de um Estudo Prévio (2000) e Projeto Base (2001) de intervenções de reparação, reperfilamento e reforço das estruturas existentes, realizado por um grupo de trabalho de investigadores da FEUP para o INAG. O conjunto de intervenções propostas terão sido realizadas entre 2004 e 2006.

Estas intervenções foram posteriormente complementadas por duas intervenções de reparação das Obras Longitudinais, a primeira das quais relativa à Obra Longitudinal a Norte do EC7, realizada no Verão de 2014 e a segunda relativamente ao talude no tardo das Obras Longitudinais entre EC7 e EC4, realizada em 2014/2015. Foram igualmente seguidas por 5 intervenções de alimentação artificial dos taludes de praia entre EV1 e a extensão a Sul de EC1, realizadas em três períodos: 2007-2009, 2014 e 2019, cujas extensões e volumes se resumem no quadro e figura seguintes.

Quadro 4 – Dados relativos às operações de alimentação artificial no litoral da Caparica – adaptado por Pais (2021) a partir de Pinto et al. (2018) e APA,I.P. (2019)

	2007	2008	2009	2014	2019
Extensão (km)	2,4	3,9	3,9	3,9	3,9
Volume (m³)	500 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000	1 000 000
Custo (€)	2 987 950	5 880 000	6 114 00	4 955 670	5 582 970



Fig. 19 – Localização e extensões máximas das intervenções de alimentação artificiais – adaptado por Pais (2021) a partir de Pinto et al. (2018) e APA,I.P. (2019)

Apresenta-se no Anexo II um quadro-resumo no qual se identificam as ocorrências e as intervenções sofridas no litoral da Caparica desde os primeiros levantamentos e registos de galgamentos nesta zona no século XIX, passando pela construção das obras de retenção de sedimentos e obras longitudinais de proteção costeira na segunda metade do século XX e pelas intervenções mais recentes até à data presente.

Este Anexo resume um conjunto de informações provenientes de diversos autores, dos quais se destacam Barceló (1971), INAG/FEUP (2001), Veloso-Gomes (2007), Oliveira (2015), Granadeiro (2016), Almeida (2019) e CEACTION/UAL (2019), acendendo-se a várias destas fontes através da pesquisa realizada e plasmada por Pais na sua tese de mestrado (2021).

De destacar que, segundo informação facultada pela APA, após as obras de reparação que tiveram lugar em 2004-2006, foram realizadas apenas pequenas e pontuais intervenções de reparação dos esporões.

7.2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

O troço litoral a intervir estende-se desde a Costa da Caparica (Nova Praia), até à Cova do Vapor, com um desenvolvimento aproximado de 4000 metros. As obras de proteção costeira que o integram correspondem a nove (9) esporões, EC1 a EC7 e EV1 e EV2, e a obras longitudinais aderentes com uma extensão total de aproximadamente 2900 metros (identificadas através da linha azul na figura seguinte) entre o norte do esporão EC7 (\cong 500 m) e o sul do esporão EC1 (\cong 400 m).

Os esporões apresentam comprimentos que variam entre 100 m (EC5) e 470 m (EV2), com distância entre estes igualmente variável desde 235 m, entre EC2 e EC3 até 1350 m entre EC7 e EV1.



Fig. 20 – Imagem aérea do google earth de março de 2018

De seguida descrevem-se os esporões e as obras longitudinais aderentes, com base na informação disponibilizada, pesquisada e em parte validada através da inspeção visual efetuada. Salienta-se que os elementos disponíveis não são claros em relação à total composição dos esporões e obras longitudinais aderentes, o que pode conduzir a alterações durante a fase de obra.

7.3 - DESCRIÇÃO DOS ESPORÕES

Generalizadamente, os esporões são estruturas com troncos de seção trapezoidal e cabeça tronco cônica, cujos taludes são compostos por manto de proteção exterior e submanto em enrocamentos de várias gamas, supondo-se que integrem núcleo constituído por TOT.

As principais características geométricas encontram-se indicadas no quadro seguinte. A generalidade dos esporões, embora de comprimento diferente, apresentam características semelhantes no que se refere à cota e largura do coroamento e inclinação dos taludes. Apenas o esporão EV2 aparenta ter uma cabeça diferente. Desde logo, funda à -9,0 m (ZH), e apresenta 2 taludes separados por um largo patamar à cota -1,0 m (ZH) de largura variável.

Nos restantes esporões, de uma forma geral, os perfis transversais da cabeça apresentam uma inclinação dos taludes a 3/1 (H/V). Nos esporões mais longos EC2, EC4, EC6, EV1 e EV2, o manto de proteção exterior aparenta ser composto por enrocamento da gama 90 a 120 kN, e nos esporões mais curtos, EC1, EC3, EC5 e EC7, por enrocamento de gama inferior, talvez de 60 a 90 kN.

Esta informação não corresponde à indicação constante no Projeto Base da FEUP de dezembro de 2001, que apresenta de forma muito simplificada três perfis tipo exatamente iguais para os nove (9) esporões, embora uns fossem só para reperfilar/reforçar, outros para encurtar e outros ainda para prolongar.

Com base na inspeção visual efetuada e numa estimativa expedita baseada nas fotos de drone, supomos que nas cabeças dos esporões encurtados o peso da gama dos enrocamentos colocados seja de peso inferior aos 90 a 120 kN previsto para os esporões a prolongar.

Em relação aos perfis transversais, foram igualmente encontradas diferenças entre os perfis do projeto base e o realmente executado, principalmente nas larguras do coroamento (cabeça e zonas adjacentes) e cotas correspondentes, sempre superiores a +5 m (ZH). O que nos leva a concluir que nos esporões que apresentam estas diferenças, o reperfilamento e reforço efetuado na intervenção de 2004 a 2006 tenha sido feito através da colocação de material sobre o talude existente.

Pela comparação dos levantamentos de novembro 2021 (atual) e de 2006 (após última intervenção), são evidentes os estragos que ocorreram principalmente nos esporões EC2 e EC4, que conduziram à diminuição do seu comprimento entre 10 a 20 m.

Importa igualmente referir que as praias adjacentes às estruturas apresentam atualmente, e de forma geral, uma maior acumulação de areia na sua parte norte do esporão, o que deixa a parte sul das estruturas menos protegida, ou seja, a ser mais solicitada pela agitação incidente.

Para resumir a descrição pormenorizada da composição dos vários esporões, apresenta-se de seguida um quadro resumo com as principais características de cada estrutura.

Quadro 5 – Resumo das características de cada esporão

Designação Esporão	Comprimento Esporão (m) ⁽¹⁾	Largura Coroamento (m)		Inclinação Taludes (H/V)		Cota Coroamento (mZH)		Cota do pé de talude da cabeça (mZH) em 2021	Dimensão Blocos Manto (kN) ⁽²⁾		Dimensão Blocos Submanto (kN) ⁽³⁾		Data Última Intervenção	Observações
		Cabeça	Tronco	Cabeça	Tronco	Cabeça	Enraizamento		Cabeça	Tronco	Cabeça	Tronco		
EC1	136 (131)	6.00	6.00	3/1	3/2	5.50	8.00	1.00	60 a 90	40 a 60	5 a 10	5 a 10		Esporão encurtado
EC2	211 (192)	6.00	6.00	3/1	3/2	5.20	8.00	ZH	90 a 120	40 a 60	5 a 10	5 a 10	Outubro 2004 - Maio 2006	Esporão prolongado
EC3	162 (158)	6.00	6.00	3/1	2/1	5.50	8.00	1.00	60 a 90	40 a 60	5 a 10	5 a 10		Esporão encurtado
EC4	239 (226)	8.00	6.00	3/1	2/1	5.20	8.50	ZH	90 a 120	40 a 60	5 a 10	5 a 10	Fevereiro 2015	Esporão prolongado
EC5	101 (97)	8.00	6.00	3/1	2/1	5.90	8.60	1.00	60 a 90	40 a 60	5 a 10	5 a 10	Outubro 2004 - Maio 2006	Esporão encurtado
EC6	256 (251)	10.00	6.00	2/1	3/2	5.70	8.50	-2.00	90 a 120	40 a 60	5 a 10	5 a 10	Setembro 2014	Esporão prolongado
EC7	145 (140)	6.00	6.00	2/1	2/1	5.70	8.50	ZH	60 a 90	40 a 60	5 a 10	5 a 10	Outubro 2004 - Maio 2006	Esporão encurtado
EV1	323 (320)	10.00	8.50	3/1	3/2	5.40	7.00	-1.50	90 a 120	60 a 90	5 a 10	5 a 10	Outubro 2004 - Maio 2006	Comprimento mantido
EV2	468 (465)	12.50	8.50	3/1	3/2	6.40	7.00	-9.00	90 a 120	60 a 90	5 a 10	5 a 10		Esporão prolongado

(1) Extensão do esporão em 2006 (em 2021) medida desde o eixo da cabeça ao passeio da obra longitudinal aderente.

(2) Estimativa aproximada do peso dos blocos do manto de proteção efetuada com base nas imagens aéreas e na inspeção visual dos esporões.

(3) Presumível dimensão dos blocos do submanto com base na brochura do INAG de junho de 2006.

7.4 - DESCRIÇÃO DAS OBRAS LONGITUDINAIS ADERENTES

A obra longitudinal aderente desenvolve-se de forma contínua ao longo de aproximadamente 2900 metros entre o norte do esporão EC7 (≈ 500 m) e o sul do esporão EC1 (≈ 400 m).

Esta estrutura é composta por taludes com inclinação a 3/2 (H/V) em enrocamentos, apresentando um núcleo, submanto e manto de proteção. Presume-se, de acordo com a informação consultada, que a cota do pé de talude se encontra fundada ao ZH, e as cotas de coroamento são variáveis entre 8,00 e 9,00 m (ZH). No quadro seguinte apresenta-se de forma resumida as suas principais características por troços entre esporões.

Quadro 6 – Resumo das características da defesa aderente longitudinal

Designação Obra Longitudinal Aderente	Extensão (m)	Largura Coroamento (m)	Inclinação Talude (H/V)	Cota Coroamento (mZH)	Cota pé de talude (mZH) ⁽¹⁾	Dimensão Blocos Manto (kN) ⁽²⁾	Dimensão Blocos Submanto (kN) ⁽³⁾	Data Última Intervenção	Observações
A Sul do EC1	380	5.00	3/2	8.00	ZH	40 a 60	10 a 30	Outubro 2004 - Maio 2006	Parcialmente soterrada
Entre EC2 e EC1	340	5.00	3/2	8.00	ZH	40 a 60	10 a 30		Totalmente soterrada
Entre EC2 e EC3	235	5.00	3/2	8.00	ZH	40 a 60	10 a 30		Totalmente soterrada
Entre EC3 e EC4	415	5.00	3/2	Entre 8.00 e 8.50	ZH	40 a 60	10 a 30		Parcialmente soterrada
Entre EC4 e EC5	315	5.00	3/2	8.50	ZH	40 a 60	10 a 30		-
Entre EC5 e EC6	335	5.00	3/2	8.50	ZH	40 a 60	10 a 30		-
Entre EC6 e EC7	330	5.00	3/2	8.50	ZH	40 a 60	10 a 30		-
A Norte do EC7	520	6.00	3/2	Entre 8.00 e 9.00	ZH	40 a 60	10 a 30	Maio 2014	-

(1) Presumível cota com base na documentação disponível, nomeadamente do "PROJETO DA REABILITAÇÃO DA ESTRUTURA LONGITUDINAL ADERENTE DE S. JOÃO DA CAPARICA" elaborado pela FEUP em fevereiro de 2013.

(2) Estimativa aproximada do peso dos blocos do manto de proteção efetuada com base nas imagens aéreas, na inspeção ao local e com base na documentação disponível.

(3) Presumível dimensão dos blocos do submanto com base na documentação disponível.

7.5 - IDENTIFICAÇÃO GERAL DOS ESTRAGOS E DAS SUAS CAUSAS

7.5.1 - Classificação

Para facilitar a análise conjunta do estado atual das estruturas, foi atribuída às várias zonas que compõem cada esporão, uma classificação dos estragos identificados. Esta classificação foi efetuada com recurso ao critério proposto pelo LNEC no programa de Observação Sistemática de Obras Marítimas (OSOM). No quadro seguinte sintetizam-se as várias classificações atribuídas por esporão e por zona correspondente.

Quadro 7 – Resumo do estado dos esporões na situação atual

Designação Esporão	Classificação do Estado dos Esporões ⁽¹⁾					
	Cabeça e zonas adjacentes (Zona A)			Tronco (Zona B)		
	Talude Norte	Talude Frontal	Talude Sul	Talude Norte	Coroamento	Talude Sul
EC1	3	3	1	1	1	3
EC2	5	5	5	3	1	1
EC3	5	5	5	3	1	2
EC4	5	5	5	3	1	3
EC5	3	3	3	1	1	3
EC6	4	4	4	3	3	3
EC7	3	3	3	2	2	2
EV1	5	5	5	Talude soterrado	1	3
EV2	3	3	3	2	1	3

(1) Classificação dos estragos usando o mesmo critério de classificação do LNEC no programa de Observação Sistemática de Obras Marítimas (OSOM)

Classificação:

- 1 Elemento encontra-se em bom estado, com sinais pontuais de degradação ligeira
- 2 Elemento encontra-se ligeiramente degradado
- 3 Elemento encontra-se degradado
- 4 Elemento encontra-se muito degradado (pré-ruína)
- 5 Elemento encontra-se em ruína

A destruição dos esporões terá várias causas. Uma das principais causas dos estragos são naturalmente as tempestades e a solicitação que estas exercem sobre a estrutura dos esporões.

Por outro lado, a ação da onda é dependente dos fundos, e é potenciada nas ocasiões em que as praias se encontram pouco robustecidas. Ou seja, em períodos em que as praias estão mais erodidas, as profundidades junto às cabeças dos esporões são maiores, permitido por isso que ondas, também maiores, as atinjam induzindo maiores solicitações.

Os levantamentos disponibilizados mostram a existência de fundões junto às cabeças dos maiores esporões, gerados provavelmente devido à interação onda-estrutura. Ao gerarem-se estes fundões, os taludes da cabeça ficam sem fundação e sofrem deslizamentos.

O fato dos mantos serem constituídos apenas por uma camada também os torna mais frágeis, pois não só não dispõem do imbricamento proporcionado pela segunda camada, como deixam passar pelos vazios os blocos da subcamada, facilitando todo o processo de erosão e destruição.

A conjugação destes vários fatores terá contribuído para a degradação do campo de esporões e levado à ruína várias cabeças.

Da análise efetuada aos vários esporões, pode-se concluir que:

1. Os estragos mais significativos, verificam-se nas cabeças, correspondendo à movimentação dos blocos de enrocamento do manto de proteção exterior, deixando quase sempre o submanto à vista. Como já referido, com base na observação local, parece que o manto de proteção exterior é apenas composto por uma camada de enrocamento, considerando-se esta ter sido uma das causas que conduziu à ruína e degradação das cabeças e troços adjacentes, principalmente dos esporões EC2, EC3, EC4, EC5, EC6 e EV1. Para além da causa anterior, supõe-se que as erosões localizadas provocadas pela interação da onda com a estrutura, conduzam à instabilidade desta, o que potencia a sua degradação e rotura;
2. Foi igualmente detetado em vários esporões um assentamento dos taludes (EC4, EC6, EV2), evidenciado pelo espaçamento existente no encontro entre o coroamento e o talude, tendo-se verificado que no esporão EC6 foram posteriormente efetuadas recargas pontuais. Esta anomalia pode ser justificada por as estruturas não terem sido fundadas a cotas suficientemente profundas em relação às cotas mais baixas que aí ocorrem em situação de temporal ou após um inverno, ou devem-se apenas às erosões localizadas geradas pela interação da onda com a estrutura do esporão;
3. Também se identificaram várias aberturas nos enrocamentos e betão ciclópico do coroamento, o que evidencia as fortes subpressões que ocorrem devido ao efeito do espraçamento através dos mantos permeáveis dos esporões, o que cria maiores solicitações às estruturas, conduzindo à sua mais rápida degradação. Concorda-se com a opção de solidarizar o coroamento (de forma a garantir um caminho pedonal). No entanto, é importante prever para a durabilidade da estrutura a inclusão de respiradores, para alívio destas subpressões;
4. De uma forma geral as praias adjacentes às estruturas, apresentam uma maior acumulação de areia na sua parte sul, o que deixa o talude sul dos esporões mais exposto em relação ao talude norte.

Para as obras longitudinais aderentes, não se considerou necessário efetuar uma classificação semelhante à efetuada na avaliação do estado dos esporões, por estas se encontrarem generalizadamente em bom estado e apenas apresentarem estragos pontuais, que serão descritos e analisados em subcapítulo específico, mais à frente.

7.5.2 - Esporões

No presente capítulo procede-se à descrição dos estragos e das suas causas identificados em cada esporão. Decidiu-se agregar a referida descrição em três (3) grupos de esporões, por se considerar que as anomalias detetadas nesses esporões são semelhantes:

1. Esporões EC1, EC3, EC5 e EC7;
2. Esporões EC2 e EC4 e EC6;
3. Esporões EV1 e EV2.

Aconselha-se a visualização dos desenhos T1244-0-PE-OBM-DWG-00-002 a T1244-0-PE-OBM-DWG-00-005 para mais fácil compreensão da seguinte descrição.

Esporões EC1, EC3, EC5 e EC7

Os esporões EC1, EC3, EC5 e EC7, foram encurtados na última intervenção de reforço e reabilitação que ocorreu entre 2004 e 2006. O EC3, foi o esporão menos encurtado, sendo o que apresenta a maior extensão entre os quatro (4), o EC1 e o EC7 foram encurtados aproximadamente no mesmo comprimento, apresentando atualmente quase a mesma extensão, e por último o EC5 foi o esporão mais encurtado tendo perdido mais de 40% do seu comprimento original.

O estado geral dos esporões é razoável. No entanto, na cabeça e no talude sul do esporão EC1 (o areal a sul e norte de EC1 são os que apresentam maior diferença, quando comparando com os restantes esporões do conjunto) são visíveis vazios de maiores dimensões, que provam ter havido deslocamentos dos enrocamentos deixando o submanto à vista, o mesmo sucedeu principalmente nas cabeças e troços adjacentes dos esporões EC5 e EC7 e de forma mais gravosa no esporão EC3, tendo mesmo neste ocorrido a rotura dos taludes da cabeça, apesar de em pequena extensão. A observação desta anomalia leva-nos a supor que o manto de proteção exterior é apenas composto por uma camada, o que pode justificar os estragos, já que a camada do submanto fica facilmente exposta e deixa de criar o efeito de filtro necessário.

Apesar de nos parecer que as cabeças destes esporões apresentam uma gama de enrocamentos de dimensão inferior à gama de 90 a 120 kN, referida no projeto base correspondente à última intervenção, não nos parece ter sido a falta de peso dos elementos a principal causa destas anomalias.

