



LABORATÓRIO NACIONAL  
DE ENGENHARIA CIVIL

DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E AMBIENTE  
Núcleo de Portos e Estruturas Marítimas

Proc. 0603/01/18775

## **CARACTERIZAÇÃO DAS CONDIÇÕES DE DINÂMICA COSTEIRA E AVALIAÇÃO DOS IMPACTES DA CONSTRUÇÃO DA MARINA LUANDA**

**Estudo III: Análise das condições de agitação marítima no  
interior da marina e análise da estabilidade e galgamentos  
da obra principal de proteção da marina**

**Relatório final**

Estudo realizado para Costa Lopes Arq.

Lisboa • junho de 2013

**I&D** HIDRÁULICA E AMBIENTE

**RELATÓRIO 192/2013 – DHA/NPE**



**Caracterização das condições de dinâmica costeira e avaliação dos  
impactes da construção da Marina Luanda**

**Estudo III: Análise das condições de agitação marítima no interior  
da marina e análise da estabilidade e galgamentos da obra principal  
de proteção da marina**

**Coastal dynamics characterization and impact assessment of  
Marina Luanda's construction**

**Study III: Analysis of the conditions of wave propagation inside the  
marina and stability and wave overtopping analysis of the main  
protecting breakwater**

**Caractérisation des conditions de la dynamique côtière et analyse  
de l'impact de la construction de la Marina Luanda**

**Étude III: Analyse des conditions de propagation des ondes à  
l'intérieur de la marina et de la stabilité et du franchissement des  
principaux travaux de protection de la marina**



# Caracterização das condições de dinâmica costeira e avaliação dos impactos da construção da Marina Luanda

## Estudo III: Análise das condições de agitação marítima no interior da marina e análise da estabilidade e galgamentos da obra principal de proteção da marina

### ÍNDICE DO TEXTO

---

1	INTRODUÇÃO.....	1
2	ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NO INTERIOR DA MARINA.....	5
2.1	Introdução.....	5
2.2	Metodologia .....	5
2.2.1	Âmbito .....	5
2.2.2	Descrição sumária do modelo numérico DREAMS .....	9
2.3	Condições de aplicação do modelo DREAMS .....	10
2.3.1	Batimetria e domínio de cálculo .....	10
2.3.2	Condições de agitação marítima incidente.....	11
2.3.3	Definição das malhas de elementos finitos e das condições de fronteira .....	11
2.4	Resultados.....	14
2.4.1	Apresentação de resultados .....	14
2.4.2	Índices de agitação marítima .....	16
2.4.3	Regimes da agitação marítima.....	24
2.5	Conclusões .....	28
3	ANÁLISE DA ESTABILIDADE E GALGAMENTOS DA OBRA PRINCIPAL DE PROTEÇÃO DA MARINA .....	31
3.1	Introdução.....	31
3.2	Seleção do perfil a estudar .....	31
3.3	Ensaio em modelo físico 2D.....	33
3.3.1	Instalação de ensaio .....	33
3.3.2	Condições técnicas de realização dos ensaios .....	34
3.3.2.1	Escala geométrica e fundos .....	34
3.3.2.2	Agitação marítima e níveis de maré .....	35
3.3.3	Metodologia .....	36
3.3.3.1	Calibração da agitação marítima .....	36
3.3.3.2	Construção do modelo do perfil.....	39
3.3.3.3	Medição dos galgamentos.....	43
3.3.3.4	Realização dos ensaios .....	44

3.3.4	Resultados dos ensaios.....	45
3.3.4.1	Nota prévia.....	45
3.3.4.2	Estabilidade.....	46
3.3.4.3	Galgamentos.....	51
3.4	Aplicação da ferramenta NN_OVERTOPPING2 .....	58
3.4.1	Considerações gerais sobre a ferramenta .....	58
3.4.2	Aplicação ao perfil em estudo .....	59
3.4.3	Resultados.....	60
3.5	Conclusões .....	63
4	CONCLUSÕES.....	65
5	REFERÊNCIAS .....	68

ANEXO A – Análise das condições de agitação marítima no interior da marina

ANEXO B – Escolha da lei de semelhança e da escala do modelo físico

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1-1 –	Localização da zona em estudo (Google Earth <sup>®</sup> 2012).....	2
Figura 1-2 –	Localização da zona em estudo (Google Earth <sup>®</sup> 2012).....	2
Figura 2-1 –	Implantação em planta da Marina Luanda (WW, Março 2013) .....	6
Figura 2-2 –	a) Localização da Marina Luanda e dos pontos de cálculo (P1 a P9) para os quais se realizaram as transferências desde o largo de Luanda; b) pormenor da zona da marina com os pontos de cálculo P7, P8 e P9 (Google Earth <sup>®</sup> 2012) .....	7
Figura 2-3 –	Batimetrias utilizadas no modelo de propagação da agitação marítima e linha de costa. Situações sem e com marina .....	11
Figura 2-4 –	Troços de fronteiras, para as situações sem e com marina .....	12
Figura 2-5 -	Situações sem e com marina. Localização dos 18 pontos e das 6 zonas de estudo .....	15
Figura 2-6 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T= 10 s, direção de 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	17
Figura 2-7 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T= 10 s, direção de 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	17
Figura 2-8 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T= 10 s, direção de 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	17
Figura 2-9 -	Valores médios dos índices de agitação nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente, para a situação sem marina .....	18
Figura 2-10 -	Valores médios dos índices de agitação nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente, para a situação com marina .....	19
Figura 2-11 -	Diferença entre os valores médios dos índices de agitação H/Ho com e sem marina nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente.....	20
Figura 2-12 -	Valores dos índices de agitação com e sem marina nas zonas A a F, em função do período e da direção de onda incidente .....	21
Figura 2-13 -	Diferença entre a média dos valores dos índices de agitação com e sem marina nas zonas A a F, em função do período e da direção de onda incidente .....	21
Figura 3-1 -	Perfil ensaiado (PT7).....	32
Figura 3-2 –	Aspeto esquemático do murete proposto figurar ao longo do bordo sul do terraplano.....	33
Figura 3-3 –	Aspeto das instalações experimentais de hidráulica marítima do DHA do LNEC .....	33
Figura 3-4 –	Canal de ondas irregulares CO11: a) Vista exterior; b) Vista superior; c) Vista interior .....	34
Figura 3-5 –	Representação esquemática dos fundos reproduzidos no canal .....	35

