

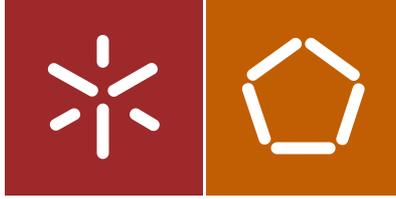


Júlio Guilherme Branco Soares Faria Mendes

Morfodinâmica da praia de Ofir em diferentes estados de agitação marítima

Universidade do Minho
Escola de Engenharia





Universidade do Minho
Escola de Engenharia

Júlio Guilherme Branco Soares Faria Mendes

Morfodinâmica da praia de Ofir em diferentes
estados de agitação marítima

Dissertação de Mestrado
Ciclo de Estudos Integrados Conducentes ao
Grau de Mestre em Engenharia Civil

Trabalho efectuado sob a orientação do
Professor Doutor José Luís da Silva Pinho

AGRADECIMENTOS

Na realização da presente dissertação contei com importantes apoios e incentivos, diretos e indiretos, sem os quais este resultado de meses de trabalho não seria uma realidade e, por isso, estarei eternamente grato. Arriscando não mencionar algum dos contributos, expresso os meus mais sinceros agradecimentos.

Ao meu orientador, o Professor Doutor José Luís da Silva Pinho, pela orientação prestada, o apoio incansável no solucionar de dúvidas e problemas que, inevitavelmente, foram surgindo, e pelo seu incentivo e disponibilidade que sempre demonstrou.

Aos meus pais, Júlio e Manuela, por serem modelos de força, pelo apoio incondicional e toda a sabedoria que, de uma forma tanto formal como empírica, me guiaram na minha formação pessoal e académica, ajudando de forma especial na superação de obstáculos que foram surgindo ao longo do percurso.

À minha irmã, Francisca, por toda a amizade, cumplicidade e compreensão ao longo dos últimos meses.

A todos os meus amigos por todo o carinho e apoio, quer a nível académico quer a nível pessoal, com realce para a força que prestaram nos momentos menos bons. Uma palavra especial para o Pedro pela amizade e companheirismo.

Em suma, quero demonstrar o meu agradecimento a todos aqueles que, de uma forma ou de outra, permitiram a realização deste trabalho.

Morfodinâmica da praia de Ofir em diferentes estados de agitação marítima

RESUMO

O fenómeno da erosão costeira afeta gravemente a costa portuguesa, sendo os seus principais agentes erosivos o vento, a maré e a agitação marítima. Não obstante, existem, ainda, outras causas de origem antropogénica que estão na origem de processos erosivos recentes. Com efeito, é fulcral a caracterização da hidrodinâmica, que constitui o primeiro passo em muitos estudos sobre a orla costeira, bem como a caracterização da agitação marítima da costa.

O trabalho desenvolvido focou-se na praia de Ofir. Consistiu na realização de levantamentos topográficos de alta precisão com auxílio de equipamento DGPS e na medição de estados de agitação marítima, na zona em estudo, com o auxílio do sensor de pressão TWR-2050. O objetivo foi contribuir para a compreensão e avaliação de alterações morfológicas em diferentes estados de agitação e tipologia de maré, bem como realizar uma caracterização dos estados de agitação marítima da praia. Uma vez que só foram realizadas duas campanhas na praia, no dia 1 de maio e 28 de maio de 2018, recorreu-se aos levantamentos topográficos efetuados em 2017 Gomes (2017) para comparação com o levantamento efetuado a 1 e 28 de maio de 2018.

Foram realizadas três sessões de trabalhos de campo na Praia de Ofir. A primeira campanha teve como finalidade adquirir experiência no manuseamento dos equipamentos (DGPS e sensor TWR-2050) e analisar posições estratégicas para instalação do sensor de pressão. A segunda visita ao terreno ocorreu no dia 1 de maio de 2018, onde foram realizados os levantamentos topográficos bem como a instalação do sensor TWR-2050 para medição da agitação no período de monitorização. E para finalizar, a terceira campanha ocorreu a 28 de maio e serviu para realizar um levantamento topográfico da praia que cobrisse na íntegra o areal compreendido entre o esporão norte e o sul.

Após a fase de recolha e análise dos dados das medições em campo, foi criado um modelo de agitação no *software* Delft3D com vista a simular os estados verificados em campanha. Assim, a caracterização de estados de agitação marítima foi concebida

através da comparação de dados registados no sensor de pressão (TWR-2050), e os resultados das simulações efetuadas pelo *software* Delft3D, bem como os registos cedidos pelo Instituto Hidrográfico registados pela boia do porto de Leixões. No final são apresentados todos os resultados e análises das medições e do modelo numérico de modo a avaliar as diferenças verificadas no período em análise.

Palavras-Chave

(Maré, agitação marítima, modelo de propagação da agitação, morfodinâmica costeira, levantamento DGPS, sensor de pressão TWR-2050, Delft3D)

Morphodynamics of Ofir beach in different states of maritime agitation

ABSTRACT

The phenomenon of coastal erosion seriously affects the Portuguese coast, its main agents being erosion wind, tide and sea agitation. Nevertheless, there are still other causes of anthropogenic origin that are the origin of recent erosive processes. In fact, hydrodynamic characterization, which is the first step in many studies of the coastline, as well as the characterization of coastal sea agitation, is crucial.

The work developed focused on the beach of Ofir. It consisted in the realization of topographic surveys of high precision with the aid of DGPS equipment and in the measurement of states of marine agitation, in the zone under study, with the aid of the pressure sensor TWR-2050. The objective was to contribute to the understanding and evaluation of morphological alterations in different states of tide agitation and typology, as well as to perform a characterization of the states of marine agitation of the beach. Since only two campaigns were carried out on the beach, on May 1st and on May 28th, 2018, topographic surveys were carried out in 2017 Gomes (2017) for comparison with the survey carried out on May 1st and on 28th, 2018.

Three fieldwork sessions were carried out at Praia de Ofir. The first campaign was aimed at gaining experience in handling equipment (DGPS and TWR-2050 sensor) and analyzing strategic positions for pressure sensor installation. The second visit to the field, as already mentioned, took place on May 1st, 2018, where the topographic surveys were carried out, as well as the installation of the TWR-2050 sensor to measure the agitation during the monitoring period. To conclude, the third campaign took place on May 28th and served to carry out a topographic survey of the beach that covered in full the sand between the north and south spurs.

After the phase of data collection and analysis of the field measurements, a model of agitation was created in the Delft3D software to simulate the states verified in the campaign. Thus, the characterization of maritime agitation states was conceived by comparing data recorded on the pressure sensor (TWR-2050), and the results of the simulations carried out by the Delft3D software, as well as the records provided by the

Hydrographic Institute registered by the port buoy of Leixões. At the end, all the results and analyzes of the measurements and the numerical model are presented in order to evaluate the differences verified in the period under analysis.

Keywords

(Tide, wave propagation, wave propagation model, coastal morphodynamics, DGPS surveys, TWR-2050 pressure sensor, Delft3D)

ÍNDICE

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	Enquadramento temático	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Conteúdo da dissertação	3
2	ESTADO DA ARTE	5
2.1	Morfodinâmica de praias	5
2.1.1	Generalidades	5
2.1.2	Agentes hidrodinâmicos impulsionadores de alterações morfodinâmicas	6
2.1.3	Morfologia de praias arenosa	16
2.1.4	Estados de morfodinâmica de praias oceânicas	17
2.2	Estruturas de defesa costeira	19
2.2.1	Esporões	20
2.2.2	Obras longitudinais aderentes	22
2.2.3	Obras longitudinais destacadas ou quebra-mares destacados	24
2.3	Soluções de defesa alternativas às convencionais	26
2.3.1	Alimentação artificial de praias	26
2.3.2	Geossintéticos na engenharia costeira	27
2.4	Programas de modelação de águas superficiais	32
2.4.1	Delft3D	32
2.4.2	Modelo SWAN	34
2.4.3	Bouss-2D	35
2.5	Sensores de pressão	35
2.5.1	TWR-2050	36
2.5.2	AWAC	37

2.6	Sistemas de posicionamento global.....	39
2.6.1	Equipamento DGPS Trimbel Geo XR.....	40
2.6.2	Programas de SIG	43
2.6.3	<i>Software</i> Quantum Gis	44
3	CASO DE ESTUDO.....	47
3.1	Praia de Ofir	47
3.2	Configuração do equipamento TWR-2050	47
3.3	Instalação da sonda TWR-2050	49
3.4	Recolha dos valores registados.....	53
3.5	Modelação da agitação marítima.....	56
3.6	Caracterização morfológica da praia de Ofir	65
3.6.1	Levantamento topográfico com DGPS	65
3.6.2	Processamento de dados com Quantum Gis	69
4	ANÁLISE DE RESULTADOS	71
4.1	Introdução.....	71
4.2	Resultados relativos à agitação marítima	71
4.2.1	Campanha de 1 de Maio de 2018.....	71
4.2.2	Campanha de 7 de novembro de 2018.....	85
4.3	Resultados dos levantamentos topográficos.....	89
5	CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS.....	95
5.1	Conclusões.....	95
5.2	Desenvolvimentos futuros	96
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	97
7	ANEXOS	101

LISTA DE FIGURAS

Figura 2-1 - Características das ondas (Management, 2007).	6
Figura 2-2 Refração de onda (Silva <i>et al.</i>).	8
Figura 2-3 Difração de onda (Silva <i>et al.</i>).	8
Figura 2-4 Empolamento e rebentação de onda (Silva <i>et al.</i>).	9
Figura 2-5 - Diferentes formas de rebentação de ondas (Silva <i>et al.</i>).	10
Figura 2-6 Correntes longitudinais à linha de costa (Silva <i>et al.</i>).	11
Figura 2-7 Corrente de retorno (Mar, 2018).	12
Figura 2-8 Características da onda (Carneiro, 2014).	13
Figura 2-9 Diferentes tipos de profundidade (Carneiro, 2014).	13
Figura 2-10 Níveis de maré (Gomes, 2017).	15
Figura 2-11 Efeito das forças gravitacionais sobre os astros (Carneiro, 2014).	16
Figura 2-12 Exemplo de praia com cúspides (Abercrombie, 2009).	19
Figura 2-13 Exemplo da ação dos esporões na acumulação de areia proveniente da deriva litoral (Gomes, 1991).	21
Figura 2-14 Esporão sul da Praia de Ofir, Esposende (Marinho, 2015).	22
Figura 2-15 Aspeto da linha de costa com um campo de esporões (Lima, 2011).	22
Figura 2-16 - Obra longitudinal aderente da Vagueira (Sancho, 2012).	24
Figura 2-17 Exemplo de quebra-mar destacado ligado à costa (Jornal, 2018).	25
Figura 2-18 Formação de tómbolo num quebra-mar destacado e comportamento de um conjunto de quebra-mares (Basco, 2006).	25
Figura 2-19 Alimentação artificial da Praia Nova em Lagoa (Informação, 2014).	27
Figura 2-20 Exemplo de rotura dos geossintéticos, praia de Ofir.	29
Figura 2-21 Exemplo de rotura dos geossintéticos, praia de Ofir.	30
Figura 2-22 Típico Cilindro de geossintéticos (Smith, 2002).	31
Figura 2-23 Aplicação de cilindros geossintéticos, Praia de Esmoriz (Gomes, 2017)... ..	32
Figura 2-24 Sensor de pressão TWR-2050 (Ltd, 2008).	36
Figura 2-25 Exportação dos dados recolhidos pela sonda TWR-2050.	37
Figura 2-26 Sensor de Pressão AWAC (Ribeiro, 2014).	38
Figura 2-27 Equipamento Trimble Geo XR.	41
Figura 2-28 Utilização de bastão topográfico e antena externa.	42
Figura 2-29 Recetor Trimble Geo XR.	43
Figura 3-1 Localização da praia de Ofir.	47

Figura 3-2 Configuração da sonda (data inicio e data de fim).	48
Figura 3-3 Configuração da sonda (período de registo).	48
Figura 3-4 Configuração da sonda (altura sonda e altura média da maré).	49
Figura 3-5 Estrutura de suporte à sonda TWR-2050.	50
Figura 3-6 Estrutura de suporte com sonda instalados a sotamar do esporão sul da praia de Ofir.	50
Figura 3-7 Colocação de corda de amarração da estrutura ao esporão.	51
Figura 3-8 Material têxtil (presente no esporão) que serviu de amarração da extremidade da corda.	52
Figura 3-9 Sensor envolvido por abraçadeira de plástico e com fita isoladora.	52
Figura 3-10 Exportação dos dados do Ruskin.	54
Figura 3-11 Conversão dos gráficos do <i>software</i> em PDF.	54
Figura 3-12 Aspeto final do gráfico apos conversão para PDF.	55
Figura 3-13 Grelha do modelo hidrodinâmico da praia de Ofir gerada pelo Delft3D-RGFGRID.	57
Figura 3-14 Batimetria do modelo.	57
Figura 3-15 Pormenor da grelha na área em estudo e pontos de observação.	58
Figura 3-16 Definição do período de simulação no Delft3D Flow.	59
Figura 3-17 Definição do intervalo de registo de resultados simulados no Delft3D Flow.	60
Figura 3-18 Definição dos pontos de observação no Delft3D Flow.	61
Figura 3-19 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.	62
Figura 3-20 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.	62
Figura 3-21 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.	63
Figura 3-22 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.	63
Figura 3-23 Previsão de maré para o Porto de Leixões de 15 em 15 min, no período de monitorização (tempo em horas e agitação em metros).	66
Figura 3-24 Levantamentos DGPS, dia 1 de Maio 2018.	67
Figura 3-25 Levantamentos DGPS, dia 28 de Maio 2018.	67
Figura 3-26 Levantamento topográfico na praia de Ofir, recorrendo ao equipamento DGPS, campanha do dia 1 de Maio de 2018.	68
Figura 3-27 Localização de perfis transversais de Gomes (2017).	69
Figura 4-1 Resultados de medição da altura significativa da agitação.	72
Figura 4-2 Resultados de medição da altura máxima da agitação.	72

Figura 4-3 Resultados de altura média da agitação.	73
Figura 4-4 Resultados de medição da energia da agitação.	73
Figura 4-5 Resultados de medição da profundidade local.	74
Figura 4-6 Distância entre o topo da estrutura e o sensor da sonda TWR-2050.	75
Figura 4-7 Resultados da elevação da superfície livre referida ao nível médio do mar.	75
Figura 4-8 Resultados de medição da inclinação de maré.	76
Figura 4-9 Resultados de medição da temperatura.	76
Figura 4-10 Resultados de medição da pressão.	77
Figura 4-11 Altura significativa e altura máxima da agitação.	77
Figura 4-12 Registo da boia do observatório Oceanográfico da Margem Ibérica: Altura significativa e Altura máxima de onda.	78
Figura 4-13 Registo da boia do Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica: período médio.	78
Figura 4-14 Condições de fronteira do modelo do Delft3D simulação 1.	79
Figura 4-15 Condições de fronteira do modelo do Delft3D simulação 2.	80
Figura 4-16 Condições de fronteira do modelo do Delft3D simulação 3.	80
Figura 4-17 Comparação dos resultados obtidos pelo Delft3D e pela sonda TWR-2050 para a altura significativa.	81
Figura 4-18 Comparação dos resultados obtidos pelo Delft3D e pela sonda TWR-2050 para a elevação da superfície livre.	82
Figura 4-19 Correção dos valores medidos pelo sensor TWR-2050.	83
Figura 4-20 Previsões de maré do Instituto Hidrográfico.	85
Figura 4-21 Local de instalação do sensor TWR-2050.	86
Figura 4-22 Instalação do sensor TWR-2050 e espraiamento.	86
Figura 4-23 Refluxo e erosão no local de instalação da estrutura de suporte da sonda.	87
Figura 4-24 Condições de fronteira.	88
Figura 4-25 Resultados relativos à altura significativa da agitação simulados com o Delft3D, campanha do dia 7 de Novembro de 2018.	88
Figura 4-26 Resultados relativos à profundidade simulados com o Delft3D, campanha dia 7 de Novembro de 2018.	89
Figura 4-27 Resultados relativos à elevação da superfície livre simulados com o Delft3D, campanha dia 7 de Novembro de 2018.	89
Figura 4-28 Localização dos perfis transversais.	90
Figura 4-29 Comparação do perfil 1.	91

Figura 4-30 Comparação do perfil 2.	91
Figura 4-31 Comparação do perfil 3.	92
Figura 4-32 Comparação do perfil 4.	92
Figura 4-33 Comparação do perfil 5.	93
Figura 4-34 Comparação do perfil 6.	93
Figura 7-1 Resultados relativos à altura significativa de onda extraídos do Delft3D, simulação 1.	101
Figura 7-2 Resultados relativos à profundida extraídos do Delft3D, simulação 1.	101
Figura 7-3 Resultados relativos à elevação da superfície livre do Delft3D, simulação 1.	102
Figura 7-4 Resultados relativos à altura significativa de onda extraídos do Delft3D, simulação 2.	102
Figura 7-5 Resultados relativos à profundida extraídos do Delft3D, simulação 2.	103
Figura 7-6 Resultados relativos à elevação da superfície livre obtidos no Delft3D, simulação 2.	103
Figura 7-7 Resultados relativos à altura significativa de onda extraídos do Delft3D, simulação 3.	104
Figura 7-8 Resultados relativos à profundida extraídos do Delft3D, simulação 3.	104
Figura 7-9 Resultados relativos à elevação da superfície livre obtidos no Delft3D, simulação 3.	105

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das ondas capilares e gravitacionais (Carneiro, 2014).....	14
Tabela 2 - Especificações técnicas dos sensores AWAC (Ribeiro, 2014).	39
Tabela 3 - Parâmetros Delft3D campanha 1 de Maio de 2018.....	64
Tabela 4 - Valores mínimos, máximos, médios, amplitude e desvio padrão dos parametros obtidos pelo Delft3D e TWR-2050.....	84

1 INTRODUÇÃO

1.1 Enquadramento temático

O litoral, uma importante faixa do território português, evidência de forma acentuada a necessidade da sua preservação, não somente pelos seus valores geológicos, naturais e paisagísticos de elevado relevo, mas também pela presença de três quartos da população portuguesa neste território, contribuindo assim para oitenta e cinco por cento do Produto Interno Bruto (PIB) nacional (RRRAA, 2017).

De acordo com Machado (2008), citado por Carneiro (2014), é também nesta zona que se concentra grande parte das unidades industriais devido à disponibilidade hídrica, à facilidade de transportes (melhores vias rodoviárias, acesso a portos de escoamento de produtos e de entrada de matérias primas) e à proximidade aos maiores centros económicos.

Atualmente, o litoral centraliza uma ampla atividade e um conseqüente aumento da procura desta região para diversas aplicações e ocupações. É, assim, do maior interesse o desenvolvimento de medidas representativas que alavanquem a proficuidade das potencialidades da zona em questão, nomeadamente com recurso a ações de reconhecimento do seu património socioeconómico, proteção dos seus ecossistemas e bens naturais, sustentando, deste modo, a melhoria da qualidade de vida das populações. Com a sua extensão apreciável e ocupação antrópica, o litoral nacional enfrenta ameaças profundas de fenómenos como a erosão costeira, galgamento/inundação, inconstância das arribas e movimentos de massa de vertente. Torna-se, assim, premente estudar e desenvolver soluções adequadas para a mitigação destes problemas, procurando reverta-se esta situação, preferencialmente através de metodologias sustentáveis e de longo prazo (RRRAA, 2017).

A orla costeira em Portugal (sistema praia-duna) é caracterizada pela sua dinâmica intensa que é induzida por agentes naturais, entre eles o vento, a agitação marítima e as marés. São estes fatores ambientais que originam as correntes costeiras que por sua vez juntamente com o vento induzem o transporte sedimentar em costas arenosas ou de seixos responsáveis por diferentes padrões morfodinâmicos. De facto, diferentes estados

de agitação e tipologia de marés determinam o movimento de sedimentos sendo por isso crucial a caracterização da hidrodinâmica da orla costeira (Gomes, 2017).

Em suma, segundo Gomes (2017), para uma correta avaliação de riscos e impactos negativos na morfologia da praia, é fulcral uma monitorização regular, que avalie tendências morfodinâmicas evolutivas e permita identificar zonas de menor ou maior risco de erosão, bem como as causas que a determinam, possibilitando, desta forma, a previsão de cenários futuros.

Para tal ser possível, será imprescindível recorrer a levantamentos de praias, a análise de fotografias aéreas, observações *in situ*, recolha de amostras de sedimentos e ainda recolher dados de agitação marinha através, por exemplo, de sensores de pressão.

A presente dissertação será desenvolvida como continuidade de um trabalho anterior Gomes (2017) na praia de Ofir. O trabalho será centrado na observação do mesmo segmento de praia e será realizado o registo da sua evolução morfológica para diferentes estados de agitação que serão caracterizados com base numa sonda de pressão. Os resultados de campo serão complementados por resultados de modelação dos eventos monitorizados. Serão utilizados nos trabalhos de campo os seguintes equipamentos/tecnologias:

- Sistema de levantamento topográfico GPS Diferencial Trimble Geo XR (*DGPS - Differential Global Positioning System*);
- Sensor TWR-2050 (RBR) - Tide & Wave Recorders;
- *Software* Arcgis e Quantum Gis;
- *Software* XBeach/SWAN.

1.2 Objetivos

Os processos físicos responsáveis pela morfologia e hidrodinâmica de praias apresentam uma elevada complexidade, sendo a sua simulação possível, embora com muitas simplificações. A morfodinâmica depende da agitação atuante, da batimetria inicial, do vento, das marés e das características dos sedimentos constituintes da praia. A validação dos resultados de simulações depende da obtenção de dados de campo fidedignos. Assim, o principal objetivo desta dissertação é contribuir para a obtenção de

registos de estados morfológicos de um segmento de praia através de levantamentos sucessivos em simultâneo com o registo da agitação.

Identificam-se dois objetivos específicos principais:

- Caracterização de estados de agitação marinha e processos de propagação da agitação na praia de Ofir;
- Realização de levantamentos topográficos com a finalidade de reconhecer alterações morfológicas de curto termo e comparação com resultados de simulação com *software* de modelação morfodinâmica.

1.3 Conteúdo da dissertação

A presente dissertação apresenta e desenvolve os diversos temas em cinco capítulos, nos quais são abordados os seguintes assuntos:

- Capítulo 1 – Introdução - No primeiro capítulo realiza-se a introdução ao tema, enumeram-se os objetivos preconizados e a metodologia adotada para a dissertação;
- Capítulo 2 – Estado da Arte - O Estado da Arte é uma das partes mais importantes que envolve todo trabalho científico, uma vez que faz referência ao que já se tem descoberto sobre o assunto pesquisado, auxiliando na melhoria e desenvolvimento de novos conceitos e paradigmas. Sendo que na presente dissertação dar-se-á ênfase a todos os conceitos que estejam interligados com a morfologia de uma praia e com a agitação marítima;
- Capítulo 3 – Caso de estudo e metodologias utilizadas – Neste capítulo são descritas meticulosamente todas as metodologias, equipamentos e *software* empregues no caso em estudo, para além da descrição da abordagem feita no trabalho de campo;
- Capítulo 4 – Análise de resultados – Neste capítulo são apresentados detalhadamente todos os resultados extraídos dos trabalhos realizados, que posteriormente, são discutidos e analisados;
- Capítulo 5 – Considerações finais e perspetivas futuras – Para finalizar, o último capítulo apresenta as perspetivas futuras, conclusões e pistas para ações a desenvolver no domínio do trabalho desenvolvido.

2 ESTADO DA ARTE

2.1 Morfodinâmica de praias

2.1.1 Generalidades

A morfodinâmica de praias arenosas e oceânicas é condicionada em função de parâmetros oceanográficos como as ondas, marés, correntes marinhas, tipologia dos sedimentos e também por parâmetros meteorológicos como ventos, chuvas, tempestades, entre outros (Silva, 2014).

Segundo cita Gomes (2017), Wright e Short (1984) a hidrodinâmica verificada ao longo de uma praia arenosa e oceânica gera movimentos da água que por sua vez exercem atrito sobre os sedimentos móveis da praia, causando gradientes espaciais e temporais no seu transporte.

A mesma hidrodinâmica é responsável por dois fenômenos que se dão ao longo do ano e que são de certa forma opostos. Tratam-se de dois processos de movimento das areias que alteram por completo a morfologia da praia, um é o processo de acumulação, onde se aglomeram os sedimentos e o outro é o processo de erosão, responsável pela perda de sedimentos da praia (este último, com um intuito mais destrutivo). Quando existe um equilíbrio entre estes dois processos, encontramos-nos perante um balanço sedimentar nulo (Neto, 2014). A erosão costeira sempre existiu, bem como os fenômenos que a originam e os fenômenos opostos de acreção (Neves, 2003), no entanto, hoje, mais do que nunca o balanço entre a erosão e a acreção costeira está longe de ser nulo.

O agravamento do balanço sedimentar é influenciado pelo vento, marés, agitação. Todavia, as variações morfológicas não decorrem só de fatores naturais, existindo também uma componente antrópica resultante da ação humana, que está na base da rápida degradação que se tem vindo a assistir nas zonas costeiras. Como prova disso são as alterações induzidas pela ocupação destas zonas e consequente destruição de sistemas naturais, o esgotamento das fontes sedimentares devido à extração de areias para a construção, a construção de estruturas marítimas que alteram o processo natural de transporte de sedimentos, e, inevitavelmente, a atual subida do nível das águas do mar,

sendo que a conjugação destes fatores é certamente a origem do elevado déficit sedimentar registado (Gomes, 2017).

2.1.2 Agentes hidrodinâmicos impulsionadores de alterações morfodinâmicas

2.1.2.1 Ondas

As ondas definem-se como perturbações de tipo oscilatório que se propagam através de um meio, realizando assim a transferência de energia. Essa energia é transmitida ao oceano e lagos, por ação dos ventos, pelas forças astronómicas, no caso das marés, e por processos que provocam modificações bruscas no fundo marinho, como são exemplo os terremotos e maremotos (Gomes, 2017).

Segundo cita Carneira (2014), Silva (2008) as ondas de superfície oceânicas são geradas pelo vento através das forças de pressão e atrito que perturbam o equilíbrio da superfície do oceano. Estas ondas dependem da intensidade do vento, do intervalo de tempo em que ele atua e se mantém e da extensão da superfície livre sobre a qual o vento sopra sem obstruções.

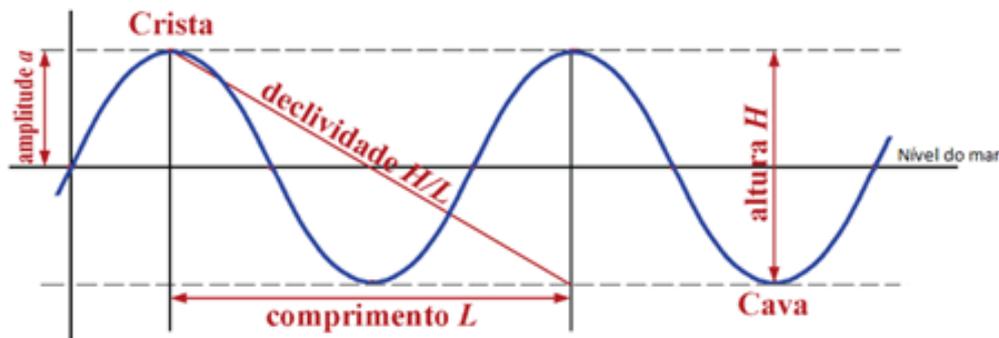


Figura 2-1 - Características das ondas (Pinto, 2007).

Na figura 2-1 são apresentadas características de ondas sinusoidais, sendo que uma onda ideal apresenta pontos mais elevados denominados de cristas e pontos menos elevados apelidadas de cavas. A diferença vertical entre uma crista e uma cava adjacente é a altura da onda. O comprimento de onda define-se como a distância horizontal entre dois pontos homólogos consecutivos e a relação entre comprimento e altura chama-se declive da onda. A amplitude representa a distância vertical medida a partir do nível

médio das águas do mar, até à crista adjacente. Por fim, o período representa o intervalo de tempo, em segundos, que decorre entre a passagem de duas cristas ou duas cavas sucessivas por um dado ponto fixo sendo que a velocidade de propagação é a velocidade com que uma onda passa por um ponto estacionário (Gomes, 2017).

2.1.2.1.1 Transformação de ondas

As ondas, geradas sobretudo pelo vento, propagam-se para o litoral através da plataforma continental. À medida que uma onda oceânica se propaga em direção à costa, a profundidade vai diminuindo, havendo modificação na forma da onda à superfície, na velocidade orbital, na aceleração orbital e a dinâmica das ondas vai-se tornando progressivamente não linear e dissipativa. Durante a propagação das ondas, o perfil destas altera-se relativamente aos dois eixos, horizontal e vertical, pois a superfície livre vai-se tornando pontiaguda sobre a crista da onda, mais larga na cava e relativamente íngreme na face onde rebenta (Santos, 2012).

Desde a sua formação em oceano aberto à sua rebentação juntos à costa verificam-se cinco fenómenos principais que modificam as características das ondas. São eles, a refração, a difração, o empolamento, a reflexão e a rebentação.

A reflexão é um fenómeno bastante comum em praias com forte presença de superfícies rígidas tais como esporões ou quebra-mares destacados, e consiste na inversão da direção de propagação dos raios de onda aquando do seu encontro com estas estruturas rígidas (Gomes, 2017).

Em relação à refração, esta acontece quando há uma alteração da altura e direção da onda por modificação da batimetria do fundo. Desta forma, à medida que as ondas se aproximam da costa as ondas são influenciadas pela configuração batimétrica do fundo oceânico forçando a crista da onda a alinhar-se com a linha de costa (Silva, 2009).

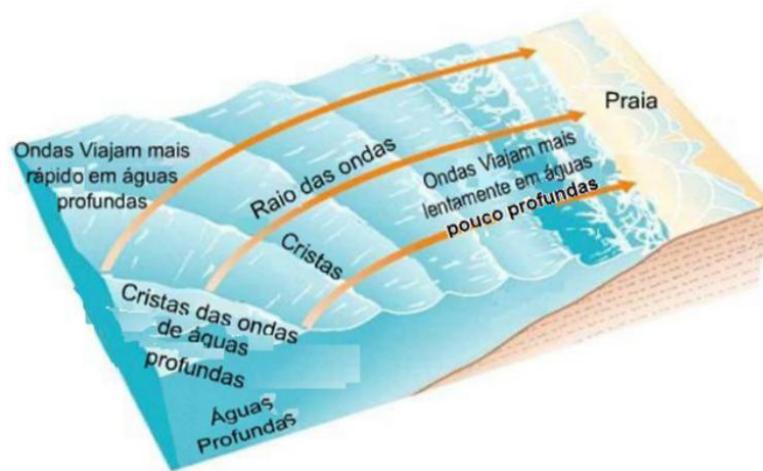


Figura 2-2 Refração de onda (Silva, 2009).

A difração é um fenómeno de transmissão lateral de energia, associado a variações súbitas das condições de propagação da onda provocadas por obstáculos (ilhas, quebra-mares, recifes) ou mesmo devido à configuração batimétrica da zona. Nesta situação a energia espalha-se lateralmente e perpendicularmente à direção dominante da propagação da onda (Silva, 2009). Permite que a ondulação penetre em portos, por detrás de barreiras ou que contorne obstáculos, dando-se um encurvamento das ondas (Gomes, 2017).

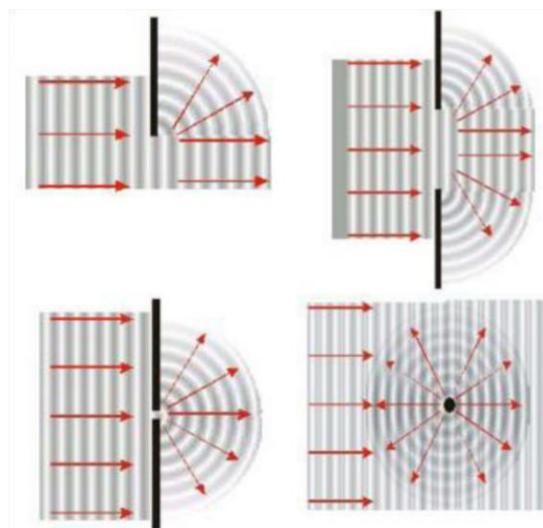


Figura 2-3 Difração de onda (Silva, 2009).