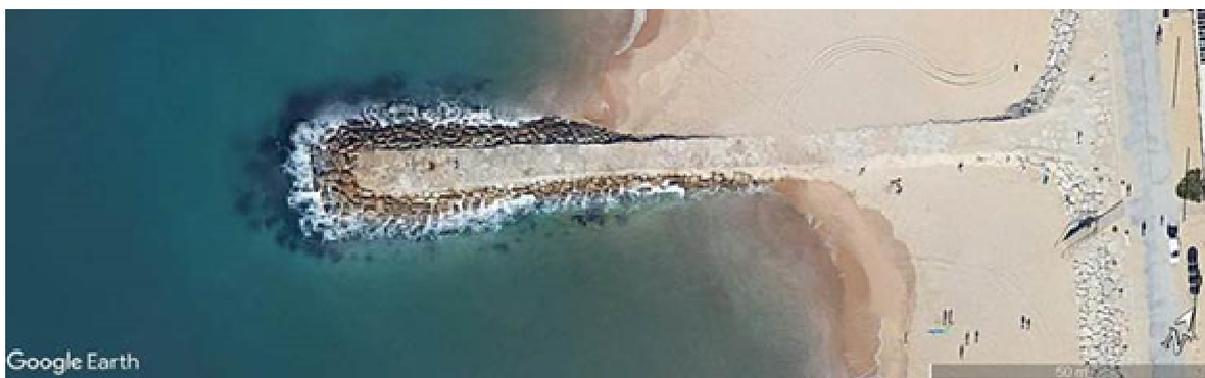


Fig. 21 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC1 extraída do google earth



Fig. 22 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC3 extraída do google Earth



Fig. 23 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC5 extraída do google earth



Fig. 24 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC7 extraída do google earth

Esporões EC2, EC4 e EC6

Os esporões EC2, EC4 e EC6, foram prolongados na última intervenção de reforço e reabilitação que ocorreu entre 2004 e 2006. Tendo sido de sul para norte progressivamente mais prolongados, o EC2, sofreu um aumento da sua extensão em aproximadamente 30 metros, o EC4, em 60 metros e o EC6, em 80 metros.

Estes são os esporões que mais estragos sofreram, essencialmente, nas cabeças, o que levou à ruína das cabeças dos esporões EC2 e EC4 e à pré-ruína do esporão EC6, com perdas de extensão em relação ao prolongamento de 60% para o EC2, 20% para o EC4 e 4% para o EC6.

Verifica-se que grande parte do material do manto de proteção das cabeças e zonas adjacentes foi removido, encontrando-se o material do manto exterior e do submanto visíveis e envolvidos. Adicionalmente, é visível, ao longo da linha de encaixe do talude com o coroamento, uma abertura, o que demonstra o assentamento ocorrido do talude. Supõe-se que as causas destas anomalias estejam relacionadas com a erosão que ocorre naturalmente na praia e a resultante da interação da onda com a estrutura, que conduz à instabilidade da mesma intensificada pelas possíveis deficiências existentes na sua composição (manto de proteção exterior composto por apenas uma camada e possivelmente com peso insuficiente), à consequente degradação e ruína. Para além disso, o betão de solidarização do coroamento, sem a presença de respiradouros acaba por introduzir na estrutura dos esporões esforços adicionais que vão igualmente contribuir para a sua rotura.

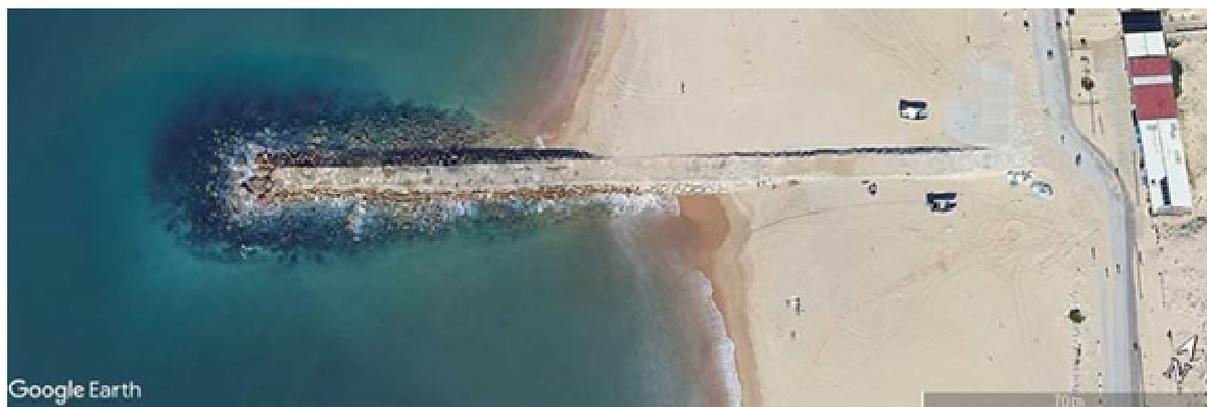


Fig. 25 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC2 extraída do google earth

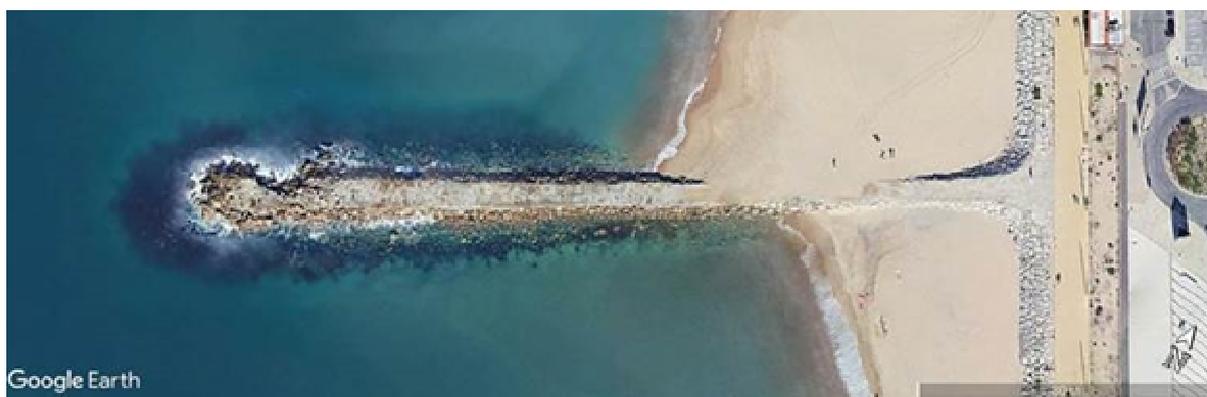


Fig. 26 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC4 extraída do google earth

O esporão EC6 é o esporão mais longo do conjunto de sete (7) esporões da Costa da Caparica, com aproximadamente 250 m. Sendo a seguir ao esporão EC4, aquele que apresenta maiores estragos. Da observação feita a este esporão, aparenta já ter sido sujeito a uma intervenção posterior de recarga pontual de material de enrocamento de pequena dimensão.



Fig. 27 – Imagem aérea de 2018 do esporão EC6 extraída do google earth

Esporões EV1 e EV2

Os esporões EV1 e EV2 foram os primeiros esporões a ser construídos e são os esporões mais longos do conjunto dos nove.

A estrutura EV1 é a que apresenta maiores danos, apesar de ser a mais curta, tendo-se verificado que a cabeça já entrou em ruína. A configuração dos fundos, em forma de canal que atinge cotas da ordem dos -3 e -4 m (ZH) permitirá a passagem de ondas com maior concentração de energia e solicitam fortemente esta estrutura.

A cabeça do esporão EV2, evidencia igualmente estragos apesar de menor gravidade, por na sua frente apresentar uma berma de pré-rebentação à cota -1 m (ZH), que limita as solicitações que sobre ela incidem.

Na cabeça e talude sul do esporão EV1, as anomalias correspondem a deslocamentos dos blocos de enrocamento do manto de proteção exterior, tal como sucede no talude sul junto à cabeça do esporão EV2. Nestas zonas tal como já identificado noutras, a observação no local mostra indícios de que o manto de proteção exterior seja apenas composto por uma camada de enrocamento, suspeitando-se que esta tenha sido uma das causas que conduziu à ruína e degradação das cabeças e troços adjacentes, para além de outra possível ser o peso insuficiente dos blocos que o compõem.

O esporão EV2 também apresenta um assentamento generalizado do seu talude norte, sendo esta anomalia bem visível na observação local junto do enraizamento. A causa aparente deve ser a alteração dos fundos (erosão) associada à complexa batimetria na entrada da barra do Tejo e junto à golada.

Também é visível que parte do talude do tronco de ambas as estruturas, esporão EV1 a norte e EV2 a sul se encontra soterrado pelo areal da praia que existe entre ambas, encontrando se assim essas zonas naturalmente protegidas.

Contribuirá grandemente para a proteção do esporão EV2, da agitação proveniente de SW, o grande baixio existente a SW deste e que atinge cotas de -1,0 m (ZH) que provocam a rebentação das ondas e a redução da sua energia.

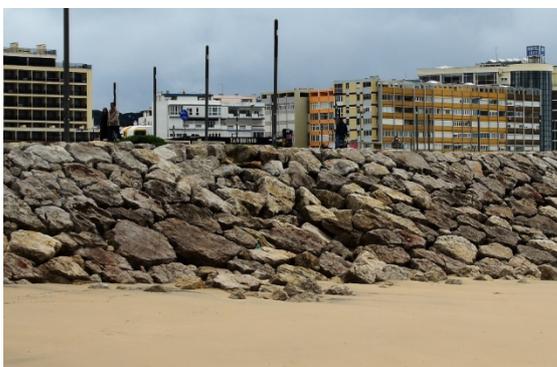


Fig. 28 – Imagem aérea de 2018 do esporão EV1 e EV2 extraída do google earth

7.5.3 - Obras longitudinais aderentes

Quase um terço da extensão total das obras longitudinais aderentes (desde sul do esporão EC1 até ao esporão EC3) encontram-se atualmente soterradas pelo areal da praia, não tendo sido possível nestes troços verificar se existem anomalias.

Na restante extensão as obras longitudinais aderentes apresentam-se na generalidade em bom estado, tendo apenas sido identificados estragos pontuais, principalmente no troço entre os esporões EC3 e EC6. Estas zonas localizadas apresentam um estado de degradação média, correspondendo os mais graves a perda de material do manto de proteção exterior, e os menos graves, a assentamento do talude, tal como exemplificado através das fotografias apresentadas de seguida.



Perda de material do manto de proteção exterior



Perda de material do manto de proteção exterior e
assentamento do talude

Fig. 29 – Fotografias da inspeção local, à esq. troço entre EC3 e EC4 e à dir. troço entre EC4 e EC5



Perda de material do manto de proteção exterior



Assentamento do talude

Fig. 30 – Fotografia da inspeção local, troço entre EC5 e EC6

Da observação destas anomalias, à semelhança do identificado nos esporões, existem sinais de que o manto seja apenas composto por uma camada de enrocamento, o que impossibilita o submanto de criar o efeito de filtro necessário, tornando a estrutura menos robusta quando não protegida pelo areal da praia, devendo ser esta a principal causa para a perda ou deslocamento do material.

Em relação ao assentamento do talude, visível em vários troços da obra longitudinal, suspeita-se que tenha resultado da erosão do areal das praias na zona de fundação, quando sujeitas à ação da agitação de inverno ou de um temporal gravoso. Confirmando-se, tal como para os esporões, que os areais das praias adjacentes às estruturas devem manter uma quantidade mínima de areia de forma a garantir a estabilidade das estruturas a eles adjacentes, nomeadamente em relação às cotas de fundação destas.

8 - DESCRIÇÃO DA SOLUÇÃO DE REPARAÇÃO E REFORÇO

8.1 - CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Conforme já referido anteriormente, apesar de bem identificadas as anomalias tal como as suas prováveis causas, a informação disponível sobre a composição atual dos mantos dos esporões não é completa e apresenta, por vezes, dados contraditórios. Importa igualmente referir que não se encontra disponível a informação relacionada com intervenções de reforço anteriores, nomeadamente as realizadas em 2015 nos esporões EC4 e EC6, o que dificulta a proposta das soluções de reabilitação e reforço dos vários esporões.

Supõem-se que, na sua configuração inicial, os esporões estarão fundados a profundidades significativas. No entanto, tendo sido construídos sobre fundos instáveis, são estruturas sensíveis a possíveis escorregamentos dos mantos resistentes causados pela erosão dos fundos e a consequente infraescavação na base dos taludes.

De facto, a análise dos levantamentos batimétricos permite observar a formação de fundões junto à cabeça dos esporões, especialmente junto às cabeças dos esporões EV1; EV2; EC4 e EC6. Estes fundões são, muito provavelmente, gerados pelo *run-down* das ondas nos taludes dos esporões, e contribuem também para a infraescavação das fundações e para o escorregamento dos mantos.

Contrariamente ao previsto no Projeto Base, e dado que não se dispõe dos Projetos de Execução das intervenções realizadas em 2006 e em 2015, supõe-se, com base da inspeção visual realizada, que os mantos construídos na sequência das obras de reforço não terão mais do que uma camada, o que os torna muito vulneráveis, pois não existe o imbricamento necessário para o manto manter a estabilidade necessária.

Assume também primordial importância para a preservação dos esporões, o estado das praias. Quando estas se encontram robustecidas, logo com menores fundos, as elevadas cotas da areia protegem os molhes da ação de maiores ondas. Nas ocasiões em que as praias se encontram erodidas, acontece o oposto. Ou seja, como as profundidades são maiores, também maiores ondas conseguem atingir os esporões, contribuindo para a sua degradação, o que significa que o sucesso das intervenções de reforço estão intimamente ligadas com as operações de enchimento artificial das praias.

A ação das ondas tende a erodir a fundação na zona das cabeças devido à sua interação com a estrutura. A erosão dos fundos junto à cabeça dos esporões pode provocar o assentamento de toda a estrutura. Admite-se, assim, que a generalidade das anomalias detetadas nos mantos resulte da falta da segunda camada e do insuficiente peso individual dos blocos do manto de proteção, bem como de fenómenos de erosão do material de fundação dos esporões, causando o consequente escorregamento do mantos.

8.2 - RESUMO DOS ESTRAGOS SOFRIDOS PELOS ESPORÕES

Conforme indicado anteriormente e resumido no Quadro 7, todos os esporões se encontram danificados, especialmente nas cabeças, sendo que, os mais compridos e com cabeças a maiores profundidades, logo sujeitos à

solicitação de maiores ondas, apresentam as suas cabeças em ruína, tais como os esporões EC2; EC4; EC6 e EV1. É exceção o esporão EV2, que embora seja um esporão comprido e cuja cabeça atinge fundos de -9,0 m (ZH), não apresenta o mesmo nível de degradação, resultado da existência do banco de areia a SW, com cotas da ordem dos -1,0 m (ZH), o qual provoca a rebentação das maiores ondas conferindo assim uma significativa proteção. Apesar disso, o esporão EV2 encontra-se debilitado e também precisa de reforço.

Dentro do grupo dos esporões mais curtos, tais como os esporões EC1; EC3; EC5 e EC7, também todos apresentam danos, generalizadamente em menor escala que os esporões mais longos, com a exceção do EC3 cuja cabeça entrou em ruína.

De acordo com o Projeto Base, independentemente do comprimento dos esporões e da sua cota de fundação, as suas cabeças seriam todas protegidas por mantos resistentes iguais, constituídos por enrocamento de 90 a 120 kN. Estes mantos resistentes, quer seja por insuficiência do peso individual dos blocos de enrocamento, quer seja por erosão da fundação e conseqüente escorregamento, revelaram-se manifestamente instáveis, mesmo nos esporões mais curtos e com cabeças implantadas a cotas menos profundas.

Comparados os levantamentos efetuados em 2021 e em 2006 (logo após a reparação realizada entre 2004 e 2006), constata-se que as cabeças de todos os esporões não só entraram em ruína como os esporões sofreram um recuo generalizado, mas mais significativo no caso dos esporões EC2; EC4 e EC6. Indicam-se em baixo as extensões dos recuos que se conclui terem ocorrido:

- EC1 – o eixo de rotação da cabeça recuou 4,5 m
- EC2 – o eixo de rotação da cabeça recuou 18,5 m
- EC3 – o eixo de rotação da cabeça recuou 4,0 m
- EC4 – o eixo de rotação da cabeça recuou 13,5 m
- EC5 – o eixo de rotação da cabeça recuou 4,0 m
- EC6 – o eixo de rotação da cabeça recuou 5,0 m
- EC7 – o eixo de rotação da cabeça recuou 5,0 m
- EV1 – o eixo de rotação da cabeça recuou 3,0 m
- EV2 – o eixo de rotação da cabeça recuou 3,0 m

Esta informação consta nos desenhos de projeto, correspondendo o perfil 0 ao suposto eixo de rotação da cabeça marcado no levantamento de 2021. Assim, a distância entre o enraizamento e o perfil 0 corresponde à extensão do esporão em 2021. A distância entre o perfil com valor negativo e o enraizamento corresponde à extensão de esporão em 2006.

Importa ainda realçar o facto de os esporões terem sofrido danos significativos em 2007, pouco tempo depois da intervenção profunda realizada em 2004/2006. Este facto leva a concluir que a solução de reforço adoptada se tenha revelado subdimensionada.

Além disso, os esporões EC4 e EC6, cujas cabeças se encontram em ruína total, foram ainda objeto de uma reparação em 2014/2015, mas não terão resistido mais do que 3 anos, conforme se pode constatar com base na análise cronológica das imagens disponíveis no Google Earth.

8.3 - JUSTIFICAÇÃO GERAL DAS OPÇÕES DE REFORÇO DAS CABEÇAS DOS ESPORÕES

Como anteriormente se demonstrou, os mantos resistentes constituídos por enrocamento de 90 a 120 kN são manifestamente insuficientes, mesmo na proteção dos esporões mais curtos. Assim, começou-se por ponderar a utilização de blocos naturais mais pesados no reforço dos mantos de proteção dos esporões. No entanto, pelas razões explicadas adiante, passou-se ao estudo de soluções utilizando blocos artificiais.

A opção de recorrer a blocos naturais mais pesados, cujo limite de extração no continente, dependendo da zona do país, não vai além dos 120 a 150 kN, para possível aplicação nos esporões de menor dimensão e menos danificados (EC1; EC5 e EC7), foi abandonada porque a extração de pedreiras só com gamas desta dimensão não é economicamente viável. A extração de blocos de pedra de tal dimensão não é viável pelo facto de o material de menor dimensão, tais como gamas de menor dimensão e tot resultantes dos trabalhos de exploração, não ter aplicação na obra, e por isso, não poder ser aproveitado.

Abandonada a opção de recurso a pedra natural, analisou-se o tipo de bloco mais adequado à proteção das cabeças dos esporões, tendo-se optado por blocos do tipo *Antifer* por estes apresentarem maior estabilidade quando aplicados em cabeças, serem de fácil fabrico e colocação, resistirem melhor à rotura em caso de escorregamento e serem mantos de mais fácil manutenção, o que não acontece com os tetrápodos.

No entanto, para se dissipar a maior energia possível, especialmente em fase de *run-down*, que se supõe ser responsável pelos fundões que se geram junto às cabeças dos esporões (mais evidente no caso dos esporões EV1; EC4 e EC6), optou-se por mantos de camada dupla com colocação irregular, com baixa porosidade (48%).

A colocação irregular apresenta algumas dificuldades construtivas, agravadas pelo facto de grande parte das zonas de intervenção consistirem em cabeças tronco-cónicas, dificuldades estas que terão que ser acauteladas. No entanto, conforme já referido, esta solução apresenta também muitas vantagens, tais como redução do *run-down* que é uma vantagem de primordial importância, o facto de os estragos que vierem a ocorrer serem menos evidentes adotando esta solução, as manutenções mais fáceis e a própria colocação é mais facilitada quando se estão a realizar trabalhos de manutenção devido à irregularidade dos mantos e à dificuldade de controlo da obra. Embora com menos vantagens hidráulicas, pode-se optar também pela colocação semi-regular. Fora de questão está a colocação regular dos mantos resistentes em Antiferes, que embora mais comum nas cabeças, por razões de estabilidade, aqui se exclui porque a sua regularidade conduz a efeitos de *run-down* mais intensos e logo com maior probabilidade de se gerarem fundões junto ao pé do talude das cabeças, e o conseqüente escorregamento dos mantos.