Figura 3-6 –	Esquema do posicionamento das sondas durante a fase de calibração da agitação marítima (sem a estrutura) .....	36
Figura 3-7 –	Aspetto da calibração da agitação no canal de ondas irregulares COI1 .....	39
Figura 3-8 –	Aspetto da construção da escavação destinada à fundação do pé do perfil .....	40
Figura 3-9 –	Aspetto da implantação do perfil no vidro do canal.....	40
Figura 3-10 –	Aspetto da construção do núcleo da estrutura.....	41
Figura 3-11 –	Aspetto da construção dos filtros da estrutura.....	41
Figura 3-12 –	Aspetto do remate superior dos filtros da estrutura .....	41
Figura 3-13 –	Aspetto da construção do manto resistente da estrutura .....	42
Figura 3-14 –	Aspetto final do perfil da estrutura .....	42
Figura 3-15 –	Equipamento de medição dos galgamentos .....	43
Figura 3-16 –	Pormenor do orifício da caleira.....	44
Figura 3-17 –	Funcionamento da caleira .....	44
Figura 3-18 –	Aspetto do manto da estrutura para o ensaio com o nível de maré de PM+S, $T_p=8$ s: início do ensaio (à esquerda, em cima), após atuação de $H_s=2.0$ m (à direita, em cima) e de $H_s=3.0$ m (em baixo) .....	48
Figura 3-19 –	Aspetto do manto da estrutura para o ensaio com o nível de maré de PM+S, $T_p=12$ s: início do ensaio (à esquerda, em cima), após atuação de $H_s=2.0$ m (à direita, em cima) e de $H_s=3.0$ m (em baixo) .....	49
Figura 3-20 –	Aspetto do manto da estrutura para o ensaio com o nível de maré de PM+S, $T_p=15$ s: início do ensaio (à esquerda, em cima), após atuação de $H_s=2.0$ m (à direita, em cima) e de $H_s=3.0$ m (em baixo) .....	50
Figura 3-21 –	Queda de blocos de enrocamento para a caleira para o ensaio com o nível de maré de PM+S, após a atuação de $H_s=3.0$ m: $T_p=12$ s (à esquerda) e $T_p=15$ s (à direita) .....	51
Figura 3-22 –	Aspetto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S, $T_p=8$ s e $H_s=2.5$ m .....	53
Figura 3-23 –	Aspetto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S, $T_p=8$ s e $H_s=3.0$ m .....	54
Figura 3-24 –	Aspetto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S, $T_p=12$ s e $H_s=3.0$ m .....	54
Figura 3-25 –	Aspetto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S, $T_p=15$ s e $H_s=2.5$ m .....	55
Figura 3-26 –	Aspetto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S, $T_p=15$ s e $H_s=3.0$ m .....	56
Figura 3-27 –	Parâmetros de entrada da ferramenta NN_OVERTOPPING2 ( <a href="http://nn-overtopping.deltares.nl/overtopping.aspx">http://nn-overtopping.deltares.nl/overtopping.aspx</a> ) .....	59
Figura 3-28 –	Comparação dos valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura medidos nos ensaios ( $q$ ) e calculados com a ferramenta NN_OVERTOPPING2 ( $q_{NN}$ ) para os níveis de maré de BM e de PM+S: a) todos os resultados; b) resultados para os menores caudais .....	63

Figura A-1 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	73
Figura A-30 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	73
Figura A-31 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	74
Figura A-32 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	74
Figura A-33 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	75
Figura A-34 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	75
Figura A-35 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	76
Figura A-36 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	76
Figura A-37 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	77
Figura A-38 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	77
Figura A-39 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	78
Figura A-40 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	78
Figura A-41 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	79
Figura A-42 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	79
Figura A-43 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	80

Figura A-44 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	80
Figura A-45 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	81
Figura A-46 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	81
Figura A-47 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	82
Figura A-48 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	82
Figura A-49 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	83
Figura A-50 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	83
Figura A-51 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	84
Figura A-52 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	84
Figura A-53 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	85
Figura A-54 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	85
Figura A-55 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	86
Figura A-56 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	86
Figura A-57 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	87
Figura A-58 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	87
Figura A-59 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	88

Figura A-60 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	88
Figura A-61 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	89
Figura A-62 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	89
Figura A-63 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	90
Figura A-64 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	90
Figura A-65 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	91
Figura A-66 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	91
Figura A-67 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	92
Figura A-68 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	92
Figura A-69 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina .....	93
Figura A-42 -	Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina.....	93
Figura A-43 –	Ponto D1. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	102
Figura A-72 –	Ponto D1. Série temporal dos períodos de pico Tp. Situações sem e com marina .....	102
Figura A-73 –	Ponto D1. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	102
Figura A-74 –	Ponto D1. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	103
Figura A-75 –	Ponto D1. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	104
Figura A-76 –	Ponto D2. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	105
Figura A-77 –	Ponto D2. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	105
Figura A-78 –	Ponto D2. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	106