A diminuição da velocidade da onda e o decréscimo no comprimento de onda devido à diminuição da profundidade provocam um aumento da energia da onda, expresso fisicamente através do aumento da altura da onda (Silva, 2009). De uma forma mais simplista, o empolamento consiste no aumento progressivo da altura da onda resultante

de uma diminuição da profundidade, sendo que, ligeiramente antes da rebentação a onda atinge a sua altura máxima (Gomes, 2017).

Finalmente, a rebentação resulta da instabilidade da crista da onda, dando origem à sua queda que ocorre devido à rápida diminuição da profundidade quando a sua declividade atinge o valor limite. A uma profundidade muito baixa, a diferença de velocidade entre a crista da onda e a cava da onda é significativa e aumenta constantemente, de maneira a que a crista avance sobre a cava e, conseqüentemente, a onda rebenta pela falta de sustentação (Gomes, 2017).



Figura 2-4 Empolamento e rebentação de onda (Silva, 2009).

2.1.2.1.2 Tipos de rebentação

De uma forma bastante simplista, a modificação da forma das ondas, que deriva da alteração das componentes harmónicas relativamente às que continha inicialmente, conduz à sua rebentação das ondas, Carneiro (2014) citando Abreu (2006).

Geralmente, as ondas quebram em ambientes de muito pouca profundidade quando atingem uma profundidade equivalente a 1.3 vezes a sua altura, sendo que isto não invalida que a rebentação se dê apenas e só em águas pouco profundas. A prova disso são as ondas geradas num meio aquático com a passagem de uma embarcação. As ondas que se propagam na retaguarda do objeto começam a aproximar-se e a distância entre elas diminui. Neste caso as ondas quebram quando a razão entre a sua altura e o seu comprimento ultrapassa 1/7 (Silva, 2014).

A rebentação das ondas em águas pouco profundas não ocorre sempre da mesma forma, dependendo essencialmente do declive da praia, da altura, do comprimento da onda e do período de onda, sendo que a rebentação pode ocorrer de quatro formas distintas (Gomes, 2017).

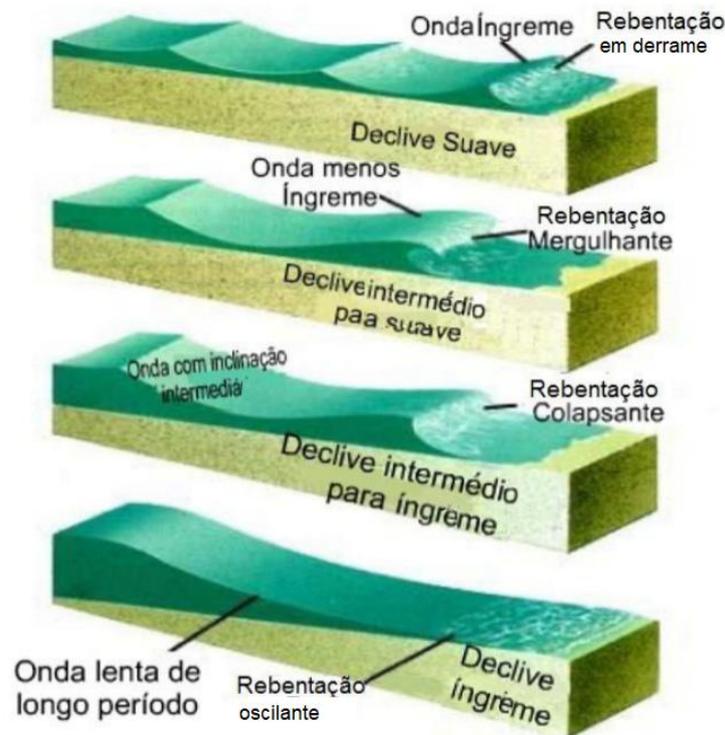


Figura 2-5 - Diferentes formas de rebentação de ondas (Silva, 2009).

Rebentação em derrame: A onda começa a quebrar de um modo suave a uma distância relativamente grande da linha de costa, formando um longo rasto de espuma. Ocorre normalmente quando o declive da praia é reduzido e/ou a declividade da onda é acentuado (Gomes, 2017).

Rebentação mergulhante: Ocorre em praias com declive moderado a alto. A onda empola abruptamente, ao aproximar-se da costa, e quebra violentamente, formando um tubo e dissipando a sua energia sobre uma pequena porção do perfil, através de um turbilhão de alta turbulência (Silva, 2009).

Rebentação colapsante: É um tipo intermédio entre as rebentações mergulhante e oscilante em que a crista da onda não chega a rebentar por completo, embora a face da onda se torne progressivamente mais inclinada, acabando por colapsar com grande

produção de espuma. Ocorre normalmente quando o declive da praia é acentuado e/ou a declividade da onda é relativamente pequeno, no entanto, a distância percorrida por este tipo de rebentação é pequena (Gomes, 2017).

Rebentação oscilante: Este tipo de rebentação dá-se muito próximo da costa em praias de declive muito acentuado e/ou com pequena declividade da onda, em que a crista da onda não chega propriamente a rebentar, ascendendo sobre a face da praia e interagindo com o refluxo das ondas anteriores. Verifica-se apenas forte deformação, traduzindo-se principalmente numa grande oscilação do nível da água (Gomes, 2017).

2.1.2.2 Correntes e agitação marítima

As correntes marítimas são responsáveis pelo transporte sedimentar em suspensão, arrastando-os sobre o fundo. Os sedimentos são continuamente removidos ou depositados, dando assim origem à erosão ou à acreção sedimentar. Todavia estes fenómenos são dependentes do padrão de correntes locais, induzidas por diferentes ações como vento, agitação entre outros (Gomes, 2017).

As principais correntes geradas na linha de surf são as correntes longitudinais e as correntes de retorno. As correntes longitudinais são aquelas que se movem paralelamente à costa, e são responsáveis por um maior transporte sedimentar (Silva, 2009).

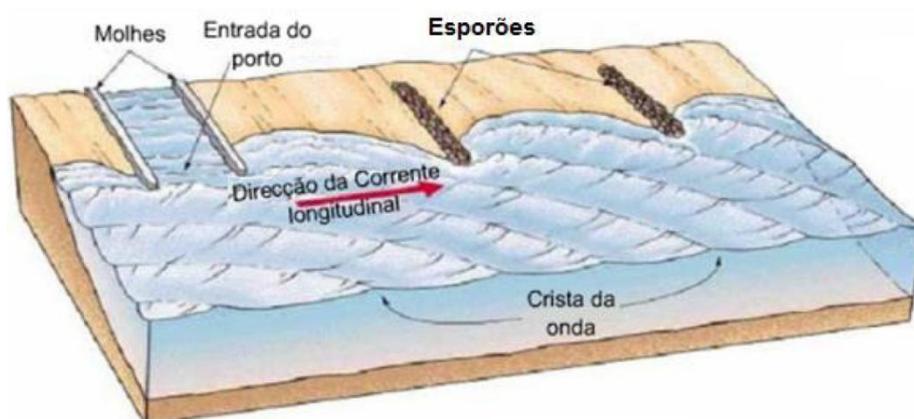


Figura 2-6 Correntes longitudinais à linha de costa (Silva, 2009).

Por sua vez, as correntes de retorno são correntes localizadas, geradas perpendicularmente ao longo da costa e que fluem da terra para o mar por ação das condições de agitação e da batimetria do fundo, criando uma “abertura” na zona de

rebentação. Estas correntes podem aparecer junto de molhes, afloramentos rochosos ou ao longo das praias e são considerados bastante perigosos motivando algumas precauções extra a banhistas (Gomes, 2017).



Figura 2-7 Corrente de retorno (RUMAR, 2018).

2.1.2.2.1 Caracterização da agitação marítima

Como já foi referido anteriormente, as ondas podem ser caracterizadas geometricamente em termos da sua altura (H), comprimento (L) e profundidade da água (d) no meio em que se propagam. A partir destes três parâmetros geométricos é possível obter outros parâmetros que resultam do seu quociente. A declividade de onda resulta da divisão entre a altura e o comprimento de onda (H/L), a altura relativa de onda resulta da divisão entre a altura de onda e a profundidade (H/d) e, por último, a profundidade relativa de onda resulta da divisão entre a profundidade e o comprimento de onda (d/L). A amplitude de onda (A) resulta da divisão da altura (H) por dois. Já o período das ondas (T) é definido pelo intervalo de tempo entre a passagem de cristas sucessivas num ponto fixo e o seu inverso resulta na frequência (f). Estes fatores são usados para definir características de movimentos ondulatórios, sendo que quando a profundidade relativa de onda é superior a 0.5 metros é considerado que se está perante um meio de propagação de águas profundas. Por sua vez quando este parâmetro está compreendido entre 0.1 e 0.5 consideram-se um regime de águas de transição. E, finalmente, quando a profundidade relativa é inferior a 0.1 metros, as águas são denominadas de pouco profundas (Carneiro, 2014).

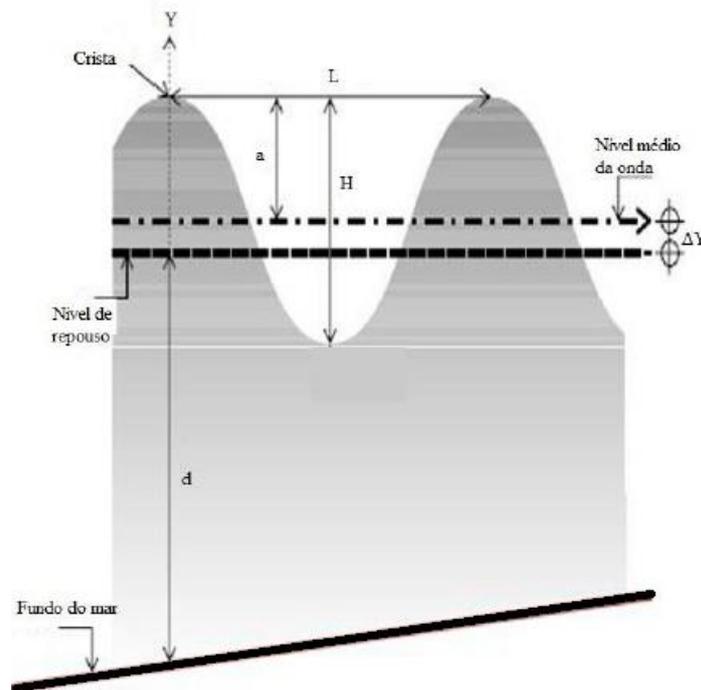


Figura 2-8 Características da onda (Carneiro, 2014).

Na figura seguinte, apresenta-se a classificação de uma zona em análise em relação à sua profundidade.

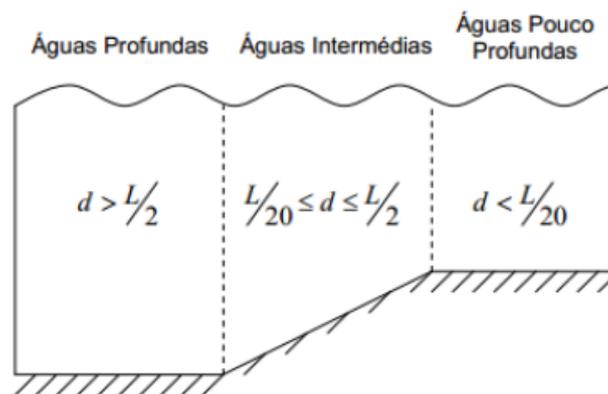


Figura 2-9 Diferentes tipos de profundidade (Carneiro, 2014).

2.1.2.2.2 Regimes de agitação marítima

Os regimes de agitação distinguem-se em “sea” e “swell”. Em relação ao regime “Swell”, este caracteriza-se por apresentar as cristas mais longas, com aparência senoidal e, na sua generalidade formam-se por ventos distantes do local da onda observada,

podendo propagar-se a milhares de quilómetros de distância. Por sua vez, o regime “sea” é caracterizado por apresentar um fenómeno de sobreposição de várias ondas provocando ondas com cristas pequenas. Este fenómeno dá-se quando a ação do vento se torna mais constante (Carneiro, 2014).

O regime de agitação pode ainda ser caracterizado em função do período de onda tal como apresenta a tabela seguinte.

Tabela 1 - Características das ondas capilares e gravitacionais (Carneiro, 2014).

	Onda	Período	λ	Tipo de Onda*	Forçante
G r a v i d a d e	Capilar	< 0,1 s	< 2 cm	profunda - rasa	ventos locais
	Chop	1-10 s	1-10 m	profunda- rasa	vento locais
	Swell	10-30 s	> dezenas m	profunda- rasa	tempestades distantes
	Seiche	10 min- 10 h	> dezenas Km	rasa- intermediária	vento, ressonância de maré
	Tsumani	10-60 min	> dezenas Km	rasa-intermediária	distúrbio submarinos
	Marés	12,4-24,8 h	centenas de Km	rasa	Astronômica

2.1.2.3 Maré

Em termos gerais, todos os astros, e em particular os do nosso sistema solar, exercem influência sobre as águas do mar, mais concretamente sobre a tipologia de maré. Todavia, as marés resultam substancialmente da ação das forças astronómicas devido à atração gravitacional entre a Terra e a Lua e entre a Terra e o Sol, no entanto, este último dá-se de forma menos intensa (Gomes, 2017). Ou seja, a influência da Lua é muito superior, pois, embora a sua massa seja menor que a do Sol, esse facto é compensado por ser o objeto astronómico relevante mais próximo da Terra (Carneiro, 2014). Sendo que estes os astros (Lua e Sol), de uma forma dominante, atraem todos os corpos situados sobre a Terra, provocando deformações gravíticas na superfície terrestre, principalmente nas superfícies hídricas devido à baixa viscosidade da água (Gomes, 2017).

O movimento de rotação da Terra, associada à força centrífuga, também apresenta uma resultante bastante relevante nesta matéria, já que são as variações das posições respetivas do Sol e da Lua, em relação à Terra, que comandam o ciclo das marés. Esta força influencia o ciclo das marés introduzindo subidas e descidas periódicas do nível

das águas cuja, amplitude e periodicidade é influenciada por fatores locais (Gomes, 2017).

Sempre que a Lua passa pelo meridiano de determinado lugar na Terra ocorre a preia-mar nesse local, no entanto, esta só se faz sentir um pouco mais tarde devido ao efeito de inércia e de atrito da água nas bacias. Por sua vez, sempre que a Lua nasce ou se põe, relativamente a esse mesmo lugar, dá-se a baixa-mar. Como tal, é espetável que em cada momento haja sempre duas marés altas na Terra. A maré direta, no lado voltado para a Lua, e a maré indireta no lado diametralmente oposto (Silva, 2014).

Normalmente, num dia ocorrem duas preias-mar e duas baixas-mar. As preias-mar sucedem-se regularmente com um intervalo médio de meio-dia lunar, ou seja, aproximadamente 12 horas e 25 minutos. Por sua vez, o intervalo de tempo entre uma preia-mar e a baixa-mar seguinte é, em média, 6 horas e 13 minutos. No entanto, como já foi referido, o mar não reage instantaneamente à passagem da Lua, havendo, para cada local, um atraso maior ou menor das preia-mares e baixa-mares (Gomes, 2017).

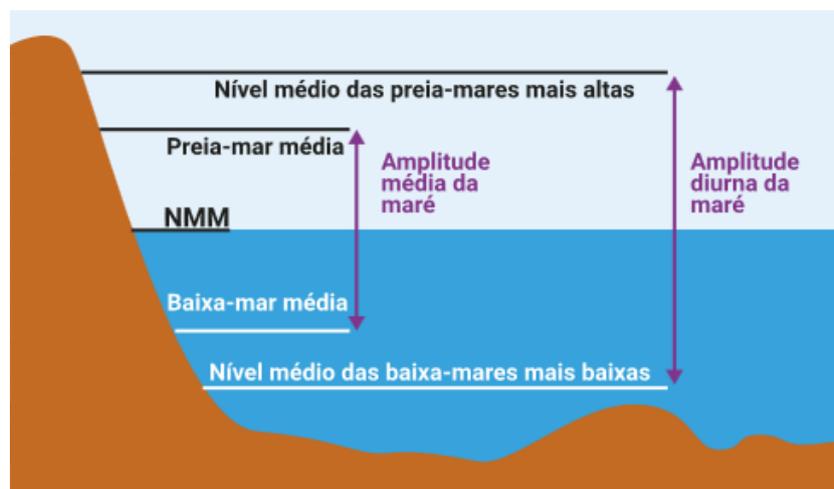


Figura 2-10 Níveis de maré (Gomes, 2017).

As grandes marés ou marés vivas são aquelas cuja amplitude é a maior do ciclo lunar. O ciclo tem 28 dias, e correspondem ao momento de conjunção ou de oposição das atrações solar e lunar. Isso acontece quando a Lua, o Sol e a Terra se encontram alinhados. Nestes momentos particulares, as forças de atração do Sol e da Lua adicionam-se como é possível constatar na figura seguinte. Esta posição particular denomina-se sizígia e dá-se em situações de Lua Cheia e de Lua Nova, apresentando

uma amplitude da maré maior (Silva, 2014). Quando a Lua e o Sol estão em quadratura relativamente à Terra, ocorre o Quarto Crescente ou Quarto Minguante. Nestes casos, as marés têm posições ortogonais, provocando uma distribuição mais equilibrada das águas oceânicas pela superfície terrestre, o que resulta em marés de mínima amplitude, designadas por marés mortas ou de quadratura (Gomes, 2017).

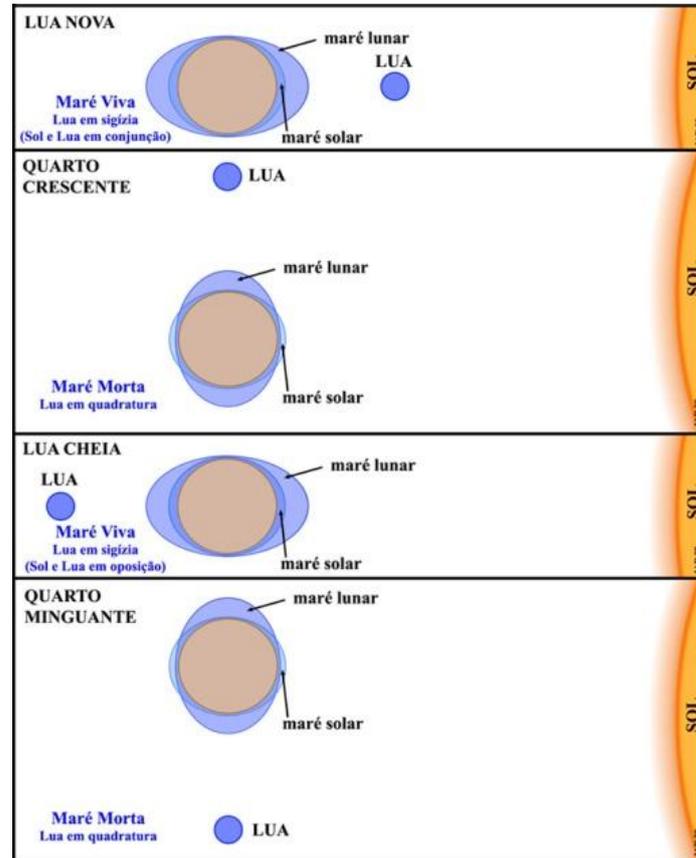


Figura 2-11 Efeito das forças gravitacionais sobre os astros (Carneiro, 2014).

2.1.3 Morfologia de praias arenosa

A praia define-se como um ambiente sedimentar costeiro de composição variada, formada na grande maioria por areia, e condicionado pela interação dos sistemas de ondas incidentes sobre a costa. De uma forma simplista, a dimensão física da praia limita-se ao trecho onde as ondas vindas de mar aberto “sentem o fundo” próximo à costa, até à linha de vegetação permanente, ou seja, onde as maiores ondas em dias de tempestade podem chegar.

As praias são ambientes bastante variáveis no tempo e espaço, sendo por isso importante fazer a distinção das suas principais zonas.

- **Zona de rebentação:** Como já foi referido no capítulo referente à rebentação, a aproximação de águas progressivamente mais rasas, as ondas incidentes tendem a diminuir a sua velocidade e ganhar altura, até que a velocidade na crista da onda excede a velocidade da própria onda e se concretiza a rebentação. A zona de rebentação caracteriza-se pela ocorrência deste processo de dissipação de energia (Faller, 2005);
- **Zona de surf:** A caracterização da zona de surf depende diretamente do modo como se dá a rebentação. Em praias de baixo declive, as ondas que inicialmente quebraram, espraiam-se ao longo da zona de surf em decaimento exponencial de altura, até atingir a linha de praia (Faller, 2005);
- **Zona de espraio:** A zona de espraio pode ser identificada como a região da praia delimitada entre a máxima e a mínima excursão das ondas sobre a face da praia. Os processos do espraio têm importância fundamental para a engenharia costeira, por representarem as condições de contorno do ambiente da praia e por determinarem os níveis máximos de atuação dos agentes hidrodinâmicos sobre a praia (Faller, 2005).

2.1.4 Estados de morfodinâmica de praias oceânicas

Dependendo da variabilidade do regime de ondas, da maré, do vento e das características dos sedimentos, uma praia pode variar amplamente de configuração em relação ao seu estado mais frequente. São estas variações de configuração em relação ao seu estado mais frequente que definem o estado morfodinâmico de praias, sendo que estes podem ser caracterizados por dois extremos, o dissipativo, o refletivo. O estado intermédio apresenta simultaneamente características dissipativas e refletivas.

O estado morfodinâmico dissipativo caracteriza praias emersas, com zona de surf de baixa declividade e bem larga, com sedimentos finos. Vulgarmente, em tais condições, as ondas rebentam longe da face da praia, diminuindo progressivamente a sua altura à medida que dissipam energia através da rebentação. A energia é transformada em "wave set-up" e em fluxos de corrente de retorno, que podem ocorrer devido a variações espaciais na altura da rebentação. As ondas estacionárias e infra gravitacionais estão

usualmente presentes neste tipo de estado morfodinâmico. Devido ao declive reduzido da face da praia, o nível atingido pela água após a rebentação (run-up) é baixo e o tipo de rebentação em derrame é bastante comum. Neste estado morfodinâmico, é frequente a presença de bancos longitudinais paralelos à praia e a reserva de areia encontra-se submersa (Gomes, 2017).

Por sua vez, o estado morfodinâmico refletivo é caracterizado por ter um perfil de praia e uma zona submersa adjacente de declive acentuado, o que praticamente elimina a zona de surf que é geralmente submetida a baixas energias de agitação. Para além disso, a berma é elevada, a praia apresenta sedimentos mais grosseiros e o depósito de areia na zona submersa é baixo e, como consequência, mesmo em condições de energia reduzida, há erosão na zona da praia emersa. A rebentação predominante neste estado é do tipo oscilante e mergulhante e, em oposição ao estado dissipativo, o espraiamento da onda na face da praia é máximo e o "wave set-up" é reduzido (Gomes, 2017).

Como foi referido anteriormente, o estado intermédio está ainda subdividido em quatro estados diferentes, o estado morfodinâmico com banco e canal longitudinal, estado morfodinâmico com barra e praia rítmicos, estado morfodinâmico com barra transversal e corrente de retorno e, por fim, o estado morfodinâmico com terraço de baixa-mar.

A conjugação dos quatro estados intermédios forma uma sequência cíclica de transferência sedimentar, da zona emersa para a zona submersa, durante as fases de elevada energia da agitação e, da zona submersa para a zona emersa, durante fases de menor energia da agitação (Gomes, 2017). De seguida serão detalhadamente descritas as principais particularidades das quatro derivações do estado intermédio, segundo Gomes (2017):

Banco com canal longitudinal e banco ou praia rítmica com cúspides: Estes dois estados podem desenvolver-se a partir de um perfil dissipativo acumulando sedimentos na parte emersa da praia. A face da praia é mais íngreme do que no perfil dissipativo. As ondas apresentam duas zonas de rebentação, uma antes do banco e outra após o canal. A face da praia mais íngreme apresenta, localmente, características refletivas. Quando a diferença entre a altura e o comprimento de onda (H/L) é alto, estas espraiam-se na face da praia, ao passo que ondas onde esta relação é baixa, sofrem colapso nas

proximidades da base da face da praia. É comum o desenvolvimento de cúspides na zona emersa.



Figura 2-12 Exemplo de praia com cúspides (Abercrombie, 2009).

Banco transversal e corrente de retorno: Visualmente caracterizado pela existência de cúspides dispostas transversalmente à praia e fortes correntes de retorno. Este tipo de morfodinâmica desenvolve-se, preferencialmente, em sequências de acumulação de sedimentos quando os bancos se juntam à face da praia. A morfologia resultante é uma alternância lateral entre bancos transversais à praia em forma de cúspides, com características dissipativas e zonas mais profundas com características refletivas. As correntes de retorno atingem maior desenvolvimento neste estado.

Terraço de baixa-mar: Caracterizado por ser o tipo de praia intermédia com o menor nível de energia onde a areia é fina. Apresenta uma face de praia com declive relativamente acentuado, à qual é unida, no nível de baixa-mar ou um pouco abaixo, a uma acumulação normalmente plana de areia, daí o nome “terraço de baixa-mar”. O terraço prolonga-se em direção ao mar continuando ligado à praia ao longo da costa e por ocasião da baixa-mar.

2.2 Estruturas de defesa costeira

As praias são bens extremamente valiosos para a economia e património ambiental de qualquer país, devido à variedade e condições naturais únicas que oferecem, pelo que devem ser protegidas e preservadas contra fenómenos de erosão que as podem alterar fragilizando-as sem retorno possível (Pinto, 2001).

Sendo que, no caso particular do litoral norte português, são inúmeros os casos de danos provocados por tempestades em costas pouco ou ineficientemente "defendidas". As sequelas destes fenómenos são dispendiosas de resolver, destruidoras e em grande maioria põe em causa a segurança de infraestruturas e da própria vida humana (Pinto, 2001).

A costa noroeste portuguesa é um dos exemplos, onde foi necessário recorrer a técnicas de engenharia costeira, devido à vulnerabilidade do litoral edificado, com o objetivo de retardar o processo de erosão da costa. Na maioria dos casos, utilizaram-se estruturas convencionais de defesa, onde são usados elementos como o betão e rocha. Tipologias tradicionais destas estruturas são por exemplo os esporões, estruturas longitudinais aderentes e os quebra-mares destacados (Gomes, 2017).

Enquanto as obras ditas perpendiculares à linha de costa têm como principal objetivo reter o transporte litoral, formando praias por depósito de areias ou aumentando as existentes, as obras paralelas à linha de costa são previstas para reduzir o efeito da energia das ondas (Marinho, 2013).

2.2.1 Esporões

Os esporões são estruturas de proteção costeira, geralmente posicionados em linha reta e perpendiculares à linha de costa, que têm como principal objetivo a retenção do transporte longitudinal de sedimentos, defendendo desta forma a erosão da costa.

A eficácia deste tipo de estruturas pode ser determinada associando-a à percentagem de sedimentos sólidos que fica retido a barlar dos esporões. Outra utilidade destas estruturas é o seu emprego para diminuir ou afastar fortes correntes de maré, além de poderem ser também utilizados para atenuar a reflexão das ondas (Gomes, 2017).

Devido à sua disposição transversal, os esporões interrompem o transporte sedimentar litoral, o que se traduz numa acumulação de sedimentos a barlar e, conferindo uma

defesa efetiva às construções aí existentes, como já foi referenciado. Em contrapartida, os esporões provocam erosão suplementar a sotamar, o que, normalmente, obriga à construção de outros esporões (Gomes, 2017). Os esporões podem ser empregues de forma isolada ou em conjunto, formando aquilo a que se designa por campo de esporões. Esta última solução é aplicada quando a zona de praia a proteger é extensa e a construção de um único esporão não é suficiente para defender toda a linha de costa (Marinho, 2013).

Na figura que se segue pode-se verificar a ação de um único esporão à esquerda e de um campo de esporões à direita na acumulação de sedimentos.

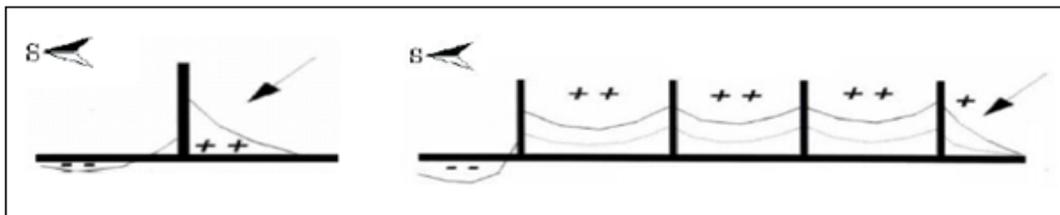


Figura 2-13 Exemplo da ação dos esporões na acumulação de areia proveniente da deriva litoral (Gomes, 1991).

Atualmente, os esporões são considerados as estruturas mais vulgarizadas de defesa costeira, devido aos impactos negativos que induzem a sotamar, bem como por razões estéticas paisagísticas. A sua construção é cada vez mais polémica, sendo preferível, com frequência, adotar outras técnicas de defesa ambientalmente menos agressivas (Gomes, 2017).

Na figura seguinte é possível observar o esporão sul da praia de Ofir, bem como o seu impacto em termos de erosão costeira a sotamar da estrutura.



Figura 2-14 Esporão sul da Praia de Ofir, Esposende (Marinho, 2015).

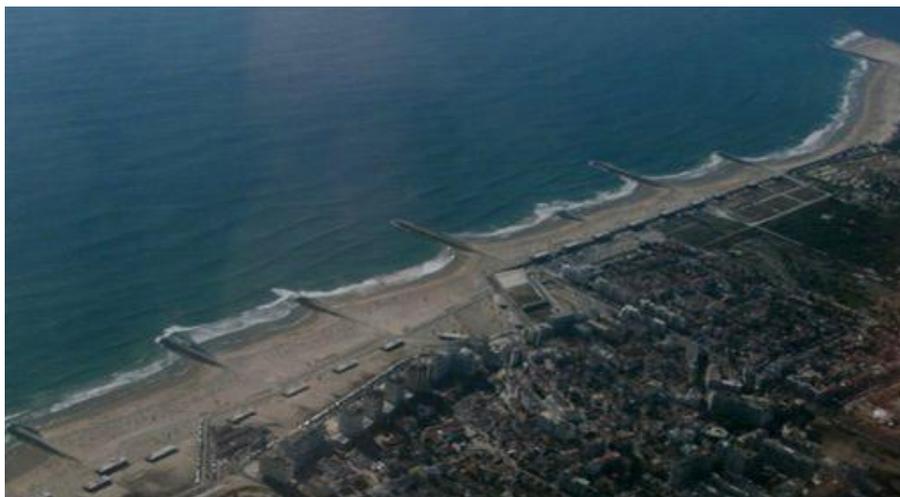


Figura 2-15 Aspeto da linha de costa com um campo de esporões (Lima, 2011).

2.2.2 Obras longitudinais aderentes

Segundo Pinto (2001), na situação em que as estruturas de proteção costeira se encontram sensivelmente paralelas à linha de costa aquelas são designadas por estruturas longitudinais. Estas podem ser aderentes ou destacadas relativamente à linha de costa, podendo, tal como nas estruturas transversais, ser utilizadas individualmente ou em conjunto, formando um campo de estruturas longitudinais aderentes.

As estruturas longitudinais aderentes, colocadas paralelamente à costa e ligadas a esta, de acordo com um determinado alinhamento, são geralmente utilizadas em situações de emergência em zonas seriamente atacadas pelo mar, tendo como função primordial a retenção e resistência à ação direta da agitação. Noutros casos são utilizadas para delimitar arruamentos ou aterros marginais, exercendo apenas função de retenção de solos. Na sua construção podem ser considerados paramentos verticais, inclinados, compostos, curvilíneos ou em degraus, conforme a sua função principal.