Na base do conceito desta solução de reparação e reforço dos esporões estão também preocupações de cariz ambiental, prevendo-se que todo o material sobranse seja reaproveitado na própria estrutura dos esporões, mesmo em zonas em que estes não apresentem estragos, mas ainda assim contribuindo para o seu robustecimento. Minimiza-se assim a necessidade de transporte de material a vazadouro e as conseqüentes emissões de CO₂ para a atmosfera.

Importa referir, no que ao impacto visual que possa ser provocado pela intervenção projetada diz respeito, que a configuração da parte visível dos esporões não será, em rigor, aquela apresentada nas várias plantas de colocação

apresentadas nas peças desenhadas, mas sim a configuração apresentada nas plantas finais, após a reposição da areia ao longo do perímetro da zona de intervenção. A reposição da areia tem como objetivo o de reproduzir a configuração das praias junto às cabeças dos esporões existente à data da execução do levantamento efetuado em 2021. No entanto, se as praias continuarem a erodir e não forem, entretanto, recargadas, os fundos poderão atingir as cotas idênticas às verificadas no ano 2006 ou até mesmo maiores profundidades. Em qualquer dos casos, convém ter presente que o impacto visual dos esporões corresponderá apenas à parte de cada uma destas obras que ficará emersa em baixa-mar.

No que ao impacto visual e ao impacto que a solução projetada terá na utilização dos esporões como espaço de lazer, nomeadamente para passeio e para prática de pesca desportiva em situações de mar que o permitam, práticas habituais dos utilizadores desta infraestrutura, importa referir a decisão tomada no sentido de adaptar os mantos de proteção ao nível do coroamento para baixar as cotas que seriam atingidas mantendo os mantos de proteção em dupla camada a toda a extensão dos taludes.

De facto, como é possível verificar na Figura 31 a), a adoção de mantos em dupla camada de blocos *Antifer* a toda a extensão do talude, particularmente ao nível do coroamento, implicaria que os blocos pudessem atingir alturas de até 2,00m acima da cota de coroamento da superestrutura dos esporões. Tal situação condicionaria bastante a utilização dos esporões como espaço de passeio e de lazer.

De forma a evitar este condicionamento, adaptou-se o coroamento do manto de proteção eliminando os dois blocos da camada superior em ambos os lados da superestrutura [Figura 31 b)]. Assim, o manto de proteção atingirá alturas de não mais de 0,50 m acima da cota da superestrutura, permitindo que as superestruturas dos esporões possam continuar a servir de espaço de passeio e de prática de atividades de lazer, sem comprometer a estabilidade da solução de reforço preconizada.

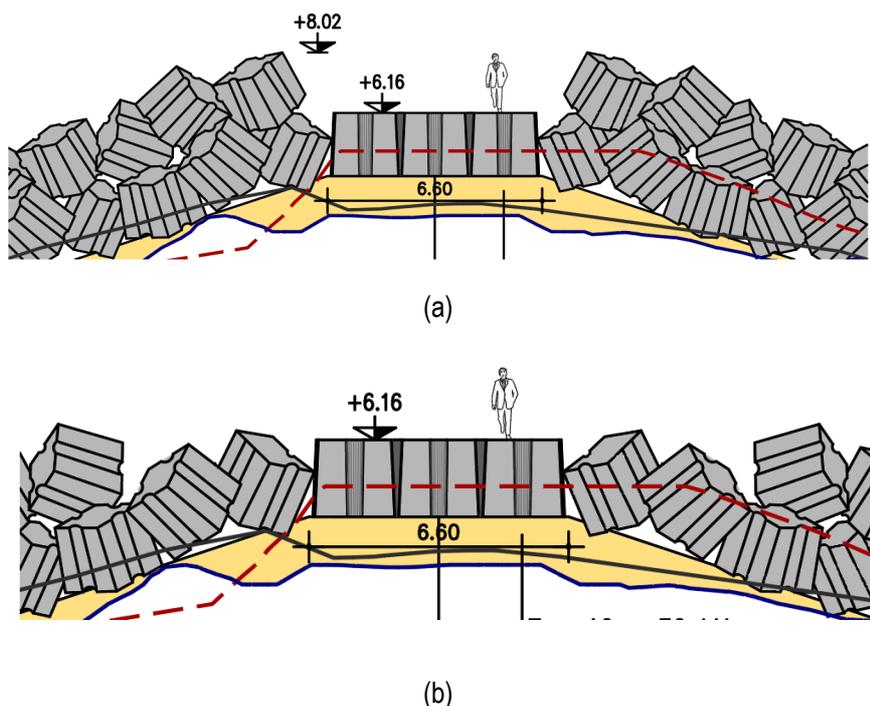


Fig. 31 – Cotas do coroamento do talude com blocos *Antifer* (exemplo com o esporão EC4).

8.4 - DIMENSIONAMENTO DOS MANTOS RESISTENTES DAS CABEÇAS

O estudo de agitação efetuado, cujo relatório se apresenta no Anexo I, permitiu obter os parâmetros de agitação em 5 pontos localizados em locais com diferentes profundidades e ao longo da zona de intervenção. Foram assim obtidos para os referidos pontos, os valores das alturas de ondas associadas a diferentes períodos de retorno.

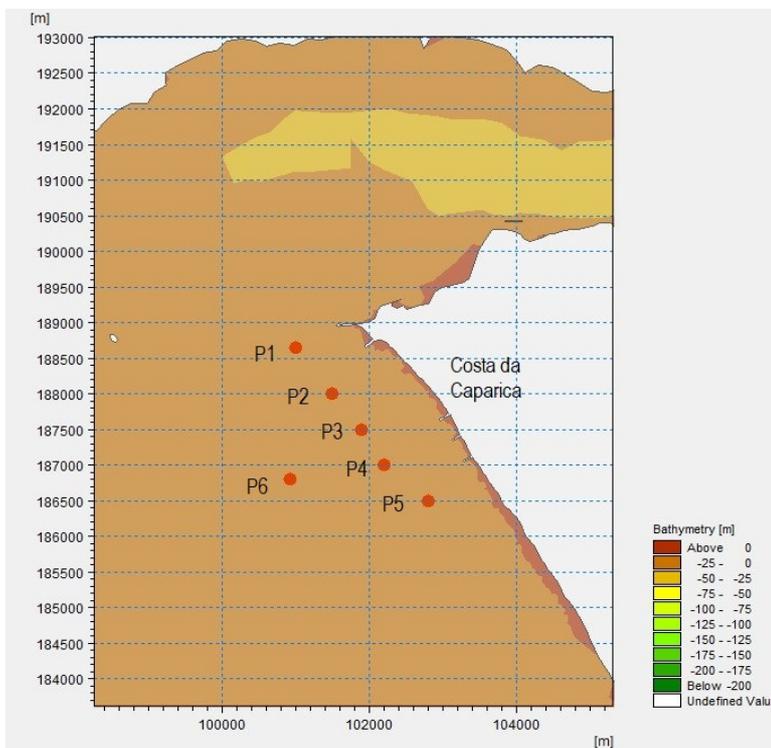


Fig. 32 – Implantação dos pontos onde foram determinadas as alturas de onda

Para PM = +4.43 m ZH

Valores Adotados	
Tr (anos)	Hs (m)
1	3.38
5	4.15
10	4.28
20	4.41
50	4.56
100	4.67
200	4.78

P1 (-5 m ZH)

Valores Adotados	
Tr (anos)	Hs (m)
1	3.53
5	4.79
10	5.02
20	5.23
50	5.50
100	5.69
200	5.88

P2 (-5.5 m ZH)

Valores Adotados	
Tr (anos)	Hs (m)
1	3.51
5	5.09
10	5.39
20	5.67
50	6.02
100	6.27
200	6.52

P3 (-8 m ZH)

Valores Adotados	
Tr (anos)	Hs (m)
1	3.47
5	5.28
10	5.64
20	5.96
50	6.37
100	6.67
200	6.96

P4 (-9 m ZH)

Valores Adotados	
Tr (anos)	Hs (m)
1	3.47
5	5.42
10	5.81
20	6.17
50	6.61
100	6.93
200	7.25

P5 (-10 m ZH)

Valores Adotados	
Tr (anos)	Hs (m)
1	3.75
5	5.54
10	5.88
20	6.19
50	6.59
100	6.87
200	7.15

P6 (-9 m ZH)

Fig. 33 – Alturas de onda relativas a cada um dos pontos indicados, associadas a diferentes períodos de retorno

Usando a formulação de Goda, determinaram-se os valores da altura significativa de onda limitada pelos fundos “ao largo” de cada esporão. Esta estimativa resultou de múltiplos cálculos, efetuados admitindo-se o nível máximo de água do mar (+4,43 m ZH), fazendo variar os valores da altura de onda (ao largo mais próxima de cada esporão e associada a 50 e a 100 anos de período de retorno), o período da onda (variável entre 14 e 20 s) e considerando-se, de forma prudente, a profundidade na frente de cada uma das cabeças dos esporões.

Selecionada o valor da altura de onda significativa representativa para o dimensionamento de cada esporão, determinou-se o valor $H_{1/10}$, correspondente, tendo sido este o valor adotado para o dimensionamento dos mantos resistentes, conforme recomendação do *Coastal Engineering Manual* (CEM).

Dada a semelhança de cotas de implantação das cabeças de vários esporões e a conseqüente semelhança do valor da altura da onda que os consegue atingir, agruparam-se os esporões para efeitos do dimensionamento do seu manto resistente.

Utilizando a fórmula de Hudson, obtiveram-se os seguintes pesos de blocos a colocar nos mantos resistentes das cabeças dos esporões:

- EC1; EC3; EC5 e EC7 Cubos do tipo Antifer de 110 kN;
- EC2; EV1 e EV2 Cubos do tipo Antifer de 150 kN;
- EC4 e EC6 Cubos do tipo Antifer de 185 kN;

Para garantir o imbricamento entre blocos os mantos resistentes apresentarão dupla camada. De forma a reduzir o galgamento e o *run-down*, os blocos serão colocados de forma irregular.

Importa, por fim, referir que dado o historial de acidentes que os esporões da Caparica têm sofrido, se considerou prudente que as estimativas dos parâmetros condicionantes no dimensionamento da solução de reforço, nomeadamente a posição do fundo na limitação das alturas das ondas, o nível da água do mar, bem como os parâmetros definidores das condições de agitação, fossem estabelecidos de forma conservativa.

8.5 - INTERVENÇÕES DE REFORÇO

As opções de reforço propostas para resolver os problemas identificados compreendem duas componentes principais:

- A reabilitação / reforço dos mantos resistentes das zonas mais ativas dos esporões, cabeças e troços adjacentes;
- Reperfilamento dos taludes do tronco.

As soluções de reabilitação e reforço são definidas com o objetivo de resolver as anomalias detetadas que se podem resumir a:

- Movimentação dos blocos do manto de proteção resistente com grandes extensões do submanto à vista, principalmente na zona das cabeças e áreas adjacentes;

- Erosões localizadas na zona de fundação das cabeças;
- Escorregamento dos taludes;
- Aberturas nos enrocamentos e no betão ciclópico do coroamento;

Assim, as várias intervenções que se propõem para fazer face a estes problemas consistem em:

- Escavação e dragagem para fundação dos novos taludes das cabeças e zonas do tronco adjacentes, até profundidades adequadas para garantir a estabilidade da estrutura em situação de erosão do fundo;
- Remoção de parte do material do manto de proteção degradado e seu reaproveitamento no reforço das secções a montante;
- Colocação de camada de submanto em enrocamento da gama 10 a 30 kN na base do pé de talude e no reperfilamento do mesmo quando necessário;
- Colocação de blocos Antifer na cabeça e zonas do tronco adjacentes, incluindo no pé de talude;
- Recarga pontual com enrocamentos da mesma gama, nas zonas dos taludes do tronco degradadas.

O conceito da solução de reforço dos diferentes esporões é semelhante. No entanto, o peso dos blocos *Antifer* a colocar difere em função da importância da ação das ondas em cada um dos esporões. Os esporões mais compridos, os quais se estendem a maiores profundidades e, por isso, ficarão sujeitos à ação de ondas com maior altura, serão reforçados com blocos com maior peso.

Pretende-se evitar a remoção de um volume muito significativo do material existente, pelo que o reforço será efetuado em grande parte sobre uma parte significativa do material existente, o que resulta no aumento das dimensões da seção dos esporões nas zonas de reforço - quer em largura, quer em cota altimétrica, embora a variação da última seja pouco significativa - particularmente, nas cabeças dos esporões.

Para evitar os custos ambientais e financeiros resultantes da necessidade de levar materiais a vazadouro, prevê-se que todo o material sobranse seja reutilizado na reparação, no reforço ou apenas no reperfilamento dos mantos.

As linhas indicativas da escavação e da dragagem representadas nos desenhos deste Projeto de Execução são teóricas, dependendo a superfície final da dimensão dos blocos de enrocamento existentes.

Os blocos de pedra de maiores dimensões existentes nos atuais mantos de proteção vão dificultar a criação da superfície de assentamento do manto resistente em blocos *Antifer*. Por esta razão, as linhas definidoras de escavação para o reperfilamento dos esporões indicadas nos desenhos são também teóricas. Pela mesma razão, a os volumes de material a remover é, igualmente, aproximado.

Apesar do Projeto Base indicar que os blocos dos mantos existentes terão dimensões entre 90 a 120 kN, estes blocos aparentam ter menores dimensões em determinados esporões. De facto, a inspeção visual dos esporões permitiu concluir que a gama dos enrocamentos existentes será mais alargada e que existe uma grande quantidade de material de menor dimensão.

Seguidamente apresenta-se a descrição da solução de reparação e reforço de cada esporão, começando pelos esporões localizados na zona urbana da Costa de Caparica (os esporões EC1 a EC7), seguindo-se a descrição dos esporões localizados na Cova do Vapor (os esporões EV1 e EV2). Inicia-se, pela descrição da solução de reforço dos esporões cujo nível de danos é mais importante e cuja solução de reforço envolve a utilização de blocos de maiores dimensões.

8.5.1 - Esporões EC4 e EC6

Os esporões EC4 e EC6 são os esporões com maior comprimento e cujas cabeças se implantam a maiores profundidades. São, por este último aspeto, os esporões que apresentam danos mais significativos, encontrando-se as suas cabeças em estado de ruína e tendo perdido uma parte da sua extensão.

Prevê-se que estes esporões sejam refeitos por forma a retomar o comprimento anterior. Proceder-se-á à proteção da cabeça e do tronco adjacente destes esporões, através da colocação de mantos resistentes de dupla camada de cubos Antifer de 185 kN, colocados de forma irregular.

Dado que na frente das cabeças destes esporões se podem formar fundões que podem atingir profundidades significativas, como o fundão detetado na frente da cabeça do esporão EC4, atingindo a cota -6,00 m (ZH), pretende-se que os mantos atinjam a profundidade necessária de modo a evitar que futuras infraescavações provoquem o seu escorregamento. Estabelece-se assim, que a solução de reforço implique a execução da fundação do pé do talude à cota -6.00 m (ZH) ao nível da cabeça do esporão.

Será executada uma berma de sacrifício constituída por enrocamento de 10 a 30 kN onde assentarão horizontalmente 4 cubos Antifer que servirão de travamento ao talude com uma inclinação de 1(V):3(H). Este novo pé, construído à custa de dragagens, após conclusão, será soterrado novamente para usufruir da proteção natural dada pelos fundos atuais.

O coroamento será também revestido por blocos *Antifer* com peso semelhante ao peso dos blocos dos taludes. As juntas dos blocos do coroamento serão argamassadas para permitir a fácil circulação de pessoas. A transição entre a parte terminal da cabeça refeita e a cota do coroamento existente será conseguida através de uma rampa de inclinação suave. Nas extensões a argamassar serão colocados ventiladores para facilitar o escape de pressões.

A transição entre a zona em ruínas e a que se encontra em melhor estado, será realizada através do reperfilamento do tronco com enrocamento de 90 a 120 kN, a colocar sobre os taludes existentes, com inclinação variável, sendo o coroamento, à semelhança do que já acontece, argamassado para facilitar a circulação de pessoas.

8.5.2 - Esporão EC2

Apesar de não ser um dos esporões mais compridos, o esporão EC2 é um dos esporões que maiores estragos sofreram, tendo a sua cabeça entrado em ruína e tendo perdido quase 20 metros do seu comprimento total.

Por não ser um dos esporões mais compridos, a sua cabeça implanta-se a menores profundidades (por volta da cota -3,00 m (ZH)) e é atingido por ondas ligeiramente inferiores às que atingem os esporões EC4 e EC6. Por este motivo, prevê-se que a solução a adotar na sua reparação e reforço seja concetualmente semelhante à solução de

reparação dos esporões EC4 e EC6 atrás descrita. No entanto, serão executados mantos de proteção compostos por blocos *Antifer* de menores dimensões (150 kN). A cota de fundação do pé do talude será a cota -3,00 m (ZH).

Em tudo o resto, a solução de reforço a adotar será semelhante à descrita para os esporões EC4 e EC6.

8.5.3 - Esporões EC1, EC3, EC5 e EC7

Os esporões EC1; EC3; EC5 e EC7 apresentam comprimentos e cotas de fundação semelhantes. Por estarem mais recuados e com cotas de fundação mais elevadas (da ordem dos -2,00 m (ZH)) que os restantes, apresentam um nível de danos ligeiramente menos significativo. O nível de danos destes esporões é classificado, de forma genérica, como correspondendo ao Grau 3 (conforme sistema de classificação explicado atrás). Excetua-se o esporão EC3, cuja cabeça atingiu o Grau 5, correspondente ao estado “ruína”.

Assim, para este conjunto de esporões, prevê-se que os mantos resistentes sejam constituídos por blocos *Antifer* de 110 kN. O pé do talude será fundado à cota -2,00 m (ZH).

Em tudo o resto, a solução de reforço a adotar será semelhante à descrita para os esporões EC2, EC4 e EC6.

8.5.4 - Esporões EV1 e EV2

Como descrito anteriormente, os esporões EV1 e EV2 diferem na sua geometria atual. No entanto, as características dos fundos na frente das suas cabeças, particularmente as profundidades que se verificam, são semelhantes, pelo que as solicitações da agitação sobre a estrutura dos esporões serão idênticas. Por esta razão estabelece-se que o reforço dos esporões implicará a execução de novos mantos resistentes constituídos, em ambos os esporões, por blocos *Antifer* de 150 kN, colocados de forma irregular.

O esporão EV1 apresenta uma geometria convencional em forma troncocónica e, por apresentar fundos da ordem dos -3,00 m (ZH) junto à sua cabeça, estes mantos fundarão à cota -4,00 m (ZH).

A solução de reforço da zona da cabeça do esporão EV2 é semelhante à solução descrita para os restantes esporões, diferindo apenas na solução de fundação do pé dos taludes. De facto, dada a configuração dos fundos na envoltória da cabeça deste esporão, particularmente a existência de fundões que atingem profundidades significativas (os fundos atingem cota -9,00 m (ZH) a sul e a cota -11,00 m (ZH) a norte do esporão), houve a necessidade de estabelecer a execução, na parte sul da cabeça do esporão, de uma berma de fundação de grande altura, com enrocamento de 90 a 120 kN, que assenta a cotas próximas da cota -9,00 m (ZH). Esta berma estender-se-á até à cota 0,00 m (ZH), cota na qual terá uma largura mínima de 3,00 m e servirá de fundação do manto de proteção em blocos *Antifer*.