Figura A-79 – Ponto D2. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	107
Figura A-80 – Ponto D3. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	108
Figura A-81 – Ponto D3. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	109
Figura A-82 – Ponto D3. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	110
Figura A-83 – Ponto D4. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	111
Figura A-84 – Ponto D4. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	111
Figura A-85 – Ponto D4. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	112
Figura A-86 – Ponto D4. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	113
Figura A-87 – Ponto D5. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	114
Figura A-88 – Ponto D5. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	114
Figura A-89 – Ponto D6. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	115
Figura A-90 – Ponto D6. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	115
Figura A-91 – Ponto D7. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	116
Figura A-92 – Ponto D7. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	116
Figura A-93 – Ponto D8. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	117
Figura A-94 – Ponto D8. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	117
Figura A-95 – Ponto D9. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	118
Figura A-96 – Ponto D9. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	118
Figura A-97 – Ponto D10. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	119
Figura A-98 – Ponto D10. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	119
Figura A-99 – Ponto D11. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	120
Figura A-100 – Ponto D11. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	120
Figura A-101 – Ponto D12. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	121
Figura A-102 – Ponto D12. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	121
Figura A-103 – Ponto D12. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	122
Figura A-104 – Ponto D12. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	123
Figura A-105 – Ponto D13. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	124
Figura A-106 – Ponto D13. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	124

Figura A-107 – Ponto D13. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	125
Figura A-108 – Ponto D13. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	126
Figura A-109 – Ponto D14. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	127
Figura A-110 – Ponto D14. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	127
Figura A-111 – Ponto D14. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	128
Figura A-112 – Ponto D14. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	129
Figura A-113 – Ponto D15. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	130
Figura A-114 – Ponto D15. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	130
Figura A-115 – Ponto D15. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	131
Figura A-116 – Ponto D15. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	132
Figura A-117 – Ponto D16. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	133
Figura A-118 – Ponto D16. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina .....	133
Figura A-119 – Ponto D16. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	134
Figura A-120 – Ponto D16. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina .....	135
Figura A-121 – Ponto D17. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	136
Figura A-122 – Ponto D17. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	136
Figura A-123 – Ponto D18. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina .....	137
Figura A-96 – Ponto D18. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina .....	137

## ÍNDICE DE QUADROS

---

Quadro 2-1 –	Coordenadas dos pontos de cálculo do estudo .....	8
Quadro 2-2 –	Características dos troços da fronteira do domínio de cálculo sem marina .....	13
Quadro 2-3 –	Características dos troços da fronteira do domínio de cálculo com marina .....	13
Quadro 2-4 –	Valores dos coeficientes de reflexão nos troços da fronteira do domínio de cálculo sem marina .....	14
Quadro 2-5 –	Valores dos coeficientes de reflexão nos troços da fronteira do domínio de cálculo com marina .....	14
Quadro 2-6 –	Batimetria dos pontos de controlo D1 a D18 (em m (ZH)) .....	15
Quadro 2-7 –	Pontos D1 a D18. Estatísticas das séries totais de Hs, Tp e Dirp sem marina .....	25
Quadro 2-8 –	Pontos D1 a D18. Estatísticas das séries totais de Hs, Tp e Dirp com marina .....	26
Quadro 3-1 –	Resultados das calibrações para o nível de maré de BM .....	37
Quadro 3-2 –	Resultados das calibrações para o nível de maré de PM+S .....	38
Quadro 3-3 –	Critério de classificação de galgamentos .....	46
Quadro 3-4 –	Resultados dos ensaios de estabilidade respeitantes ao nível de maré de BM .....	47
Quadro 3-5 –	Resultados dos ensaios de estabilidade respeitantes ao nível de maré de PM+S .....	47
Quadro 3-6 –	Grau dos galgamentos e valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura, q (l/s/m), para o nível de maré de BM .....	52
Quadro 3-7 –	Grau dos galgamentos e valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura, q (l/s/m), para o nível de maré de PM+S .....	52
Quadro 3-8 –	Grau dos galgamentos e valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura, q (l/s/m), para o nível de maré de +3.1 m (ZH) .....	53
Quadro 3-9 –	Valores médios de caudais galgados por metro linear de caldeira, qc (l/s/m), para o nível de maré de BM .....	57
Quadro 3-10 –	Valores médios de caudais galgados por metro linear de caldeira, qc (l/s/m), para o nível de maré de PM+S .....	57
Quadro 3-11 –	Características do perfil em estudo utilizadas na ferramenta NN_OVERTOPPING2 para as várias condições de ensaio (valores do protótipo) .....	61
Quadro 3-12 –	Resultados da ferramenta NN_OVERTOPPING2 para as várias condições de ensaio (valores do protótipo) .....	62
Quadro A-1 –	Índices de agitação nos pontos D1 a D9. Situação sem marina. ....	94
Quadro A-2 –	Índices de agitação nos pontos D10 a D18. Situação sem marina. ....	95
Quadro A-3 –	Índices de agitação nos pontos D1 a D9. Situação com marina. ....	96

Quadro A-4 – Índices de agitação nos pontos D10 a D18. Situação com marina. ....	97
Quadro A-5 – Índices de agitação nas zonas A a F. Situação sem marina. ....	98
Quadro A-6 – Índices de agitação nas zonas A a F*. Situação com marina. ....	99
Quadro A-7 – Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação nas zonas A a F, para cada período de onda. Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação nas zonas A a F, para todas as condições de agitação consideradas. Situação sem marina. ....	100
Quadro A-8 – Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação calculados nas zonas A a F, para cada período de onda. Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação calculados nas zonas A a F, para todas as condições de agitação consideradas. Situação com marina. ....	101
Quadro B-1 – Correspondência entre as massas dos blocos no modelo e no protótipo .....	142