As obras longitudinais aderentes, colocadas paralelamente à costa e ligadas a esta, de acordo com um determinado alinhamento, podem desempenhar, consoante o fim a que se destinam, três funções distintas: resistir à ação direta da agitação, delimitar arruamentos e/ou aterros marginais, exercendo neste caso a função de retenção de solos, e evitar o galgamento e inundação das áreas adjacentes devido a ondas e tempestades.

Os perfis transversais destas estruturas longitudinais aderentes podem ser bastante diversificados, dependendo da função a que se destinam, sendo que as estruturas mais simples correspondem aos muros verticais. No sentido de introduzir elementos dissipativos da energia da onda, estas estruturas de proteção são inclinadas ou apresentam vários degraus e em situações que se pretende que a energia da onda incidente seja dissipada para o mar, a disposição do perfil deve ser côncava encurvada (Gomes, 2017).

A figura que se segue apresenta um exemplo de uma obra longitudinal aderente.



Figura 2-16 - Obra longitudinal aderente da Vagueira (Santos, 2012).

A grande desvantagem deste tipo de estruturas está associada às reflexões que resultam da incidência da agitação sobre as mesmas. Este tipo de obras originam um acentuado perfil na base da estrutura, tornando-a, assim, um alvo do impacto da agitação, podendo induzir efeitos erosivos na orla arenosa subjacente e nas zonas contíguas adjacentes (Gomes, 2017).

2.2.3 Obras longitudinais destacadas ou quebra-mares destacados

Os quebra-mares destacados numa fase inicial, ao contrário das obras longitudinais aderentes, estão desligados da linha de costa. Estas estruturas, para além de serem projetadas com o objetivo de proteger uma praia por efeito de abrigo relativamente à agitação, podem ainda ter outras funcionalidades, como a criação de uma zona calma para refúgio de pequenas embarcações ou deslocação da zona de deposição de areias da entrada de canais de navegação (Pinto, 2001). Podem ser submersos ou emersos, conforme a cota de coroamento se encontre abaixo do nível de baixa-mar ou não, respetivamente (Castanho, 1959).

A principal função deste tipo de estruturas consiste na redução da ação das ondas, através de fenómenos de difração, fazendo com que atinjam a zona costeira com menor intensidade, diminuindo assim a capacidade erosiva. Assim sendo, é gerada uma zona

abrigada no tardo da estrutura que favorece a acumulação de sedimentos transportados pelas correntes (Jensen, 2007), favorecendo, desta forma, a criação de bancos de areia, que podem evoluir para tómbolos e dependendo da distância a que o quebra-mar se encontra da costa, estes tómbolos podem ou não fazer a ligação da estrutura à linha de costa. Neste caso, o comportamento da estrutura passa a assemelhar-se ao comportamento dos esporões, fazendo a retenção dos sedimentos transportados longitudinalmente (Alfredini e Arasaki, 2009).



Figura 2-17 Exemplo de quebra-mar destacado ligado à costa (Lopes, 2018).

Os quebra-mares destacados podem funcionar individualmente ou em conjunto, sendo o seu comprimento e a distância que os separa dependem, essencialmente, da distância à linha de costa (Jensen, 2007).

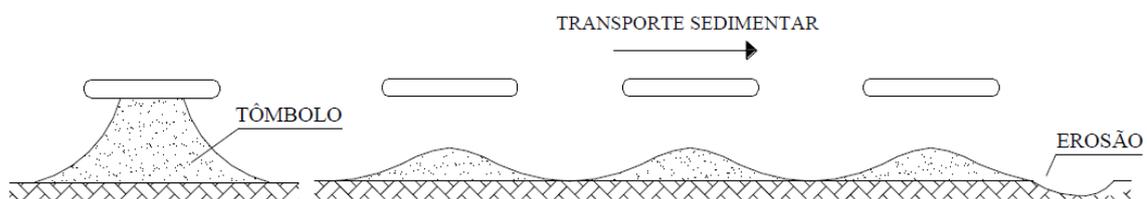


Figura 2-18 Formação de tómbolo num quebra-mar destacado e comportamento de um conjunto de quebra-mares (Basco, 2006).

O enrocamento é o material mais utilizado para a construção de quebra-mares destacados, uma vez que, a rugosidade e a porosidade destas estruturas conduzem a baixos valores de reflexão, sendo que a energia de ondas é eficazmente dissipada aquando do encontro com a estrutura. No entanto, a principal desvantagem deste tipo de solução reside na grande quantidade de material exigido para a construção das estruturas, traduzindo um elevado custo de obra, optando-se por vezes pela utilização de blocos pré-fabricados de betão (Pinto, 2001).

2.3 Soluções de defesa alternativas às convencionais

As soluções de defesa costeira apresentadas até este ponto, apesar de terem um período de vida útil elevado, são pouco económicas a nível de construção. Para além disso, para se garantir a eficiência da estrutura ao longo dos anos, é fulcral que seja sujeita a manutenção periódica, de maneira a evitar uma deterioração prematura. No entanto, como a manutenção acarreta custos elevados, é por vezes deixada para segundo plano. A ausência de auxílio periódico à estrutura pode resultar na perda da sua utilidade, e até em casos mais extremos, dar-se o colapso da mesma. A importância das estruturas costeiras é vital, existindo locais em que um hipotético colapso das mesmas poderia levar à exposição das edificações à ação direta ou indireta do mar. Como já foi concluído em capítulos anteriores, as estruturas mais tradicionais de defesa costeira acabam por não solucionar o problema da erosão como um todo, na medida que o transferem para uma zona adjacente (Jorge, 2010).

Em alternativa às soluções mais convencionais e por forma a combater, eficazmente, os problemas gerados pelos agentes erosivos, tem-se recorrido a estruturas “*soft*” tentando alterar a prática comum no que diz respeito à defesa costeira. Estas técnicas são denominadas de “*soft*”, uma vez que são em geral desenhadas a partir do conhecimento sobre processos costeiros naturais e utilizando materiais da própria praia a defender, como é o caso dos cilindros geossintéticos e da alimentação artificial (Gomes, 2017).

2.3.1 Alimentação artificial de praias

A utilização do processo de alimentação artificial de praias ocorre em intervenções de defesa costeira quando se pretende preservar, alargar ou formar praias e dunas (Pinto, 2001). Este tipo de intervenção consiste na colocação de grandes quantidades de areias

numa determinada praia. As areias podem ser retiradas do alto mar, ser dragadas de zonas portuárias ou canais de navegação, ou então retiradas de uma zona para alimentar outra (Gomes, 1991).



Figura 2-19 Alimentação artificial da Praia Nova em Lagoa (Rodrigues, 2014).

Em costas altamente energéticas, como é o caso da costa portuguesa, é necessária a recarga periódica das praias tornando todo este processo muito dispendioso, para além de afetar a qualidade balnear (Gomes, 2017). Perante estas desvantagens torna-se inviável empregar este tipo de solução, sendo que é necessário avaliar outras opções com vista a mitigar problemas de erosão costeira.

2.3.2 Geossintéticos na engenharia costeira

Para lidar com os problemas da erosão costeira há que procurar soluções que protejam a linha de costa e que, ao mesmo tempo, não sejam temporárias e que sejam capazes de combater eficazmente o problema originado pelos agentes erosivos, ou seja, soluções amigas do ambiente. Dentro do capítulo das estruturas *soft*, é importante destacar os geotêxtis que, no entanto, apresentam ainda algumas lacunas em relação às soluções convencionais, designadamente, uma inferior capacidade de resistência em locais onde ocorre exposição à agitação com elevados níveis energéticos (Ferreira, 2014).

As intervenções em elementos de geotêxtil na engenharia costeira são cada vez mais encaradas como soluções alternativas, contando já com várias intervenções a nível internacional, podendo fornecer, em alguns casos, uma proteção eficaz, duradoura e

mais económica. Porém, alguma inexperience de aplicação, carência de elementos de dimensionamento, a incerteza na estabilidade da estrutura face aos agentes naturais (ondas, dinâmicas sedimentares) e antropogénicos (vandalismo) e ainda as limitações do próprio material podem questionar a sua utilização em relação a estruturas típicas em enrocamento, como estruturas aderentes e esporões (Ferreira, 2014).

2.3.2.1 Principais condicionantes dos geossintéticos

Os geossintéticos são compostos por materiais orgânicos, poliméricos sintéticos formados através de reações químicas, sendo o plástico a principal matéria-prima (Gomes, 2017). O mecanismo de degradação predominante para a maioria dos materiais poliméricos é a quebra das ligações moleculares. Este mecanismo consiste na rotura das ligações químicas que originam a redução do comprimento das cadeias moleculares e diminuição do peso molecular. As alterações referidas provocam mudanças significativas na estrutura do polímero e nas propriedades do material, maioritariamente na sua resistência e extensão (Porto, 2013).

Portanto, uma possível perfuração do geossintético resulta numa má retenção do material de preenchimento podendo colapsar a estrutura. Este tipo de ações pode ocorrer devido a descuidos inconscientes, atos de vandalismo, presença de elementos pétreos em contato direto, ou através de descuidos na altura da colocação do material em obra (Ferreira, 2014).



Figura 2-20 Exemplo de rotura dos geossintéticos, praia de Ofir.

A exposição aos raios ultravioleta pode também limitar o tempo de vida útil da estrutura e, finalmente, a dificuldade aquando da construção de conseguir um alinhamento preciso e de cota da crista. Uma aplicação mais frequente deste tipo de material ainda requer uma investigação mais profunda, aliada a uma necessidade de experimentação em diversas condições climáticas e hidrodinâmicas, apesar de existirem já bastantes estudos sobre este capítulo (Ferreira, 2014).



Figura 2-21 Exemplo de rotura dos geossintéticos, praia de Ofir.

2.3.2.2 Vantagens em relação a estruturas convencionais

O recurso a geossintéticos não apresenta apenas desvantagens, também exibe um vasto leque de vantagens em relação a estruturas do tipo “hard” por serem consideradas soluções amigas do ambiente, por dependerem de um elemento natural e por serem capazes de diminuir os problemas recorrentes de erosão com um impacto bastante limitado e não permanente, nos processos costeiros naturais. Outra das vantagens associada a estes materiais é a sua facilidade de instalação, não necessitando de um elevado número de máquinas para a sua operação, se compararmos por exemplo, a um quebra-mar destacado, que necessita do recurso a batelões para deposição do material rochoso (Ferreira, 2014).

De referir que a areia, usada como enchimento destas estruturas, é um dos materiais mais baratos na construção e pode ser facilmente encontrada. Segundo cita Gomes (2017), Bezuijen, A. e Vastenburger, E. (2012) a areia é também mecânica e volumetricamente estável e as suas propriedades são facilmente previstas.

Em suma, dadas as enormes vantagens potenciais que este tipo de solução apresenta, existem grandes oportunidades de apostar na sua introdução cautelosa em casos reais, começando em locais com níveis de risco razoavelmente reduzidos, de modo a que se

consiga adquirir a experiência essencial para a sua instalação e comportamento em condições de agitação mais elevadas (Ferreira, 2014).

2.3.2.3 Cilindros geossintéticos

Como já foi referido, os geossintéticos são materiais fabricados a partir de polímeros. É preenchido com uma mistura de água e areia ou, por outro material granular. Todavia, é frequente recorrer à areia uma vez que se torna fácil de obter no local onde são construídos. Esta tecnologia possibilita que a água passe livremente através dos poros do tecido de uma forma relativamente controlada, mantendo retidos os sólidos graças à permeabilidade do material (Gomes, 2017).

É um tipo de estrutura longa e estável a ações adversas, como correntes e ondas, tendo cada cilindro um diâmetro variável, indo desde dos 0,5 metros aos 5 metros, altura máxima de cerca de 4 metros e um comprimento que varia dos 25 metros aos 100 metros, dependendo do projeto onde estes cilindros são instalados (Bezuijen e Vastenburg, 2012).

Os cilindros geossintéticos possuem uma ou mais aberturas de enchimento, localizadas na sua parte superior, de modo a que o material possa ser bombeado ou mecanicamente colocado dentro do cilindro (Smith, 2002). Esta técnica é a mais utilizada para a defesa costeira, sendo utilizada normalmente em zonas com águas pouco profundas ou em aplicações na costa, como reforço de um sistema dunar (Gomes, 2017).

Na figura seguinte é possível observar o esquema base de um perfil de um cilindro em geossintéticos.



Figura 2-22 Típico Cilindro de geossintéticos (Smith, 2002).

Na figura seguinte é apresentado um exemplo em fase de construção usando este tipo de tecnologia. Esta obra localiza-se na Praia de Esmoriz em que a utilização de cilindros geossintéticos tem como principal função reforçar o cordão dunar da praia. Neste exemplo são utilizados cilindros geossintéticos de 2,5 metros de diâmetro com um comprimento de 9,80 metros.



Figura 2-23 Aplicação de cilindros geossintéticos, Praia de Esmoriz (Gomes, 2017).

Segundo Bezuijen, A. e Vastenburg, E. (2012), o material geossintético a utilizar em obras de defesa costeira, deve respeitar as seguintes exigências:

- Ser suficientemente permeável;
- Impedir saída de areia do seu interior;
- Resistir às pressões exercidas na fase de enchimento;
- Resistir às ações localizadas, como vandalismo e o rasgar em zonas críticas;
- Resistir à radiação UV.

2.4 Programas de modelação de águas superficiais

2.4.1 Delft3D

O *software* Delft3D é um modelo hidrodinâmico desenvolvido pela WL-Delft *Hydraulics*, instituto de pesquisa da Holanda, sendo que é um conjunto de programas capaz de simular escoamentos em massas de água superficiais. O *software* apresenta

uma estrutura flexível que simula fluxos de duas ou três dimensões, assim como ondas, qualidade de água, ecologia, transporte de sedimentos e morfologia do fundo, sendo também capaz de conduzir à interação entre processos. A interface gráfica do programa facilita a simulação, edição e visualização dos dados necessários à definição de simulações e de cenários (Baptistelli, 2008).

O Sistema de modelação Delft3D é composto por diversos módulos que possuem ferramentas de pré-processamento, processamento e pós-processamento, facilitando assim o trabalho de implementação do modelo para uma região específica. O sistema compreende os seguintes módulos:

- Hidrodinâmico (FLOW);
- Ondas (WAVE) que corresponde à propagação de ondas curtas;
- Transporte de sedimentos (SED);
- Morfologia (MOR);
- Qualidade de água (WAQ);
- Traçadores (PART) ou transporte de partículas;
- Ecologia (ECO);
- Química (CHEM).

O Delft3D é um modelo numérico baseado em diferenças finitas e adota um sistema de grelha denominado “staggered grid”. Nesta grelha os pontos de elevação (pontos de pressão) estão definidos no centro da célula e as componentes da velocidade são perpendiculares aos lados da própria grelha (Baptistelli, 2008).

2.4.1.1 Delft3D-FLOW

O módulo hidrodinâmico do Delft3D, o Delft3D-FLOW, possibilita a simulação de fluxos não estacionários em duas ou três dimensões, fenómenos de transporte resultantes de maré, descargas de água e efeitos meteorológicos (Baptistelli, 2008). O presente módulo tem como áreas de aplicação ondas e correntes de tempestade, simulações de fluxos fluviais, simulação em lagos profundos e reservatórios, simulação de tsunamis, ressaltos hidráulicos, ondas de cheia, estratificação térmica em lagos e reservatórios, transporte de sedimentos e morfologia (Carneiro, 2014).

O módulo hidrodinâmico baseia-se nas equações de Navier-Stokes para fluídos incompressíveis, com as seguintes aproximações:

- A aceleração vertical é considerada desprezável quando comparada com a aceleração da gravidade (aproximações de águas pouco profundas). Assim, a equação de conservação de quantidade de movimento segundo a direção vertical é reduzida à equação do equilíbrio hidrostático;
- Apenas a variação longitudinal da massa volúmica é considerada no cálculo da componente baroclínica da força associada ao gradiente de pressão (aproximação de Boussinesq);
- O atrito é considerado como condição de fronteira no fundo;
- Modelo de turbulência anisotrópica (horizontal \neq vertical).

2.4.2 Modelo SWAN

O modelo SWAN - acrónimo de Simulating Waves Nearshore - é um modelo numérico para geração, propagação e dissipação da agitação marítima. Trata-se de um modelo de domínio público, em constante desenvolvimento pela Delft University of Technology da Holanda, que possui como uma das principais vantagens a manutenção da estrutura dos ficheiros de dados e de resultados, o que permite uma fácil atualização de versões mais robustas e completas do modelo sempre que for necessário (Santos *et al.*, 2005).

O modelo SWAN propaga a agitação marítima desde o largo até próximo da costa considerando os processos físicos de refração, difração e empolamento devido a variações do fundo e presença de correntes, crescimento de onda por ação dos ventos, rebentação por influência do fundo e por excesso de declividade, dissipação de energia devido ao atrito do fundo, bloqueio e reflexão por correntes opostas e transmissão através de obstáculos (Santos *et al.*, 2005).

Os dados necessários para a execução do SWAN são a malha batimétrica da zona a modelar e as condições de agitação na fronteira de entrada do domínio, para além de um conjunto de outros parâmetros de cálculo. De entre os vários resultados obtidos pelo SWAN salienta-se a altura significativa, os períodos de pico e médio, as direções de pico e média, a dispersão direcional, o parâmetro de largura de banda e nível de água em qualquer parte do domínio computacional (Santos *et al.*, 2005).

É importante referir que o modelo SWAN apresenta algumas limitações entre as quais são destacadas as seguintes:

- A calibração de muitos dos parâmetros envolvidos na descrição dos diferentes fenómenos físicos no SWAN foi baseada em dados da campanha JONSWAP, realizada no Mar do Norte, ou seja, a extrapolação dos dados para diferentes zonas confere menor exatidão para áreas com diferentes características de clima, de ondas ou para diferentes características do fundo marinho (Carneiro, 2014);
- A difração no SWAN é modelada de modo simples como uma dispersão direcional, o que pode constituir a sua principal limitação, além de não considerar os efeitos de espalhamento de Bragg (Carneiro, 2014);
- A inclusão da difração nos cálculos numéricos implica que o espaçamento da malha computacional, relativamente ao comprimento de onda, seja de tal forma que garanta a convergência dos cálculos computacionais. Para isso implica, por vezes, que as malhas sejam de tal dimensão que pode comprometer a execução dos cálculos (Carneiro, 2014).

2.4.3 Bouss-2D

O programa BOUSS-2D foi desenvolvido pelo Corpo de Engenheiros do Exército Norte-americano (USACE) em conjunto com a interface gráfica SMS desenvolvida pela AquaVeo. BOUSS-2D é um modelo que resolve equações do tipo Boussinesq, com aplicação para problemas envolvendo reflexão e difração de ondas em geometrias como canais de navegação e portos. O BOUSS-2D simula uma grande parte dos fenómenos hidrodinâmicos de interesse em regiões costeiras e portos, como o empolamento, a refração, transmissão e reflexão parcial e total, interações não lineares onda-onda, quebra de onda e run-up, correntes induzidas por ondas e interações onda corrente. O *software* é baseado num método de diferenças finitas para solucionar as equações no domínio do tempo. A área de interesse é selecionada com uma grelha retangular onde a elevação da superfície das ondas e as velocidades horizontais são definidas nos nós da grelha de uma forma não-alinhada (*staggered*). As condições de ondas podem ser periódicas, não periódicas, unidirecionais ou multi-direcionais (Carmo Barletta *et al.*, 2010).

2.5 Sensores de pressão

2.5.1 TWR-2050

O sensor TWR-2050 é um sensor submersível independente, projetado para medir elevações de marés e ondas. Além da capacidade para a medição da maré, o TWR-2050 permite medir um elevado número de dados de pressão para a análise das ondas. O gravador “RBR Tide / Wave” é bastante preciso e pequeno e pode ser montado no fundo do mar ou porto, preso a uma estrutura já existente, ou ainda pode ser ligado a uma linha de amarração (Carneiro, 2014).



Figura 2-24 Sensor de pressão TWR-2050 (RBR, 2008).

Os tempos de recolha de dados variam entre 10 segundos a 9 horas, em função das preferências do utilizador. As taxas de registo podem ocorrer em 1, 2 ou 4 Hertz. A amostragem da onda é efetuada tomando 512, 1024 ou 2048 amostras a uma taxa de registo selecionada (Carneiro, 2014).

Para a configuração do equipamento, o sensor de pressão TWR-2050, apresenta o *Software* Ruskin que tem uma ligação direta ao sensor e ao menu de configuração, incluindo a sincronização do sensor para o relógio do PC, e permitindo definir o período de amostragem. O *software* Ruskin permite ainda definir o intervalo de registo, a partir da data de início e fim da medição, por meio de um calendário gráfico. As medições podem ser gravadas num ficheiro com vários formatos alternativos (Carneiro, 2014).

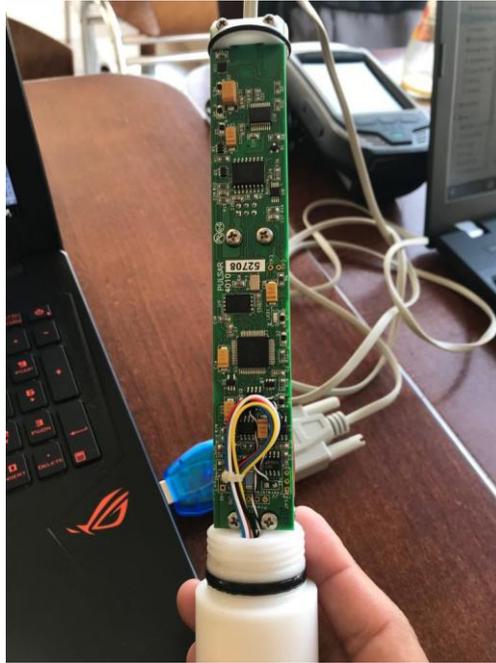


Figura 2-25 Exportação dos dados recolhidos pela sonda TWR-2050.

2.5.2 AWAC

O sensor de pressão AWAC da Nortek, permite a obtenção de um perfil de correntes e respetiva direção com um único equipamento. Tem a capacidade de medição de velocidades e direções de correntes em camadas com espessura de um metro desde o fundo até a superfície. Permite ainda registar ondas de todos os tipos, incluindo ondas longas, ondas de tempestade, ondas curtas produzidas pelo vento, ou ondas passageiras geradas pelo tráfego local de embarcações.

O AWAC foi desenvolvido para sistemas de monitorização costeira. É pequeno, robusto e adequado para operar por muitos anos em ambientes adversos. O material utilizado na construção do aparelho é plástico e titânico de forma a contornar problemas de corrosão. O AWAC está disponível em três frequências de transmissão (1 MHz / 600 kHz / 400 kHz) permitindo assim operar em profundidades diferentes. O sensor é normalmente montado recorrendo a uma estrutura no fundo, onde é protegido de problemas na superfície como condições climáticas adversas, vandalismo e tráfego de navios (Ribeiro, 2014).



Figura 2-26 Sensor de Pressão AWAC (Ribeiro, 2014).

Uma vez posicionado em segurança no fundo, pode ser operado em modo *online* ou autónomo. No modo autónomo, os dados brutos são armazenados na memória interna e a energia necessária é fornecida por baterias externas.

A AWAC permite obter estimativas de altura de onda e período da onda. De entre os dados recolhidos, destaca-se a pressão, velocidade de onda orbital e posição da superfície (Carneiro, 2014).

O facto de as ondas serem um evento aleatório requer que as medições sejam feitas ao longo de períodos de tempo definidos. As células de medição e a janela de AST são adaptadas e configuradas durante o perfil de corrente que precede imediatamente a rebentação. A posição e a célula de velocidade, bem como a janela AST, são determinados com base na pressão mínima (Carneiro, 2014).

Tabela 2 - Especificações técnicas dos sensores AWAC (Ribeiro, 2014).

Sensores	
Temperatura:	Termistor incorporado no cânister
Faixa:	-4°C a 40°C
Precisão/Resolução:	0,1°C/0,01°C
Tempo de resposta:	<5 min
Compasso:	Magnetômetro
Precisão/Resolução:	2°/0,1° para inclinações <15°
Inclinação (Tilt):	Nível líquido
Maximum tilt:	30°, AST* requires <10° instrument tilt
Posicionamento para cima ou para baixo:	Detecção automática
Pressão:	Piezo-resistente
Intervalo padrão:	0-50 m (1MHz) / 0-100m (0,6MHz) / 0-100m (0,4MHz)
Precisão:	0,5% da escala total. Opcional 0,1% da escala total.
Resolução:	0,005% da escala completa

2.6 Sistemas de posicionamento global

O Sistema de Posicionamento Global (GPS – Global Positioning System) é um sistema de posicionamento por satélite, composto por um conjunto de satélites e estações terrestres de controlo e por recetores GPS detidos pelos utilizadores (Gomes, 2017). Este sistema foi desenvolvido pelo Departamento de Defesa dos Estados Unidos na década de 70, inicialmente para utilização militar a nível de navegação e posicionamento para utilização civil (Coelho e Ribeiro, 2007). Este sistema é composto por um conjunto mínimo de 24 satélites em órbita em torno da terra. Cada satélite possui um relógio atómico de elevada precisão e emite 2 sinais: um para uso civil e outro, inicialmente mais preciso, destinado apenas ao uso militar (Gomes, 2017).

Os satélites, colocados em órbitas em redor da terra, fornecem sinais que são captados pelos recetores GPS. Deste modo, os recetores descodificam os sinais recebidos, calculam a posição e determinam a hora local. A posição é expressa pela latitude, longitude e altitude em coordenadas referentes ao sistema WGS84. O recetor para determinar a sua posição necessita de receber os sinais de pelo menos 4 satélites, sendo

a posição determinada com base no tempo que os sinais demoram a percorrer a distância entre cada satélite emissor e o recetor (Gomes, 2017).

Para além do sistema GPS norte-americano, existem outros sistemas de posicionamento por satélite análogos, como sejam o sistema russo GLONASS, o sistema europeu Galileo, o chinês Beidou ou o indiano IRNSS, muitos destes ainda em fase de desenvolvimento sendo que é comum utilizar a designação de GNSS (sistemas globais de navegação por satélite) para abranger a totalidade destes sistemas (Coelho e Ribeiro, 2007).

Este tipo de recetor surge atualmente integrado em veículos ou em unidades portáteis. De forma a evitar que o sistema pudesse ser vantajoso para os inimigos, o Departamento de Defesa Norte Americano decidiu alterar o sinal emitido pelos satélites de forma a introduzir um erro de aproximadamente 100 metros. Dado que a precisão era importante para determinadas atividades, foi desenvolvido o DGPS – GPS Diferencial, sendo possível obter erros absolutos de poucos milímetros em aplicações estacionárias e de poucos metros em aplicações de movimento. Este sistema é baseado em estações terrestres que difundem a diferença entre a posição calculada através dos sinais recebidos de satélites e a posição exata dessas estações que é previamente determinada. Assim, os recetores ao saberem a diferença entre o sinal recebido do satélite e o sinal calculado com precisão podem determinar com maior exatidão a sua posição. O sistema GPS permite localizar uma pessoa ou objeto com um grau de precisão que é aceitável para a maioria das atividades. Todavia, este tipo de posicionamento é limitado a espaços abertos exteriores, dado que exige a existência de linha de vista entre a antena do recetor e os satélites (Gomes, 2017).

2.6.1 Equipamento DGPS Trimble Geo XR

O equipamento utilizado na medição dos perfis transversais e topografia de praia obtidos na presente dissertação foi o Trimble Geo XR.

O recetor Trimble Geo XR acrescenta um olhar pioneiro à topografia *Global Navigation Satellite System* (GNSS) ao combinar funcionalidade e alta precisão nos trabalhos de campo com flexibilidade e conveniência de posicionamento. O Trimble Geo XR inclui

um recetor GNSS de 220 canais com capacidade de rastreamento GPS e satélites GLONASS junto com uma antena de dupla frequência (L1/L2) integrada (Silva, 2014).



Figura 2-27 Equipamento Trimble Geo XR.

Trata-se de um instrumento portátil bastante funcional que pode ser usado de duas formas distintas. Uma delas permite instalar um bastão topográfico com uma antena externa para um levantamento de precisão, que é ligado à tecnologia Trimble VRS, oferecendo um funcionamento como um telemóvel de rede avançado e muito eficiente (Gomes, 2017).



Figura 2-28 Utilização de bastão topográfico e antena externa.

Retirando o equipamento do bastão, é possível ligar-se o recetor à antena integrada, convertendo-se assim numa solução ideal para a medição de pontos manual, podendo ainda aceder facilmente à câmara integrada de 5 megapixéis. A câmara é controlada pelo *software* Trimble Access, pelo que a captura de fotos e a correspondência de imagens aos dados topográficos é contínua e simples (Gomes, 2017).



Figura 2-29 Recetor Trimble Geo XR

O *modem* integrado do Trimble Geo XR permite acesso contínuo à rede e à Internet para utilizar serviços baseados na web e acesso às correções Trimble VRS. Além disso, as opções de conectividade sem fios incluem as tecnologias celulares e Wi-Fi, asseguram a sincronização, envio de ficheiros do campo para o gabinete através de Trimble AccessSync. Permite ainda um contacto constante entre colaboradores mesmo a partir de locais remotos (Silva, 2014).

2.6.2 Programas de SIG

Hoje em dia, todas as sociedades organizadas e bem estruturadas sentem a necessidade de armazenar toda a informação gerada, no entanto, esta encontra-se, na maioria das vezes, dispersas por vários sistemas, limitando assim o seu potencial (Silva, 2014).

A solução para a integração e organização de informação geográfica poderá ser conseguida com o auxílio de ferramentas GIS (*Geographic Information Systems*) (Silva, 2014). Trata-se de um sistema capaz de gerir informação relativa aos objetos ou temas georreferenciados focando três conceitos: o processamento de mapas, as bases de dados e a análise espacial (Gomes, 2017). O sistema GIS combina várias camadas de

informações, fornece aos utilizadores uma melhor percepção de uma determinada área e permite a maximização na obtenção da informação, que de outra forma só seria possível através de processos complexos de análise. Para além disso, integra dados de múltiplas fontes, ajudando os decisores em análises complexas e proporciona uma comunicação rápida dos resultados, através de gráficos, mapas e outros mecanismos de apresentação de informação, possibilitando que esta seja instantaneamente percebida por todos os colaboradores de uma organização (Silva, 2014).

Os SIG utilizados em Engenharia Civil incluem disciplinas como fotointerpretação, fotogrametria e processamento de imagem, cartografia, planificação urbana e regional, arquitetura paisagística, navegação e planeamento de transportes, cadastro, energia e serviços domiciliários, minas e geologia, estratégia militar e proteção civil, recursos hídricos e saneamento básico, construção civil e comunicações (Gomes, 2017).

Existem várias soluções ou programas para GIS sendo que é importante realçar as seguintes: Arcgis, Mapinfo, Geomedia, Grass, Gv SIG, Mapwindow, Quantum GIS, Spring, Saga Gis, iSMART, Terra View, Transcad, VisualSIG, entre outros (Silva, 2014).

2.6.3 Software Quantum Gis

O *software* Quantum Gis é um programa de Sistemas de Informação Geográfica (SIG) de código aberto licenciado pela General Public License (GNU). Em 2002, numa fase ainda prematura, Gary Sherman começou o desenvolvimento do Quantum GIS, projeto oficial da Open Source Geospatial Foundation (OSGeo) que lançou a primeira versão (0.0.1-alpha) em Junho de 2002.

Sendo que aquando da sua criação, o QGIS tinha como objetivo conceber um visualizador gratuito para uma base de dados geográfica PostGIS, que funcionasse em Linux. Com o passar do tempo houve a necessidade de implementar este *software* noutros sistemas operativos tais como o Unix, Mac OsX e MS Windows e mais recentemente em Android, de forma a abranger um maior número de utilizadores, tornando-se assim mais prático, apelativo e funcional (Gomes, 2017). Atualmente já é possível usufruir da versão 3.0 lançada em fevereiro de 2018.