Na parte norte da cabeça do esporão EV2 o novo manto de proteção em blocos *Antifer* ficará fundado numa vala de dragagem criada à cota -1,00 m (ZH) sobre uma camada de enrocamento de 10 a 30 kN, em solução semelhante à adotada na generalidade dos restantes esporões. No entanto, dada a proximidade do novo pé do talude do fundão existente a norte, prevê-se a proteção do pé do novo talude com um revestimento do fundo existente em enrocamento de 10 a 30kN. Este revestimento estender-se-á ao topo dos blocos *Antifer* de travamento do pé do

novo manto de proteção do esporão, criando uma berma com uma largura mínima de 2,00 m, prevenindo possíveis situações de infraescavação do novo talude por deslocamento do fundão para sul.

8.6 - INTERVENÇÕES DE REFORÇO NAS DEFESAS LONGITUDINAIS

As defesas longitudinais, por serem estruturas que se implantam no topo das praias, bastante recuadas em relação ao limite de rebentação, só muito raramente serão atingidas pelo espraiamento.

A proteção conferida pela praia varia consoante estas se encontram mais ou menos robustecidas, mas são sempre estruturas muito menos solicitadas e fustigadas pelo mar do que os esporões.

Por este motivo, encontram-se em muito melhor estado e só pontualmente apresentam destacamento ou escorregamento de algum bloco de enrocamento.

Assim, prevê-se que as intervenções de reforço das defesas longitudinais sejam pontuais e consistam apenas no reperfilamento da zona que apresenta dano com enrocamento da mesma dimensão do existente.

9 - DESCRIÇÃO DO MODO DE EXECUÇÃO E DO FASEAMENTO DOS TRABALHOS, DO EQUIPAMENTO A UTILIZAR NOS TRABALHOS E DOS CONDICIONAMENTOS À SUA EXECUÇÃO

9.1 - ENQUADRAMENTO GERAL

O troço litoral a intervir estende-se desde a Costa da Caparica (Nova Praia), até à Cova do Vapor, com um desenvolvimento aproximado de 4000 metros. As obras de proteção costeira que o integram correspondem a nove (9) esporões, EC1 a EC7 e EV1 e EV2, e a obras longitudinais aderentes com uma extensão total de aproximadamente 2900 metros.



Fig. 34 – Identificação dos molhes da Costa da Caparica

As opções de reforço propostas para resolver os problemas identificados compreendem duas componentes principais:

- A reabilitação / reforço dos mantos resistentes das zonas mais ativas dos esporões, cabeças e troços adjacentes;
- Reperfilamento dos taludes do tronco, principalmente nas proximidades das cabeças e troços adjacentes.

Assim, as várias soluções que se propõem para fazer face a estes problemas consistem em:

- Escavação e dragagem para fundação dos novos taludes das cabeças e zonas do tronco adjacentes, até cotas suficientemente fundas, para garantir a estabilidade da estrutura em situação de erosão;
- Remoção de parte do material do manto de proteção degradado e seu reaproveitamento no reforço das secções a montante;
- Colocação de camada de submanto em enrocamento da gama 10 a 30 kN na base do pé de talude e no reperfilamento do mesmo quando necessário;
- Colocação de blocos Antifer na cabeça e zonas do tronco adjacentes, incluindo no pé de talude;
- Recarga pontual com enrocamentos da mesma gama, nas zonas dos taludes do tronco degradadas.

9.2 - CONDICIONANTES CONSTRUTIVAS

A localização dos trabalhos e alguns constrangimentos operacionais colocarão condicionantes aos trabalhos de construção que importam acautelar e considerar nos processos construtivos a adotar, nomeadamente:

- O troço litoral a intervir tem uma grande extensão, estendendo-se desde a Costa da Caparica (Nova Praia) até à Cova do Vapor, com um desenvolvimento aproximado de 4 km;
- Todos os esporões são acessíveis por via terrestre, mas poderá ser necessário criar acessos provisórios a cada um deles;
- A existência de agitação quase que permanente no local poderá condicionar a realização dos trabalhos. A Entidade Executante deverá dar especial atenção à caracterização do regime de agitação no local, fazendo também as suas próprias averiguações, e planejar os trabalhos de acordo o clima de agitação expectável;
- Largura do coroamento dos esporões é reduzida, o que condicionará a movimentação dos equipamentos sobre as estruturas. Deverá ser necessário o alargamento da via de acesso com a colocação de enrocamento nos espaços vazios existentes entre os blocos *Antifer* do coroamento de ambos os taludes de cada esporão;
- As cotas de coroamento dos molhes são relativamente baixas e estarão expostas a galgamentos que condicionarão os trabalhos;
- A existência permanente de agitação e correntes, assim como a intensa dinâmica sedimentar da zona, dificultará a abertura e manutenção de valas em material arenoso para a fundação dos taludes. A Entidade Executante deverá ter em conta este condicionante na programação dos seus trabalhos;
- Local de intervenção é sensível do ponto de vista ambiental;
- Local de intervenção onde a época balnear se estende para além do verão marítimo convencional;
- No caso de os trabalhos se prolongarem por mais do que um verão marítimo e seja necessário interromper os trabalhos durante o inverno, deverá ser acautelada a necessidade de construção de uma proteção de inverno provisória;
- As futuras intervenções de manutenção terão de ser acauteladas.

A seguir apresenta-se uma análise dos modos de execução das várias atividades previstas passíveis de serem aplicados durante as empreitadas de reforço/reabilitação. No entanto, deverá ser dada liberdade aos concorrentes de proporem os métodos construtivos que entendam, em função da sua experiência específica e meios próprios, garantindo, no entanto, que sejam cumpridos os requisitos técnicos e de prazos estabelecidos em Caderno de Encargos.

9.3 - CONSIDERAÇÕES GERAIS

Depois da análise do projeto a Entidade Executante deverá estudar todos os aspetos que possam condicionar a execução dos trabalhos.

Na elaboração do Plano de Trabalhos da Empreitada deverão também ser levados em conta os condicionantes meteorológicos, clima de agitação marítimo, condicionantes ambientais, de segurança e geotécnicos.

Nesta fase, os meios e equipamentos previstos são meramente indicativos, cabendo à Entidade Executante a sua definição e quantificação na fase de Concurso da Empreitada.

9.4 - PRAZO GLOBAL E FASEAMENTO CONSTRUTIVO PREVISTO

O Dono da Obra pretende realizar os trabalhos previstos numa única empreitada. No entanto, a definição do prazo global da empreitada depende da imposição de condicionamentos à execução dos trabalhos durante a época estival. A aplicação desta imposição deverá ser ponderada pela APA e por outras entidades competentes, pelo que não é possível na presente fase de elaboração do Projeto de Execução estimar o prazo global de execução da empreitada.

Tendo em conta a existência de nove esporões e as defensas marginais, cujas intervenções podem ser todas individualizadas, a Empreitada pode ser executada por lotes de uma ou várias estruturas. Poder-se-á prever que as intervenções decorram em simultâneo em várias estruturas ou, alternativamente, de forma faseada, esporão a esporão. Note-se, no entanto, que uma intervenção simultânea em todos os esporões trará certamente economias na mobilização de equipamentos, estaleiro e trabalhos acessórios.

O modo de aproximação aos trabalhos pela Entidade Executante e a capacidade e disponibilidade de equipamentos terá grande influência nos cronogramas que poderão vir a ser propostos.

O faseamento construtivo a adotar poderá variar em função de vários fatores, nomeadamente:

- Prazo de execução imposto;
- Processos construtivos adotados;
- Tipo e capacidade dos equipamentos;
- Organização da Entidade Executante;
- Outros condicionantes.

No entanto, para efeitos de organização da presente memória, assume-se que a construção das principais atividades seguirá o seguinte faseamento, sendo que a maior parte destas atividades se sobreporá certamente no tempo:

- i. Montagem de estaleiro
- ii. Pré-fabricação de blocos artificiais
- iii. Remoção de blocos e enrocamentos existentes
- iv. Colocação de enrocamentos no núcleo e submantos
- v. Colocação dos blocos de betão dos mantos de proteção

9.5 - MATERIAIS

Os principais materiais a utilizar na presente empreitada serão enrocamentos, bem como os materiais e produtos a utilizar na produção do betão.

9.6 - EQUIPAMENTOS

Os principais equipamentos a mobilizar serão, previsivelmente, os seguintes:

- Gruas de rastos para a movimentação/colocação de blocos;
- Central de betão
- Escavadoras hidráulicas;
- Pás carregadoras;
- *Bulldozers*;
- *Dumpers*;
- Camiões para transporte de pedra e blocos;
- Camiões autobetoneira;
- Etc...

9.7 - DESCRIÇÃO SUMÁRIA DOS PRINCIPAIS PROCESSOS CONSTRUTIVOS

9.7.1 - Montagem de estaleiro e mobilização de equipamentos

Antes de iniciar os trabalhos de construção a Entidade Executante procederá à montagem dos estaleiros e mobilização dos equipamentos necessários à construção.

Tendo em conta que o troço litoral a intervir tem uma grande extensão, estendendo-se desde a Costa da Caparica (Nova Praia) até à Cova do Vapor, com um desenvolvimento aproximado de 4 km, poderá ser necessário prever um estaleiro principal e outros de apoio mais próximos de cada uma das zonas de intervenção.

Os escritórios, instalações sociais e oficinas serão, em princípio, instalações pré-fabricadas a montar nas áreas cedidas pelo Dono da Obra para o efeito.

Além das áreas sociais e oficinais, uma empreitada desta natureza normalmente implica também a montagem das seguintes instalações:

- Eira de pré-fabricação dos blocos artificiais;
- Áreas de armazenamento de blocos artificiais;
- Central de betão;
- ...

9.7.2 - Pré-fabricação de blocos de betão para os mantos de proteção (Antifer)

Os blocos artificiais de betão são peças pré-fabricadas que substituem os enrocamentos naturais quando não é possível obter estes nas dimensões e/ou quantidades necessárias.

Para a pré-fabricação será usado betão-pronto fornecido através de autobetoneiras com capacidades entre os 7 e 10 m³. A seleção da central de betão (ou o licenciamento, no caso duma nova unidade), será da responsabilidade da Entidade Executante.

A fabricação dos blocos faz-se normalmente por despejo direto do betão-pronto dos camiões betoneira para os moldes. Estes moldes estão colocados numa eira de pré-fabricação, que deverá ser dimensionada para a produção prevista. Após descofragem dos blocos estes deverão permanecer na eira até que decorra o prazo de cura previsto no Caderno de Encargos para que a sua movimentação possa ser efetuada (normalmente cerca de 30 dias).

Decorrido o tempo de cura obrigatório de cura antes da movimentação, os blocos poderão ser retirados da eira de pré-fabricação e transportados para as zonas de armazenamento intermédias onde ficarão até à altura da sua colocação.

A movimentação dos blocos em estaleiro e na eira de pré-fabricação faz-se normalmente com o recurso a pórticos ou gruas e o seu transporte é realizado sobre camiões com plataforma plana.

9.7.3 - Colocação de enrocamentos nos submantos e mantos de proteção

Na regularização e preenchimento dos submantos com enrocamentos provenientes de pedreiras das imediações, todo o material poderá ser colocado por via terrestre.

A colocação do enrocamento deverá ser acompanhada por controlos batimétricos e estes deverão ser realizados sempre antes do início da colocação dos mantos subsequentes.

A sequência normal deste tipo de atividade é:

- Por via terrestre chegará enrocamento por camião ou dumper que é descarregado diretamente na frente de avanço;
- Uma pá carregadora ou bulldozer empurram o material que habitualmente assume taludes naturais da ordem de 1:1 a 3:1;
- Retroescavadoras e gruas posicionadas sobre o coroamento do núcleo retificam os taludes para as inclinações de projeto;
- Após comprovação topográfica e batimétrica da correta colocação do núcleo, deve avançar a colocação dos enrocamentos dos submantos;
- Após comprovação topográfica e batimétrica da correta colocação dos submantos, deve avançar a colocação dos enrocamentos dos mantos;

A Entidade Executante deverá dar especial atenção à caracterização do regime de agitação no local, fazendo também as suas próprias averiguações, e planear os trabalhos de acordo o clima de agitação expectável no local.

A existência permanente de agitação e correntes, assim como a intensa dinâmica sedimentar da zona, dificultará a abertura e manutenção de valas em material arenoso para a fundação dos taludes. A Entidade Executante deverá ter em conta este condicionante na programação dos seus trabalhos;

9.7.4 - Colocação de blocos de betão em mantos de proteção

A colocação dos blocos far-se-á previsivelmente por via terrestre, a partir do coroamento dos esporões, utilizando gruas sobre rastos. Os blocos chegarão à frente de obra por camião desde a área de armazenamento.

Uma vez na frente de obra os blocos são içados pela grua e colocados no devido lugar no talude de enrocamentos previamente executado, ou sobre outros blocos no caso de se tratar da segunda camada.

O projeto de execução prevê que a colocação de blocos se faça de forma irregular, para tal, a Entidade Executante deverá prever meios de elevação e/ou lingagem adequados.

Antes do início da colocação dos blocos artificiais nos mantos de proteção a geometria do submanto, sobre o qual assentarão os blocos deve ser verificada topograficamente.

Os blocos devem ser colocados de acordo com uma malha previamente determinada e a colocação deve verificada por sistemas de georreferenciação. Na colocação de blocos na parte imersa dos taludes, estes trabalhos poderão também ser acompanhados por equipas de mergulho.

Deverá ser tido em conta que as reduzidas larguras dos coroamentos condicionarão a movimentação dos equipamentos sobre os esporões.

A Entidade Executante deverá ter em consideração a existência de agitação quase que permanente no local que poderá condicionar a realização dos trabalhos. Deverá ser dada especial atenção à caracterização do regime de agitação no local de forma a planear os trabalhos de acordo o clima de agitação expectável no local.

Acresce a estes condicionantes o facto de as cotas de coroamento dos esporões serem relativamente baixas, tornando-as mais expostas a possíveis galgamentos que poderão condicionar os trabalhos.

ANEXO I – ESTUDO DE AGITAÇÃO

1 TOPOGRAFIA E HIDROGRAFIA

Para caracterizar a topo-hidrografia foram utilizados os elementos apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 – Cartas e levantamentos hidrográficos

Cartas Náuticas de Portugal Continental * (formato de papel)	Número	Edição	Escala
Nazaré a Lisboa	24203	1ªJUN01	1:150.000
Cabo da Roca ao Cabo de Sines	24204	2ªJUN05	1:150.000
Baía de Cascais e Barras do Rio Tejo (Porto de Lisboa)	26303	8ªDEZ08	1:15.000
Porto de Lisboa (de Paço de Arcos ao Terreiro do Trigo)	26304	7ªDEZ08	1:15.000
Levantamentos e Plantas (formato digital dwg)	Entidade Responsável	Data	Escala
Levantamento topo-hidrográfico, Zona de Abrigo para Embarcações de Pesca, Cova do Vapor, Almada	APL - Administração do Porto de Lisboa, S.A.	08/04/2011	1:500
Planta Geral da Zona de Abrigo para Embarcações de Pesca na Cova do Vapor, Projecto de Execução	WW S.A.	05/2011	1:500
Núcleo de Pesca da Trafaria, Estudo Prévio, 2ª Fase, Esquema Preliminar	WW S.A	06/2011	1:1.000

2 NÍVEIS DA ÁGUA DO MAR

As marés na costa portuguesa são do tipo semidiurno regular. De acordo com as Tabelas de Marés publicadas pelo Instituto Hidrográfico para 2021, os valores característicos das marés em Lisboa, que se adotam no presente projeto, são as seguintes:

- Preia-Mar Máxima +3,84 m (ZH)
- Preia-Mar de Águas Vivas +3,48 m (ZH)
- Preia-Mar de Águas Mortas..... +2,70 m (ZH)
- Nível Médio..... +2,08 m (ZH)

- Baixa-Mar de Águas Mortas..... +1,48 m (ZH)
- Baixa-Mar de Águas Vivas +0,69 m (ZH)
- Mínima Baixa-Mar +0,37 m (ZH)

As alturas de água indicadas são calculadas em relação ao Zero Hidrográfico, que é o nível de referência utilizado nas cartas hidrográficas e que se encontra 2,00 m abaixo do nível médio da água do mar.

As previsões de marés foram calculadas para condições meteorológicas médias. Quando da ocorrência de ventos fortes ou de prolongada duração e de pressões atmosféricas anormalmente baixas ou elevadas, poderão verificar-se diferenças substanciais entre os valores previstos e os valores reais.

Depressões atmosféricas provocam a subida do nível da água, enquanto pressões atmosféricas altas têm o efeito contrário.

Os resultados da acção do vento sobre o plano de água são muito variáveis e dependem substancialmente da fisiografia da área. De um modo geral pode afirmar-se que a acção do vento se traduz numa subida do nível do mar no sentido para onde sopra o vento.

O nível da água pode ser também perturbado por seichas, que são ondas com períodos de 5 a 30 minutos e alturas de 5 a 70 cm, e que podem ter diversas origens, nomeadamente, mudanças súbitas das condições meteorológicas.

Nos últimos anos tem-se verificado a subida do nível do mar, atribuída a alterações climáticas, que o Instituto Hidrográfico estima, atualmente, em Portugal, em 0,10 m.

De acordo com os estudos do Painel Inter-Governamental para as Alterações Climáticas, das Nações Unidas, a subida vai manter-se, com valores variáveis, dependentes do cenário de desenvolvimento mundial que se vier a verificar, em termos de emissão de gases com efeito de estufa.

Num estudo desenvolvido no âmbito do Projeto SIAM II¹, com base nos registos de alguns marégrafos da costa continental, foi avaliada a sobrelevação previsível com diversos períodos de retorno. De acordo com esse estudo, utilizando a distribuição de extremos de Gumbel e aplicando-a aos níveis máximos registados anualmente, a sobrelevação temporária previsível com o período de retorno de 50 anos é de 0,55 m. Esta sobrelevação tem em

¹ ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS EM PORTUGAL. CENÁRIOS, IMPACTOS E MEDIDAS DE ADAPTAÇÃO
Projecto SIAM II, 2006

conta, também, a subida do nível do mar, resultante das alterações climáticas, se esta subida no futuro tivesse taxa semelhante à registada durante o período que serviu de base à extrapolação.

Admitindo que a sobrelevação resultante de fenómenos meteorológicos em Cascais é semelhante à prevista para Lisboa e também para a Costa da Caparica, o nível máximo atingido pela água do mar, não considerando a subida do nível do mar resultante das alterações climáticas, seria de:

- Nivel de maré (PMAV) + 3,48 m (ZH)
- Sobrelevação provocada por fenómenos meteorológicos + 0,55 m
+ 4,03 m (ZH)

De acordo com o relatório de 2021 do IPCC², a subida do nível do mar até 2071, em Cascais, está estimada conforme se indica de seguida:

- Subida do nível do mar de 0,24 a 0,49 (m) num cenário de desenvolvimento da economia mundial com baixa emissão de gases com efeito de estufa;
- Subida do nível do mar de 0,28 a 0,54 (m) para um cenário com moderada emissão de gases com efeito de estufa;
- Subida do nível do mar de 0,33 a 0,62 (m) para um cenário com elevada emissão de gases com efeito de estufa.

Admitindo o valor médio do intervalo correspondente ao cenário de desenvolvimento da economia mundial com moderada emissão de gases com efeito de estufa (0,40 m), o nível máximo do nível de água que se estabelece para um horizonte de 50 anos é +4,43 m (ZH).