## **Colaboradores**

### **Participação nos estudos em modelo numérico de propagação de ondas:**

Branca Branco – Assistente técnico

Fernando Brito – Técnico Superior

Igor Gregório – Estagiário

### **Participação nos estudos em modelo físico:**

Ana Passarinho – Bolseira de Experimentação

Joana Simão – Bolseira de Experimentação

João Manuel Pereira - Coordenador do Sector de Construção de Modelos (SCM)

Odair Maurício – Bolseiro de Iniciação à Experimentação

Vitalijs Terentjevs - Estagiário

# **Caracterização das condições de dinâmica costeira e avaliação dos impactes da construção da Marina Luanda**

## **Estudo III: Análise das condições de agitação marítima no interior da marina e análise da estabilidade e galgamentos da obra principal de proteção da marina**

### **1 INTRODUÇÃO**

---

Foi solicitado ao Laboratório Nacional de Engenharia Civil, I.P. (LNEC), em 18 de junho de 2012, pela empresa Costa Lopes Arq., um estudo de caracterização das condições de dinâmica costeira e de avaliação dos impactes da construção da Marina Luanda. A proposta foi entregue em 29 de Junho de 2012. Este estudo foi adjudicado ao LNEC em 8 de Agosto de 2012.

O estudo divide-se em:

- Estudo I – Caracterização das condições naturais;
- Estudo II – Avaliação dos impactes da construção da marina;
- Estudo III – Análise das condições de agitação marítima no interior da marina e análise da estabilidade e galgamentos da obra principal de proteção da marina;
- Estudo IV – Análise da estabilidade da praia da marina e da praia em frente ao terminal de cruzeiros.

O presente relatório refere-se ao Estudo III que engloba os seguintes estudos:

- Análise das condições de agitação marítima no interior da marina;
- Análise da estabilidade e galgamentos da obra principal de proteção da marina.

A zona em estudo situa-se na faixa costeira a sudoeste da cidade de Luanda, na costa ocidental norte de Angola (Figura 1-1), onde se prevê a implantação da Marina Luanda.

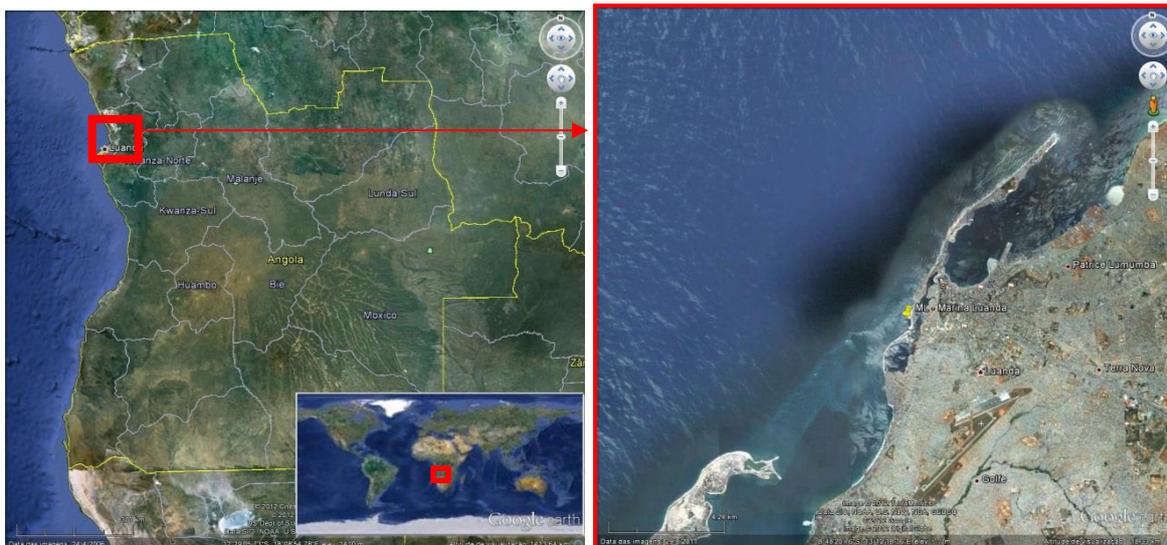


Figura 1-1 – Localização da zona em estudo (Google Earth® 2012)

A Figura 1-2 apresenta a zona de implantação da Marina Luanda bem como a sua configuração em planta.



Figura 1-2 – Localização da zona em estudo (Google Earth® 2012)

Este relatório tem 4 capítulos. Depois deste primeiro capítulo de introdução, segue-se o segundo capítulo, de análise das condições de agitação marítima na zona adjacente à Marina Luanda e no seu interior, utilizando o modelo numérico DREAMS. O terceiro capítulo refere-se à análise da estabilidade e galgamentos da obra principal de proteção da marina, recorrendo a ensaios em modelo físico. Este capítulo apresenta ainda a validação da

aplicação da ferramenta NN\_OVERTOPPING2 de cálculo do galgamento para a geometria da estrutura e para as condições de agitação em estudo. O último capítulo contém as principais conclusões do estudo.



## 2 ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NO INTERIOR DA MARINA

---

### 2.1 Introdução

Neste capítulo, descrevem-se os estudos de caracterização das condições de abrigo da Marina Luanda, para diferentes condições de agitação marítima incidente. Para este fim, procedeu-se à propagação de diferentes condições de agitação marítima (direções, alturas e períodos da onda), para duas situações: sem a implantação da marina e com a implantação da marina. A comparação entre os resultados obtidos permite avaliar o abrigo da Marina Luanda.