O facto de possuir uma interface gráfica baseada nas bibliotecas Qt5, bastante moderna e intuitiva, faz do QGIS um *software* simples e intuitivo, oferecendo várias ferramentas que possibilitam visualizar, gerir, editar, analisar os dados, compor mapas impressos, obter impressão com determinadas *screenshots* e uma lista de recursos detalhada (Gomes, 2017). A nível da sua interface, o QGIS, possui uma barra de menu que permite o acesso às funções de QGIS de modo mais rápido e eficaz, com ícones que aparecem na barra de ferramentas, totalmente configurável conforme as preferências do utilizador. A representação do mapa é fundamental no QGIS, sobre o qual é possível executar as operações necessárias ao mesmo, desde a georreferenciação, a inserção de legenda, construção de mosaicos, entre outros.

Segundo Gomes (2017), este programa possui um grande e crescente número de funções das quais é importante referir:

- Visualização e correção “*on the fly*” de camadas vetoriais e *raster* em diferentes formatos. Estas correções permitem a mudança de *datum* a ser utilizado tal como as transformações referentes ao mesmo;
- Exploração interativa de dados, identificando seleção de geometrias, pesquisa, seleção por atributos, etiquetas, criação de simbologia, entre outros;
- Uma forma mais fácil e eficaz de fazer interligação entre tabelas e gráficos;
- Composição de *layouts* de impressão, com mapa, legenda, barra de escala, grelhas de referência, texto e tabelas de atributos.
- Criação, gestão e edição de camadas vetoriais e *raster*.

O *software* Quantum Gis foi o eleito para proceder ao processamento de dados necessários para o trabalho realizado na Praia de Ofir devido a todas as suas funcionalidades de fácil adaptação. De uma forma pratica, o *software*, permitiu consultas espaciais, exploração interativa de dados, identificação e seleção de geometrias, pesquisa, visualização e seleção de atributos e criação de simbologia vetorial e *raster* em inúmeros formatos.

3 CASO DE ESTUDO

3.1 Praia de Ofir

O local de estudo encontra-se entre a foz do rio Cavado e a foz do rio Neiva, mais precisamente na praia de Ofir que se localiza freguesia de Fão, Concelho de Esposende, Distrito de Braga, Portugal como é possível verificar na figura seguinte.

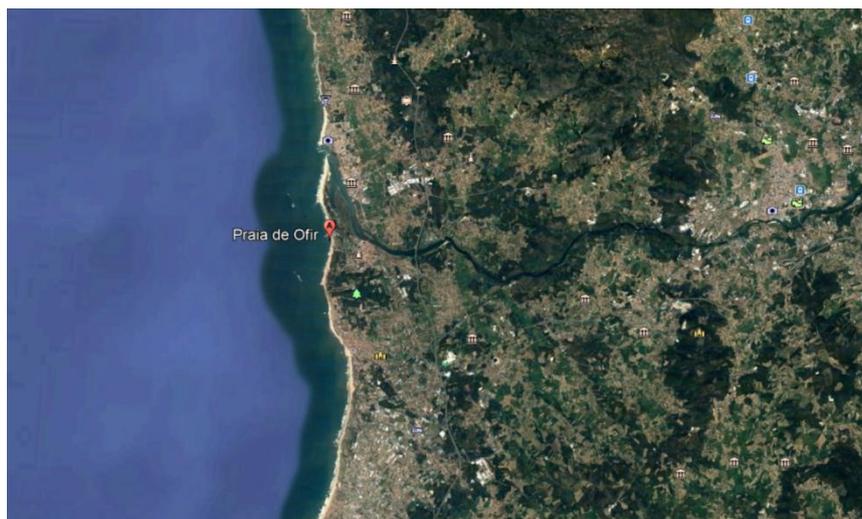


Figura 3-1 Localização da praia de Ofir.

Relativamente ao estado morfodinâmico, a praia classifica-se como dissipativa caracterizada por dunas antigas, intercetada por afloramentos de quartzitos, designados por Cavalos de Fão (afloramentos rochosos). Estamos perante uma zona costeira altamente energética, onde as ondas predominantes direcionam-se de oeste-noroeste e noroeste (Gomes, 2017). Durante os meses de verão assiste-se a regimes de agitação baixos. Todavia, no inverno é frequente registos de altura significativa de onda perto dos 4 metros de altura.

3.2 Configuração do equipamento TWR-2050

Para a configuração do equipamento, recorreu-se ao *Software* Ruskin, de modo a programar o sensor de pressão TWR-2050. Numa primeira fase, foi inserida a data de início e de fim em que se pretendia a obtenção de registos (“Start of logging” e “End of logging”), respetivamente 1 de maio de 2018 às 8:30 da manhã e 3 de maio de 2018 às 12:00 (Figura 3-2).

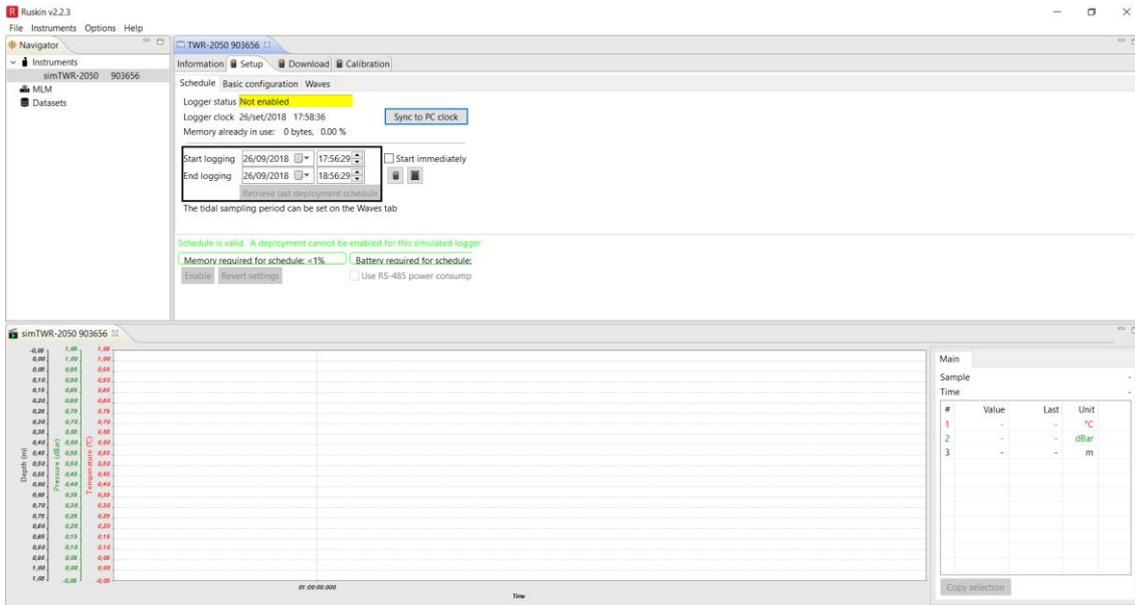


Figura 3-2 Configuração da sonda (data início e data de fim).

Abrindo a janela das configurações (“Setup”) mais precisamente no capítulo (“Waves”), era facultado o período de recolha, ou seja, a periodicidade com que seriam registados os dados, tendo-se optado por seleccionar um intervalo de 30 segundos (Figura 3-3).

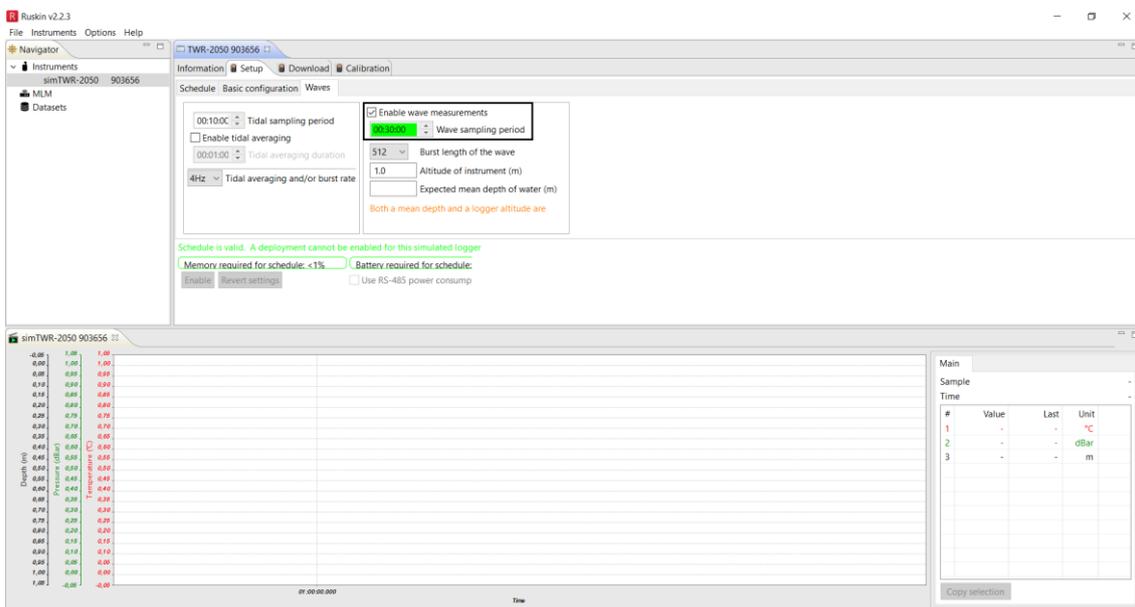


Figura 3-3 Configuração da sonda (período de registo).

No passo seguinte para configuração do equipamento, uma das variáveis a ser introduzida é a profundidade média esperada (“Expected mean depth of water”), tendo esta sido seleccionada recorrendo à previsão de maré do Instituto Hidrográfico.

Outra variável fundamental é a altura do sensor relativamente à praia (“Altitude of instrument”), a qual é conhecida (0.5 m) (Figura 3-4).

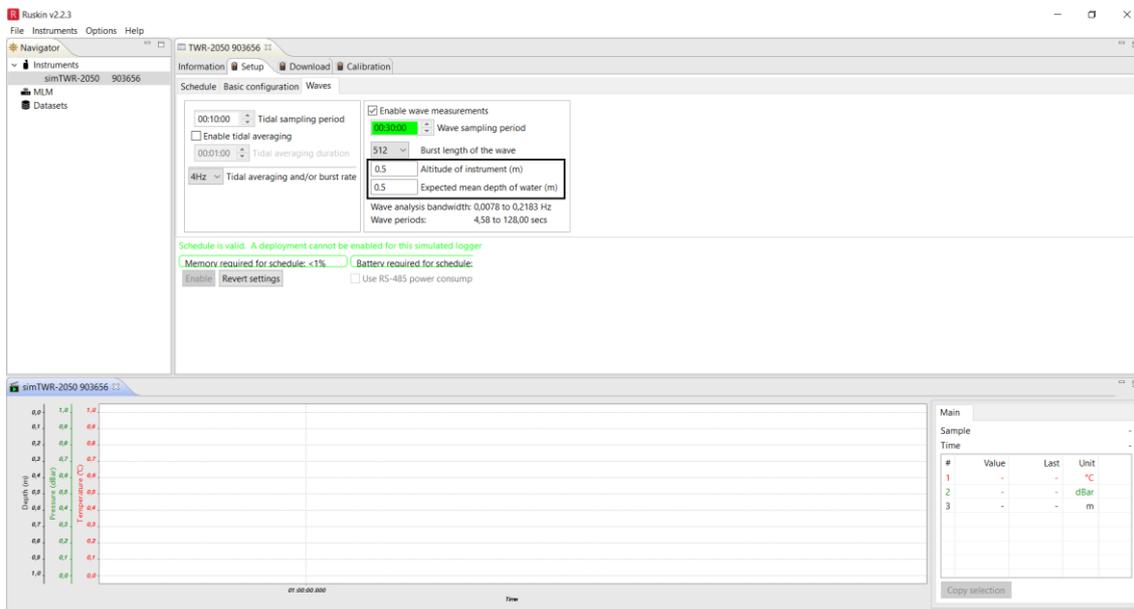


Figura 3-4 Configuração da sonda (altura sonda e altura média da maré).

3.3 Instalação da sonda TWR-2050

A seleção do local de instalação da sonda foi realizada tendo em consideração que deveria dar garantias de estabilidade, ser de fácil acesso e em que a zona de rebentação e espraiamento das ondas ficasse afastada do local do sensor durante a sua instalação em baixa-mar. Deste modo, é possível efetuar a sua colocação em segurança e que a estrutura metálica, usada para suporte do sensor de pressão, fique estável sem problemas de derrube quando sujeita à rebentação durante a subida da maré.

A estrutura de suporte da sonda de pressão, construída no laboratório de hidráulica da Universidade do Minho, apresenta uma forma em “T” permitindo que a sonda seja instalada no tubo central e com a ajuda dos tubos transversais cravar no estrato de areia a estrutura através de rotação, até à base inferior da sonda. Posteriormente, os tubos transversais da estrutura são retirados. A estrutura possui uma altura de um metro, sendo possível colocar o sensor em três posições distintas. Optou-se por colocar o sensor a cerca de cinquenta centímetros da base. Na figura seguinte é apresentada a configuração da estrutura de suporte. (Figura 3-5)



Figura 3-5 Estrutura de suporte à sonda TWR-2050.

Após uma cuidada avaliação do local e das condições de instalação da estrutura de suporte da sonda, decidiu-se realizar a sua instalação a sotamar do esporão sul da praia de Ofir, uma vez que a agitação marítima neste local apresentará características cujo modelo poderá simular, estando a acessibilidade garantida através do talude do esporão. (Figura 3-6)



Figura 3-6 Estrutura de suporte com sonda instalados a sotamar do esporão sul da praia de Ofir.

Como elemento adicional de segurança, a estrutura de suporte da sonda foi presa por uma corda de “marinheiro” fixada na parte superior do esporão, com a finalidade identificar a posição de medição durante o período de registo e evitar a sua perda no caso de derrube da estrutura. De forma a diminuir a tensão na corda, esta foi fixada com uma folga que permitisse a sua movimentação durante a subida da maré (Figura 3-7 e 3-8).



Figura 3-7 Colocação de corda de amarração da estrutura ao esporão.



Figura 3-8 Material têxtil (presente no esporão) que serviu de amarração da extremidade da corda.

A colocação do sensor na estrutura foi realizada através de uma abraçadeira plástica e com fita isoladora “tipo americana”, como é possível observar na figura seguinte (Figura 3-9).



Figura 3-9 Sensor envolvido por abraçadeira de plástico e com fita isoladora.

No final da campanha, a estrutura foi removida com segurança e posteriormente separada da sonda TWR-2050 que armazenou dados recolhidos durante o período de monitorização que futuramente serão exportados para o *software* e devidamente analisados e trabalhados.

3.4 Recolha dos valores registados

O registo da agitação ocorreu durante um período de maré viva mais precisamente no dia 1 de maio de 2018. No final da campanha, já com o sensor desligado, na opção “Download” foram descarregados os dados e armazenados em formato “HEX” para que não se perdessem as informações originais registadas. Este procedimento deve ser sempre realizado uma vez que o sensor elimina todos os dados existentes na memória interna, no caso de se efetuar uma nova medição.

Uma vez realizado o armazenamento dos dados em formato “HEX”, o *software* “Ruskin” de uma forma automática denomina-o por um conjunto de números, no presente caso “021540_20180502_1214.hex” onde os primeiros 6 dígitos representam informação relativa ao número de série do sensor, os 8 dígitos seguintes são relativos à data (nomeadamente o ano, mês e dia) e por último, os 4 dígitos são referentes à hora em que foram transferidos os dados da sonda para o computador.

No separador “Menu”, é possível abrir o ficheiro referido acima em “File” e de seguida “Open dataset” disponibilizando-se assim todos os dados registados pela sonda. É possível, nesta fase, exportar os dados para vários formatos, sendo eles Excel, Matlab, Bloco de notas. Este procedimento pode ser verificado na figura 3-10.

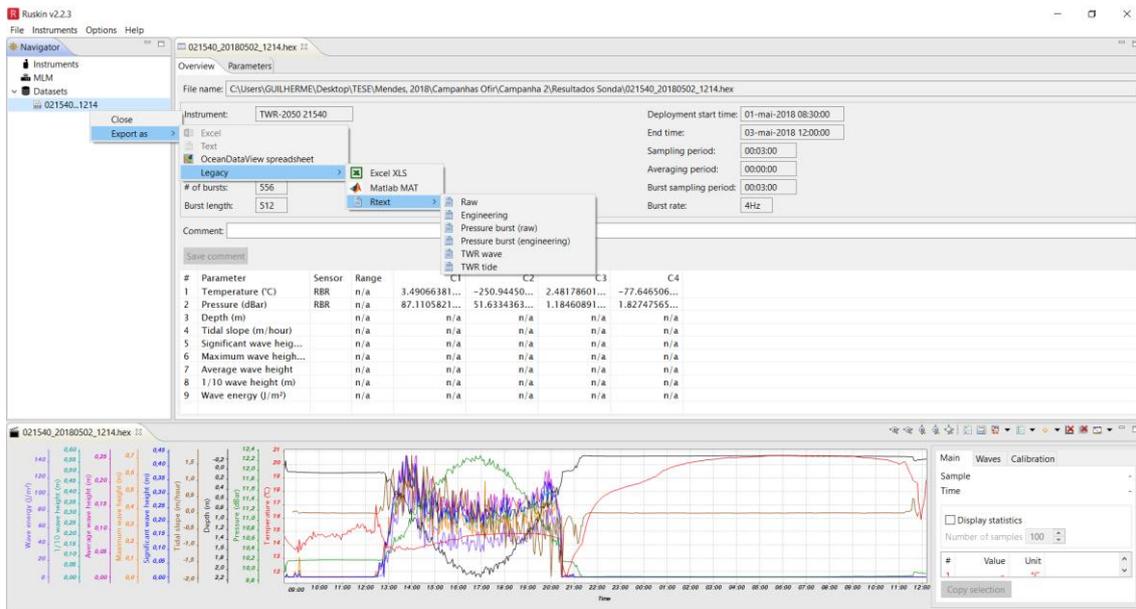


Figura 3-10 Exportação dos dados do Ruskin.

No ambiente do *software*, é possível visualizar o gráfico dos vários resultados registados, podendo este gráfico ser editado e exportado para formato “PDF” como se apresenta na figura 3-11.

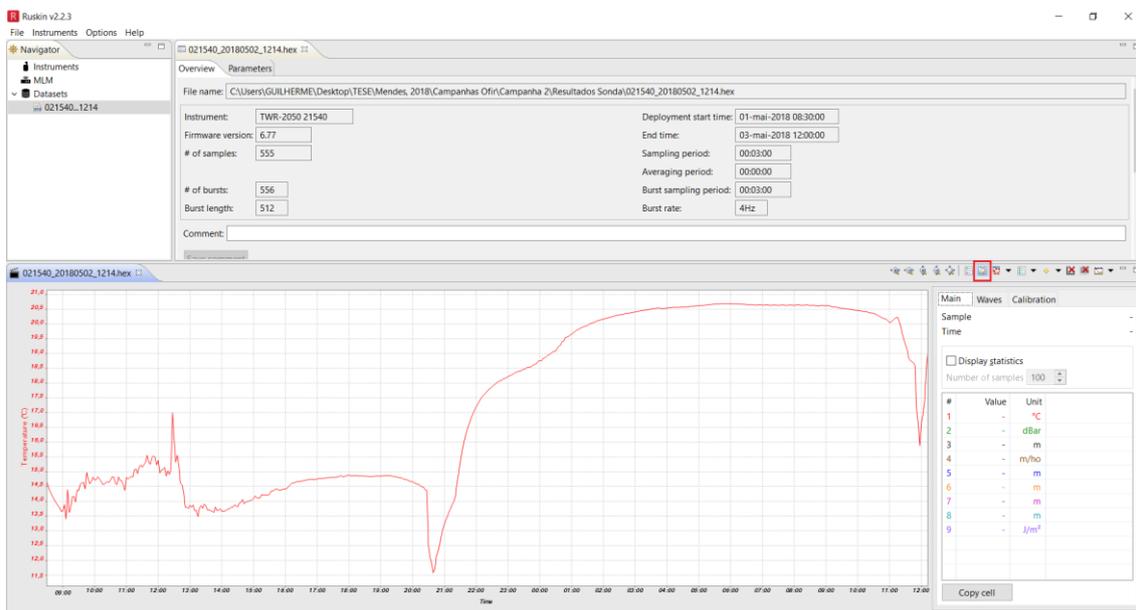


Figura 3-11 Conversão dos gráficos do *software* em PDF.

Na figura 3-12 é possível verificar o aspeto final após a conversão em PDF.

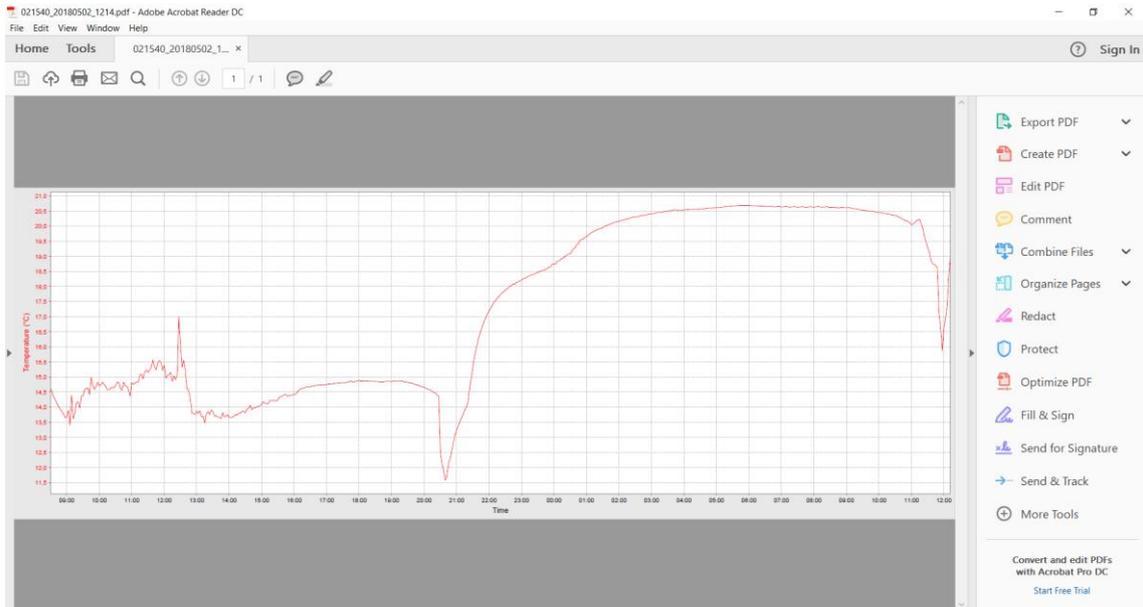


Figura 3-12 Aspetto final do gráfico apos conversão para PDF.

Para o presente trabalho são relevantes alturas de onda que tenham sido registadas durante a completa submersão do sensor, ou seja, alturas superiores a 0,4 metros. Todos os registos uteis para análise serão apresentados em anexo.

3.5 Modelação da agitação marítima

Com o objetivo de fazer uma comparação entre os valores medidos pela sonda e os resultados da modelação, recorreu-se ao *software* Delft3D muito utilizado na simulação de estados de agitação marítima. O sistema Delft3D é composto por vários módulos numéricos representativos das diversas capacidades do sistema, no presente caso recorreu-se ao Delft3D-FLOW, para a componente hidrodinâmica, e ao SWAN para simulação da propagação da agitação, funcionando estes dois módulos de forma integrada.

As tarefas realizadas no trabalho de simulação foram as seguintes:

- Escolha da área a ser modelada;
- Geração da batimetria e grelha a partir de levantamentos DGPS, levantamento LIDAR e de levantamento hidrográficos disponibilizados pelo Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica e recorrendo aos módulos Delft3D-QUICKIN e Delft3D-RGFGRID;
- Especificação de condições de agitação em fronteiras abertas;
- Especificação da elevação da superfície livre com adoção dos constituintes de maré;
- Definição do período a simular;
- Definição dos parâmetros e coeficientes que permitem calibrar o modelo.

O Delft3D-QUICKIN é o módulo para geração, interpolação e manipulação de dados da geometria e batimetria do modelo, e de condições ou parâmetros de espaciais, que são utilizados pelo Delft3D-FLOW. Na figura 3-13 é apresentada a grelha gerada para a área em estudo, tendo sido adotada uma grelha retangular com células de desenvolvimento variável.

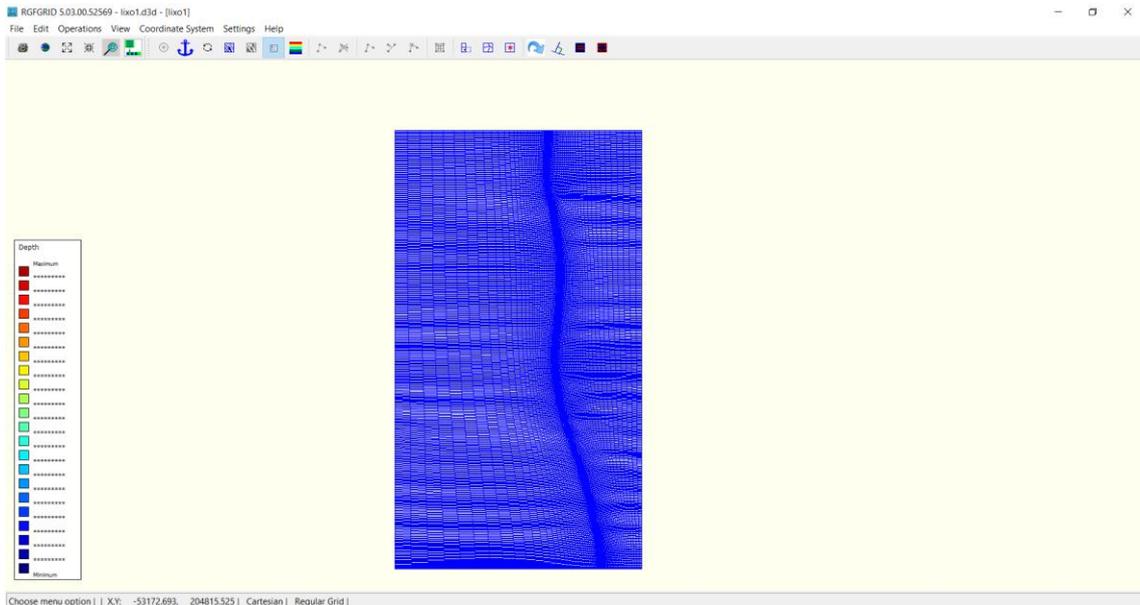


Figura 3-13 Grelha do modelo hidrodinâmico da praia de Ofir gerada pelo Delft3D-RGFRID.

Recorrendo ao Delft3D-QUICKIN procedeu-se à interpolação da batimetria para as células da grelha, conforme se apresenta nas figuras 3-14 e 3-15.

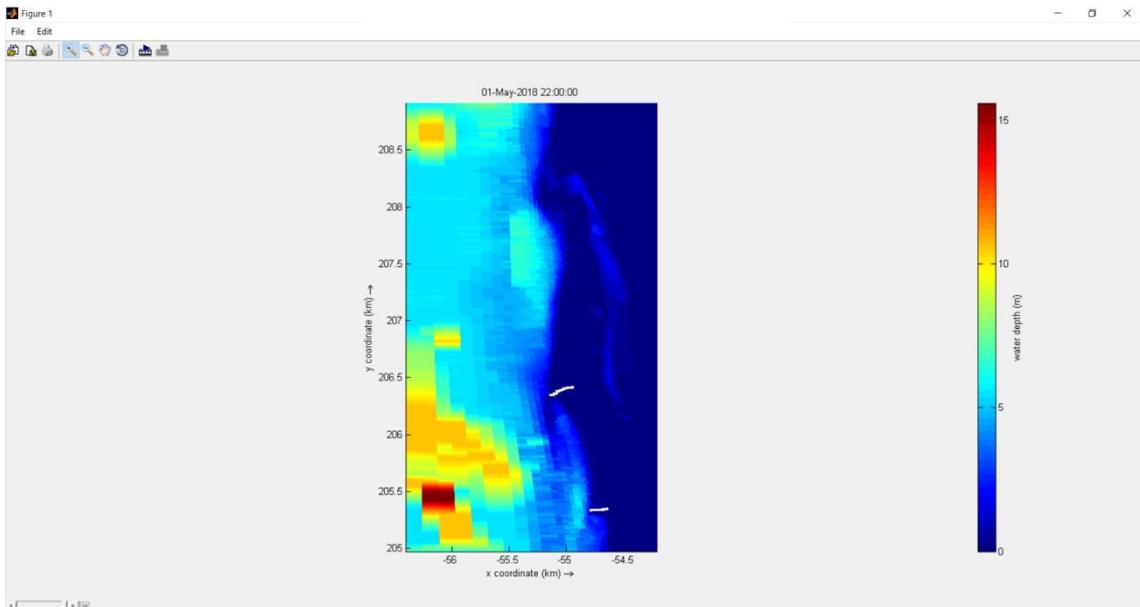


Figura 3-14 Batimetria do modelo.

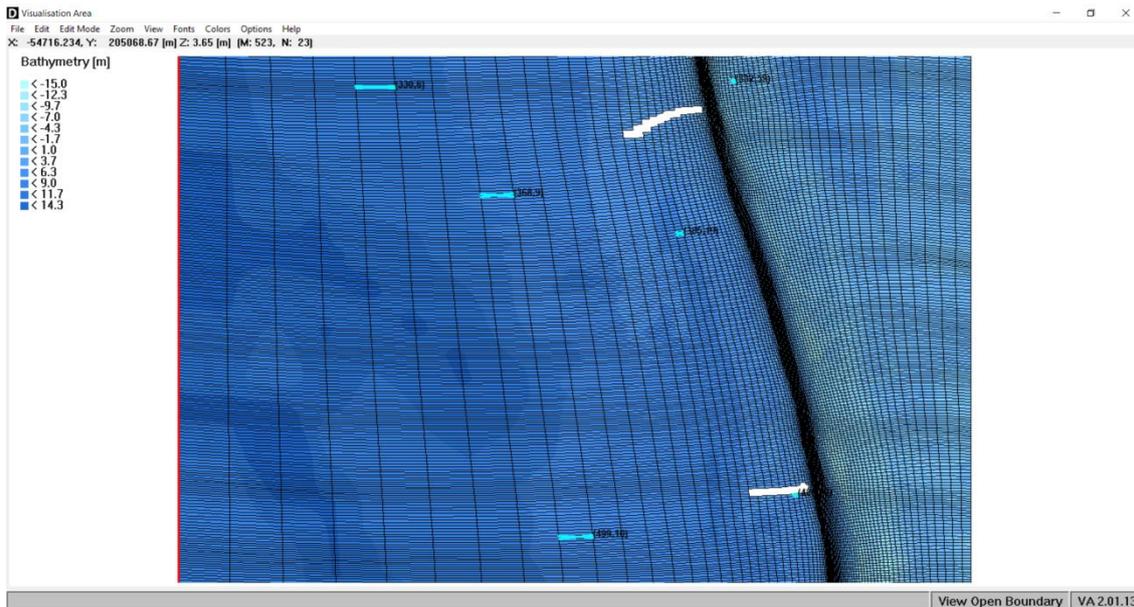


Figura 3-15 Pormenor da grelha na área em estudo e pontos de observação.

O Delft3D-FLOW é o modelo utilizado para as simulações da hidrodinâmica. Nesse módulo são criados e editados os arquivos de entrada de dados (FLOW-GUI). Nesse módulo também é criado o arquivo MDF – Master Defenition Flow, onde se define o cenário a ser simulado. Nesse ficheiro são referenciados outros ficheiros de entrada de dados e que são utilizados no cenário simulado (batimetria, grelha, condições de fronteira, vento, maré, entre outros). Na figura 3-14 são bem visíveis os esporões norte e sul da praia, tendo estes sido simulados através de “ilhas”, ou seja, parcelas do domínio sem água. Também são representados os pontos selecionados para obtenção de resultados.