² IPCC, 2021: Summary for Policymakers. In: Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Working Group I contribution to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change

3 AGITAÇÃO MARÍTIMA

3.1 AGITAÇÃO MARÍTIMA AO LARGO

A análise da agitação marítima ao largo foi efetuada com base em dados de *hindcast* que cobrem o período de Janeiro 1989 a Abril de 2021. O ponto *offshore* de onde foram obtidos estes dados está localizado nas coordenadas 38°30' N e 9°30' W e está assinalado na Figura 1, e os mesmos foram extraídos da base de dados *Copernicus Climate Change Service (C3S)*³.

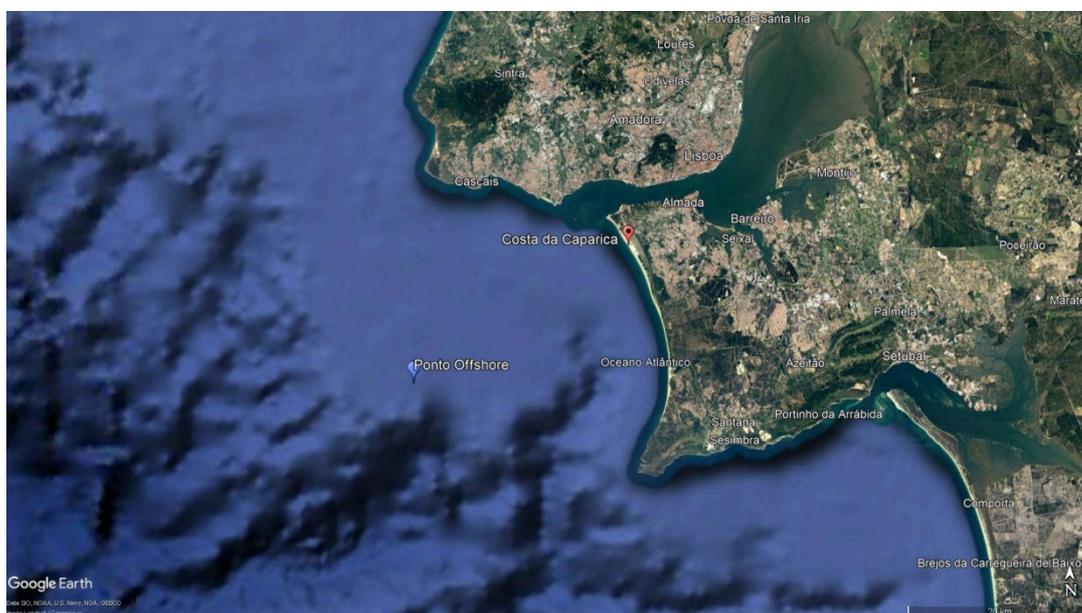


Figura 1 – Localização do ponto de dados *HindCast*, ponto *Offshore*, a partir do qual foi reconstituído o regime de agitação.

Os parâmetros de agitação ao largo consistem em séries temporais horárias de parâmetros de onda de quase 33 anos (01/01/1989 a 22/04/2021). Os cálculos foram efetuados com o modelo de ondas de 3ª geração WaveWatch III, desenvolvido pelo Environmental Modelling Center, do National Center for Environmental Prediction (NCEP, USA), numa malha com uma resolução de 0,5° (aproximadamente 50 km).

³ Hersbach, H., Bell, B., Berrisford, P., Biavati, G., Horányi, A., Muñoz Sabater, J., Nicolas, J., Peubey, C., Radu, R., Rozum, I., Schepers, D., Simmons, A., Soci, C., Dee, D., Thépaut, J.-N. (2018): ERA5 hourly data on single levels from 1979 to present. Copernicus Climate Change Service (C3S) Climate Data Store (CDS). (Accessed on < 15-01-2021 >), 10.24381/cds.adbb2d47

Este modelo utiliza uma formulação espectral que simula a geração, propagação e dissipação de estados de mar a partir das ações resultantes de campos de vento e de pressão atmosférica, e permite ter em conta as interações não-lineares entre diferentes componentes de onda e entre vento e ondas na zona de geração.

O modelo foi executado em regime de *hindcast*, utilizando campos de vento que foram extraídos das bases de dados do ECMWF (*European Centre for Medium-Range Weather Forecasts*), disponibilizados pelo CDS. Os campos de vento têm uma discretização espacial em latitude e longitude de 0,25° x 0,25°. A maioria dos dados de satélite e dos dados locais disponíveis estão incluídos na base de dados ERA5.

Nas Tabela 2 a Tabela 4 são apresentadas, para o ponto *Offshore*, as distribuições conjuntas de altura significativa da onda, período de pico e direção associada ao período de pico, para o período entre 1989 e 2021.

Tabela 2 – Distribuição de probabilidade conjunta de θ/H_s no ponto Offshore (1989-2021)

θ (°) / H_s (m)	<0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	6.5-7.5	7.5-8.5	Σ
0-20		0.112	0.071	0.014						0.197
20-40		0.048	0.030	0.005						0.083
40-60		0.024	0.018	0.002						0.044
60-80		0.023	0.027	0.003						0.052
80-100		0.030	0.023	0.005						0.058
100-120		0.022	0.032	0.002						0.056
120-140		0.025	0.043	0.003	0.001					0.072
140-160		0.029	0.070	0.013	0.003					0.115
160-180		0.034	0.091	0.031	0.000					0.156
180-200		0.057	0.147	0.050	0.015	0.002				0.271
200-220		0.089	0.252	0.146	0.045	0.006				0.539
220-240		0.249	0.543	0.389	0.132	0.016	0.001	0.002		1.332
240-260		0.675	1.149	0.692	0.300	0.072	0.015	0.000		2.903
260-280		2.218	2.578	1.335	0.560	0.174	0.037	0.011		6.914
280-300	0.006003	6.644	7.406	3.694	1.345	0.325	0.103	0.024	0.003531	19.550
300-320	0.01024	14.377	13.010	4.831	1.544	0.371	0.119	0.018	0.001059	34.282
320-340		13.261	13.979	2.964	0.655	0.135	0.014			31.006
340-360		0.763	1.214	0.319	0.069	0.004				2.369
Σ	0.016	38.681	40.683	14.497	4.668	1.105	0.289	0.056	0.005	100.000

Tabela 3 – Distribuição de probabilidade conjunta de Tp/Hs no ponto Offshore (1989-2021)

Tp (s) /Hs (m)	<0.5	0.5-1.5	1.5-2.5	2.5-3.5	3.5-4.5	4.5-5.5	5.5-6.5	6.5-7.5	7.5-8.5	Σ
2-4		0.028								0.028
4-6		1.973	0.358	0.000						2.332
6-8	0.002825	5.467	4.735	0.309	0.007					10.521
8-10	0.013418	13.929	6.317	1.487	0.221	0.015				21.983
10-12		11.544	11.581	2.073	0.654	0.114	0.006	0.000		25.971
12-14		4.490	13.389	5.762	1.234	0.218	0.053	0.007	0.003531	25.158
14-16		0.985	3.446	3.988	1.674	0.357	0.106	0.016	0.001059	10.573
16-18		0.238	0.779	0.790	0.798	0.335	0.099	0.032		3.072
18-20		0.025	0.073	0.080	0.074	0.066	0.024	0.001		0.343
20-22		0.002	0.003	0.007	0.005	0.001	0.002			0.020
Σ	0.016	38.681	40.683	14.497	4.668	1.105	0.289	0.056	0.005	100.000

Tabela 4 – Distribuição de probabilidade conjunta de θ/Tp no ponto Offshore (1989-2021)

θ (°) /Tp (s)	2-4	4-6	6-8	8-10	10-12	12-14	14-16	16-18	18-20	20-22	Σ
0-20		0.009	0.011	0.060	0.089	0.018	0.009	0.001			0.197
20-40		0.008	0.001	0.015	0.034	0.019	0.003	0.001			0.083
40-60	0.000	0.018	0.003	0.001	0.013	0.008		0.001			0.044
60-80	0.001	0.023	0.014	0.005	0.008	0.002					0.052
80-100		0.019	0.022	0.001	0.014	0.002	0.000	0.000			0.058
100-120		0.014	0.019	0.002	0.013	0.005	0.000	0.001			0.056
120-140		0.012	0.027	0.005	0.020	0.008		0.000			0.072
140-160		0.019	0.052	0.015	0.011	0.013	0.005	0.001			0.115
160-180		0.019	0.069	0.029	0.017	0.017	0.004	0.000	0.002		0.156
180-200		0.034	0.088	0.097	0.023	0.022	0.002	0.003	0.001		0.271
200-220	0.000	0.035	0.159	0.174	0.103	0.051	0.013	0.002	0.001		0.539
220-240	0.000	0.037	0.280	0.474	0.324	0.172	0.035	0.008	0.002		1.332
240-260	0.000	0.041	0.372	0.901	0.774	0.599	0.171	0.039	0.005		2.903
260-280		0.033	0.452	1.458	2.007	2.083	0.690	0.163	0.024	0.004	6.914
280-300	0.002	0.089	0.600	2.870	5.538	6.312	3.131	0.915	0.085	0.007	19.550
300-320	0.010	0.297	1.352	6.019	9.979	10.614	4.530	1.330	0.148	0.002	34.282
320-340	0.014	1.564	6.419	8.938	6.462	5.029	1.914	0.585	0.076	0.006	31.006
340-360		0.061	0.581	0.919	0.541	0.182	0.066	0.018			2.369
Σ	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	0.028	100.000

Relativamente às alturas de ondas, verifica-se que 40,7 %, o valor mais elevado, das ocorrências dão-se para alturas entre 1,5 m e 2,5 m, seguida do escalão 0,5 a 1,5 m, com 38,7 %, e do escalão 2,5 a 3,5 m, com 14,5 %. Observa-se também que as alturas superiores a 5,5 m correspondem a 0,35 % do registo.

Relativamente ao período de pico, o escalão mais frequente é o compreendido entre 10 e 14 s, com 51,1 %, a que se segue o escalão de 8 a 10 s, com cerca de 22 %, seguido do escalão 14 a 16 s, com 10,6%, e do escalão 6 a 8 s, com 10.5 %. A percentagem de registos inferiores a 6 s é de 2,6 % do total de registos, enquanto a percentagem dos registos superiores a 16 s é de 3,34 %.

Relativamente às direções de onda (direção associada ao período de pico) verifica-se que é o quadrante de Noroeste a predominante origem da ondulação, com 64,3 % das ocorrências. Todas as ondas com proveniência do

quadrante de Sudoeste representam apenas 8,5 % do total de registos. A classe de direção de ondulação de Oeste corresponde a cerca de 20 % dos registos.

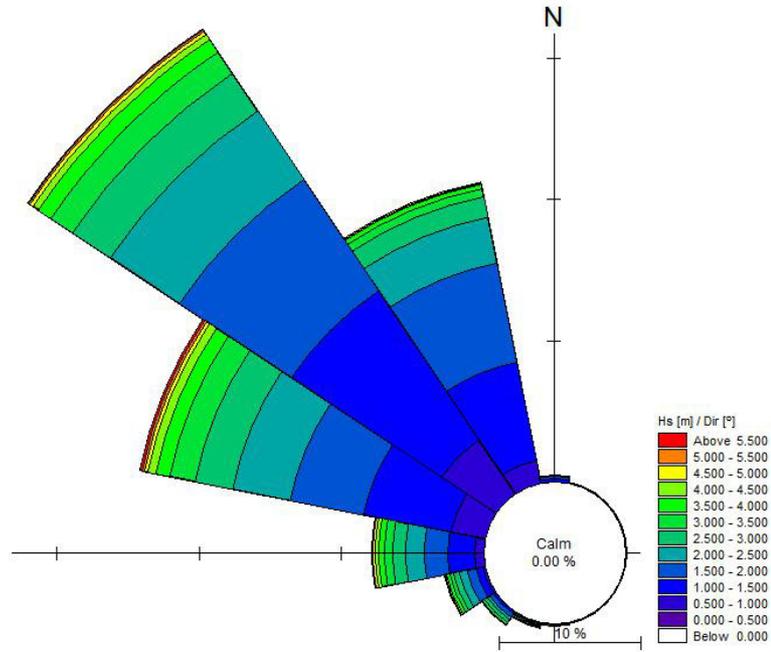


Figura 2 – Ponto Offshore. Distribuição direcional de Hs

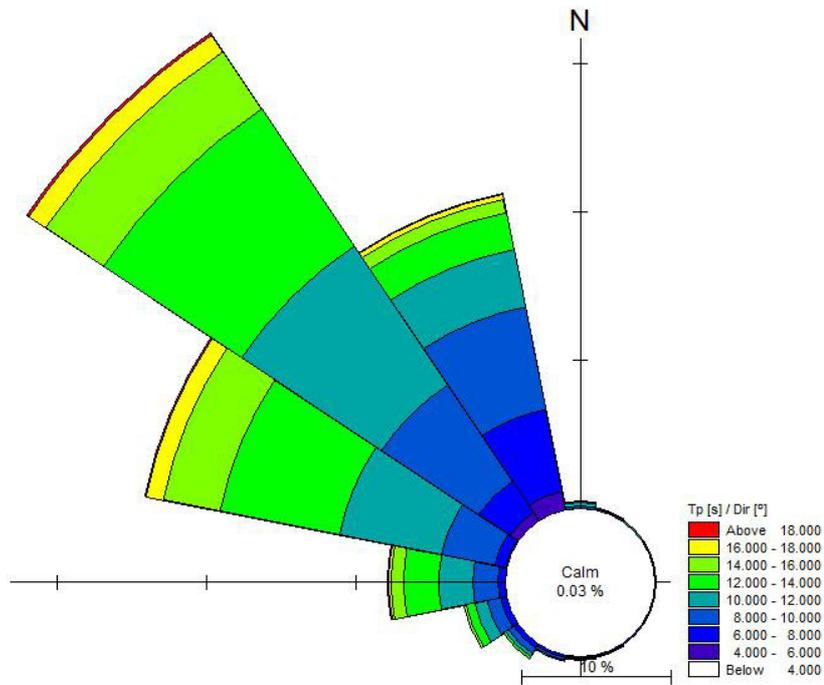


Figura 3 – Ponto Offshore. Distribuição direcional de Tp

Tabela 5 – Ponto Offshore. Valores extremos de Hs para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

Ponto Offshore												Valores Adotados	
	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Tr (anos)	Hs (m)
1	4.10	4.08	4.01	4.94	4.54	4.88	4.13	4.01	4.51	4.54	4.54	1	4.79
5	7.10	7.09	7.11	6.95	7.24	6.98	7.09	7.10	7.08	7.06	7.06	5	7.06
10	7.39	7.37	7.38	7.45	7.91	7.50	7.39	7.37	7.53	7.51	7.51	10	7.62
20	7.59	7.55	7.57	7.93	8.55	8.00	7.61	7.56	7.93	7.90	7.90	20	8.16
50	7.77	7.72	7.72	8.54	9.39	8.65	7.83	7.73	8.40	8.36	8.36	50	8.86
100	7.86	7.80	7.80	9.01	10.01	9.13	7.96	7.83	8.73	8.69	8.69	100	9.38
200	7.93	7.85	7.86	9.47	10.63	9.62	8.06	7.90	9.05	9.00	8.99	200	9.90

3.2 AGITAÇÃO MARÍTIMA JUNTO ÀS OBRAS

3.2.1 Considerações gerais

De forma a analisar a agitação marítima junto às obras, efetuou-se a propagação do regime de agitação obtido dos dados de *hindcast* desde o ponto *offshore* através da aplicação do modelo numérico MIKE 21 SW do DHI.

As condições de agitação impostas nas fronteiras do modelo regional cobriram a envolvente de todas as combinações de altura significativa, período de pico e direção média ao largo, com intervalo entre alturas significativas de onda de 1,0 m, de período de pico de 2 s e de direção média de 10 °. Foram simuladas 1231 condições de agitação incidente com o modelo regional. Os resultados dessas simulações, em frente à linha de costa da Costa da Caparica, permitiram a construção da matriz de transferência, que é essencialmente a correspondência entre as condições de agitação em dois ou mais locais. Neste caso entre a agitação no ponto ao largo e a agitação verificada em alguns pontos na zona da Costa da Caparica.

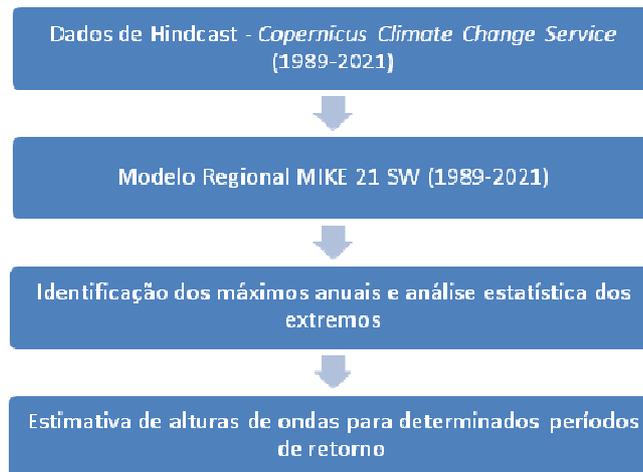


Figura 4 – Metodologia aplicada no estudo de agitação

3.2.2 Domínio de cálculo

Para a definição e construção do domínio de cálculo recorreu-se aos dados batimétricos referentes às fontes anteriormente apresentadas na Tabela 1.

A referenciação geográfica foi feita com base nos seguintes datums:

- Datum planimétrico: Hayford-Gauss, Datum Lisboa (Coordenadas Militares)
- Datum altimétrico: Zero Hidrográfico (2,08 m abaixo do nível médio de Cascais)

Na Figura 5 mostra-se a malha de cálculo e a batimetria do modelo regional, e na Figura 6 apresentam-se pormenores da malha de cálculo e da batimetria na zona envolvente da Costa da Caparica. Para a discretização do domínio recorreu-se a uma malha não estruturada de elementos finitos, que permite uma eficiente adaptação às características da morfologia do fundo e aos objetivos do cálculo.

No presente trabalho foi utilizada uma malha com 6888 nós e 13225 elementos, conforme se ilustra na Figura 6. O seu refinamento foi feito utilizando 3 zonas, apresentando a área envolvente da Costa da Caparica, uma distância média entre nós de 60 metros.