Note-se que as condições de agitação marítima foram definidas com base no regime de estabelecido no exterior da Marina Luanda e, mais concretamente, no ponto P9, na batimétrica de -80 m (ZH), estabelecido em Portela et al. (2013).

O modelo numérico utilizado foi o modelo DREAMS (Fortes, 1993), baseado na equação de declive suave de Berkhoff (1972), que permite efetuar estudos de penetração de agitação marítima em zonas portuárias ou abrigadas, bem como estudos de ressonância portuária.

### 2.2 Metodologia

#### 2.2.1 Âmbito

A zona em estudo situa-se na faixa costeira a sudoeste da cidade de Luanda, na costa ocidental norte de Angola (Figura 1-1, Figura 1-2). Nessa zona está prevista a implantação de uma marina conforme a Figura 2-1.

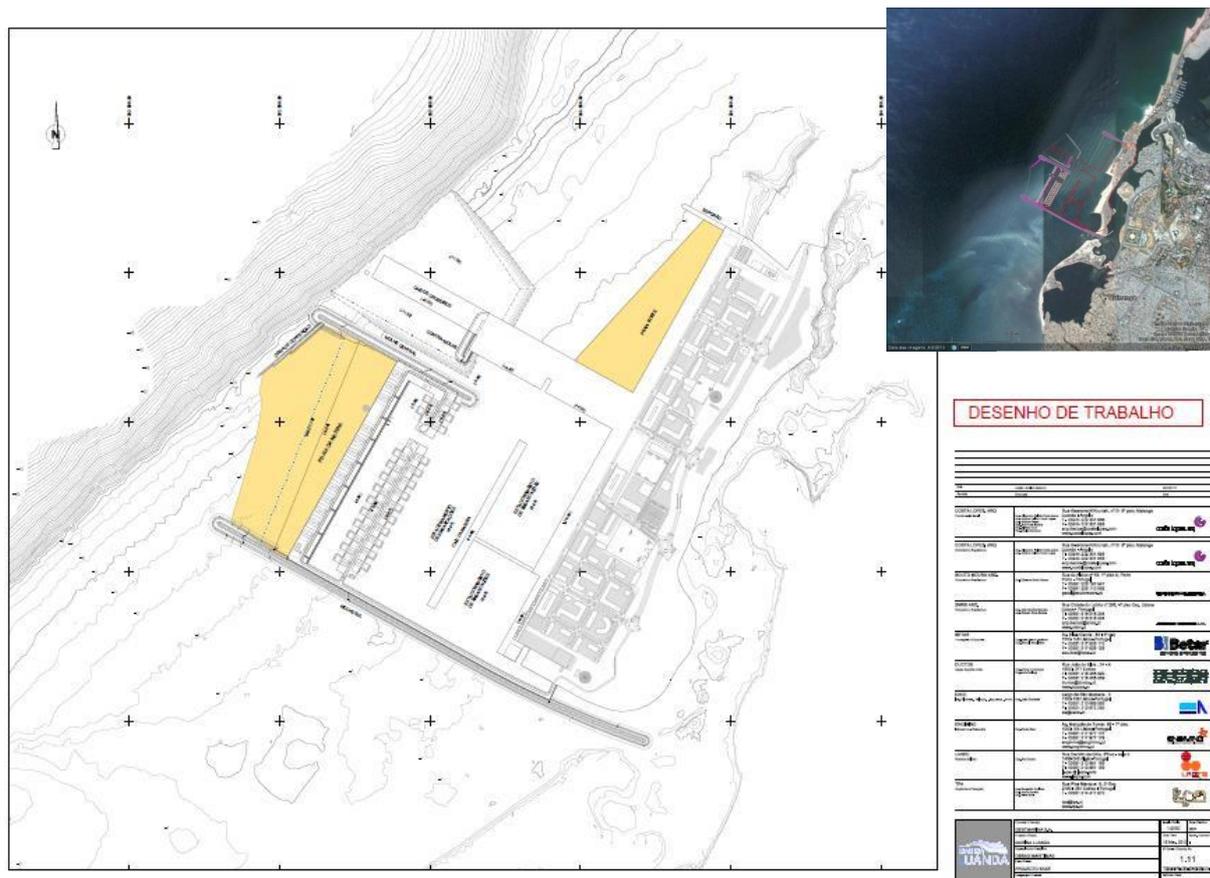


Figura 2-1 – Implantação em planta da Marina Luanda (WW, Março 2013)

A marina é constituída por duas zonas interiores de estacionamento de embarcações de recreio bem como um terminal de cruzeiros. A zona da marina é protegida por dois quebra-mares: um sul e um central. O quebra-mar sul, de enrocamento, tem um comprimento total da ordem de 1600 m, desenvolvendo-se entre as batimétricas 0 e -4 m (ZH). O quebra-mar central, também de enrocamento, tem um comprimento aproximado de 575 m e desenvolve-se entre as batimétricas de -5 e -10 m (ZH). A maioria das estruturas no interior da marina são verticais. O cais do terminal de cruzeiros caracteriza-se por uma estrutura em estacas, localizada na batimétrica de -11.5 m (ZH). Os fundos no interior da marina situam-se à cota de -5 m (ZH) e as zonas laterais do cais do terminal de cruzeiros apresentam uma cota de -11.5 m (ZH). Existem duas praias junto à marina, uma entre os quebra-mares sul e central e a outra a norte da marina.

Para a determinação das características da agitação marítima no interior da Marina Luanda (objetivo do presente capítulo) recorreu-se ao modelo DREAMS (Fortes, 1993), que efetuou cálculos de propagação de ondas, transferindo as características da agitação marítima no exterior da marina para o seu interior.