Quanto à definição do período de simulação, o *software* apresenta uma secção denominada de *Time frame* onde é possível estabelecer a data de início e de fim da simulação. Neste separador é ainda possível aceder ao *Time step* e ao *Local time zone* como se pode observar na figura 3-16.

The screenshot shows the 'Time frame' configuration window in Delft3D-FLOW. The window title is 'Delft3D-FLOW - C:\D3D_v1_3m\Lixo1.mdf'. The sidebar on the left contains buttons for: Description, Domain, Time frame (highlighted), Processes, Initial conditions, Boundaries, Physical parameters, Numerical parameters, Operations, Monitoring, Additional parameters, and Output. The main area is titled 'Time frame' and contains the following fields:

Reference date	01 05 2018	[dd mm yyyy]
Simulation start time	01 05 2018 00 00 00	[dd mm yyyy hh mm ss]
Simulation stop time	01 05 2018 22 00 00	[dd mm yyyy hh mm ss]
Time step	1	[min]
Local time zone (LTZ)	0	+GMT

GMT = Local time - LTZ

At the bottom right of the window, there is a tab labeled 'Time frame'.

Figura 3-16 Definição do período de simulação no Delft3D Flow.

Na figura 3-17, no separador *Output*, é possível definir o *History interval* que, no presente caso, é de 3 minutos uma vez que se pretendia gerar valores com o mesmo intervalo de tempo que os parâmetros registados pela sonda TWR-2050.

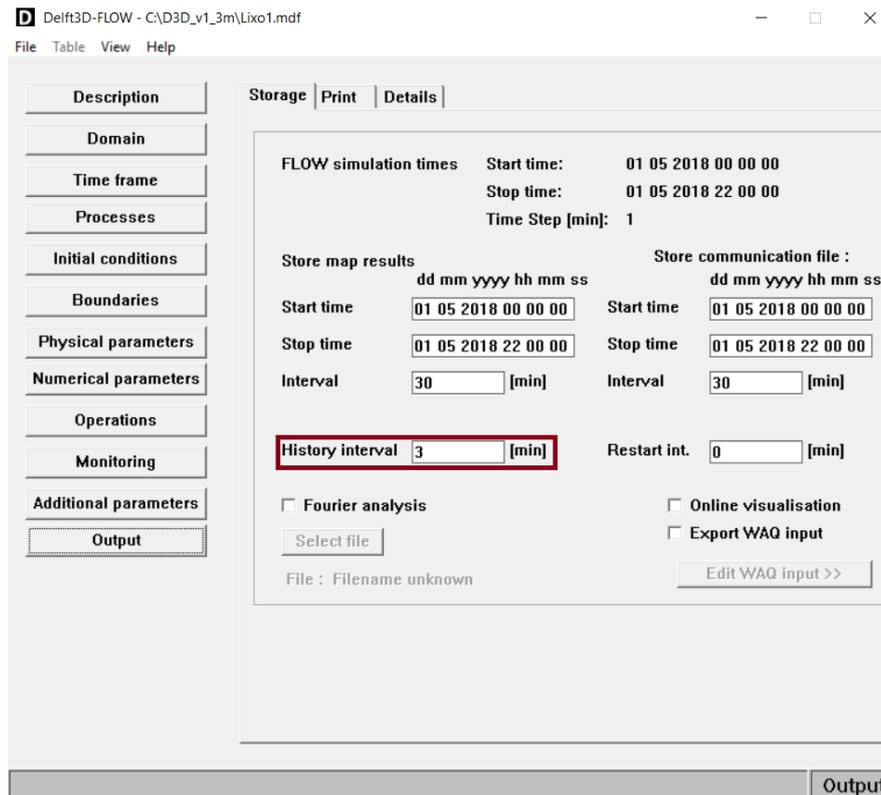


Figura 3-17 Definição do intervalo de registo de resultados simulados no Delft3D Flow.

A secção *Monitoring* permite acrescentar ou eliminar pontos de observação já definidos. No presente trabalho foram definidos mais que um ponto de observação, no entanto, apenas aquele cujas coordenadas são referentes ao local onde foi instalada a sonda é importante para este estudo. A célula é definida pelo alinhamento M de 488 e N de 27, como é possível observar na figura 3-18.

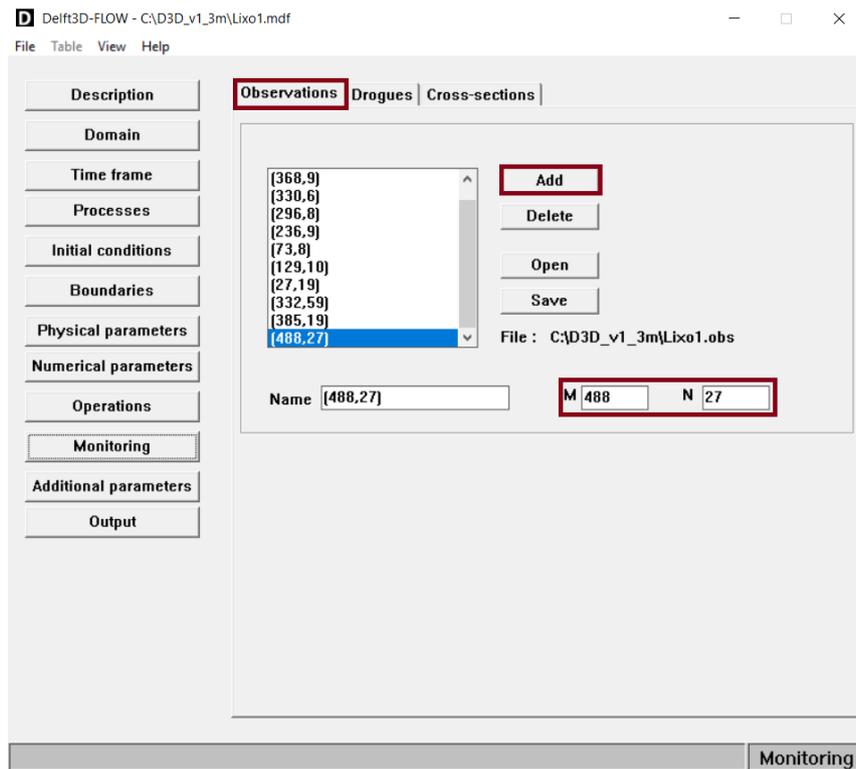


Figura 3-18 Definição dos pontos de observação no Delft3D Flow.

É ainda importante referir que os parâmetros físicos do modelo podem ser definidos no Delft3D-Wave, como é visível nas seguintes imagens.

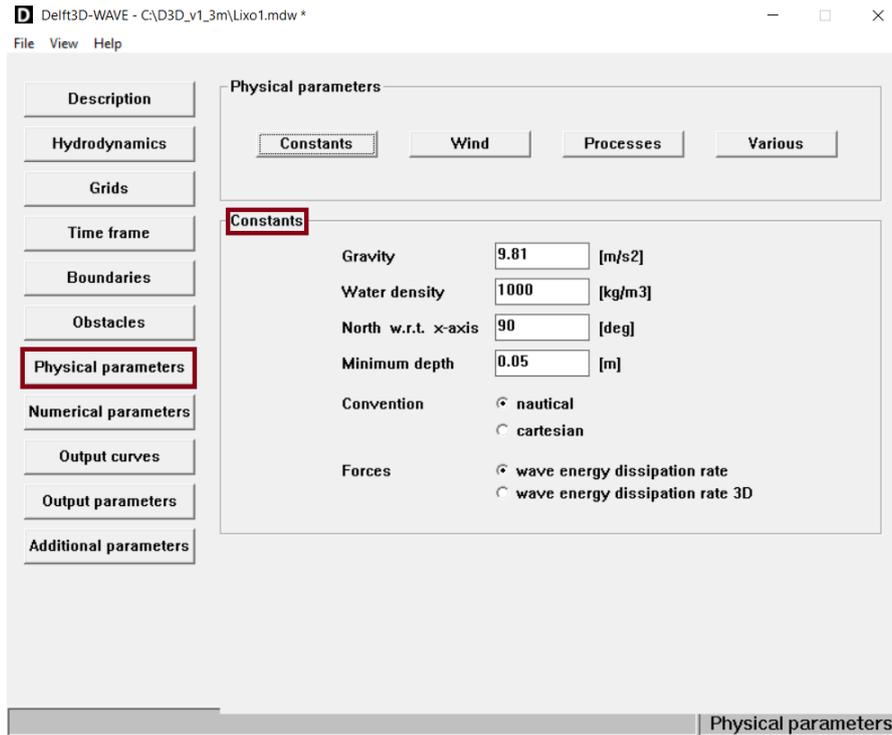


Figura 3-19 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.

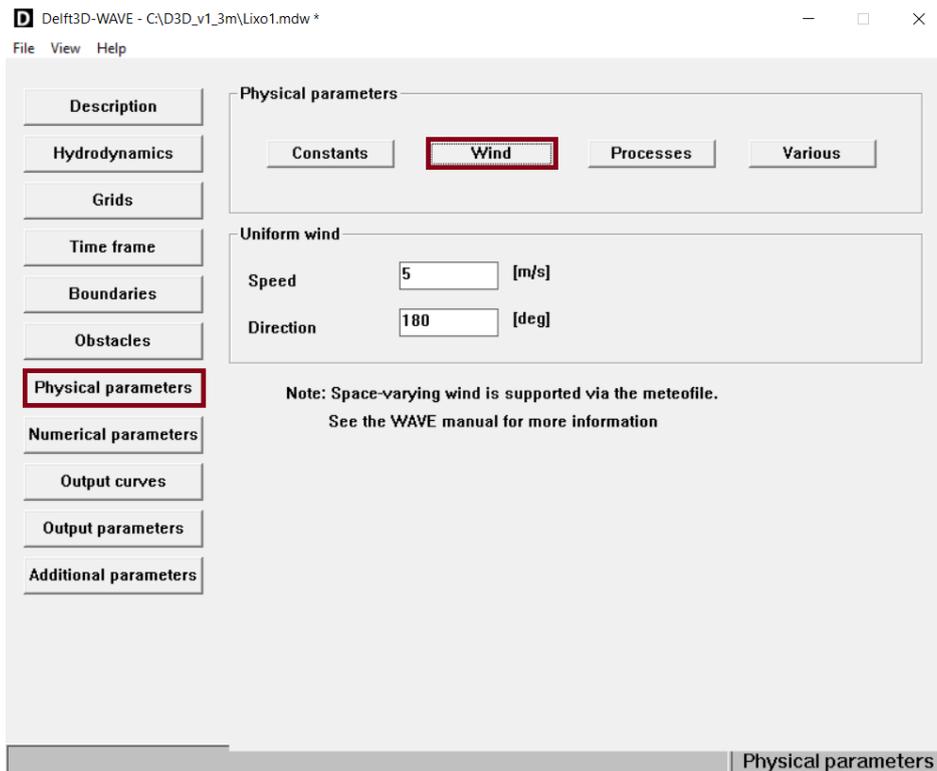


Figura 3-20 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.

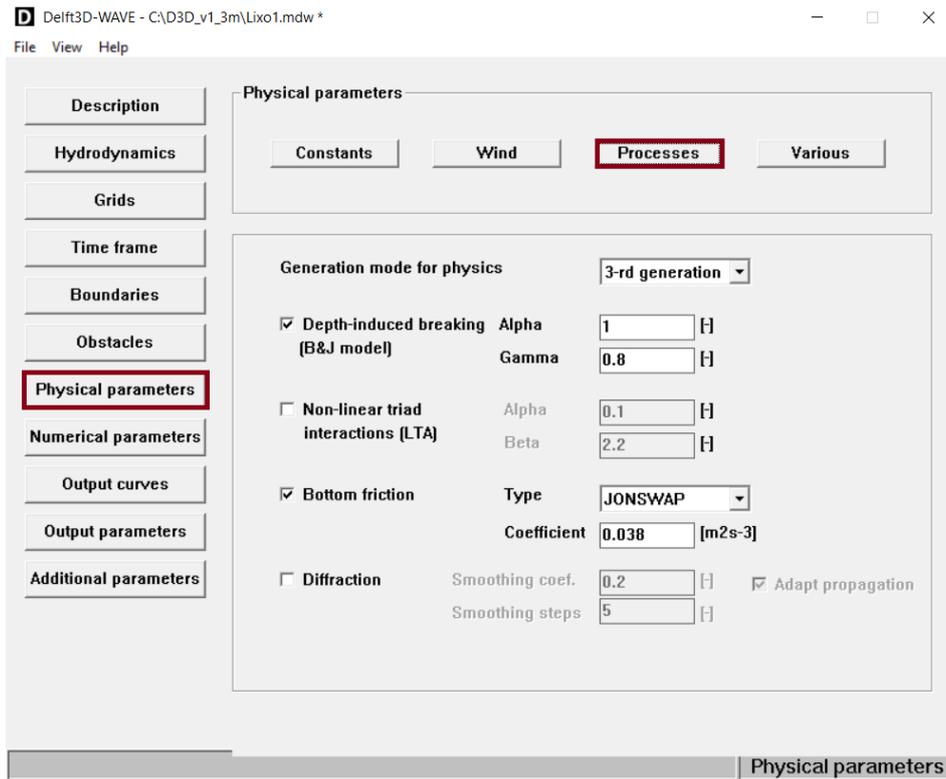


Figura 3-21 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.

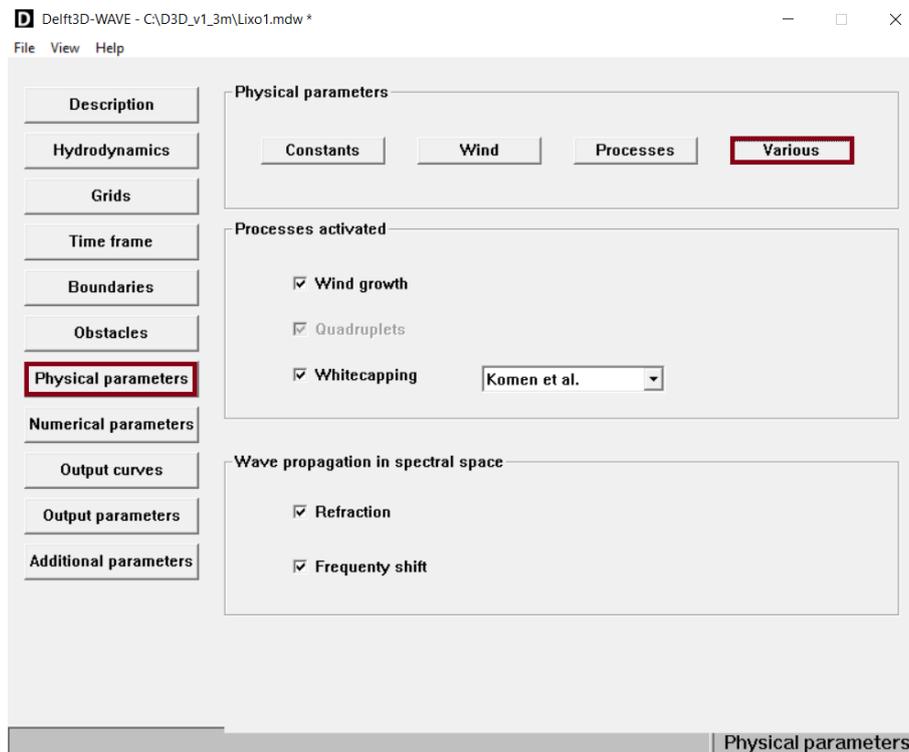


Figura 3-22 Definição dos parâmetros físicos Delft3D Wave.

Na Tabela 3 apresentam-se os dados e parâmetros utilizados nos cenários de simulação do dia 1 de Maio de 2018 (Master Definition File – MDF – file).

Tabela 3 - Parâmetros Delft3D campanha 1 de Maio de 2018.

Parâmetro	Valor
Grelha:	Pontos da grelha com direção M: 542 Pontos da grelha com direção M: 83
Período de simulação:	1 de Maio de 2018: das 00:00 horas até as 22:00 horas
Time step:	1 minuto
Intervalo histórico:	3 minutos
Processos físicos:	Agitação (Wave / Online Delft3D-Wave)
Condições de fronteira versão 1:	Altura significativa de onda = 1 metro
	Período de pico= 8 segundos
	Direção náutica = 300 graus
Condições de fronteira versão 2:	Altura significativa de onda = 0,91 metro
	Período de pico= 8 segundos
	Direção náutica = 300 graus
Condições de fronteira versão 3:	Altura significativa de onda = 0,91 metro
	Período de pico= 7,688 segundos
	Direção náutica = 315,986 graus
Viscosidade turbulenta:	1
Rugosidade no fundo:	Manning: uniforme: $U = V = 0,02$
Vento:	Direção: 180 graus
	Velocidade: 5 metros por segundo
Pontos de observação:	Ponto que representa a posição da sonda - (488;27)

3.6 Caracterização morfológica da praia de Ofir

No âmbito da caracterização morfológica da praia de Ofir, os trabalhos consistiram na realização de levantamentos topográficos com o objetivo de aferir alterações morfológicas em diferentes estados de agitação marítima e tipologia de maré. Na impossibilidade de realizar levantamentos topográficos nas mesmas datas em que se realizaram medições de agitação marítima, devido a condicionantes meteorológicas, não for possível relacionar os estados de agitação com eventuais alterações morfológicas da praia. Desta forma os levantamentos realizados na presente dissertação serão apenas comparados com os levantamentos realizados por Gomes (2017).

Foram realizadas três campanhas de levantamentos topográficos na praia: a primeira a 20 de abril de 2018, a segunda a 1 de maio e a terceira a 28 de maio do mesmo ano, sendo que primeira campanha serviu apenas para adquirir experiência no funcionamento do equipamento DGPS. Nas seguintes, foi realizado um levantamento topográfico na praia. Assim sendo, no capítulo subsequente serão apresentados os resultados da campanha de 1 de maio, 28 de maio e os perfis realizados por Gomes (2017).

3.6.1 Levantamento topográfico com DGPS

Antes de iniciar as campanhas na praia foi fulcral definir um programa de monitorização que inclui, dias mais favoráveis bem como a área e perfis da praia a levantar. Em relação à calendarização das campanhas é desejável que estas sejam realizadas em dias de marés vivas uma vez que destas resultam maior amplitude de maré e conseqüentemente uma maior exposição da praia. Após a seleção dos dias de realização de campanhas é importante definir a altura do dia aquando da realização dos levantamentos sendo que o ideal é em baixa-mar, onde ocorre o nível mínimo da maré, expondo assim uma maior área da praia.

Para o efeito, foi necessário recorrer aos dados fornecidos pelo Instituto Hidrográfico, relativos a previsões de maré, com base em análises harmónicas de séries de observações maregráficas de duração variável (Figura 3-23).

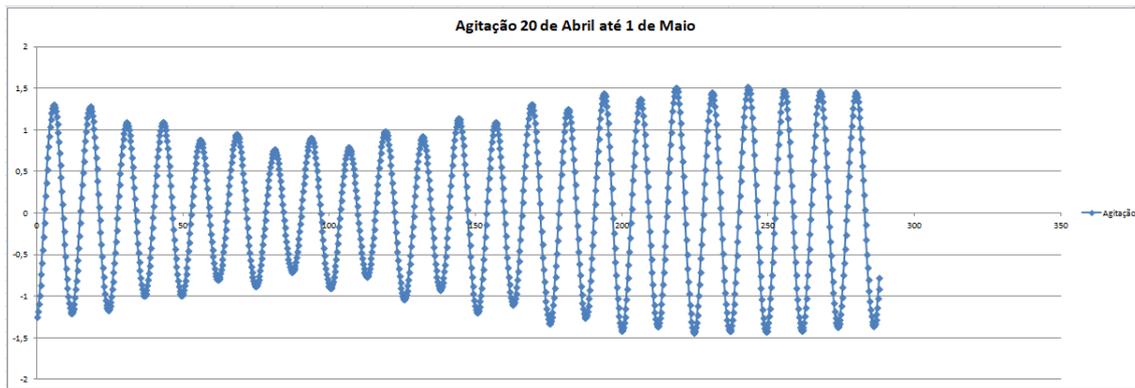


Figura 3-23 Previsão de maré para o Porto de Leixões de 15 em 15 min, no período de monitorização (tempo em horas e agitação em metros).

As previsões realizadas pelo Instituto Hidrográfico para o Porto de Leixões são relativas a alturas de maré de 15 em 15 minutos, algo que facilitou bastante a seleção do período de monitorização. Contudo todas as previsões tem um erro associado que poderá ultrapassar os 0.1 m, podendo justificar-se devido à conjugação de efeitos meteorológicos, subida do nível médio do mar, variações do nível das águas, em consequência de correntes locais.

A primeira campanha experimental ocorreu no dia 20 de abril. Da observação da praia, resultou a decisão sobre o local mais favorável para instalação da sonda TWR-2050, a definição das datas para sessões futuras e uma sessão de utilização do DGPS.

No dia 1 de maio de 2018, foi realizada a primeira campanha de recolha de dados e a segunda visita ao local. Para este dia, previa-se a baixa-mar pelas 11 horas da manhã. Pretendeu-se realizar o levantamento da área da praia exposta até ao limite máximo (linha que separa a água da areia). Foram ainda realizados alguns perfis em locais específicos. Posteriormente foi realizado o levantamento da praia a sotamar do esporão sul (linha azul) (Figura 3-24).

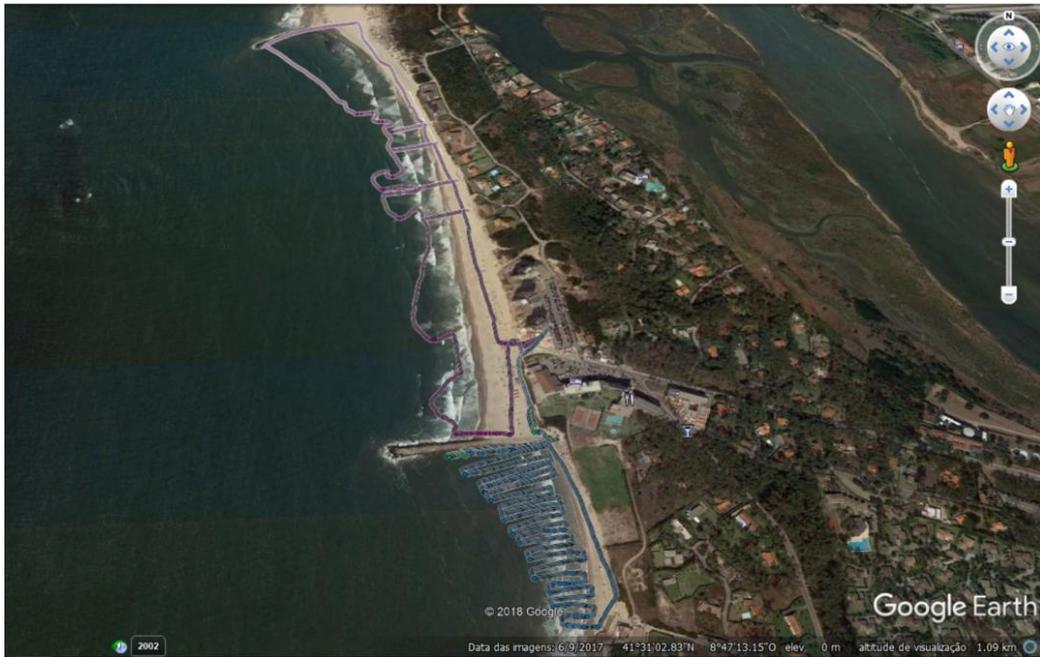


Figura 3-24 Levantamentos DGPS, dia 1 de Maio 2018.

No dia 28 de maio de 2018, foi realizada a segunda campanha e a segunda visita ao local de estudo. Optou-se por realizar um levantamento mais extenso da praia que compreendeu toda a área exposta entre o esporão norte e sul (figura 3-25).

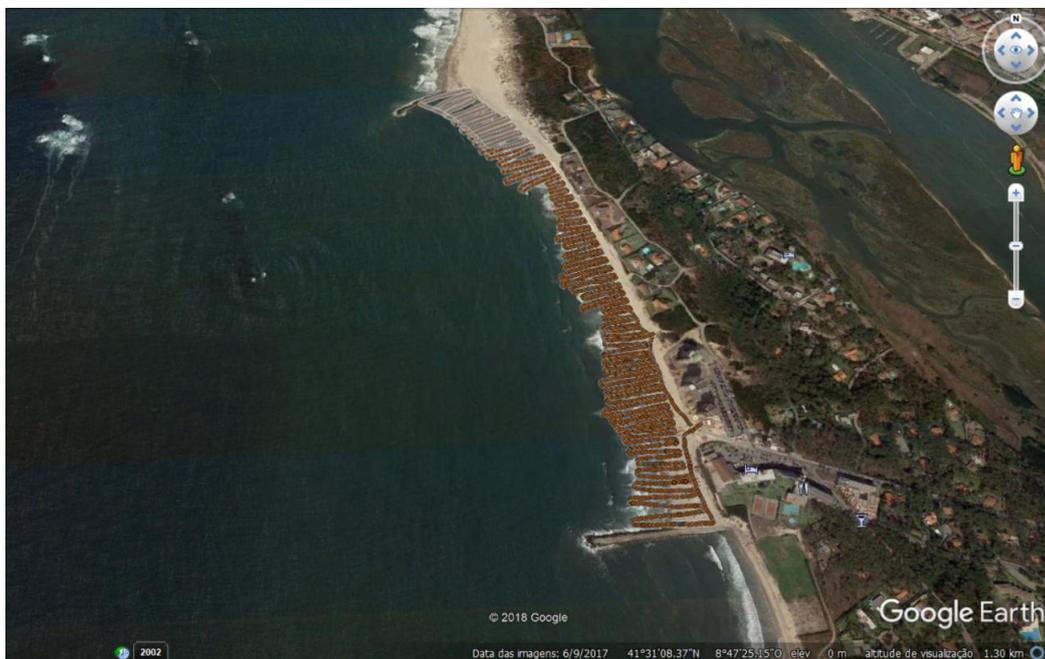


Figura 3-25 Levantamentos DGPS, dia 28 de Maio 2018.

Após a definição das condições iniciais, procedeu-se ao levantamento topográfico através do equipamento DGPS Trimble Geo XR, obtendo-se pontos devidamente referenciados sendo que a modalidade de medição escolhido foi em contínuo, usando-se equidistâncias de registo de pontos de um metro (figura 3-26).



Figura 3-26 Levantamento topográfico na praia de Ofir, recorrendo ao equipamento DGPS, campanha do dia 1 de Maio de 2018.

Os levantamentos de Gomes (2017) foram realizados em quatro campanhas: a primeira no dia 20 de março de 2017, a segunda no dia 30 de março de 2017, a terceira no dia 10 de abril e, por último, no dia 15 de maio de 2017, sendo que no total foram definidos seis perfis transversais entre o esporão norte e as torres de Ofir (figura 3-27).



Figura 3-27 Localização de perfis transversais de Gomes (2017).

3.6.2 Processamento de dados com Quantum Gis

Após a realização das diferentes campanhas, todos os valores adquiridos através do DGPS foram convertidos para formato *shapefile* e devidamente processados no programa Quantum Gis. Depois de realizado o tratamento à informação através do Excel, foi possível obter os perfis pretendidos em forma de gráfico.

4 ANÁLISE DE RESULTADOS

4.1 Introdução

Neste capítulo, serão apresentados os resultados referentes às campanhas realizadas na praia de Ofir, bem como a respetiva análise detalhada.

4.2 Resultados relativos à agitação marítima

Como já referido, a campanha de recolha de dados relativos à agitação marítima deu-se num período de maré viva dia 1 de maio de 2018, sendo que neste capítulo interessa avaliar diversos elementos, nomeadamente altura significativa, altura máxima, energia, profundidade, altura de onda e as progressões respetivas, elementos que serão sucintamente apresentados de seguida. No dia 7 de novembro de 2018, realizou-se uma nova campanha de recolha de dados com o sensor TWR-2050, no entanto as condições extremas de agitação marítima levaram ao insucesso da campanha, algo que será devidamente detalhado nos pontos seguintes.

4.2.1 Campanha de 1 de Maio de 2018

Nas figuras 4-1 a 4-5, são apresentadas as séries temporais de todos os resultados registados pela sonda TWR-2050 tal como altura significativa, altura máxima e energia de onda, profundidade, entre outros. É de realçar que a sonda foi atingida pelo espraiamento às 12h26 e recolhida às 20h30 no dia 1 de maio de 2018.

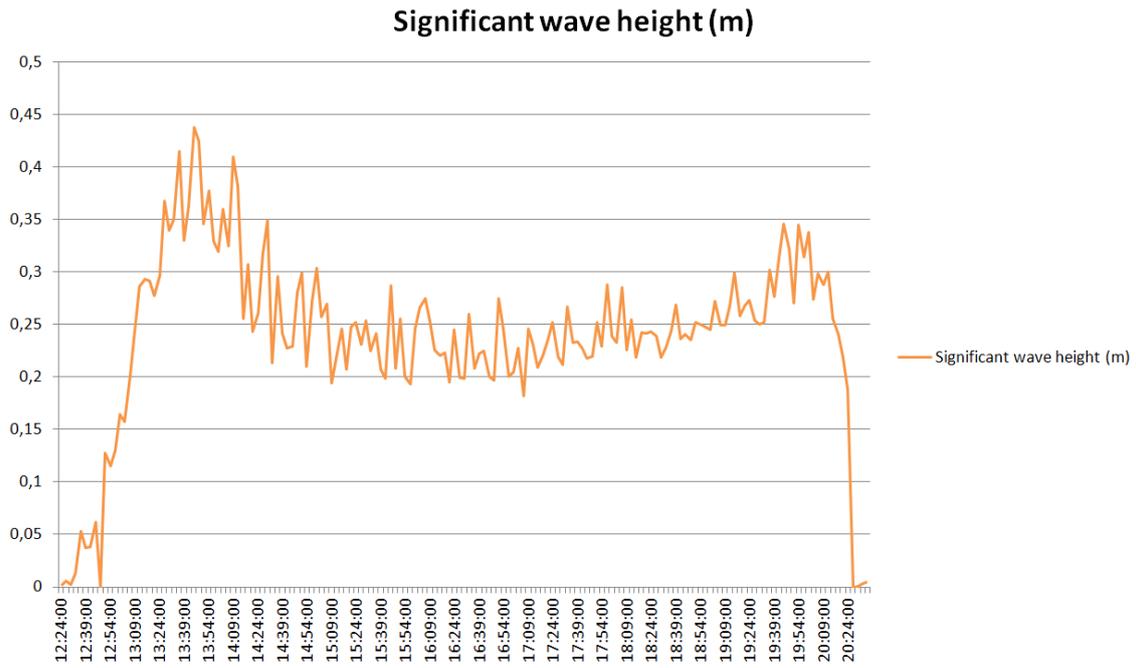


Figura 4-1 Resultados de medição da altura significativa da agitação.

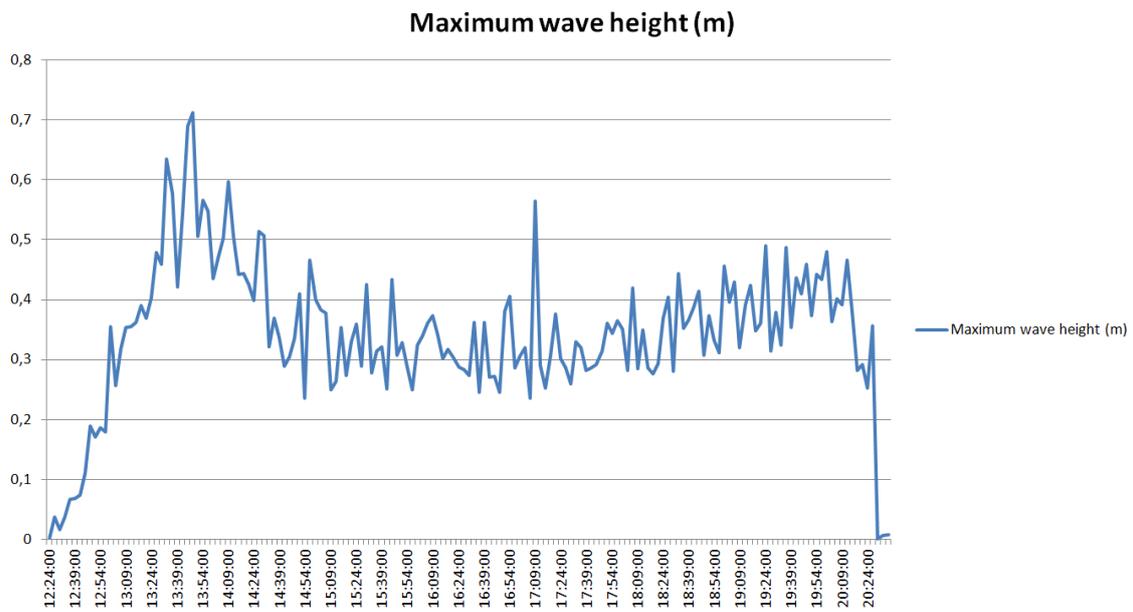


Figura 4-2 Resultados de medição da altura máxima da agitação.