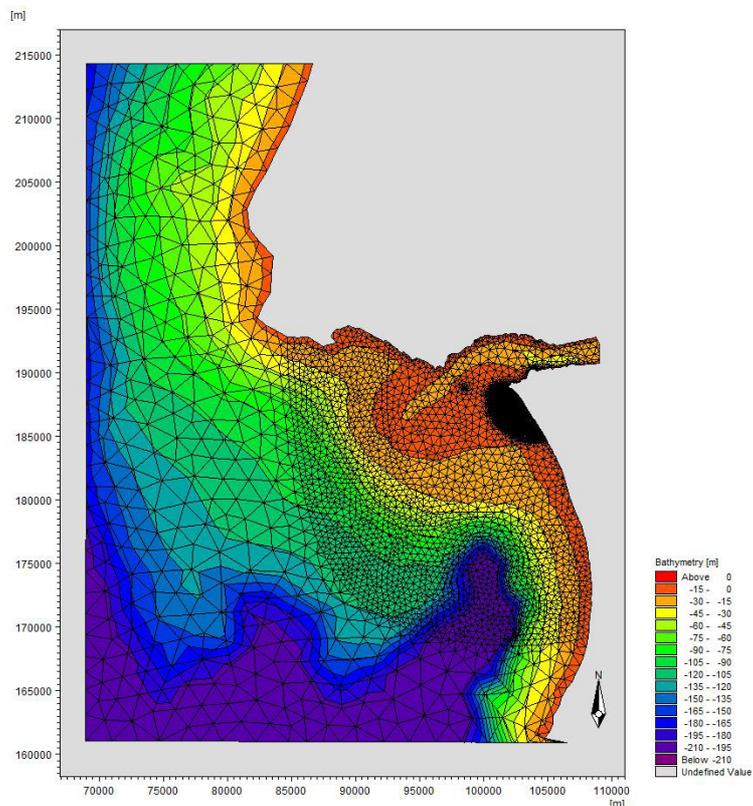
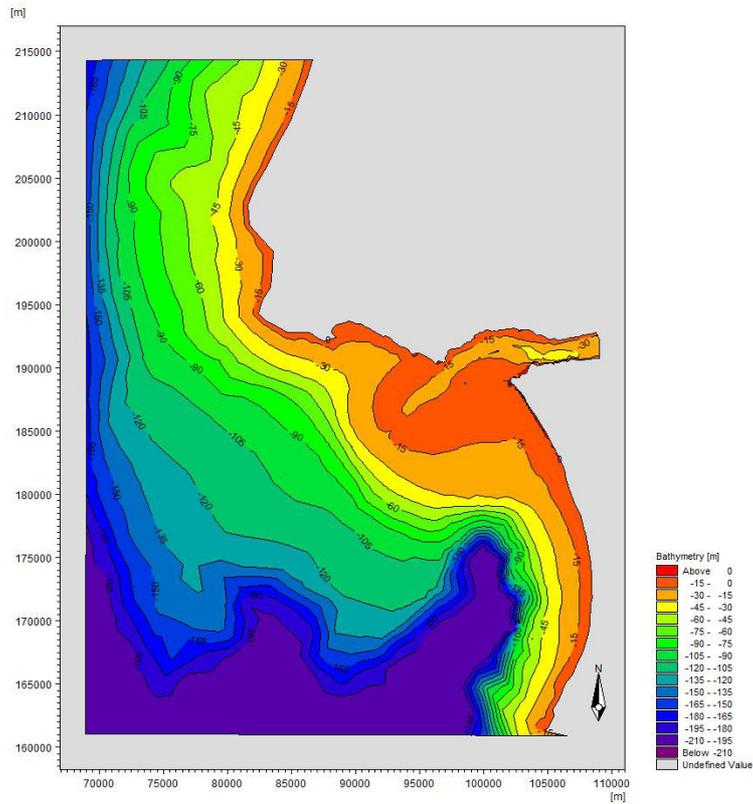


Figura 5 – Modelo regional: Malha de cálculo e batimetria

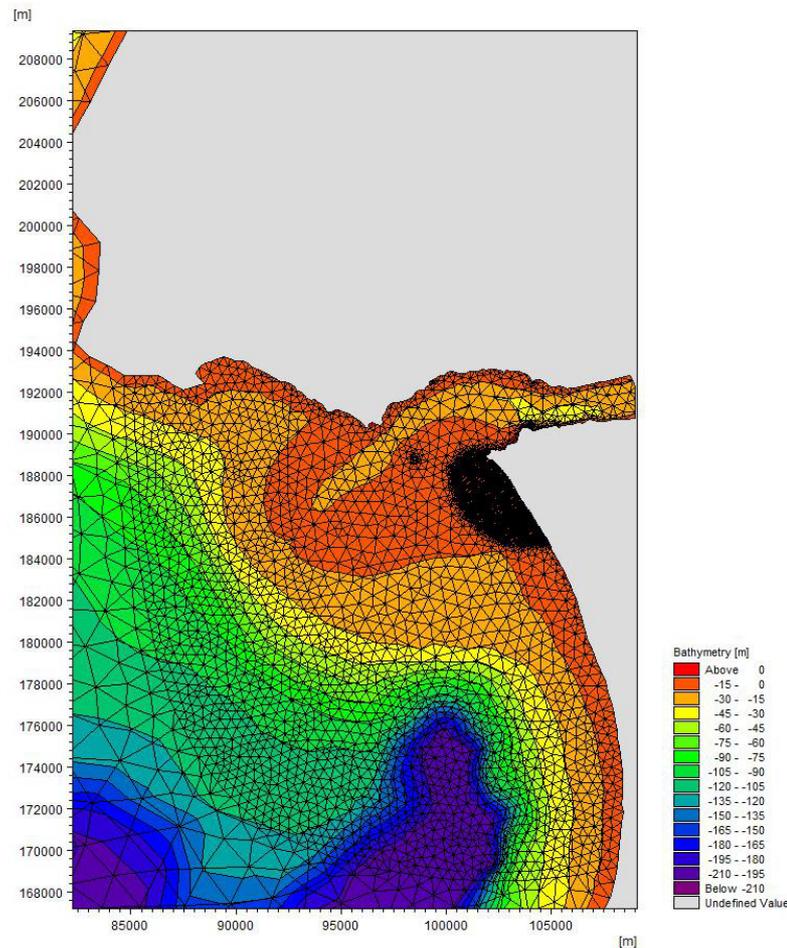


Figura 6 – Modelo regional: Malha de cálculo e batimetria na envolvente da Costa da Caparica

3.2.3 Descrição do modelo numérico MIKE 21 SW e parametrização adotada na propagação desde o largo até à costa

O modelo MIKE21 SW tem em consideração os principais processos físicos relevantes para a transposição do clima de agitação desde águas profundas até à zona costeira, nomeadamente:

- empolamento e refração por efeito de gradientes batimétricos;
- difração por efeito de obstáculos;
- dissipação de energia por rebentação induzida pela profundidade;
- dissipação de energia por rebentação induzida pela declividade das ondas;
- dissipação de energia por atrito de fundo.

A formulação utilizada no modelo MIKE21 SW, na sua versão paramétrica com desacoplamento direcional, é baseada na parametrização da equação de conservação da ação da onda, resultando o seguinte sistema:

$$\partial(m_0) / \partial t + \partial(c_x m_0) / \partial x + \partial(c_y m_0) / \partial y + \partial(c_\theta m_0) / \partial \theta = T_0$$

$$\partial(m_1) / \partial t + \partial(c_x m_1) / \partial x + \partial(c_y m_1) / \partial y + \partial(c_\theta m_1) / \partial \theta = T_1$$

em que $m_0(x, y, \theta)$ e $m_1(x, y, \theta)$ representam os momentos de ordem zero e de primeira ordem do espectro de ação da onda, $N(x, y, \sigma, \theta)$, T_0 e T_1 são funções fonte baseadas no espectro de ação de onda.

Os momentos de ordem zero e de primeira ordem do espectro de ação da onda são dados por:

$$m_n(x, y, \theta) = \int_0^\infty \omega^n A(x, y, \omega, \theta) d\omega$$

com $A = E / \sigma$

sendo:

E - densidade espectral de variância da onda (*wave variance density spectrum*);

σ - frequência angular relativa (referente a um referencial que se move à velocidade da corrente, caso exista);

ω - frequência angular absoluta (referente a um referencial imóvel);

θ - direção.

As frequências angulares estão relacionadas entre si pela expressão

$$\sigma = [gk \tanh(kd)]^{1/2} = \omega - k \cdot U$$

em que k é o vetor número de onda com magnitude ($2\pi/L$), d a profundidade da água e U o vetor velocidade da corrente (caso esta seja considerada).

A resolução do sistema de equações permite calcular os parâmetros de onda em todos os nós da malha de cálculo, tendo em conta os processos de dispersão de frequência e de dispersão direcional e os efeitos de refração, empolamento e difração devido à morfologia dos fundos e da linha de costa.

Através das funções T_0 e T_1 , que representam as fontes (*sources*) e os sumidouros (*sinks*), são introduzidos os seguintes efeitos:

- geração de ondas por efeito de ventos locais;
- dissipação de energia por rebentação das ondas;
- dissipação de energia por atrito de fundo;
- interação não-linear entre ondas e correntes.

Para as simulações efetuadas no presente trabalho foram adotadas as seguintes condições e parametrização:

- Discretização temporal: formulação quasi-estacionária;
- Discretização direcional: classes de $\approx 6^\circ$;

- Condições iniciais representadas pelo espectro JONSWAP, com
"Peakness parameter" = 3,3,
Parâmetros de forma: $\sigma_a = 0,07$ e $\sigma_b = 0,09$.
- Parâmetros de onda para condições de fronteira:
Altura Significativa (H_{m0}), Período de Pico Espectral (T_p) e Direção Média (MWD),
Desvio Padrão Direcional (DSD), ao qual foi atribuída, em cada fronteira, o valor 30.
- Dissipação por rebentação induzida pela declividade da onda:
Parâmetro γ'_s para o qual foi adotado o valor 3,0.
- Dissipação por rebentação induzida pela profundidade:
Formulação de Battjes e Janssen (1978)⁴, sendo adotado para o parâmetro γ' (H_s/d) o valor de 0,8. Foi atribuído o valor 1,0 à constante α da formulação Battjes e Janssen (1978).
- Dissipação por atrito de fundo:
O atrito de fundo foi especificado através do coeficiente de Nikuradse (k_n). O valor de k_n utilizado foi de 0,0004.
- Difração: excluída.
- Nível de referência da superfície livre: + 2,20 m Z.H (nível de maré correspondente ao nível médio) e + 4,43 m (ZH) (nível de maré correspondente a preia-mar máxima com sobrelevação atmosférica e aumento do nível médio resultante das alterações climáticas)
- Controlo de convergência do cálculo para o regime quasi-estacionário:
Adotou-se um processo iterativo modificado do método de Newton-Raphson, e as tolerâncias:
RMS-norm of residual < $1 \cdot 10^{-6}$ m
Max-norm of change in significant wave height < 0,001 m

Foram efetuadas simulações considerando dois níveis da água do mar; o nível +2,08 m ZH, correspondente ao nível médio, e o nível +4,43 m ZH, correspondente a uma situação de preia-mar de águas vivas, associada a uma sobrelevação resultante de fenómenos meteorológicos e considerando a estimativa da subida do nível do mar até 2071 de 0,40 m.

⁴ BATTJES, J.A. and J.P.F.M., 1978: Energy loss and set-up due to breaking of random waves, in Proc. 16th Int. Conf. On Coastal Eng., ASCE, NY.

3.2.4 Resultados do modelo regional

Foram analisados os resultados do modelo regional nos pontos P1 a P6 localizados sobre batimétricas -5,00 m(ZH), -5,50m(ZH), -8,00 m(ZH), -9,00 m(ZH) e -10,00 m(ZH) e -9,00 m (ZH), respetivamente.

A localização dos pontos P1 a P6 é indicada na Figura 7.

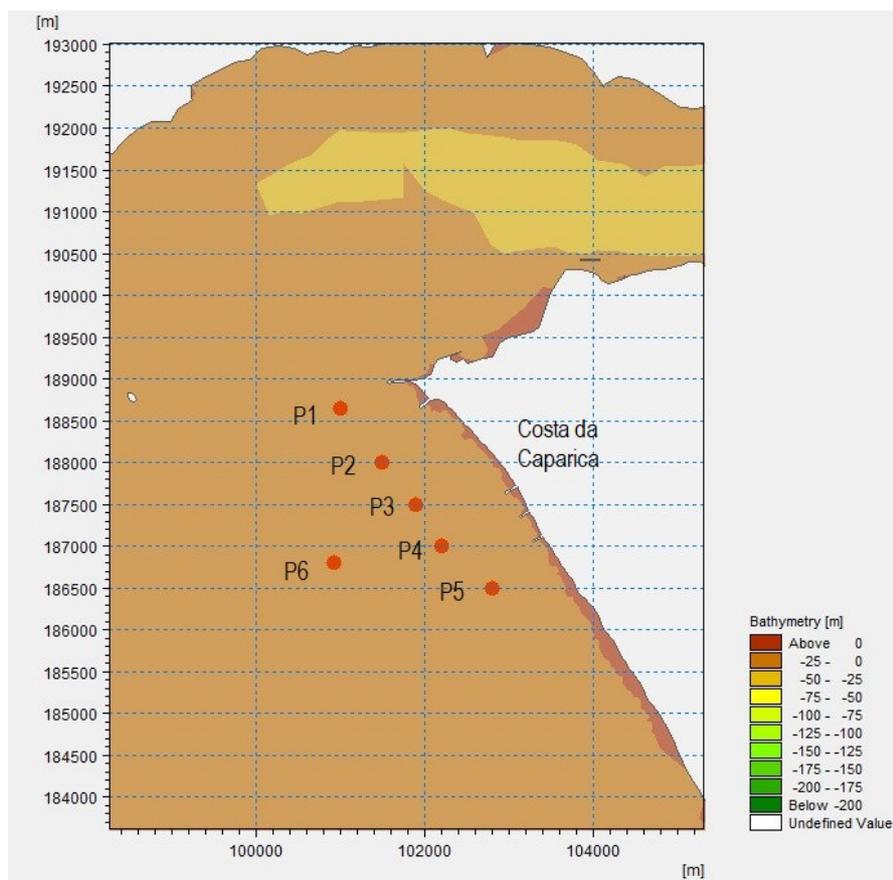


Figura 7 – Localização dos pontos P1 – P6 a partir dos quais foram extraídos os resultados do modelo regional

Nas figuras seguintes (Figura 8 a Figura 19) apresentam-se as distribuições direcionais de H_s e T_p nos pontos P1 a P6, obtidos considerando o nível da água do mar de +2,08 m (ZH).