As características da agitação marítima (regimes geral observado em diferentes locais) no exterior da marina foram calculadas em Oliveira et al. (2012) e em Portela et al. (2013). Com

efeito, naqueles trabalhos, determinaram-se os regimes geral observado de agitação marítima, sem e com a presença da Marina Luanda num conjunto de 9 pontos (no exterior da marina) indicados na Figura 2-2, cujas características de localização constam do Quadro 2-1.

Os pontos P1 a P8 estão localizados sobre a batimétrica -10 m (ZH) na zona exterior ao cordão litoral (3 em frente à Ilha do Cabo – P1, P2 e P3; 3 em frente à restinga do Mussulo – P4, P5 e P6; e 2 na zona em frente à presumida localização da Marina Luanda, i.e., em frente às duas praias existentes junto à marina – P7 e P8). O ponto P9 situa-se na batimétrica -80 m (ZH), em frente à Marina Luanda.



Figura 2-2 – a) Localização da Marina Luanda e dos pontos de cálculo (P1 a P9) para os quais se realizaram as transferências desde o largo de Luanda; b) pormenor da zona da marina com os pontos de cálculo P7, P8 e P9 (Google Earth<sup>©</sup>2012)

Quadro 2-1 – Coordenadas dos pontos de cálculo do estudo

<b>Ponto</b>	<b>Easting (mE) UTM Zone 33S</b>	<b>Northing (mN) UTM Zone 33S</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>
<i>L</i>	261944.906	8995162.027	09°05'00.00"S	12°50'00.00"E
<i>P1</i>	307898.692	9031014.876	08°59'20.91"S	13° 1'34.84"E
<i>P2</i>	305976.599	9029510.931	08°55'32.92"S	13° 4'58.14"E
<i>P3</i>	303570.259	9027449.953	08°52'42.10"S	13° 7'43.17"E
<i>P4</i>	294269.845	9018154.436	08°47'41.11"S	13°12'49.47"E
<i>P5</i>	289180.411	9012718.049	08°46'43.71"S	13°13'55.07"E
<i>P6</i>	282991.540	9005761.228	08°45'47.06"S	13°15'09.00"E
<i>P7</i>	301971.000	9025335.000	08°48'47.13"S	13°11'58.30"E
<i>P8</i>	302789.000	9026047.000	08°48'24.08"S	13°12'25.17"E
<i>P9</i>	301386.921	9026631.881	08°48'4.83"S	13°11'39.39"E

Para o presente trabalho, considerou-se o regime de agitação marítima estabelecido em frente à Marina Luanda, no ponto P9, e efetuaram-se cálculos numéricos de propagação dessas características de agitação marítima (direções, alturas e períodos da onda), desde a zona exterior à marina até ao local da sua implantação, considerando duas situações: sem e com a implantação da marina.

Para cada situação, os cálculos de propagação de ondas foram efetuados com o modelo DREAMS, de acordo com os seguintes procedimentos:

- Definição do domínio de cálculo;
- Propagação de ondas regulares com o modelo matemático DREAMS:
  - Definição das características das ondas regulares incidentes, com base nas condições de agitação definidas em P9;
  - Discretização do domínio de cálculo por malhas de elementos finitos;
  - Definição dos coeficientes de reflexão ao longo da fronteira do domínio em estudo, com base nas características dos vários troços em que se pode dividir essa fronteira e nas condições de agitação regular incidente;
  - Cálculos de propagação para as condições de agitação regular incidente. Os resultados numéricos são obtidos em diferentes pontos selecionados no interior da marina;

- Estabelecimento dos regimes de agitação marítima nos diversos pontos selecionados do interior da marina.

Após a obtenção dos regimes de agitação marítima nos diferentes pontos para as situações sem e com marina, efetuou-se a comparação desses regimes e avaliou-se o abrigo fornecido pela Marina Luanda.

Na próxima secção descreve-se sucintamente o modelo DREAMS.

### **2.2.2 Descrição sumária do modelo numérico DREAMS**

DREAMS é um modelo matemático de elementos finitos para o cálculo da propagação e deformação de ondas regulares em zonas costeiras, Fortes (1993). O modelo pode ser aplicado no estudo, quer da penetração num porto da agitação marítima de período curto, quer da ressonância de uma bacia portuária excitada por ondas de longo período nela incidentes. É baseado na equação elíptica de declive suave, Berkhoff (1972), que descreve os efeitos combinados da refração e difração de ondas monocromáticas propagando-se em fundos de inclinação suave, como os que ocorrem geralmente em portos, baías e zonas costeiras. O método numérico utilizado para a resolução da equação de declive suave é o Método dos Elementos Finitos (MEF). O modelo não tem em conta os efeitos da rebentação das ondas, da presença de correntes, nem de eventuais galgamentos das obras de abrigo.

As condições de fronteira podem ser de três tipos: condições de radiação, que permitem a saída de perturbações geradas no domínio no sentido de propagação para o infinito; condições de geração e radiação combinadas, como as relativas a fronteiras abertas, e condições de reflexão (total ou parcial), referentes aos contornos sólidos da zona em estudo (praias, falésias, molhes, cais, etc.).

Os dados a fornecer ao modelo DREAMS são: as características da agitação incidente (período e direção da onda), os coeficientes de reflexão em cada troço da fronteira do domínio de cálculo, a batimetria e as características da malha de elementos finitos com que foi discretizado o domínio em estudo.