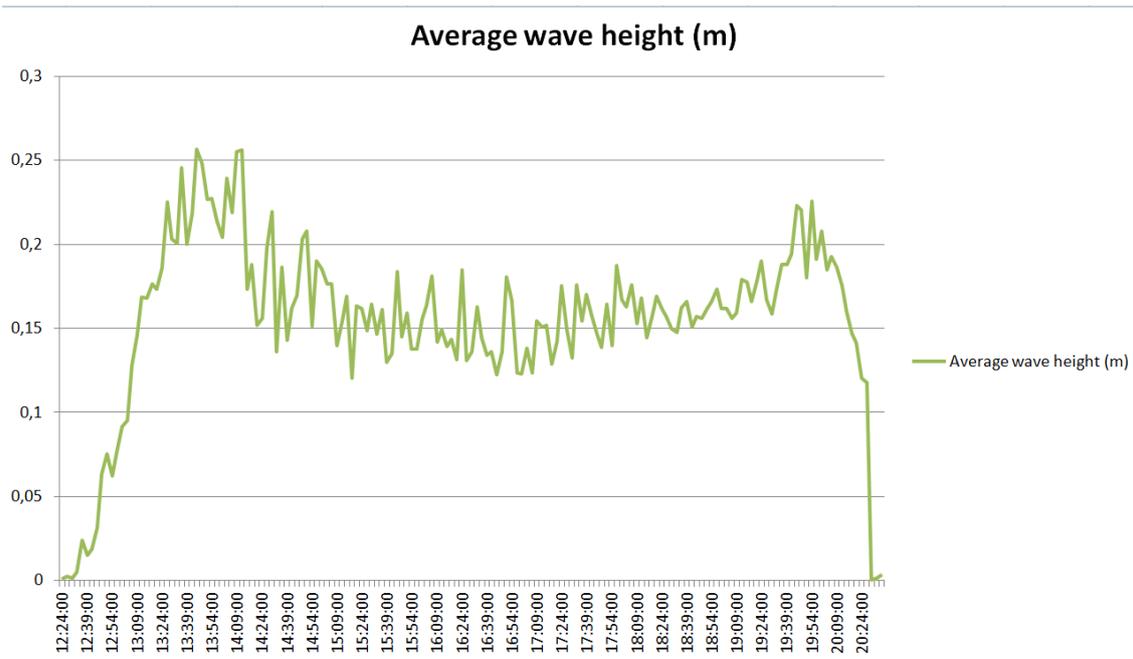


Figura 4-3 Resultados de altura média da agitação.

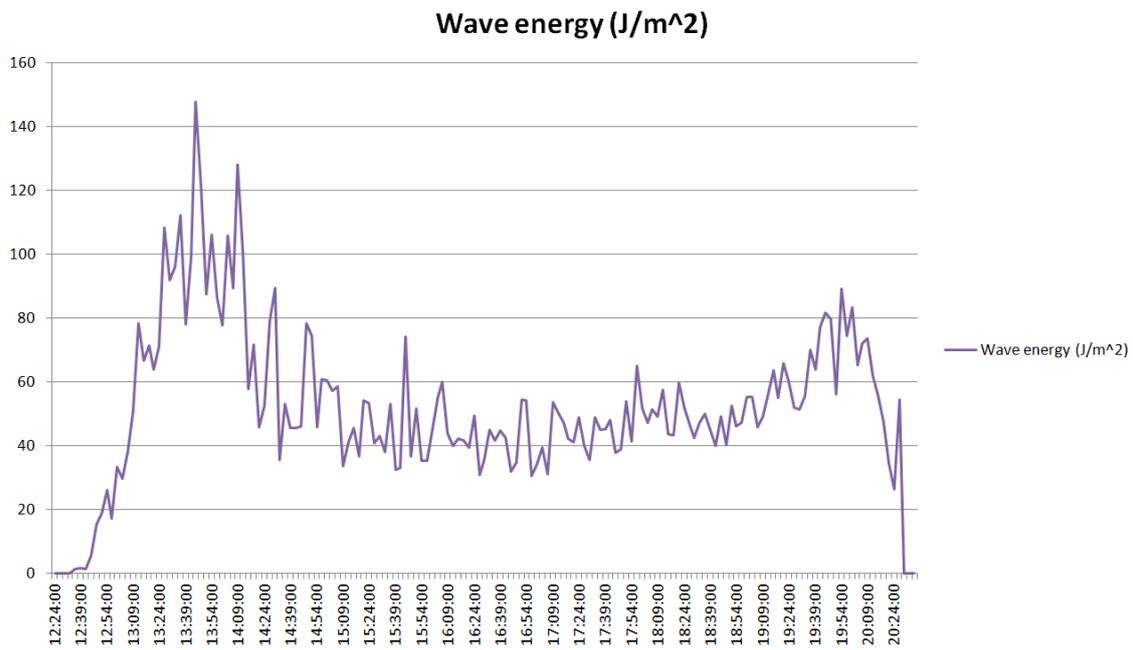


Figura 4-4 Resultados de medição da energia da agitação.

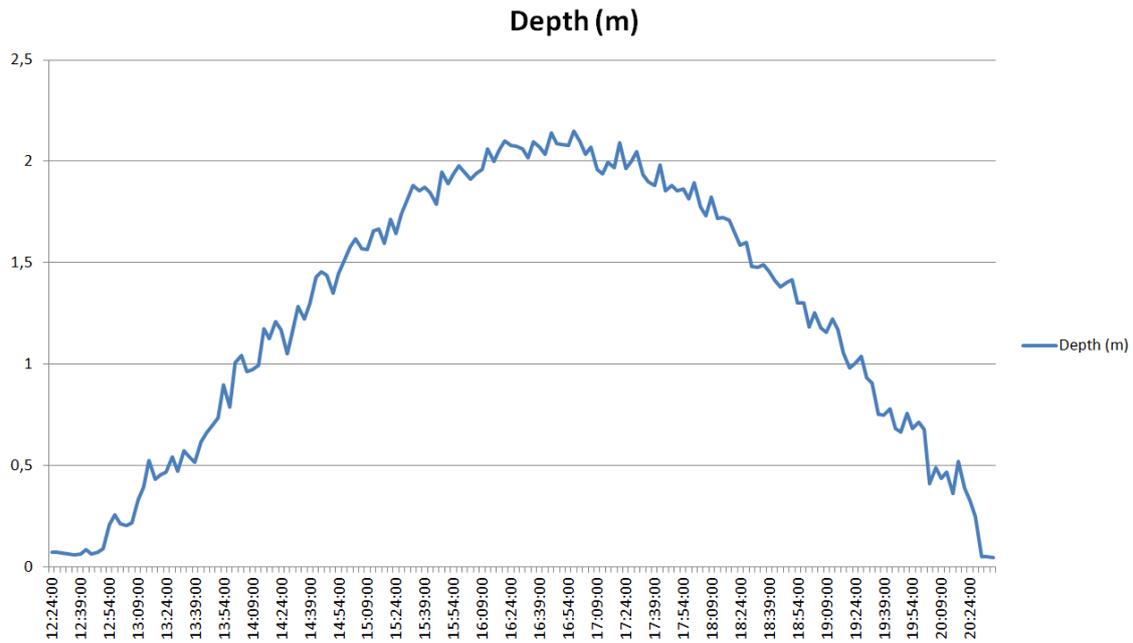


Figura 4-5 Resultados de medição da profundidade local.

A profundidade local medida pela sonda TWR-2050 representa a distância entre a superfície livre da água e o sensor. Este parâmetro pode ser utilizado para se estimar a cota da superfície livre relativamente ao nível médio das águas do mar, sendo que aos valores registados pelo dispositivo TWR-2050 se deve acrescentar a cota do sensor relativo ao nível médio do mar. A cota do sensor foi calculada a partir da cota medida no local para o topo da estrutura de suporte (utilizando o DGPS), subtraindo-se a distância entre o topo da estrutura e o sensor (32,5 cm). Na figura 4-6 é possível comprovar a distância entre o topo da estrutura e o sensor do sonda TWR-2050

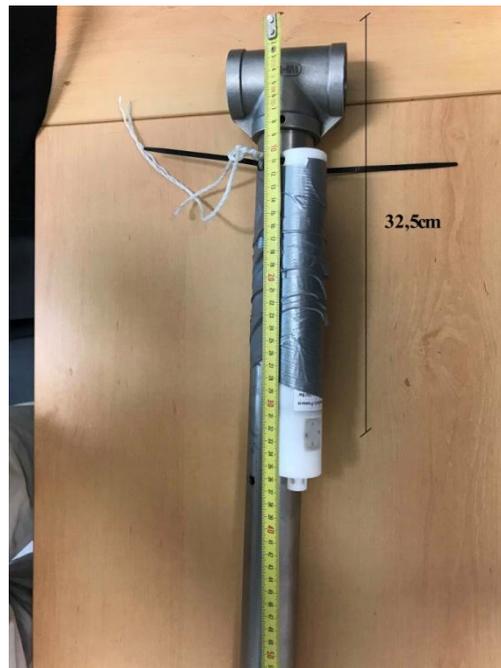


Figura 4-6 Distância entre o topo da estrutura e o sensor da sonda TWR-2050.

De seguida apresenta-se o gráfico relativo ao nível da superfície livre obtido após a correção realizada.

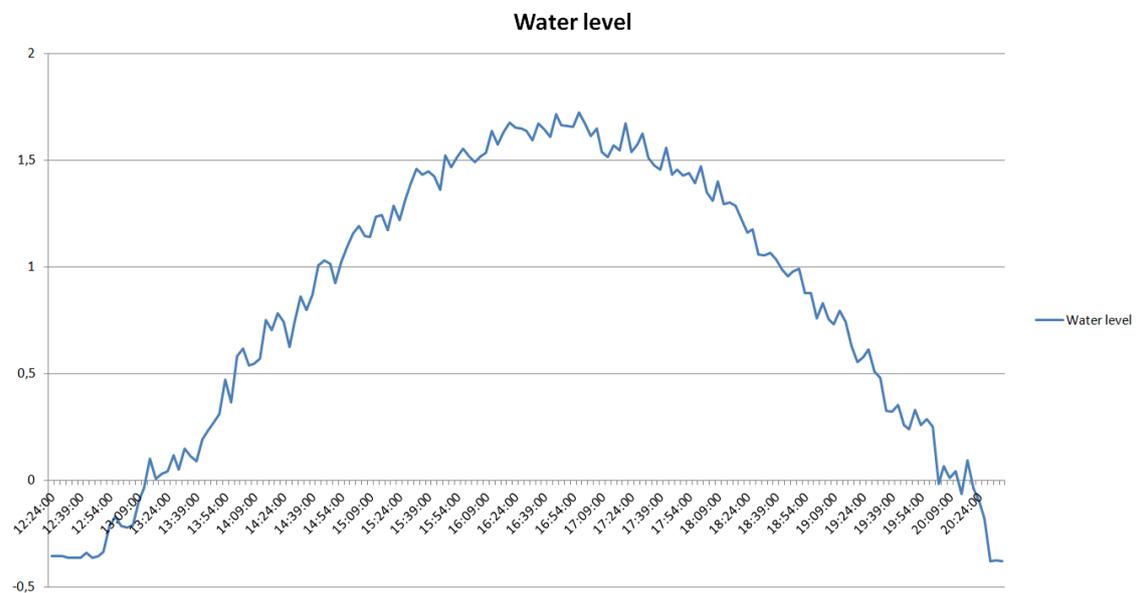


Figura 4-7 Resultados da elevação da superfície livre referida ao nível médio do mar.

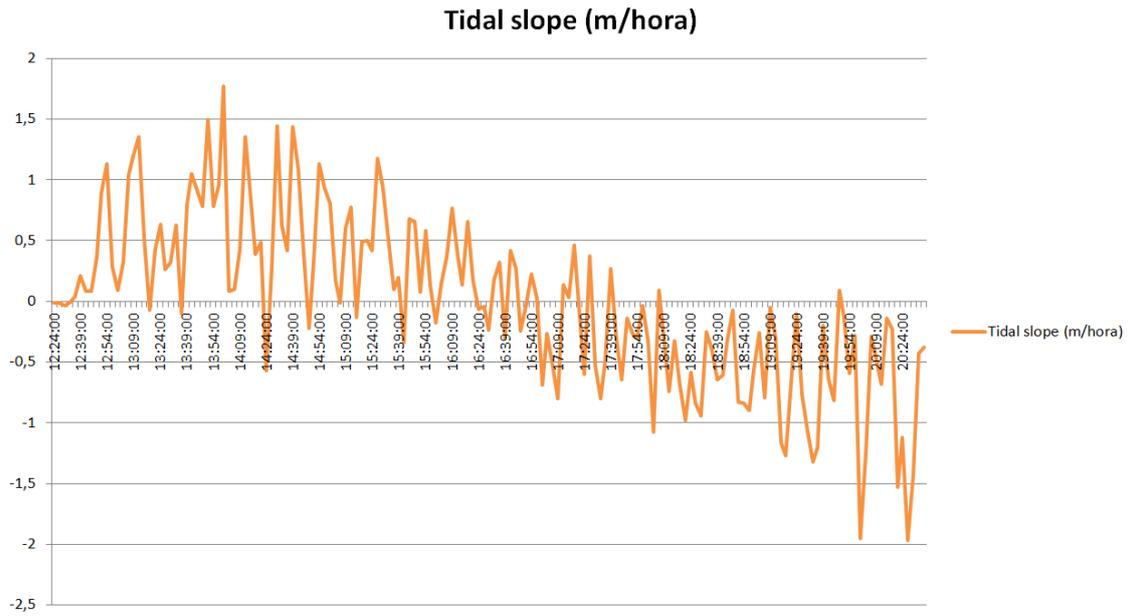


Figura 4-8 Resultados de medição da inclinação de maré.

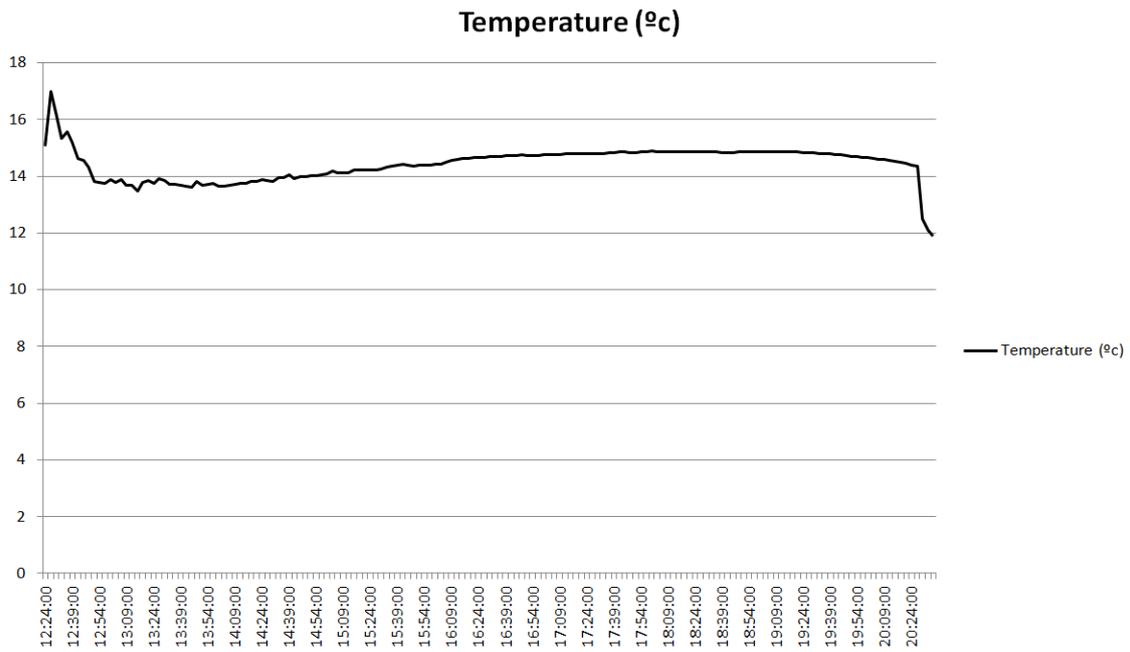


Figura 4-9 Resultados de medição da temperatura.

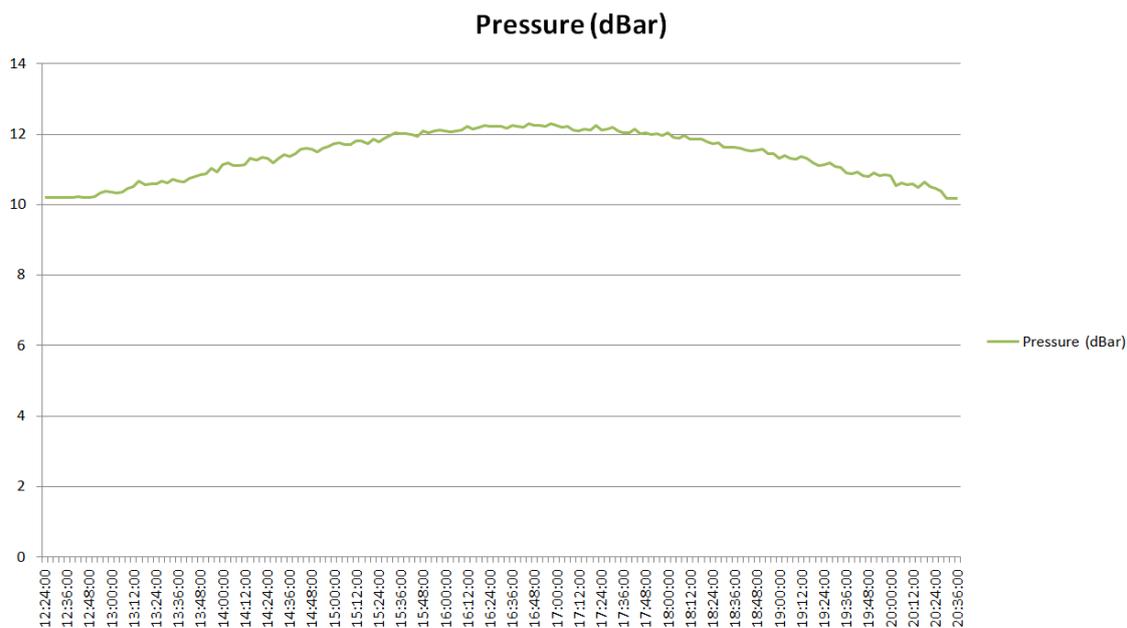


Figura 4-10 Resultados de medição da pressão.

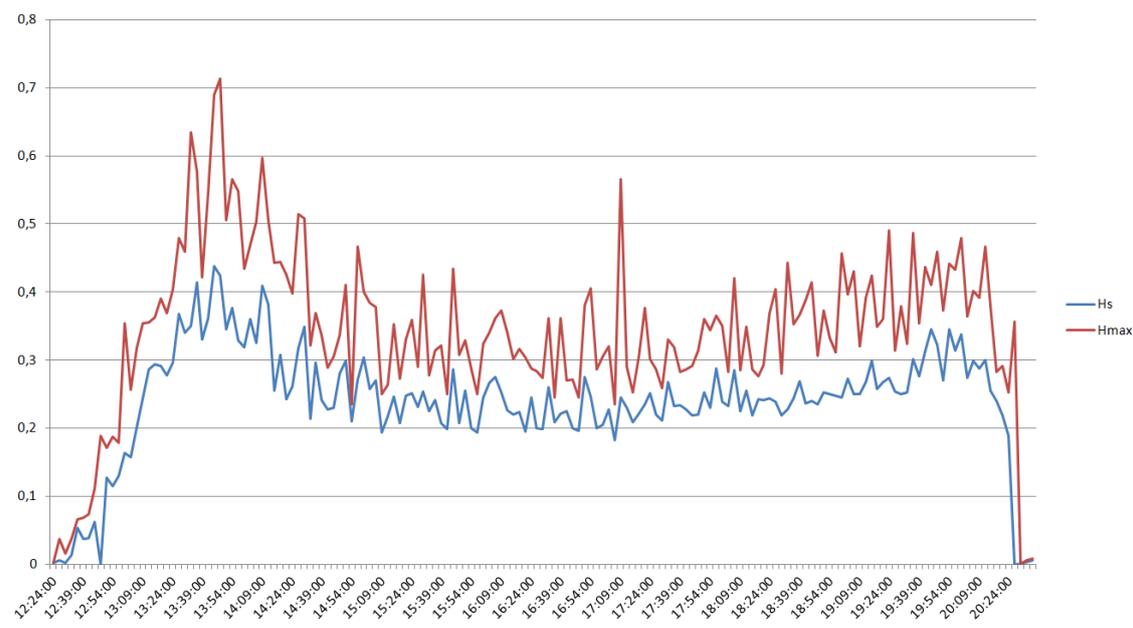


Figura 4-11 Altura significativa e altura máxima da agitação.

Nas figuras 4-12 e 4-13, apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos à altura significativa, altura máxima e período médio registados pela boia do Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica, no dia 1 de maio de 2018.

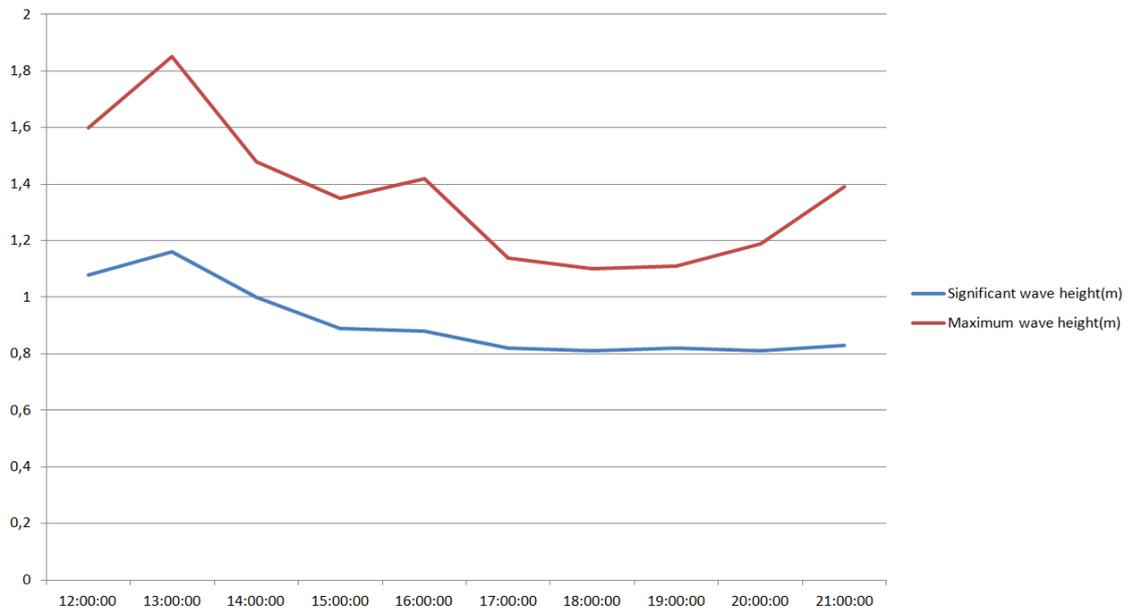


Figura 4-12 Registo da boia do observatório Oceanográfico da Margem Ibérica: Altura significativa e Altura máxima de onda.

Para o período a simular a média da altura significativa é de 0.91 metros, sendo que este valor foi usado posteriormente no modelo de agitação do *software* Delft3D.

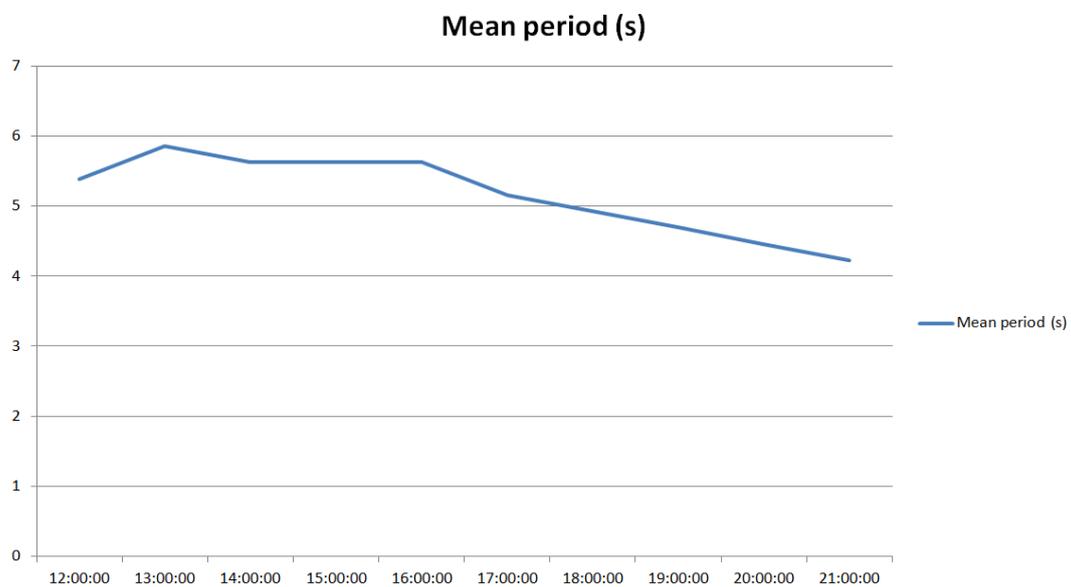


Figura 4-13 Registo da boia do Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica: período médio.

Por sua vez, a média do período de pico e da direção é respetivamente de 7.7 segundos e 316.0 graus.

4.2.1.1 Processamento dos resultados de medição

Nas secções que se seguem são apresentados os resultados das simulações executadas com o *software* Delft3D para o período de monitorização do dia 1 de maio de 2018. Os resultados foram obtidos após a criação de um espectro de agitação em que o modelo foi forçado com a altura significativa, a direção de propagação de onda e o período, valores que foram definidos com base nos registos da boia do Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica.

Foram realizadas três simulações no Delft3D, com resultados de 3 em 3 minutos, com distintas condições de fronteira. A primeira simulação está associada a uma altura significativa de 1 metro, período de pico de 8 segundos e uma direção de 300 graus.

Uniform boundary conditions

Significant wave height:	<input type="text" value="1"/>	[m]
Peak period Tp	<input type="text" value="8"/>	[s]
Direction (nautical):	<input type="text" value="300"/>	[deg]
Directional spreading:	<input type="text" value="4"/>	[-]

Figura 4-14 Condições de fronteira do modelo do Delft3D simulação 1.

A segunda simulação está associada a uma altura significativa de 0.91 metros, período de pico de 8 segundos e uma direção de 300 graus.

Uniform boundary conditions

Significant wave height:	<input type="text" value="0.91"/>	[m]
Peak period Tp	<input type="text" value="8"/>	[s]
Direction [nautical]:	<input type="text" value="300"/>	[deg]
Directional spreading:	<input type="text" value="4"/>	[H]

Figura 4-15 Condições de fronteira do modelo do Delft3D simulação 2.

E por último, a terceira simulação está associada a uma altura significativa de 0.91 metros, período de pico de 7.7 segundos e uma direção de 316.0 graus.

Uniform boundary conditions

Significant wave height:	<input type="text" value="0.91"/>	[m]
Peak period Tp	<input type="text" value="7.688"/>	[s]
Direction [nautical]:	<input type="text" value="315.986"/>	[deg]
Directional spreading:	<input type="text" value="4"/>	[H]

Figura 4-16 Condições de fronteira do modelo do Delft3D simulação 3.

4.2.1.2 Resultados do modelo Delft3D

As séries temporais dos resultados relativos à altura significativa, profundidade e elevação da superfície livre simulados pelo programa Delft3D, para as condições metrológicas do dia 1 de maio de 2018 e para o ponto da grelha correspondente ao local onde foi instalada a sonda TWR-2050, estarão disponíveis para consulta em anexo.

Nas figuras 4-26 e 4-27, apresenta-se a comparação dos resultados obtidos pelo Delft3D e pela sonda TWR-2050 para a altura significativa e elevação da superfície livre, respetivamente. Para as duas variáveis apresentam-se quatro curvas, uma relativa às medições na campanha com a sonda TWR-2050 no dia 1 de maio de 2018 e três correspondentes a simulações com o Delft3D para o mesmo período.

Analisando a evolução da altura significativa ao longo do período de medição, conclui-se que os valores máximos estimados pela sonda TWR-2050 ocorrem perto das 13:45 horas e corresponde a uma altura significativa de 0,44 metros, oscilando entre os 0,20 metros e os 0,45 metros durante grande parte do período de medição. Em relação aos resultados simulados no Delft3D, a simulação 1 apresenta valores máximos a rondar os 0,343 metros entre as 20:00 horas e as 20:30 horas, e valores mínimos de 0,104 metros até as 13:00 horas, resultando numa amplitude de variação de 0,24 metros. A simulação 2, apresenta valores máximos próximos dos 0,32 metros de altura significativa entre as 20 horas e 20:30 horas, e por sua vez um valor mínimo de 0,10 metros entre o início do período de monitorização até às 13 horas, traduzindo-se numa amplitude de variação de 0,22 metros. Finalmente, na simulação 3 os valores máximos são próximos dos 0,29 metros de altura significativa entre as 17 horas e as 17:30 horas, valores mínimos 0,09 metros entre o início do período de monitorização até às 13 horas, traduzindo-se numa amplitude de variação de 0,20 metros.

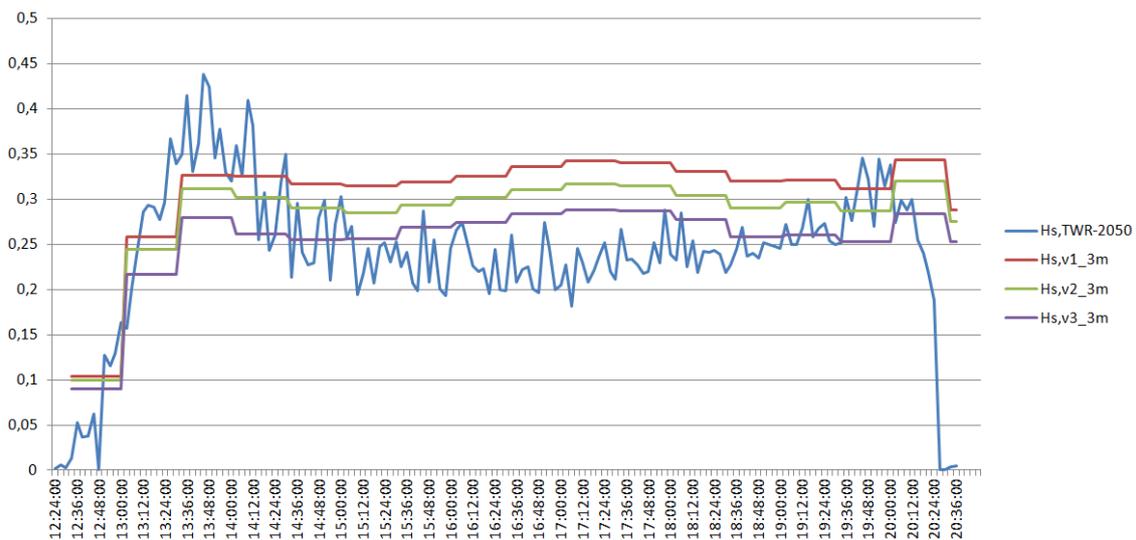


Figura 4-17 Comparação dos resultados obtidos pelo Delft3D e pela sonda TWR-2050 para a altura significativa.