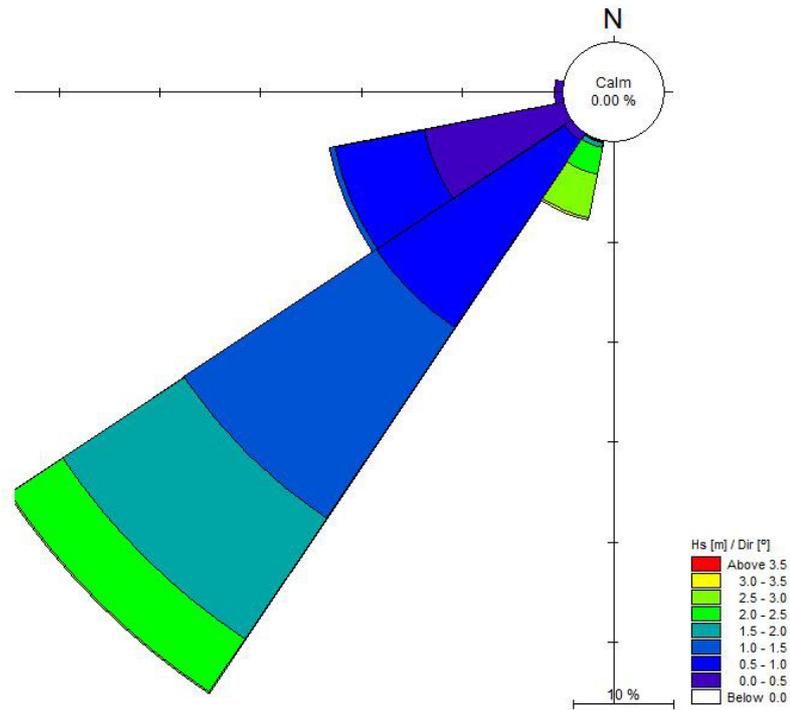


Figura 8 – Ponto P1. Distribuição direcional de Hs

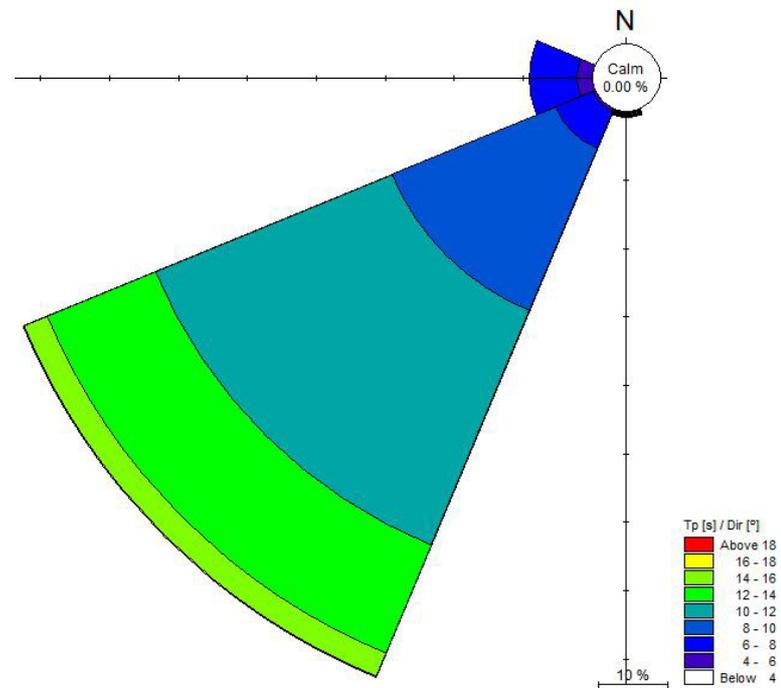


Figura 9 – Ponto P1. Distribuição direcional de Tp

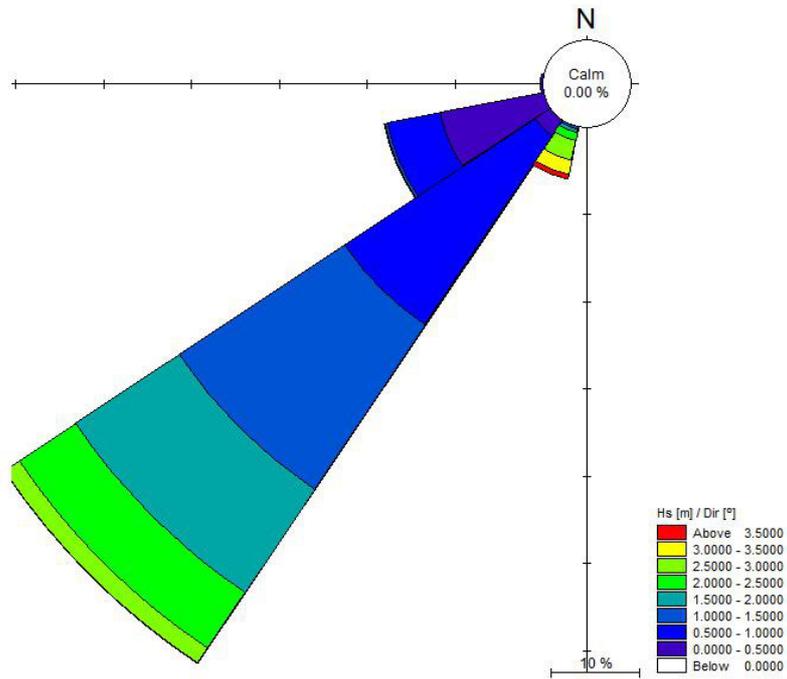


Figura 10 – Ponto P2. Distribuição direcional de Hs

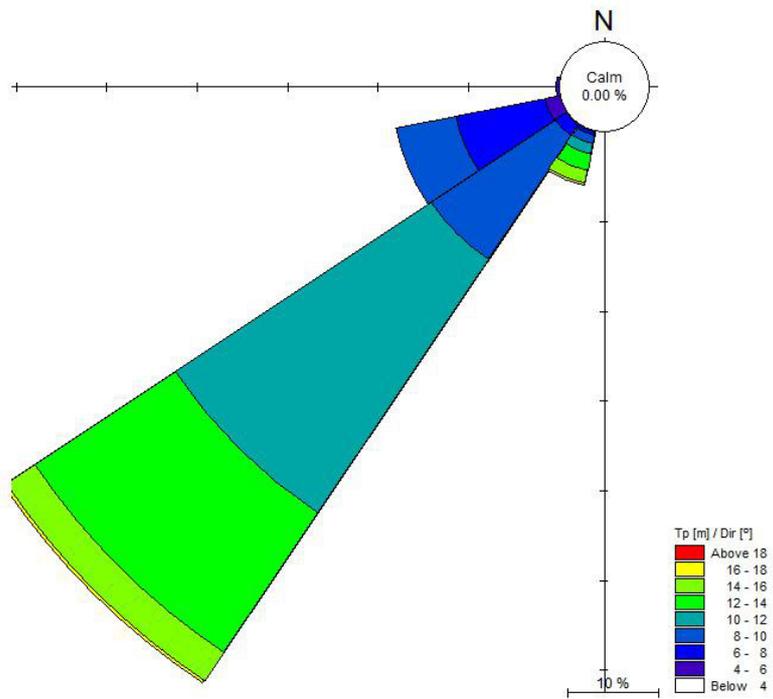


Figura 11 – Ponto P2. Distribuição direcional de Tp

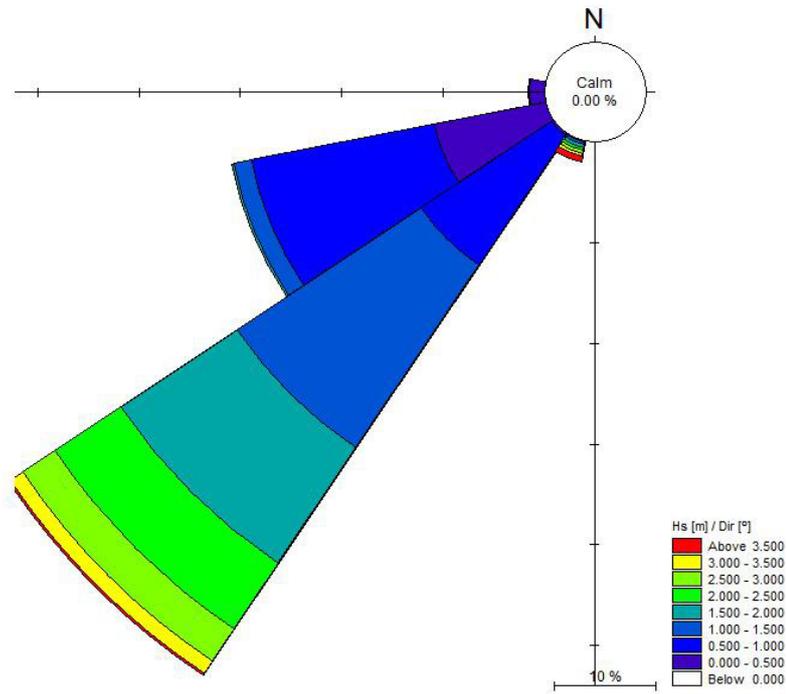


Figura 12 – Ponto P3. Distribuição direcional de Hs

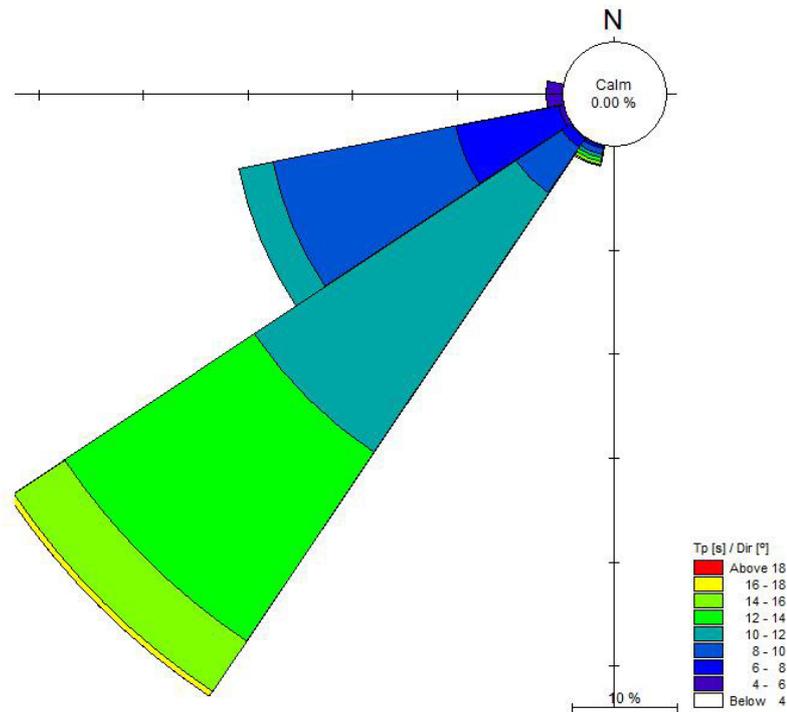


Figura 13 – Ponto P3. Distribuição direcional de Tp

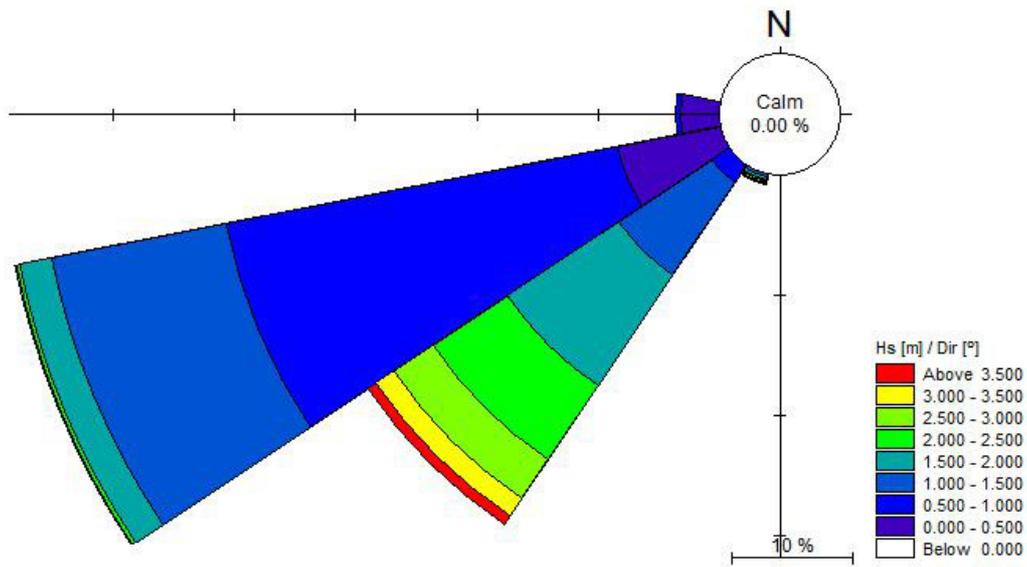


Figura 14 – Ponto P4. Distribuição direcional de Hs

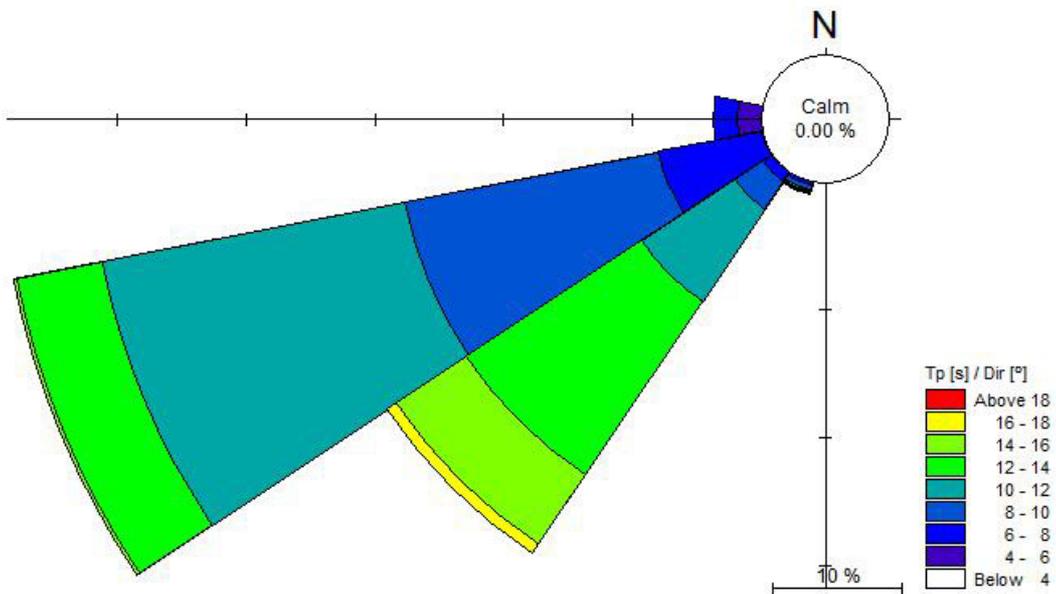


Figura 15 – Ponto P4. Distribuição direcional de Tp

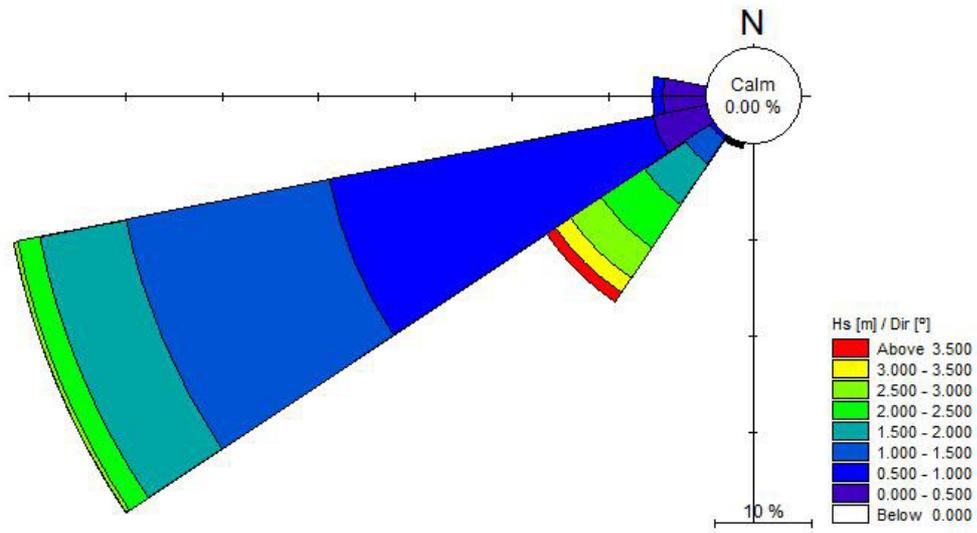


Figura 16 – Ponto P5. Distribuição direcional de Hs

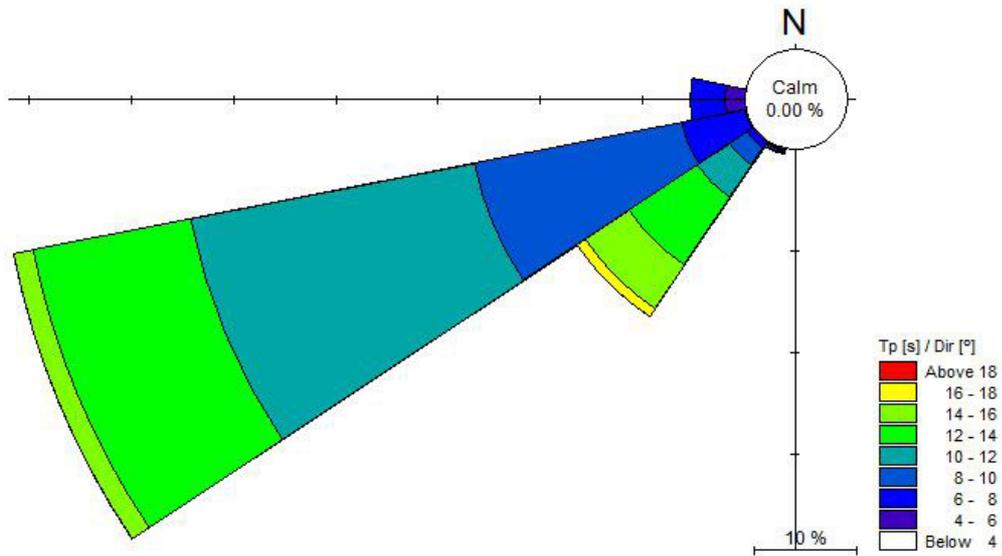


Figura 17 – Ponto P5. Distribuição direcional de Tp

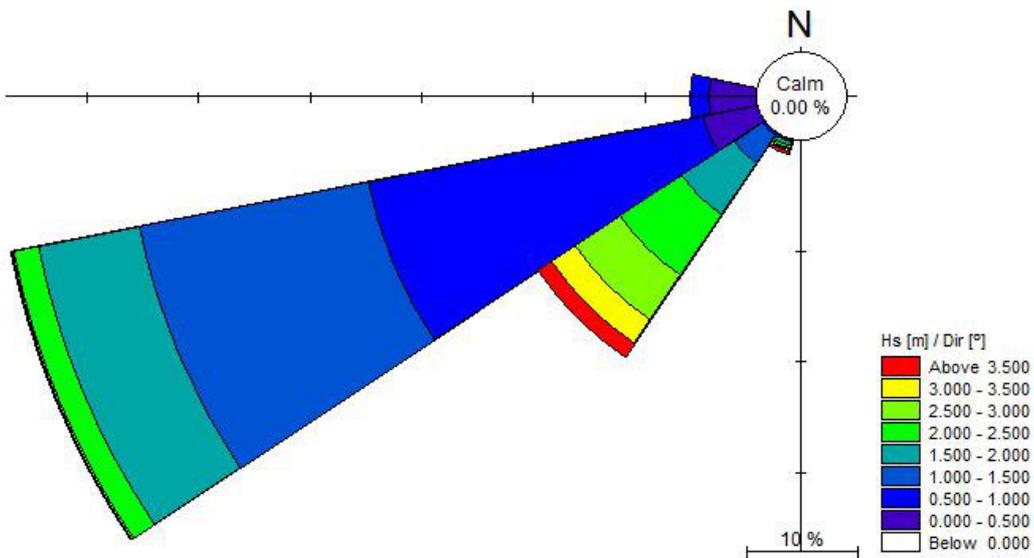


Figura 18 – Ponto P6. Distribuição direcional de Hs

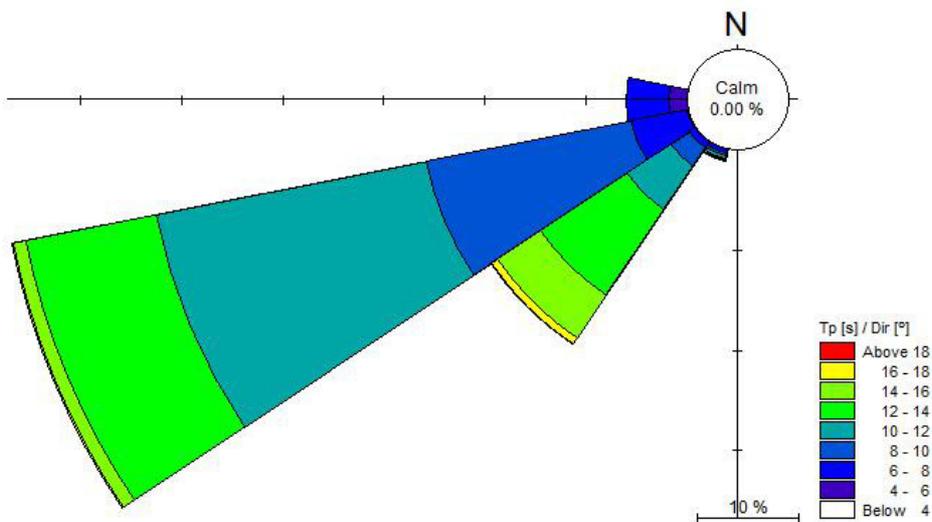


Figura 19 – Ponto P6. Distribuição direcional de Tp

3.2.5 Definição da Onda de Projeto

A partir do regime reconstituído nos pontos P1 a P6, foi extraída a série de tempestades que constitui a população à qual foram ajustadas diversas distribuições estatísticas utilizadas correntemente para a definição da onda de

projeto. A série de tempestades foi definida pelo método dos máximos anuais, em que a cada ano está associada a máxima altura significativa da onda observada durante esse ano.

O cálculo dos extremos para a definição da onda de projeto foi efetuado com recurso ao *software* EVA do DHI. O *software* EVA permite diferentes métodos de cálculo dos parâmetros associados a cada função estatística. O melhor ajustamento foi selecionado com base em testes estatísticos e também com base na análise visual dos gráficos que relacionam as estimativas dadas pelas funções estatísticas com os valores dos dados.

Nas tabelas 5 a 10 são apresentados valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade, para os diferentes pontos P1 a P6, para um nível de maré de + 2,08 m (ZH). Nas tabelas 11 a 16 são apresentados os valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade, para os diferentes pontos P1 a P6, para um nível de maré de + 4,43 m (ZH).

Os valores de H_s adotados, indicados na coluna da direita, foram obtidos calculando a média dos valores assinalados nas colunas coloridas das tabelas tabela.