O modelo calcula índices de agitação  $H/H_0$ , relação entre a altura de onda no ponto do domínio de cálculo,  $H$ , e a altura de onda à entrada do domínio de cálculo,  $H_0$ , ou coeficientes de amplificação (em estudos de ressonância portuária) e direções de propagação da onda. O campo de velocidades horizontais na superfície livre e as cristas das ondas (linhas de igual fase) constituem resultados opcionais.

A validação do modelo matemático, Fortes (1993), foi feita com casos de teste clássicos da bibliografia, tais como o fundo plano inclinado, o baixio circular, os molhes semi-infinitos e a bacia retangular de Mei, e com casos de teste reais. O modelo foi também validado com

base nos estudos de ressonância e agitação no porto de Saint Quay-Portrieux, Fortes (1993) e no porto da Baleeira, Fortes et al. (1997), tendo sido comparados, para este caso de teste, os resultados de DREAMS com resultados de outros modelos matemáticos e/ou de modelos físicos.

Como limitações do modelo DREAMS, salientam-se:

- O modelo não tem em conta os efeitos da dissipação de energia por atrito de fundo, os efeitos das correntes na propagação das ondas ou os galgamentos sobre estruturas;
- O modelo é linear, pelo que não tem em conta efeitos não-lineares, tais como a interação de ondas e correntes, a interação de ondas devido à topografia do fundo, a transferência de energia entre componentes de onda, a geração de componentes de baixa frequência induzidas por grupos de ondas curtas e o efeito da dispersão por amplitude da onda (o efeito da amplitude da onda na celeridade);
- A aplicação do modelo está condicionada a fundos de declive suave, até 1:3.

## **2.3 Condições de aplicação do modelo DREAMS**

### **2.3.1 Batimetria e domínio de cálculo**

A batimetria utilizada no estudo, bem como a configuração em planta da marina, foi construída com base nas cartas hidrográficas e levantamentos seguintes:

- Porto do Ambriz à foz do Cuanza 1962-1971 (1/200 000) – 2ª ed. 1973, reimpressão 1992;
- Porto de Luanda (1/15000) - 4ª ed. 1971, reimpressão 1982;
- Barras de Chicala e Corimba (1/15000) - 2ª ed. 1972;
- Planta geral da Marina Luanda, 18 de Março, Escala 1:5000, fornecido por Costa Lopes (2013);
- Levantamento realizado pela Geometral (Geometral, 2012).

Os domínios de cálculo e as respetivas batimetrias estão representados na Figura 2-3, para as situações sem e com marina.

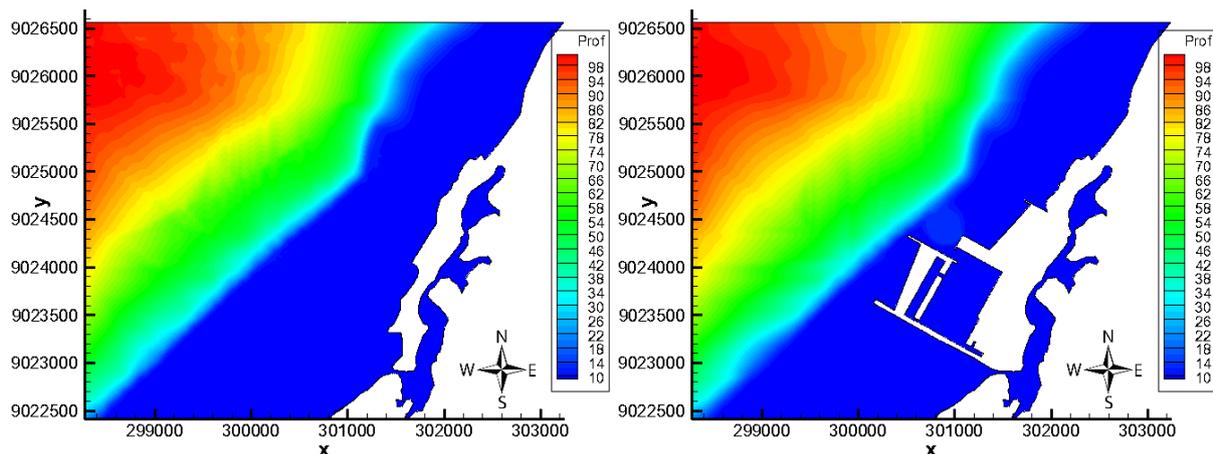


Figura 2-3 – Batimetrias utilizadas no modelo de propagação da agitação marítima e linha de costa. Situações sem e com marina

### 2.3.2 Condições de agitação marítima incidente

Os cálculos com o modelo DREAMS (por se tratar de um modelo linear, i.e., não variar com a altura de onda incidente) foram efetuados para as seguintes condições de agitação regular, que tiveram por base os regimes de agitação marítima apresentados em Portela et al. (2013):

- Períodos de onda,  $T$ , de 8 s, 10 s, 12 s, 14 s, 16 s, 18 s e 20 s;
- Direções de onda à entrada do domínio de cálculo de  $220^\circ$  a  $320^\circ$ ;
- Nível de maré de +1.1 m (ZH).

Estas são as direções que ocorreram em 99.0% dos registos de agitação marítima na zona exterior à Marina Luanda no período de maio de 1998 a junho de 2012.

### 2.3.3 Definição das malhas de elementos finitos e das condições de fronteira

Os domínios de cálculo indicados na Figura 2-3 foram discretizados por malhas de elementos finitos. O espaçamento em  $x$  e em  $y$  variou ao longo dos domínios, tendo em conta a profundidade local, de forma a garantir uma média de 10 pontos por comprimento de onda, considerando uma onda incidente de período de 8 s.

Na Figura 2-4 apresentam-se os diversos troços em que se divide a linha de costa da Marina Luanda.