Avaliando a evolução do nível do mar registado pelo sensor, é possível constatar que o seu ponto máximo ocorre perto das 17 horas e é aproximadamente 1,72 metros acima do nível medio das águas do mar. Relativamente aos resultados das diferentes versões do *software* Delft3D pode-se afirmar que, as curvas das três simulações são praticamente coincidentes, apresentando um valor máximo de 1,44 metros acima no nível médio do mar às 17 horas.

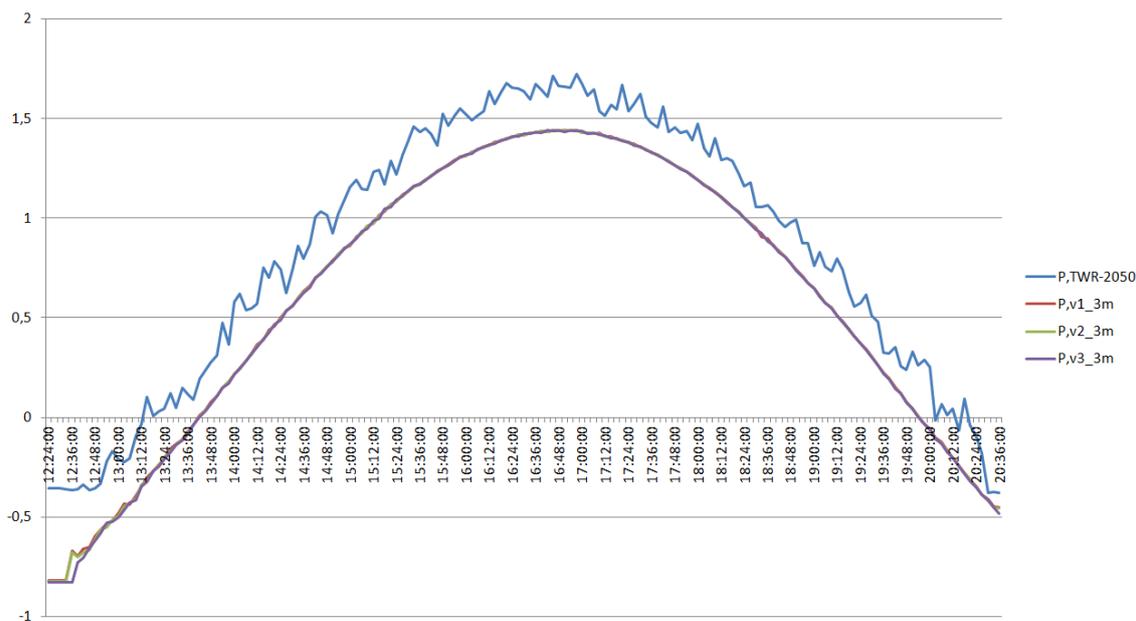


Figura 4-18 Comparação dos resultados obtidos pelo Delft3D e pela sonda TWR-2050 para a elevação da superfície livre.

É perceptível uma diferença sistemática entre os valores medidos pela sonda TWR-2050 e os valores simulados pelo *software* Delft3D. Este erro é da ordem de grandeza dos 27,8%, sendo que o mais provável é a medição ter um erro associado de 0,23 metros acima dos valores simulados pelo *software* Delft3D. Esta diferença, constante ao longo do período de medição, pode ser justificada por um erro de medição do sensor TWR-2050 ou, de facto, o nível médio do mar encontra-se 0,23 metros acima do nível médio considerado nas simulações realizadas (considera-se a batimetria referida ao nível médio do mar - *datum* de referência nacional). Na figura 4-28 apresenta-se a correção efetuada para que as quatro curvas fiquem coincidentes.

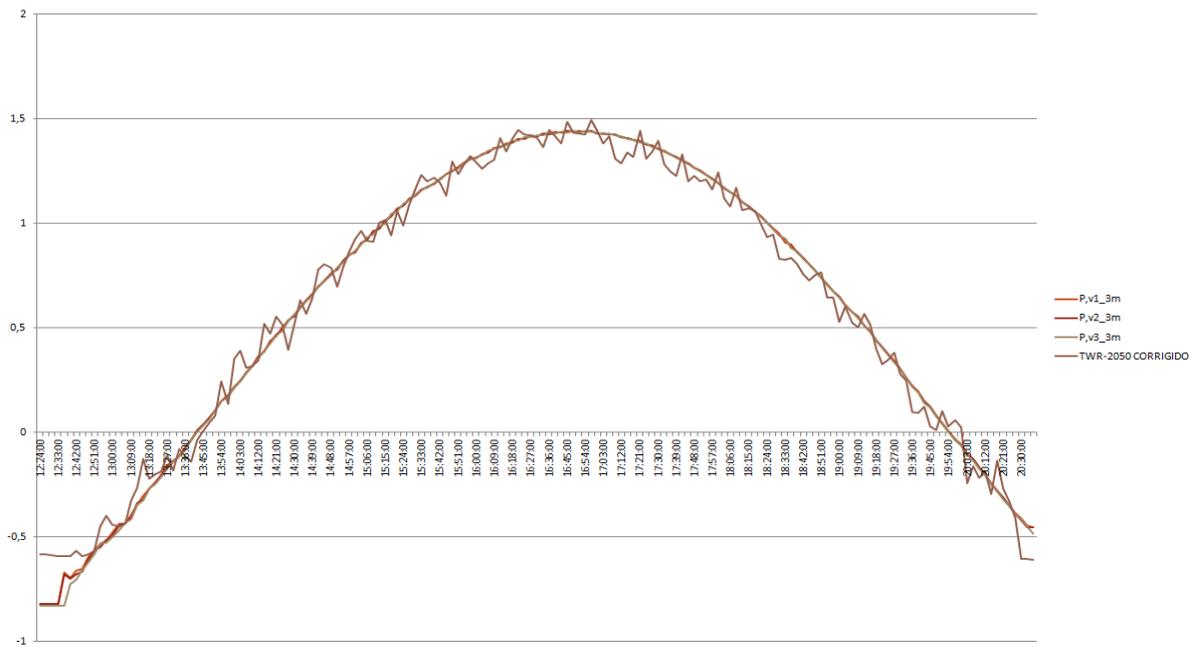


Figura 4-19 Correção dos valores medidos pelo sensor TWR-2050.

De seguida é apresentada uma tabela síntese dos dados relativos à elevação da superfície livre e altura significativa obtidos pelo sensor de pressão no dia 1 de maio de 2018 bem como os mesmos parâmetros obtidos pelas três versões do *software* Delft3D.

Tabela 4 - Valores mínimos, máximos, médios, amplitude e desvio padrão dos parâmetros obtidos pelo Delft3D e TWR-2050.

1 de Maio de 2018		Altura Significativa (m)	Altura de onda (m)
TWR-2050	Valor máximo	0,44	1,72
	Valor mínimo	0,00	-0,38
	Valor médio	0,24	0,82
	Amplitude amostral	0,44	2,10
	Desvio padrão	0,08	0,67
Delft3D simulação 1	Valor máximo	0,34	1,44
	Valor mínimo	0,10	-0,82
	Valor médio	0,31	0,60
	Amplitude amostral	0,24	2,26
	Desvio padrão	0,06	0,69
Delft3D simulação 2	Valor máximo	0,32	1,44
	Valor mínimo	0,10	-0,82
	Valor médio	0,29	0,60
	Amplitude amostral	0,22	2,26
	Desvio padrão	0,05	0,69
Delft3D simulação 3	Valor máximo	0,29	1,44
	Valor mínimo	0,09	-0,83
	Valor médio	0,26	0,59
	Amplitude amostral	0,20	2,27
	Desvio padrão	0,05	0,70

A tabela apresenta uma síntese estatística das variáveis medidas e simuladas, apresentando-se valores máximos e mínimos, média, amplitude e desvio padrão.

Destaca-se que no dia 1 de maio de 2018 não se verificou grande dispersão da altura significativa da agitação, pois o desvio padrão é de 0,08 metros, querendo isto dizer que os resultados das alturas foram bastante semelhantes ao longo do período de registros.

De uma forma geral os resultados simulados com o programa Delft3D apresentam uma aproximação relativamente aceitável aos valores medidos através da sonda TWR-2050. É fulcral fazer a distinção das três simulações uma vez que o objetivo foi o de aprimorar a aproximação aos resultados medidos. Desta forma, a simulação 3 é aquela que traduz valores mais aproximados da realidade, já que as suas condições de fronteira baseiam-se em dados históricos (altura significativa de onda, período de pico e direção de propagação das ondas) fornecidos pelo Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica, no mesmo período de monitorização. Por sua vez a simulação 1, combina condições de fronteira fundamentadas em previsões para da agitação para o dia de medição. Em

relação à simulação 1, a simulação 2 resulta numa aproximação aos valores medidos uma vez que neste caso apenas o parâmetro (Hs) é baseado nos registos históricos do Oceanográfico da Margem Ibérica.

4.2.2 Campanha de 7 de novembro de 2018

Recorrendo a algumas plataformas de previsões de agitação marítima e maré, planeou-se para o dia 7 de novembro de 2018 uma excelente oportunidade para obtenção medições de alturas significativas superiores aos valores registados no dia 1 de maio de 2018. As previsões apontavam para uma altura significativa, no largo da costa da praia de Ofir, a rondar os três metros. Neste dia de maré viva, a primeira baixa-mar deu-se por volta das 8:20 horas da manhã e a preia-mar perto das 14:30 horas, como é possível verificar na figura seguinte relativa a dados do Instituto Hidrográfico.

Leixões

Data e hora	Alt.	Fenómeno
2018-11-07 02:14	3.5 m	Preia-mar
2018-11-07 08:19	0.5 m	Baixa-mar
2018-11-07 14:34	3.5 m	Preia-mar
2018-11-07 16:02	-	Lua nova
2018-11-07 20:41	0.5 m	Baixa-mar

Hora legal de **Inverno**
fuso «Europe/Lisbon»
(UTC/GMT)

Figura 4-20 Previsões de maré do Instituto Hidrográfico.

Ao contrário do que aconteceu no dia 1 de maio de 2018, decidiu-se instalar o sensor TWR-2050 no lado norte do esporão sul, uma vez que a chegada ao local se deu por volta das 9:00 horas e as condições de instalação da sonda seriam melhores neste lado devido ao avanço da água ser superior no lado de sotamar do esporão, como é possível constatar na figura seguinte.



Figura 4-21 Local de instalação do sensor TWR-2050.

O procedimento de instalação foi exatamente igual ao da primeira campanha e, no exato momento em que a estrutura foi enterrada, esta começou a ser atingida pelo espraiamento que se agravou a nível de intensidade ao longo do tempo.



Figura 4-22 Instalação do sensor TWR-2050 e espraiamento.

Verificava-se que, sempre que o espraiamento atingia a sonda e posteriormente retornava, provocava um escavamento, expondo até à base a estrutura de suporte do sensor. Em duas horas o movimento sedimentar, no ponto onde estava instalado o material, resultou numa perda de cerca de 40 centímetros em altura, até que pelas 11:20

dá-se o derrube estrutural. Posteriormente procedeu-se à recolha do sensor TWR-2050 em segurança graças à corda de fixação da estrutura.

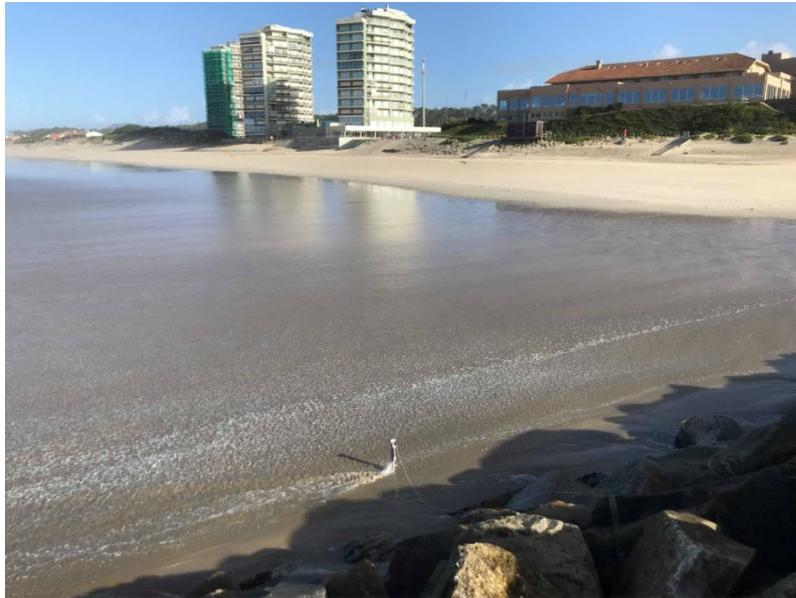


Figura 4-23 Refluxo e erosão no local de instalação da estrutura de suporte da sonda.

4.2.2.1 Resultados dos modelos Delft3D

Na impossibilidade de obter medições para a campanha de dia 7 de novembro de 2018, foi realizada uma simulação com o modelo criado. Os resultados foram obtidos após a definição de um espectro de agitação em que os parâmetros introduzidos foram a altura significativa, a direção de propagação de onda e o período, valores que foram conseguidos através dos registos na boia do porto de Leixões e cedidos pelo Instituto Hidrográfico.

Assim, as condições de fronteira da presente simulação estão associadas a altura significativa de 4,48 metros, período de pico de 14,1 segundos e uma direção de 297,43 graus.

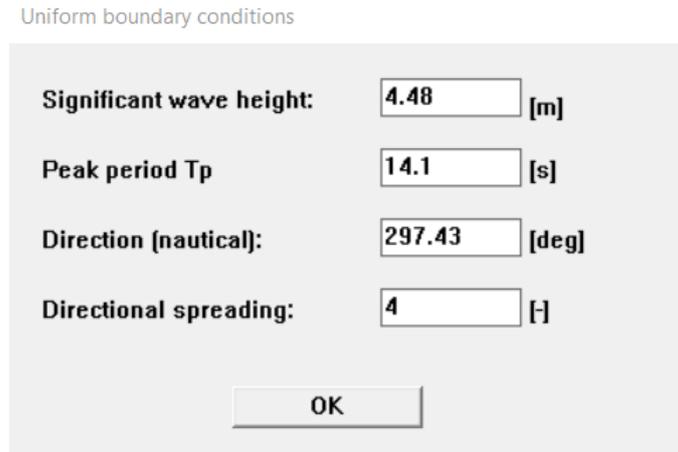


Figura 4-24 Condições de fronteira.

Apresentam-se as séries temporais dos resultados relativos para a altura significativa, profundidade e elevação da superfície livre simulados pelo programa Delft3D para as condições metrológicas do dia 7 de novembro de 2018 e para o ponto da grelha onde foi instalada a sonda TWR-2050.

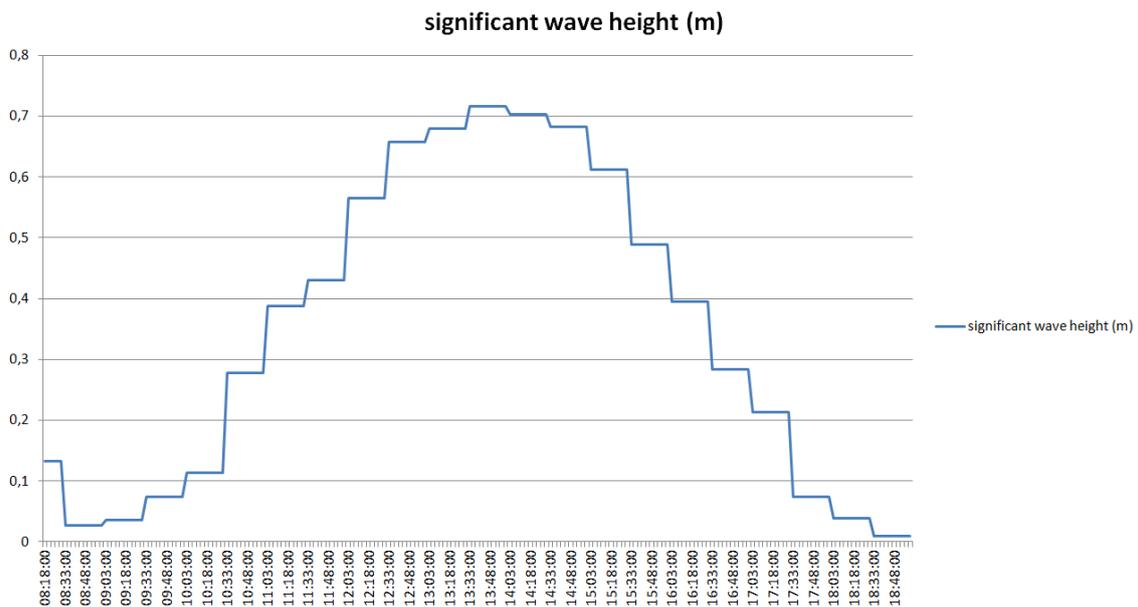


Figura 4-25 Resultados relativos à altura significativa da agitação simulados com o Delft3D, campanha do dia 7 de Novembro de 2018.

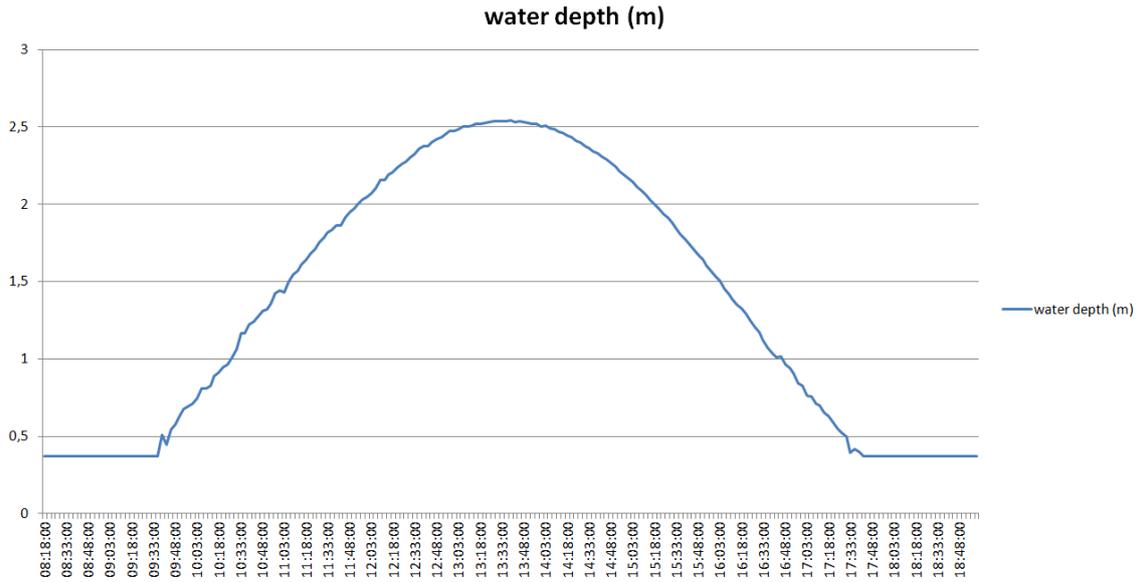


Figura 4-26 Resultados relativos à profundidade simulados com o Delft3D, campanha dia 7 de Novembro de 2018.

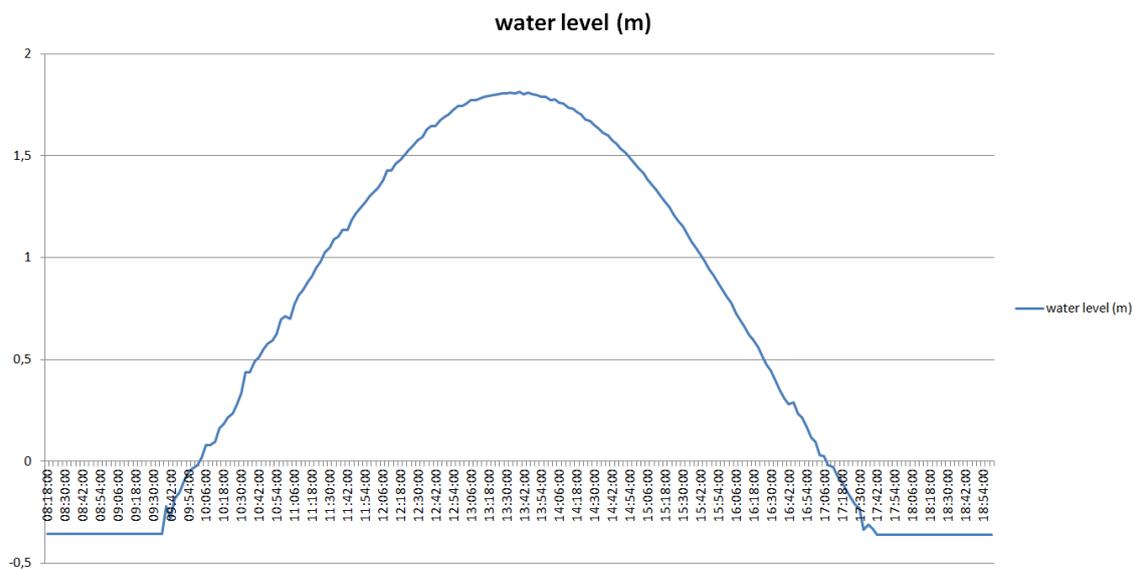


Figura 4-27 Resultados relativos à elevação da superfície livre simulados com o Delft3D, campanha dia 7 de Novembro de 2018.

4.3 Resultados dos levantamentos topográficos

Com o objetivo de facilitar a localização geográfica dos perfis que serão analisados de seguida foi definido um ponto de referência coincidente com o limite norte das torres de Ofir definido pelas coordenadas $41^{\circ}31'07.4''N$ $8^{\circ}47'15.1''W$. Sendo assim, o perfil 1

encontra-se a 20,5 metros do ponto de referência, já o perfil 2 encontra-se a 173 metros, o perfil 3 a 218,5 metros da origem, o perfil 4 está a 240 metros do ponto de referência, o perfil 5 a 405,8 metros e por fim o perfil 6 está a uma distância de 513 metros do ponto de referência. Na figura 4-28 é possível observar a localização dos perfis no Google Earth.



Figura 4-28 Localização dos perfis transversais.

Relativamente à comparação dos perfis realizados há que realçar que os levantamentos realizados em 2018 não se estenderam até aos cilindros geossintéticos, daí não terem a mesma origem que os levantamentos realizados por Gomes (2017).

Os resultados relativos a 20 de março de 2017 foram realizados da parte da tarde durante a segunda baixa-mar do dia, portanto a baixa-mar mais baixa, em dia de maré morta ou seja a fase da lua Quarto Minguante. Relativamente ao dia 30 de Março de 2017, os levantamentos foram realizados na parte da manhã durante a baixa-mar. Era esperado que a exposição fosse maior que a encontrada no primeiro dia de levantamentos, pois este levantamento foi realizado durante marés vivas ou seja a maré de amplitude máxima. O terceiro dia de levantamentos, juntamente com o segundo, foi realizado durante a parte da manhã durante a baixa-mar, com a ocorrência de marés vivas. Neste dia, a fase da lua correspondia à Lua Cheia. E finalmente para finalizar as campanhas de 2017, no dia 15 de maio de 2017, a campanha ocorreu na transição da Lua cheia para o Quarto Minguante (Gomes, 2017).

Em relação as campanhas realizadas a 1 de maio de 2018 e 28 de maio de 2018, estas ocorreram na parte da manhã durante a baixa-mar e em dias de maré viva.

De seguida serão apresentados todos os gráficos comparativos dos perfis realizados.

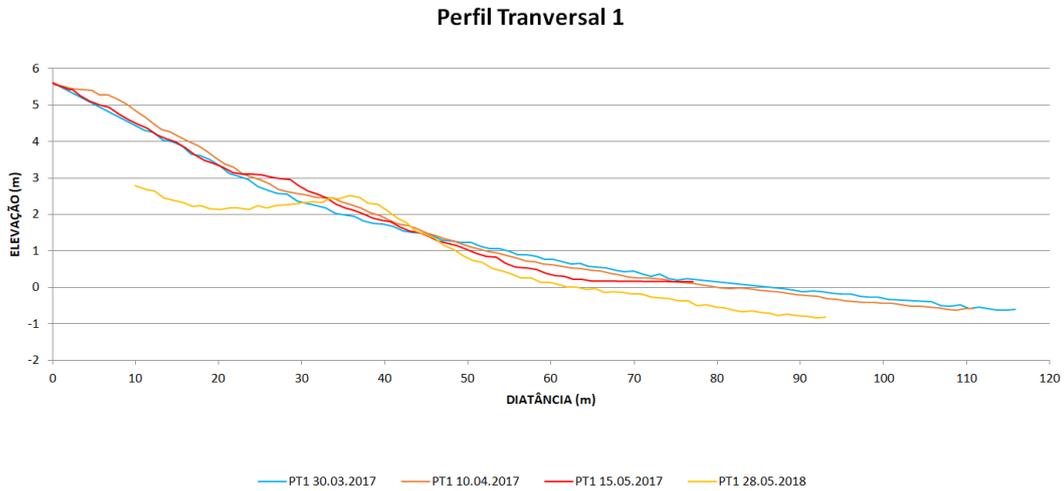


Figura 4-29 Comparação do perfil 1.

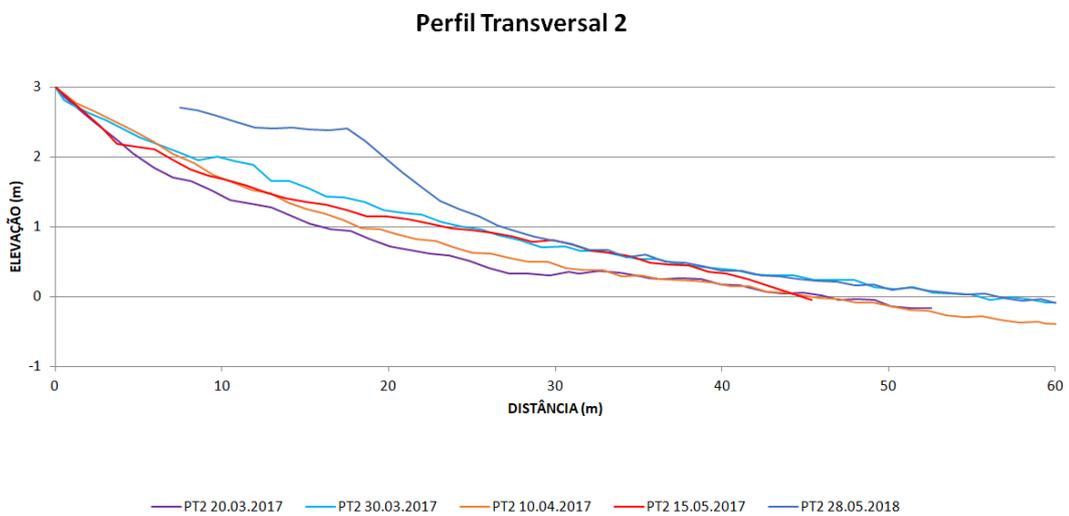


Figura 4-30 Comparação do perfil 2.

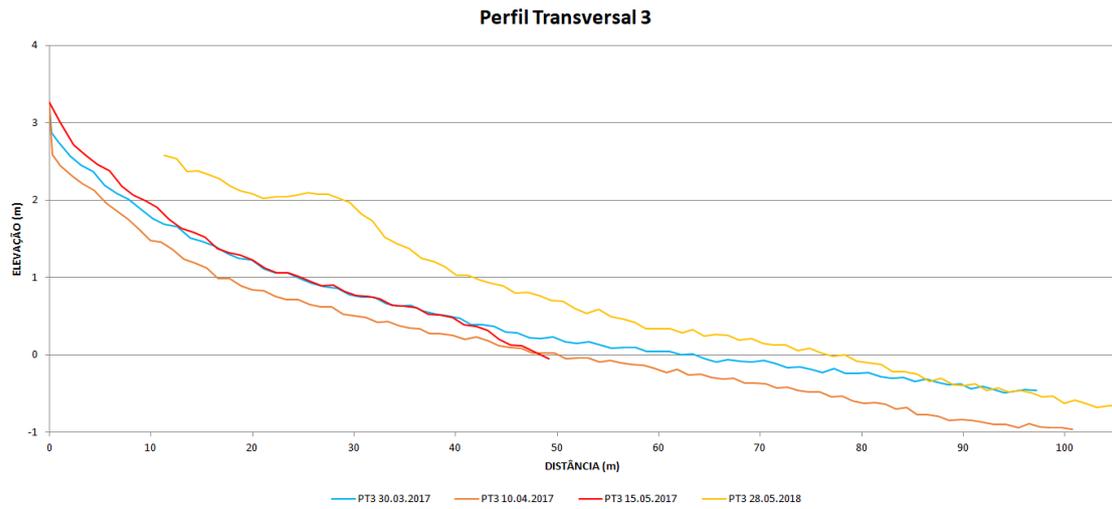


Figura 4-31 Comparação do perfil 3.

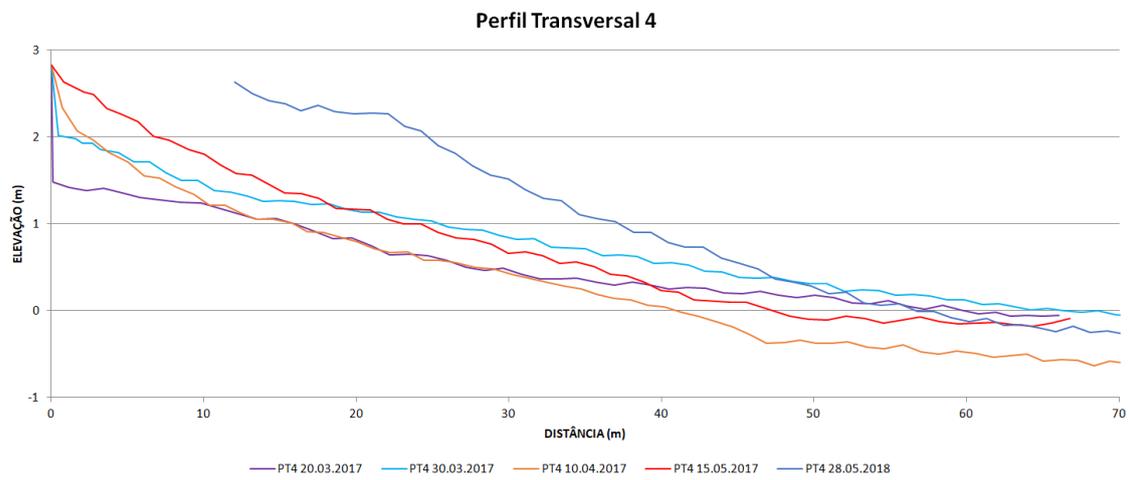


Figura 4-32 Comparação do perfil 4.