Tabela 6 – Ponto P1. NMM = +2,08 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P1 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	2.71	2.66	2.67	2.85	2.78	2.85	2.71	2.67	2.78	2.78	2.79	1	2.78
5	3.11	3.11	3.11	3.10	3.14	3.10	3.11	3.11	3.11	3.11	3.11	5	3.12
10	3.14	3.13	3.13	3.16	3.23	3.16	3.14	3.13	3.16	3.16	3.16	10	3.18
20	3.16	3.14	3.15	3.22	3.32	3.22	3.16	3.15	3.20	3.20	3.19	20	3.23
50	3.17	3.15	3.15	3.29	3.43	3.30	3.18	3.16	3.25	3.24	3.24	50	3.30
100	3.17	3.15	3.16	3.35	3.51	3.36	3.19	3.16	3.28	3.27	3.27	100	3.35
200	3.18	3.15	3.16	3.41	3.60	3.42	3.19	3.16	3.31	3.30	3.30	200	3.40

Tabela 7 – Ponto P2. NMM = +2,08 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P2 Tr (anos)	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
										Tr (anos)	Hs (m)
1	2.87	3.33	3.15	3.32	2.97	2.89	3.17	3.17	3.19	1	3.15
5	3.97	3.93	4.06	3.93	3.97	3.97	3.97	3.96	3.96	5	3.99
10	4.02	4.08	4.28	4.08	4.03	4.02	4.09	4.09	4.08	10	4.13
20	4.04	4.22	4.50	4.23	4.07	4.04	4.20	4.19	4.18	20	4.27
50	4.06	4.41	4.78	4.42	4.10	4.06	4.33	4.32	4.30	50	4.43
100	4.06	4.55	4.99	4.56	4.12	4.07	4.41	4.40	4.38	100	4.55
200	4.07	4.69	5.19	4.70	4.13	4.07	4.49	4.48	4.45	200	4.67

Tabela 8 – Ponto P3. NMM = +2,08 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P3 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.00	2.70	2.88	3.45	3.24	3.42	3.01	2.90	3.23	3.24	3.24	1	3.22
5	4.45	4.46	4.46	4.38	4.53	4.40	4.45	4.45	4.44	4.43	4.44	5	4.46
10	4.57	4.53	4.56	4.61	4.85	4.64	4.57	4.56	4.64	4.63	4.63	10	4.69
20	4.65	4.57	4.62	4.84	5.16	4.87	4.67	4.62	4.82	4.80	4.80	20	4.90
50	4.71	4.60	4.67	5.12	5.56	5.17	4.75	4.68	5.02	5.00	5.00	50	5.16
100	4.74	4.61	4.69	5.34	5.86	5.40	4.80	4.71	5.16	5.14	5.14	100	5.35
200	4.77	4.61	4.70	5.55	6.16	5.62	4.84	4.73	5.29	5.27	5.27	200	5.54

Tabela 9 – Ponto P4. NMM = +2,08 m (ZH) Valores extremos de Hs para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P4 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.02	2.74	2.87	3.52	3.30	3.48	3.05	2.91	3.26	3.28	3.27	1	3.27
5	4.77	4.77	4.78	4.69	4.85	4.71	4.76	4.78	4.76	4.75	4.76	5	4.77
10	4.94	4.88	4.92	4.97	5.23	5.01	4.94	4.92	5.01	5.00	5.01	10	5.06
20	5.05	4.95	5.01	5.25	5.60	5.30	5.07	5.02	5.23	5.22	5.23	20	5.32
50	5.14	4.99	5.08	5.61	6.07	5.68	5.20	5.11	5.49	5.47	5.49	50	5.65
100	5.19	5.01	5.12	5.87	6.43	5.96	5.28	5.15	5.67	5.65	5.67	100	5.89
200	5.23	5.02	5.14	6.14	6.78	6.25	5.35	5.18	5.84	5.81	5.84	200	6.13

Tabela 10 – Ponto P5. NMM = +2,08 m (ZH) Valores extremos de Hs para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P5 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.04	2.76	2.88	3.58	3.35	3.53	3.09	2.93	3.30	3.32	3.30	1	3.32
5	4.98	4.98	4.99	4.88	5.04	4.90	4.97	4.98	4.96	4.95	4.96	5	4.97
10	5.16	5.11	5.15	5.20	5.46	5.24	5.17	5.15	5.24	5.23	5.25	10	5.29
20	5.29	5.18	5.26	5.51	5.87	5.57	5.33	5.27	5.49	5.47	5.50	20	5.59
50	5.41	5.24	5.34	5.91	6.39	6.00	5.49	5.37	5.79	5.76	5.79	50	5.96
100	5.47	5.26	5.38	6.21	6.78	6.31	5.58	5.43	5.99	5.97	6.00	100	6.23
200	5.51	5.28	5.41	6.50	7.17	6.63	5.67	5.47	6.19	6.16	6.19	200	6.49

Tabela 11 – Ponto P6. NMM = +2,08 m (ZH) Valores extremos de Hs para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P6 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.29	3.00	3.17	3.80	3.56	3.77	3.31	3.19	3.55	3.56	3.56	1	3.54
5	4.92	4.92	4.92	4.84	5.01	4.86	4.91	4.92	4.91	4.90	4.90	5	4.93
10	5.05	5.01	5.04	5.10	5.37	5.13	5.05	5.04	5.13	5.12	5.12	10	5.18
20	5.13	5.06	5.11	5.35	5.72	5.38	5.15	5.11	5.32	5.31	5.31	20	5.42
50	5.21	5.09	5.16	5.67	6.17	5.72	5.25	5.17	5.55	5.53	5.53	50	5.71
100	5.24	5.10	5.18	5.91	6.50	5.97	5.30	5.20	5.71	5.69	5.69	100	5.92
200	5.26	5.11	5.20	6.15	6.84	6.22	5.34	5.22	5.86	5.83	5.83	200	6.13

Tabela 12 – Ponto P1. NMM = +4,43 m (ZH) Valores extremos de Hs para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P1 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.21	3.05	3.14	3.54	3.38	3.54	3.21	3.14	3.39	3.40	3.41	1	3.38
5	4.13	4.14	4.13	4.10	4.21	4.10	4.13	4.13	4.13	4.13	4.12	5	4.15
10	4.19	4.18	4.18	4.24	4.42	4.24	4.19	4.18	4.25	4.24	4.23	10	4.28
20	4.22	4.20	4.20	4.37	4.62	4.37	4.23	4.20	4.35	4.34	4.32	20	4.41
50	4.25	4.21	4.22	4.54	4.88	4.55	4.26	4.22	4.46	4.45	4.43	50	4.56
100	4.26	4.21	4.23	4.67	5.07	4.68	4.28	4.23	4.53	4.52	4.50	100	4.67
200	4.26	4.21	4.23	4.80	5.26	4.81	4.29	4.24	4.61	4.59	4.57	200	4.78

Tabela 13 – Ponto P2. NMM = +4,43 m (ZH) Valores extremos de Hs para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P2 Tr (anos)	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
										Tr (anos)	Hs (m)
1	3.17	3.77	3.54	3.74	3.31	3.19	3.53	3.55	3.55	1	3.53
5	4.78	4.71	4.87	4.72	4.77	4.78	4.77	4.76	4.76	5	4.79
10	4.88	4.94	5.20	4.97	4.90	4.88	4.97	4.96	4.96	10	5.02
20	4.94	5.17	5.51	5.20	4.99	4.94	5.14	5.13	5.13	20	5.23
50	4.98	5.46	5.92	5.50	5.07	4.99	5.35	5.33	5.33	50	5.50
100	5.00	5.68	6.23	5.73	5.11	5.02	5.49	5.47	5.46	100	5.69
200	5.02	5.89	6.53	5.95	5.15	5.04	5.62	5.60	5.59	200	5.88

Tabela 14 – Ponto P3. NMM = +4,43 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P3 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.24	3.03	3.11	3.77	3.53	3.72	3.28	3.14	3.50	3.51	3.50	1	3.51
5	5.09	5.09	5.10	5.00	5.16	5.02	5.08	5.09	5.07	5.06	5.07	5	5.09
10	5.26	5.21	5.25	5.30	5.57	5.34	5.27	5.25	5.34	5.33	5.34	10	5.39
20	5.38	5.29	5.35	5.59	5.96	5.65	5.41	5.36	5.57	5.55	5.57	20	5.67
50	5.48	5.34	5.43	5.97	6.46	6.05	5.55	5.46	5.84	5.82	5.84	50	6.02
100	5.54	5.37	5.47	6.25	6.83	6.35	5.63	5.51	6.03	6.01	6.03	100	6.27
200	5.58	5.38	5.50	6.53	7.21	6.64	5.70	5.55	6.21	6.18	6.21	200	6.52

Tabela 15 – Ponto P4. NMM = +4,43 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P4 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.17	2.96	3.01	3.75	3.50	3.68	3.22	3.06	3.45	3.46	3.44	1	3.47
5	5.29	5.28	5.30	5.18	5.35	5.21	5.28	5.30	5.26	5.26	5.27	5	5.28
10	5.50	5.45	5.49	5.54	5.81	5.59	5.51	5.49	5.58	5.57	5.59	10	5.64
20	5.65	5.55	5.62	5.88	6.26	5.95	5.69	5.63	5.86	5.84	5.87	20	5.96
50	5.79	5.62	5.72	6.32	6.83	6.42	5.87	5.75	6.19	6.17	6.20	50	6.37
100	5.86	5.66	5.77	6.65	7.26	6.77	5.99	5.82	6.42	6.39	6.43	100	6.67
200	5.91	5.68	5.81	6.98	7.68	7.12	6.08	5.87	6.64	6.60	6.65	200	6.96

Tabela 16 – Ponto P5. NMM = +4,43 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P5 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.15	2.92	2.97	3.76	3.50	3.70	3.22	3.04	3.45	3.46	3.44	1	3.47
5	5.43	5.43	5.45	5.32	5.50	5.35	5.42	5.44	5.41	5.40	5.41	5	5.42
10	5.67	5.61	5.66	5.70	5.99	5.76	5.68	5.66	5.76	5.74	5.76	10	5.81
20	5.84	5.72	5.79	6.07	6.46	6.15	5.88	5.81	6.06	6.04	6.07	20	6.17
50	5.99	5.80	5.91	6.55	7.08	6.66	6.09	5.95	6.42	6.40	6.44	50	6.61
100	6.07	5.84	5.96	6.91	7.54	7.04	6.22	6.02	6.68	6.64	6.69	100	6.93
200	6.13	5.87	6.00	7.27	7.99	7.42	6.33	6.08	6.92	6.88	6.93	200	7.25

Tabela 17 – Ponto P5. NMM = +4,43 m (ZH) Valores extremos de H_s para diferentes períodos de retorno e leis de probabilidade

P6 Tr (anos)	GEV/MOM	GEV/ML	GEV/LMOM	GUM/MOM	GUM/ML	GUM/LMOM	LP3/MOM/LOG	LP3/LMOM	LN2/MOM	LN2/ML	LN2/LMOM	Valores Adotados	
												Tr (anos)	Hs (m)
1	3.44	3.20	3.28	4.05	3.77	3.99	3.48	3.33	3.74	3.76	3.74	1	3.75
5	5.53	5.53	5.55	5.43	5.63	5.46	5.53	5.54	5.52	5.51	5.51	5	5.54
10	5.73	5.67	5.72	5.78	6.09	5.82	5.74	5.72	5.82	5.81	5.82	10	5.88
20	5.86	5.76	5.83	6.10	6.53	6.17	5.89	5.83	6.09	6.07	6.08	20	6.19
50	5.97	5.82	5.91	6.53	7.10	6.62	6.04	5.94	6.40	6.37	6.40	50	6.59
100	6.03	5.85	5.96	6.85	7.53	6.96	6.13	5.99	6.62	6.59	6.61	100	6.87
200	6.07	5.86	5.98	7.17	7.95	7.29	6.21	6.03	6.82	6.79	6.82	200	7.15

ANEXO II

HISTORIAL DAS INTERVENÇÕES NA COSTA DA CAPARICA

Data	Ocorrências	Intervenções	Referências
1845/ /1893	Primeiros registos consistentes de ocorrência de recuo da ponta livre da restinga da Cova do Vapor em direção ao farol do Bugio. Abertura natural da Golada do Tejo (1879/1893).		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
1895	Registo de Galgamentos na Costa da Caparica.	Construção da primeira estrutura de defesa costeira, o "escarpado".	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
1940		Dragagens realizadas no Cachopo do Sul.	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
1947/ /1953	Recuo considerável da restinga na Cova do Vapor. Recuo generalizado a todo o troço litoral Cova do Vapor – Costa da Caparica.	Dragagens realizadas no Cachopo do Sul.	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
1957/ /1959	A partir de 1957, detetou-se a abertura da Golada do Tejo, com o desaparecimento completo da restinga.	Em 1959, construção do esporão EV1 na Cova do Vapor.	- Barceló, J. P. 1971. Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems, LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, referido por: - FEUP/IHRH 2000. Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica, Estudo Prévio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
1963		Construção do esporão EV2 da Cova do Vapor e obra longitudinal aderente (OA2), entre os esporões EV1 e EV2.	- Barceló, J. P. 1971. Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems, LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, referido por: - FEUP/IHRH 2000. Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica, Estudo Prévio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.

Data	Ocorrências	Intervenções	Referências
1963/ 1964	Galgamentos na zona central da Costa da Caparica, que conduziram a destruição do dique existente.	O dique foi reforçado, sendo evidente que os esporões da Cova do Vapor não originaram uma acumulação de areias a sul de forma a conter os processos erosivos em curso.	- Barceló, J. P. 1971. Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems, LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, referido por: - FEUP/IHRH 2000. Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica, Estudo Prévio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
1968/ 1971		Os três esporões da Costa do Vapor (EV1, EV2 e EV3) foram prolongados, tendo o intermédio (EV2), ficado com um comprimento de 500 m, admitindo-se a necessidade de este vir a ser mais prolongado.	- Barceló, J. P. 1971. Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems, LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, referido por: - FEUP/IHRH 2000. Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica, Estudo Prévio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
1969/ /1972		Construção dos 7 esporões da Costa da Caparica (EC1 a EC7), com o mesmo tipo de estrutura (estrutura de enrocamentos com taludes 3/2 e com 5 m de largura no coroamento), mesmo comprimento (180 m) e mesmo afastamento (330 m), com enraizamento à cota +6 m (ZH), descendo até à cota +4 m (ZH) na zona da cabeça, incluindo a construção da obra longitudinal aderente (OA1) na Costa da Caparica ao longo de 2500 m.	- Barceló, J. P. 1971. Experimental Study of the Hydraulic Behaviour of Inclined Groyne Systems, LNEC, Ministério das Obras Públicas, Lisboa, referido por: - FEUP/IHRH 2000. Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica, Estudo Prévio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
1971/ /1974		Primeiro processo de alimentação artificial das praias da Costa da Caparica.	FEUP/IHRH 2000. Estudo de Reabilitação das obras de defesa Costeira e de Alimentação Artificial na Costa da Caparica, Estudo Prévio, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Porto.
1971/ 1995	Episódios pontuais de galgamentos.	Construção do Terminal Cerealífero da Trafaria, com acentuada acumulação de areias a Oeste deste.	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
1995/ /1996	Erosão da praia e duna frontal em S. João da Caparica (geração de escarpamento);		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Data	Ocorrências	Intervenções	Referências
	Galgamentos nos principais acessos à praia; Degradação acentuada das estruturas de defesa.		
1998/ /1999	Erosão da praia e duna frontal em S. João da Caparica (geração de escarpamento); Recuo da linha de costa; Destruição parcial de apoios de praia.		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2000/ /2001	Erosão considerável das praias e da duna frontal, desde a Cova do Vapor até à Costa da Caparica, com destruição parcial de apoios de praia; Galgamento da praia e da duna frontal de S. João da Caparica; Recuo da linha de costa; Danos nos esporões da Costa da Caparica.		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2002/ /2003	Destruição da crista da duna frontal na praia de São João da Caparica; Recuo da linha de costa; Parques de campismo e outras infraestruturas em risco.	Obras de emergência pontuais, que incluíram o reforço de consolidação do cordão dunar e obra longitudinal aderente a norte do esporão EC7 executada de forma precária (basculamento de enrocamento, sem vala de fundação).	2.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente [2007], FEUP, ISBN 978-989-95557-1-6 FERNANDO VELOSO-GOMES (1), FRANCISCO TAVEIRA-PINTO (2), JOAQUIM PAIS-BARBOSA (3), JOÃO COSTA(4) & ANTÓNIO RODRIGUES (5).
2003/ /2004		Intervenções de emergência.	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Data	Ocorrências	Intervenções	Referências
2004/ /2006		Reperfilamento dos esporões (aumento do comprimento dos esporões estruturantes, EC2, EC4 e EC6) e redução daqueles que na altura se previa vir a eliminar (EC1, EC3, EC5 e EC7) e reperfilamento da frente marítima.	<p>- Veloso-Gomes, F.; Taveira-Pinto, F.; Pais-Barbosa, J., J., Costa, J. & Rodrigues, A., 2006 – “Estudos e Intervenções na Costa da Caparica”. Actas das 1^{as} Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente, FEUP/SHRHA, 27-35.</p> <p>- 2.as Jornadas de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente [2007], FEUP, ISBN 978-989-95557-1-6 FERNANDO VELOSO-GOMES (1), FRANCISCO TAVEIRA-PINTO (2), JOAQUIM PAIS-BARBOSA (3), JOÃO COSTA (4) & ANTÓNIO RODRIGUES (4).</p> <p>- REPARAÇÃO DOS ESPORÕES E DAS OBRAS ADERENTES DA COSTA DA CAPARICA E DA COVA DO VAPOR, junho, 2006 (Panfleto do INAG sobre as Intervenções).</p>
2006/ /2007	<p>Erosão intensa no setor Cova do Vapor - São João da Caparica</p> <p>Observação das imagens históricas existentes no Google Earth de 13/10/2006 e 27/6/2007 permite identificar danos nas cabeças dos Esporões EC2, EC4 e EC6, admitindo-se que os esporões terão sido danificados por uma tempestade que ocorreu entre 13 de Outubro de 2006 e Janeiro de 2007 (início da intervenção de emergência).</p>	Intervenção de emergência efetuada entre janeiro e março de 2007. Reforço e consolidação do cordão dunar para evitar a rotura do mesmo e o galgamento oceânico.	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – “Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial”, Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2007	Em abril, rotura do cordão dunar na zona fronteira do Parque de Campismo do Inatel, com consequente inundação deste.	Obras semelhantes às efetuada em 2004, ripagem de areia (reajuste do perfil) de praia e reforço do cordão dunar e reperfilamento da estrutura existente. Adicionalmente entre julho e setembro de 2007 realizou-se uma empreitada de alimentação artificial das praias, com colocação de 500 000 m ³ de areia entre o EC4 e o EV1.	Pinto, Celso (APA, 2015) – Apresentação em congresso “Dredging 2015” – “Dredging and beach nourishment: A sustainable sediment management approach in Costa da Caparica beach (Portugal)”.

Data	Ocorrências	Intervenções	Referências
2008		Empreitada de alimentação artificial com 1 000 000 m ³ de areia efetuada entre a Nova Praia (a sul de EC1) e o esporão EV1.	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2009/ /2010		Empreitada de alimentação artificial com 1 000 000 m ³ de areia efetuada entre a Nova Praia (a sul de EC1) e o esporão EV1.	
2013/ /2014	Tempestade Hércules. Galgamento do cordão dunar de São João da Caparica e da defesa aderente na Costa da Caparica, com inundação da vala, parques de estacionamento e apoios de praia no tardoz desta.	Empreitada de reabilitação da Obra Longitudinal de S. João da Caparica, a Norte de EC7 (maio 2014). Alimentação artificial com 1 000 000 m ³ de areia efetuada entre a Nova Praia (a sul de EC1) e o esporão EV1 (Junho 2014). Reabilitação do Esporão EC6 (setembro 2014).	"Projeto da Reabilitação da Estrutura Longitudinal Aderente de S. João da Caparica – 2013", realizado por um grupo de trabalho da FEUP liderado pelo Professor F. Veloso Gomes, datado de fevereiro de 2013. Pires, B. (2017) Tese de Mestrado – "Vulnerabilidade e Risco de Galgamento Oceânico em Litorais Baixos e Arenosos", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2014/ /2015		Reabilitação do tardoz da obra longitudinal entre o esporão EC3 e EC7 Reabilitação do Esporão EC4 (fevereiro 2015).	Pires, B. (2017) Tese de Mestrado – "Vulnerabilidade e Risco de Galgamento Oceânico em Litorais Baixos e Arenosos", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa. Almeida, H. (2019) Tese de Mestrado – "Erosão e Galgamentos na Costa Portuguesa", Instituto Superior de Educação e Ciências.
2017/ /2018	Depressões Emma, Félix, Gisele, Hugo e Irene. Rebaixamento geral da superfície da praia de S. João e galgamento do sistema dunar. Exposição da defesa longitudinal aderente no sector sul da praia de S. João.		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2019		Empreitada de alimentação artificial com 1 000 000 m ³ de areia efetuada pela empresa Rohde Nielsen S.A., em S. João da Caparica e na frente urbana da Costa da Caparica (entre a Nova Praia, a sul de EC1 e o esporão EV1).	Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.

Data	Ocorrências	Intervenções	Referências
2019/ /2020	Depressão Gloria, Elsa e Fabien. Sem ocorrências a registar.		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2020/ /2021	Depressões Dora, Ernesto e Barbara. Galgamento da defesa aderente no sector sul da praia de S. João.		Pais, D. (2021) Tese de Mestrado – "Evolução do sistema praia-duna de S. João da Caparica após alimentação artificial", Faculdade de Ciências da Universidade de Lisboa.
2021/ /2022	<p>Não se encontrou registo de ocorrências assinaláveis na zona em estudo durante o Inverno Marítimo de 2021/2022.</p> <p>A avaliação visual da inspeção realizada a 21 de março, por comparação com a fotografia aérea de novembro de 2021, não perceciona a existência de alterações substanciais aos perfis de praia neste espaço temporal.</p>		