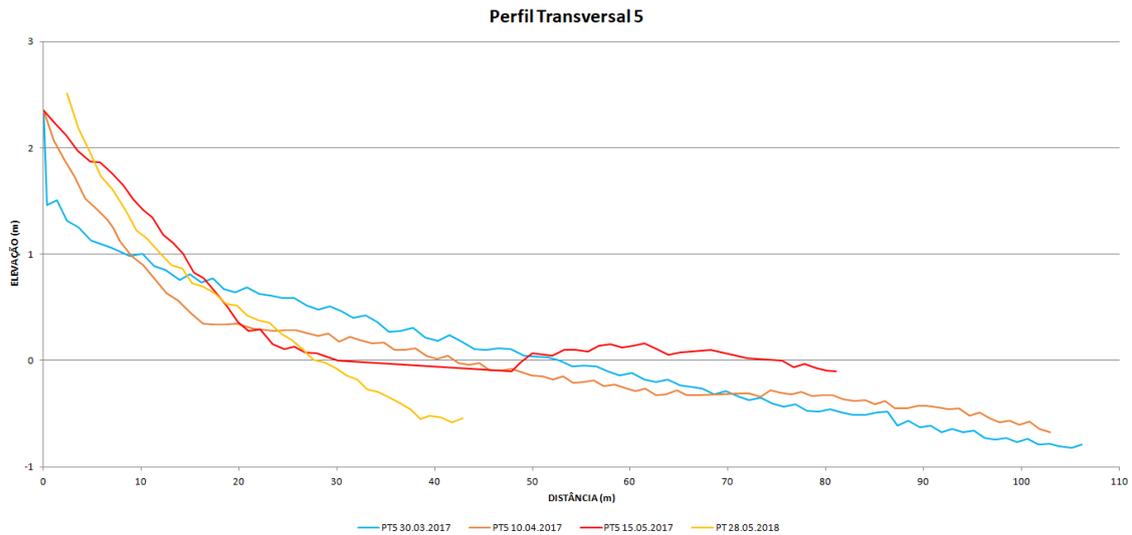


Figura 4-33 Comparação do perfil 5.

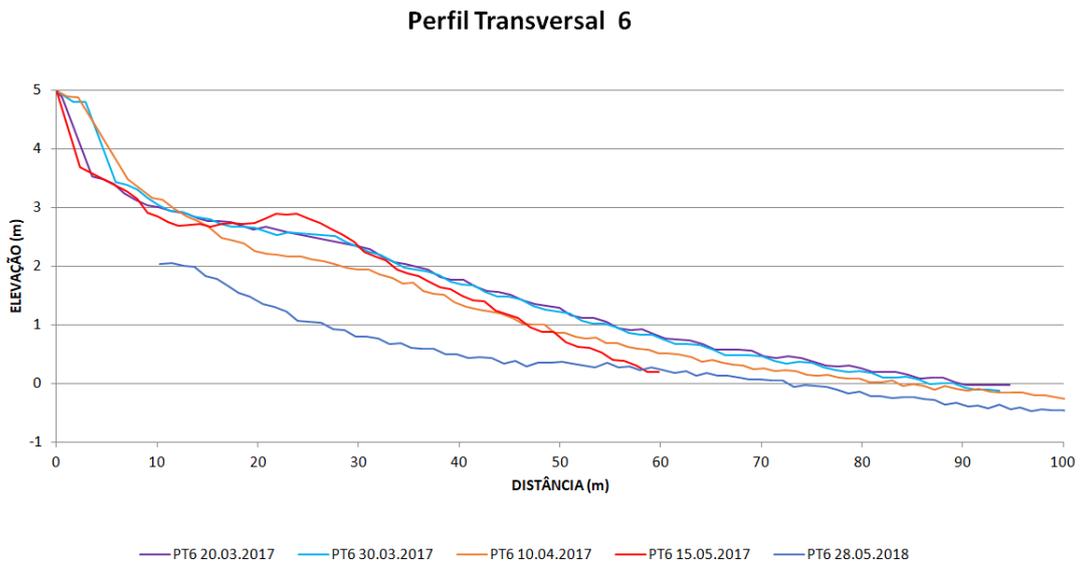


Figura 4-34 Comparação do perfil 6.

Avaliando a evolução de um ano para o outro conclui-se que relativamente aos perfis 2, 3 e 4 é visível uma acreção quando comparado com os perfis do ano transato. Pelo contrário os perfis 1, 5 e 6 apresentam uma erosão relativamente aos levantamentos realizados no ano 2017.

5 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS

5.1 Conclusões

O trabalho desenvolvido teve como principal objetivo contribuir para a caracterização de estados de agitação marítima e aprofundar o conhecimento da morfodinâmica da praia de Ofir, situada em Esposende.

Foram realizadas campanhas de monitorização na praia, tendo sido instalado o sensor TWR-2050, com objetivo de proceder a uma caracterização das condições de agitação que a praia sofre em diferentes períodos do ano. Os dados recolhidos foram ainda comparados com valores simulados pelo modelo Delft3D.

Foram ainda realizados levantamentos topográficos de alta precisão recorrendo a um GPS Diferencial por forma a realizar uma comparação da evolução morfológica entre os levantamentos realizados em 2017 e 2018.

Retiram-se as seguintes principais conclusões do trabalho realizado:

- A metodologia de trabalho de campo definida, designadamente a instalação do sensor de pressão é adequada, tratando-se de um processo fácil e com acessibilidade em condições de segurança, a partir da estrutura de defesa. Pode afirmar-se que a sonda, a estrutura de suporte e o programa Ruskin funcionaram na perfeição.
- Na construção do modelo Delft3D, foram usados registos da boia do Observatório Oceanográfico da Margem Ibérica e os levantamentos topográficos realizados neste trabalho na definição da batimetria, concluindo-se que os valores simulados pelo programa Delft3D são próximos dos valores medidos, pelo que o modelo pode ser utilizado para simular outros estados de agitação.
- Constata-se que o estado de agitação marítima registado na campanha de maio corresponde a um estado pouco energético. Na campanha realizada no mês de novembro não foi possível realizar medições devido às fortes condições de agitação, quando ao largo a agitação apresentava uma altura significativa entre 3 e 4 metros.

- Os levantamentos topográficos permitiram verificar que os perfis da praia apresentam uma acreção relativamente ao que foi medido no ano de 2017 no setor sul da praia e ligeiramente rebaixado a norte. Relativamente à acreção, conclui-se que apresenta valores consideravelmente elevados, sendo que existe a possibilidade de terem ocorrido intervenções na praia antes da época balnear 2017, tornando esta excessiva acreção justificável com uma possível alimentação artificial.

5.2 Desenvolvimentos futuros

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se a realização de novas campanhas de medição da agitação marítima, recorrendo ao sensor de pressão TWR-2050, complementadas com a realização de levantamentos topográficos com o GPS Diferencial por forma a ampliar a informação morfodinâmica disponível para a praia de Ofir. Dever-se-á dar prioridade a medições em cenários meteorológicos, caracterizados por condições mais severas do que aquelas que foram experienciadas durante os trabalhos na praia de Ofir, bem como tempestades com agitação marítima acentuada.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Abercrombie, D. (2009). *Beach Cusps on Palomarin Beach*, <https://www.flickr.com/photos/albategnius/3774482110/in/photostream/>; Acesso em Setembro de 2018.
- Alfredini, P., Arasaki, E. (2009). *Obras e gestão de portos e costas: a técnica aliada ao enfoque logístico e ambiental*, Edgard Blücher.
- Baptistelli, S.C. (2008). *Análise crítica da utilização de modelagem matemática na avaliação da dispersão de efluentes leves no litoral da Baixada Santista (Estado de São Paulo)*, Universidade de São Paulo.
- Basco, D.R. (2006). *Shore Protection Projects. Coastal Engineering Manual, Part V: Coastal Project Planning and Design, Chapter 3, U.S. Army Corps of Engineers, Washington, DC, pp 45.*
- Bezuijen, A., Vastenburg, E. (2012). *Geosystems: design rules and applications*, CRC Press.
- Carmo Barletta, R., Benedet, L., Pierro, T., Bonanata, R. (2010). *Aplicação de um modelo de Boussinesq para avaliação de impacto de obras de engenharia costeira na zona de surfe*, FURG, Rio Grande, Novembro / 2010.
- Carneiro, J.J.F. (2014). *Caracterização de estados de agitação marinha e processos de propagação*, Universidade do Minho.
- Castanho, J. (1959). *Métodos empregados na defesa contra a erosão costeira*, Memória nº 196, Laboratório Nacional de Engenharia Civil, Lisboa.
- Coelho, R., Ribeiro, P. (2007). *Sistemas de Posicionamento Global*, Universidade Nova de Lisboa.
- Faller, D.G. (2005). *Praias Saiba mais sobre elas*, Centro de Estudos do Mar - UFPR; <http://www.cem.ufpr.br/praias/pagina/pagina.php?menu=praias>.
- Ferreira, D. (2014). *Modelação laboratorial de uma estrutura aderente em cilindros de geossintéticos*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Gomes, A.C.M. (2017). *Contributos para a caracterização da morfodinâmica de praias sob influência de estruturas antrópicas*, Universidade do Minho.

Gomes, F.V. (1991). *Algumas Reflexões Sobre as Obras de Protecção Costeira*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Jensen, C. (2007). *The rock manual: The use of rock in hydraulic engineering*, Ciria.

Jorge, A.d.R.F. (2010). *Análises de incidências ambientais e de custo-benefício no estudo de alternativas de intervenções de defesa costeira versus retirada planeada de aglomerados urbanos em risco: Caso de estudo Esmoriz/Cortegaça*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Lima, M. (2011). *Programação de métodos de pré-dimensionamento de obras costeiras*, Universidade de Aveiro.

Lopes, J. (2018). *O litoral de Ovar e a defesa da costa através de diferentes soluções experimentais*, <http://etcetaljornal.pt/j/2018/05/o-litoral-de-ovar-e-a-defesa-da-costa-atraves-de-diferentes-solucoes-experimentais/>; Acesso em Setembro de 2018.

Marinho, B.C.G. (2013). *Procedimentos no estudo de obras de defesa costeira*, Universidade de Aveiro.

Neto, P.E.M. (2014). *Morfodinâmica de cordões dunares intervencionados com paliçadas*, Universidade do Minho.

Neves, L. (2003). *Geossintéticos e geossistemas em engenharia costeira*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Pinto, F. (2001). *Análise das oscilações e dos campos de velocidade nas proximidades de quebramares submersos sob a acção da agitação marítima*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.

Pinto, F.T. (2007). *Gestão costeira integrada* Journal of Integrated Coastal Zone Management, <http://www.aprh.pt/rgci/glossario/onda.html>; Acesso em Setembro de 2018.

- Porto, A. (2013). *Estudo Laboratorial do Comportamento de uma Restinga Móvel Confinada por Cilindros de Geossintéticos*, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
- RBR (2008). *TWR-2050*, Hydraulics Laboratory – SIO, http://airsea.ucsd.edu/lei/index.php?option=com_content&task=view&id=25&Itemid=150; Acesso em Setembro de 2018.
- Ribeiro, P. (2014). *Signature 55 - a new long current profiler*, NORTEK AS.
- Rodrigues, E. (2014). *FOTOGALERIA: Reposição de areia continua noite e dia na Praia Nova em Lagoa*, <http://www.sulinformacao.pt/2014/09/fotogaleria-reposicao-de-areia-continua-noite-e-dia-na-praia-nova-em-lagoa/>; Acesso em Setembro de 2018.
- RRRAA (2017) Decreto do Representante da República para a Região Autónoma dos Açores n.º 2/2017 - Diário da República n.º 132/2017, Série I de 2017-07-11
- RUMAR (2018). *O perigo das praias: Correntes de Retorno*, <http://rumoaomar.org.br/meteorologia-oceanografia/o-perigo-das-praias-correntes-de-retorno.html>; Acesso em Novembro de 2018.
- Santos, D.P.d.P. (2012). *Modelação de processos hidrodinâmicos das ondas na zona costeira*, Universidade de Aveiro.
- Santos, J., Capitão, R., Coli, A.B., Fortes, C.J.E., Freire, P. (2005). *Previsão da agitação marítima no estuário do Tejo utilizando o modelo SWAN*, Congresso da Água, Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos.
- Silva, A. (2014). *Estudo da morfodinâmica da praia de seixos de Belinho sob a influência de diferentes estados de agitação e tipos de maré*, Universidade do Minho.
- Silva, L. (2009). *Simulação da propagação de ondas na Praia de Faro*, Universidade de Aveiro.
- Smith, M. (2002). *Geotextile tubes in environmental applications*, Australia: Global Synthetics.

7 ANEXOS

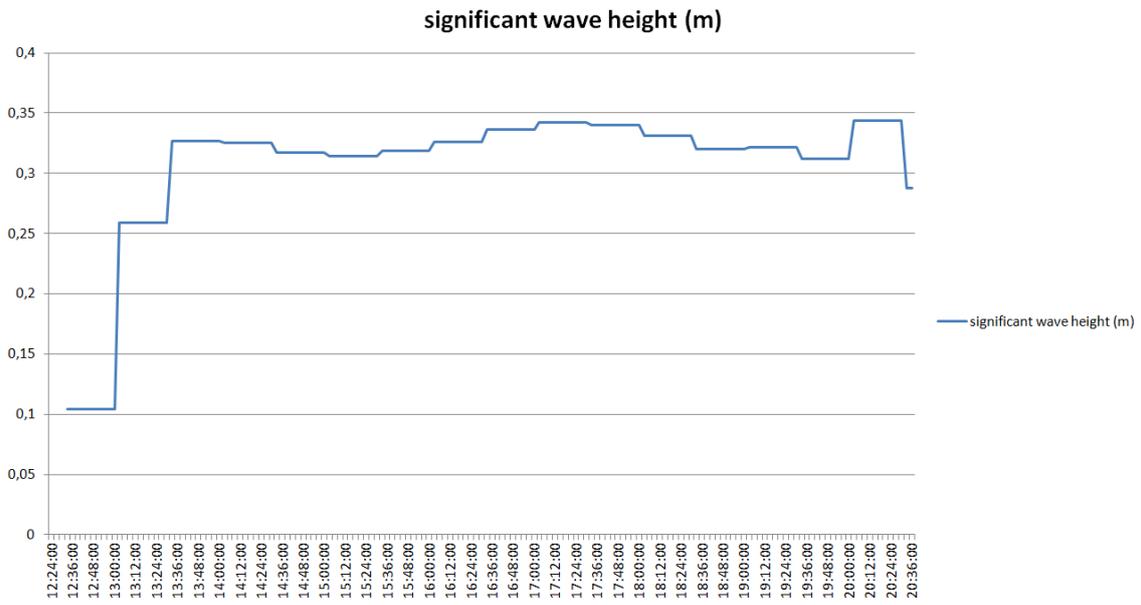


Figura 7-1 Resultados relativos à altura significativa de onda extraídos do Delft3D, simulação 1.

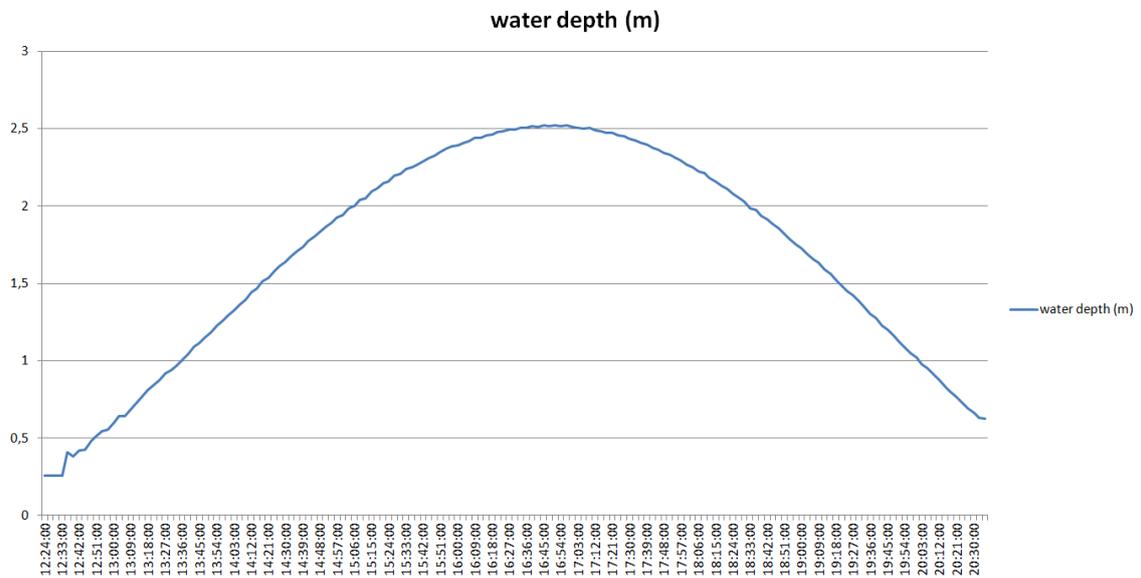


Figura 7-2 Resultados relativos à profundidade extraídos do Delft3D, simulação 1.

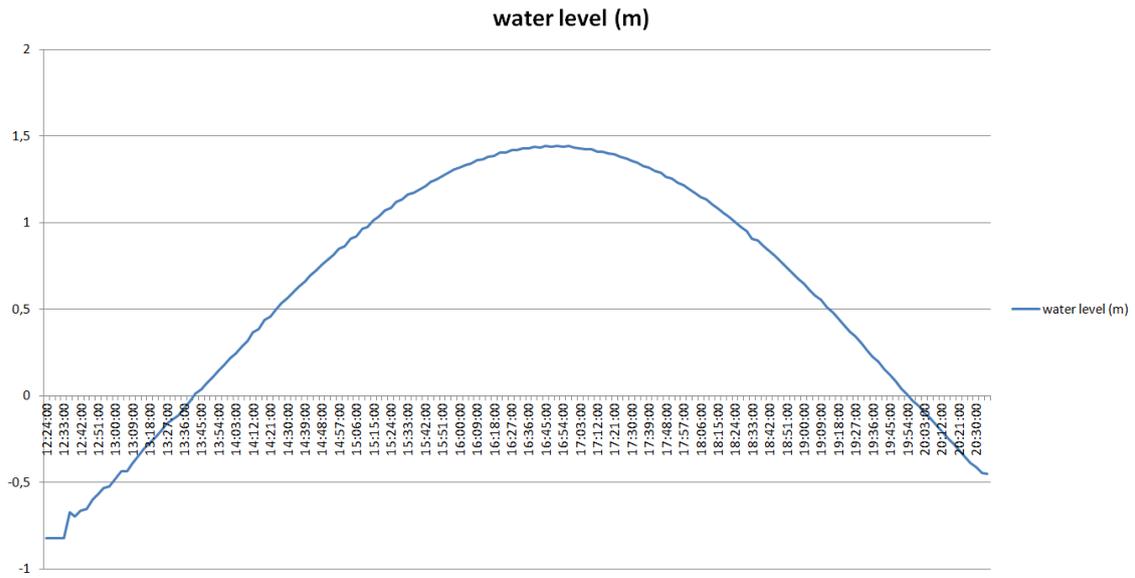


Figura 7-3 Resultados relativos à elevação da superfície livre do Delft3D, simulação 1.

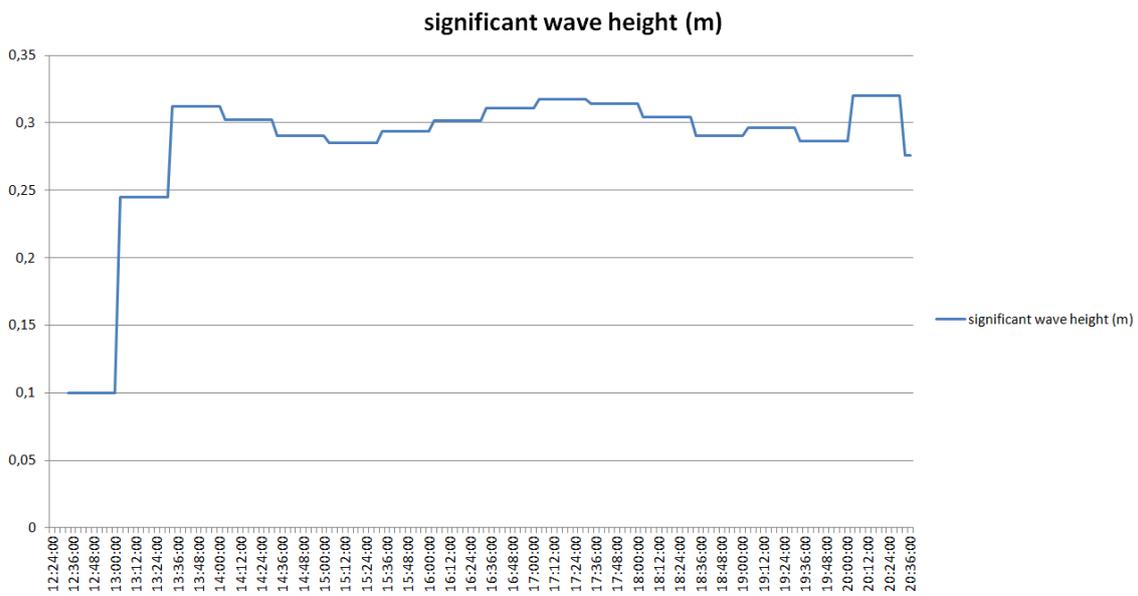


Figura 7-4 Resultados relativos à altura significativa de onda extraídos do Delft3D, simulação 2.

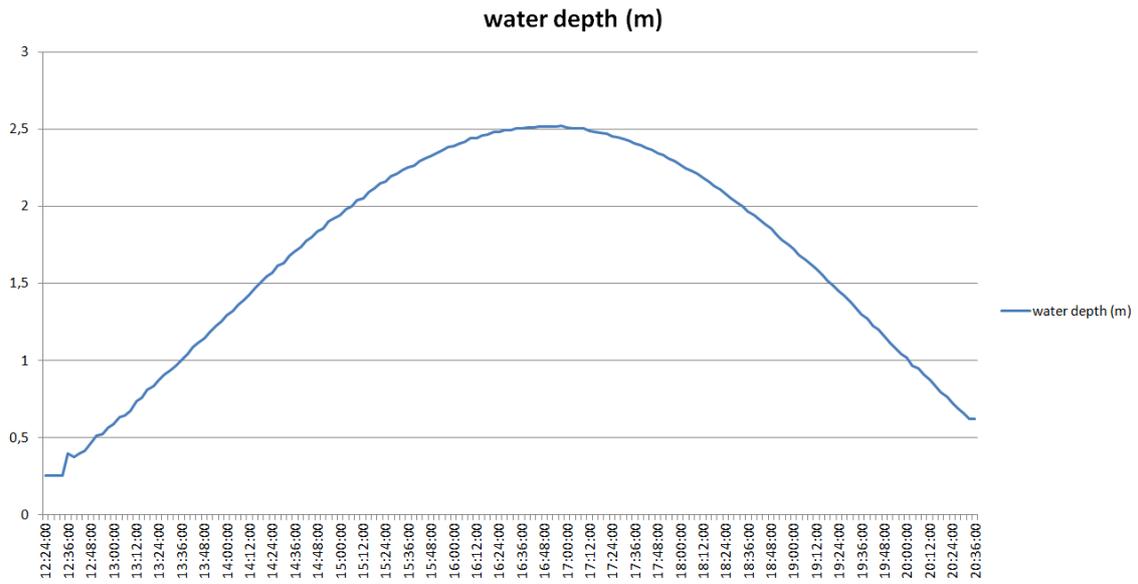


Figura 7-5 Resultados relativos à profundidade extraídos do Delft3D, simulação 2.

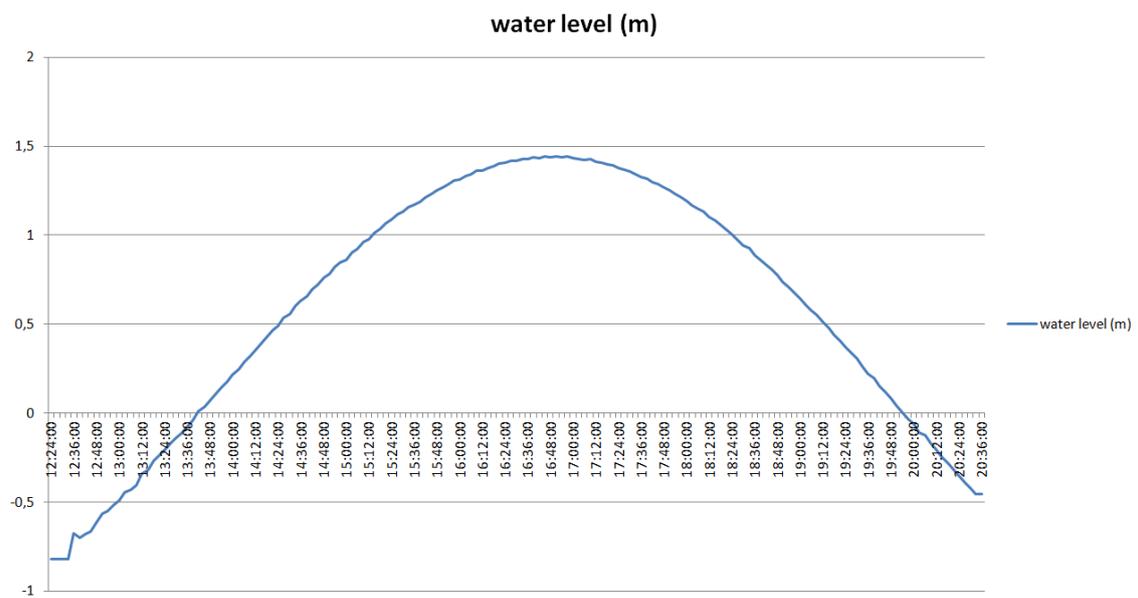


Figura 7-6 Resultados relativos à elevação da superfície livre obtidos no Delft3D, simulação 2.

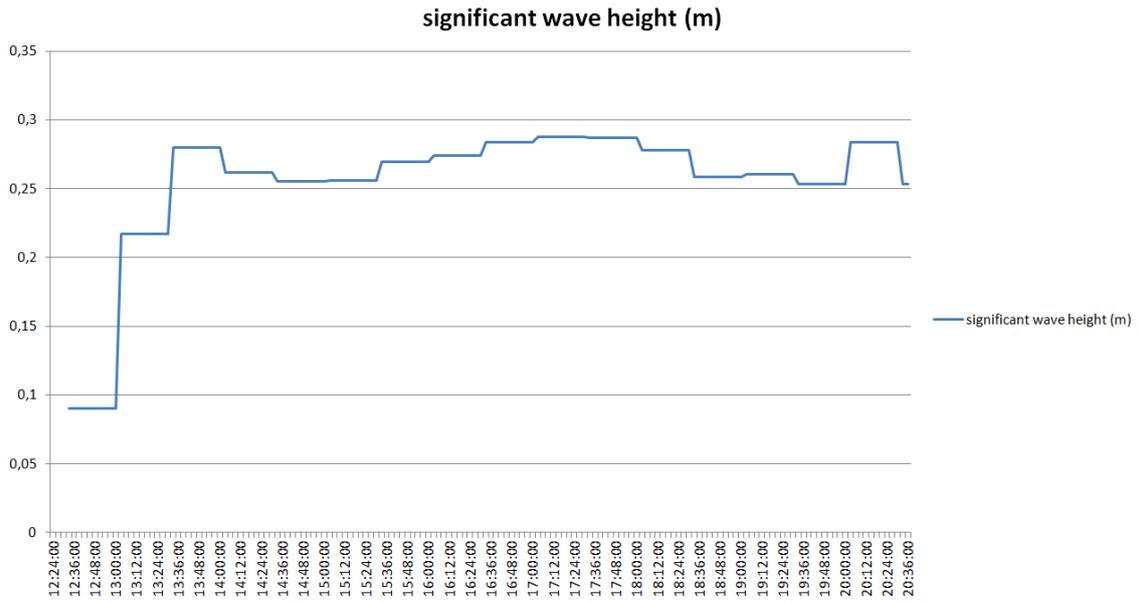


Figura 7-7 Resultados relativos à altura significativa de onda extraídos do Delft3D, simulação 3.

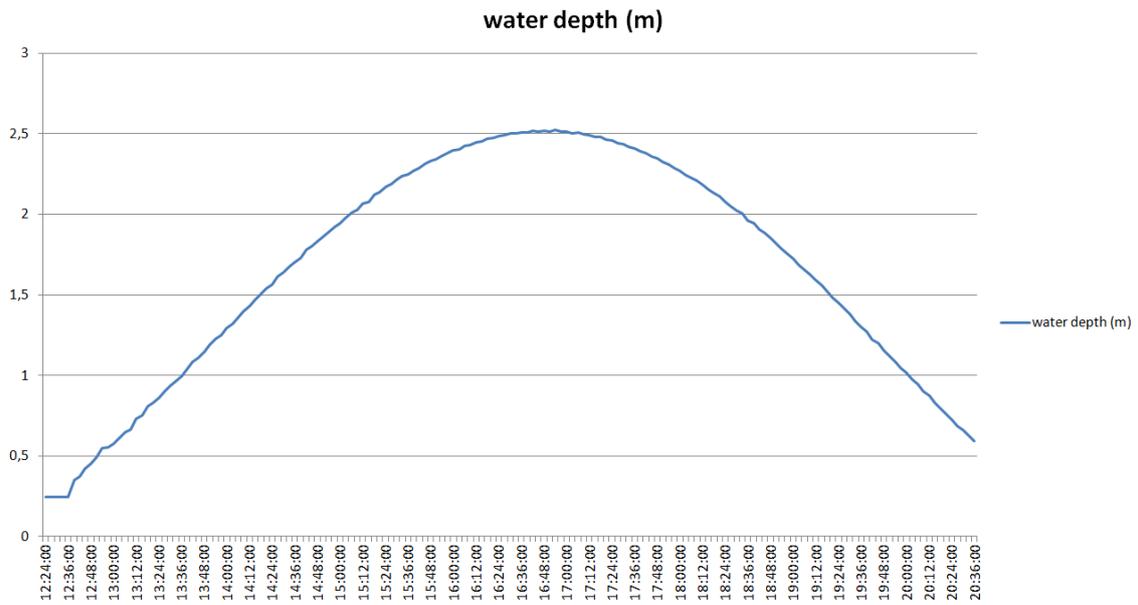


Figura 7-8 Resultados relativos à profundidade extraídos do Delft3D, simulação 3.

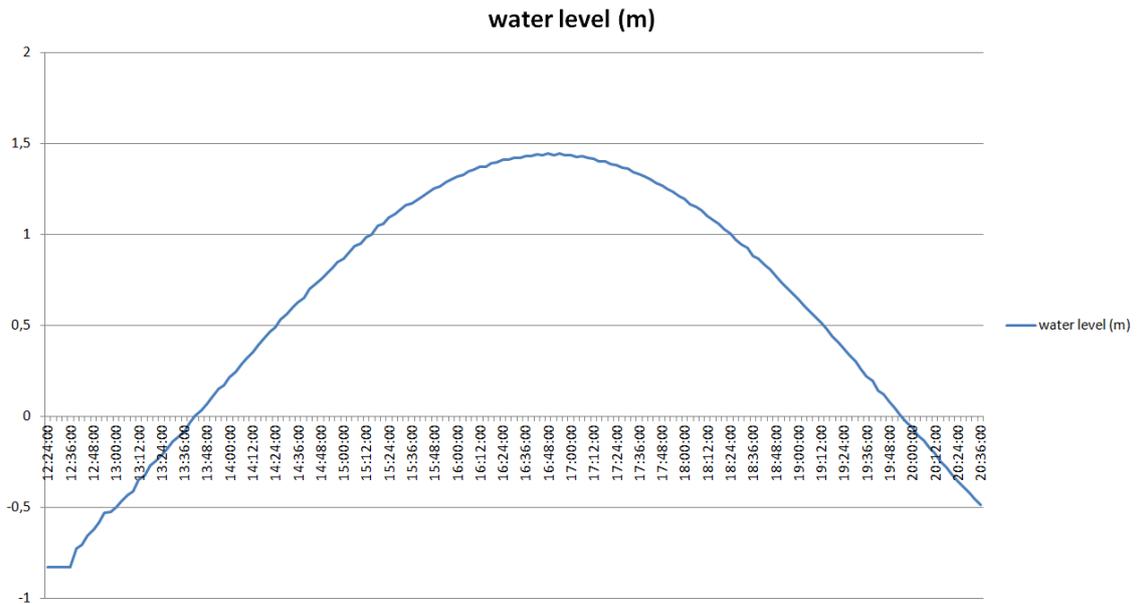


Figura 7-9 Resultados relativos à elevação da superfície livre obtidos no Delft3D, simulação 3.