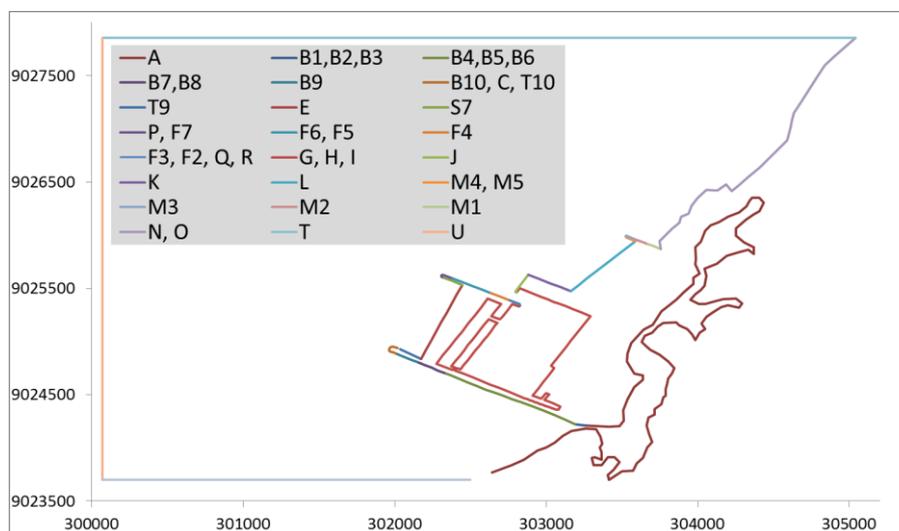
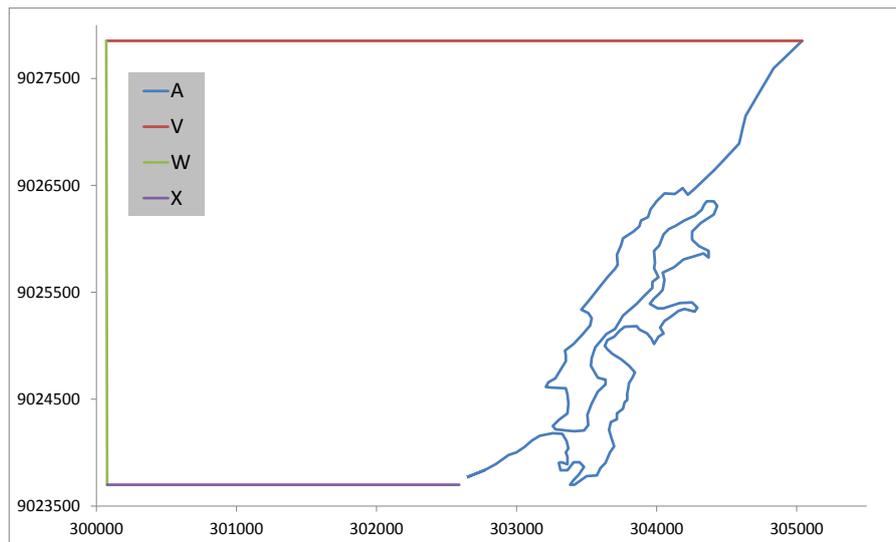


Figura 2-4 – Troços de fronteiras, para as situações sem e com marina

As condições de fronteira de entrada e de saída da agitação marítima para ondas do setor  $270^{\circ}$ - $360^{\circ}$  foram impostas nos troços V, W e X (sem marina) e T, U e V (com marina), sendo que os troços V e W (sem marina) e T e U (com marina) foram considerados de geração-radiação, e o troço X (sem marina) ou V (com marina) de radiação. Para o setor  $180^{\circ}$ - $270^{\circ}$  foram impostas condições de geração-radiação nos troços W e X (sem marina) ou U e V (com marina) e de radiação no troço V (sem marina) ou no troço T (com marina).

Nos restantes troços foram estabelecidas condições de fronteira com reflexão parcial. Os valores dos coeficientes de reflexão a atribuir aos troços com reflexão parcial foram determinados com base nas características de cada troço (tais como porosidade, diâmetro do material, declive do talude e profundidade no pé do talude) e ainda, as características da onda através do procedimento descrito em Seelig e Ahrens (1995), Quadro 2-2 e Quadro 2-3.

Quadro 2-2 - Características dos troços da fronteira do domínio de cálculo sem marina

Coeficientes de reflexão		Características
Troços	V	Mar
	W	Mar
	X	Mar
	A	Praia de areia com declive de 5%

Quadro 2-3 - Características dos troços da fronteira do domínio de cálculo com marina

Coeficientes de reflexão		Características
Troços	T	Mar
	U	Mar
	V	Mar
	A	Praia de areia com declive de 5%
	B1 - B3	Quebra-mar sul, extradorso
	B4 - B6	Quebra-mar sul, extradorso
	B7, B8	Quebra-mar sul, extradorso
	B9	Quebra-mar sul, extradorso
	B10, C, D10	Quebra-mar sul, extradorso, cabeça e intradorso
	D9	Quebra-mar sul, intradorso
	E	Praia de areia com declive de 6.7%
	S7	Quebra-mar central, intradorso
	P-F7	Quebra-mar central cabeça e extradorso
	F6, F5	Quebra-mar central, extradorso
	F4	Quebra-mar central, extradorso
	F3, F2, Q, R	Quebra-mar central, extradorso, cabeça e intradorso
	G, H, I	Parede vertical
	J	Enrocamento
	K	Parede vertical
	L	Praia de areia com declive de 6%
	M5, M4	Quebra-mar norte intradorso, cabeça e extradorso
	M3	Quebra-mar norte, extradorso
	M2	Quebra-mar norte, extradorso
M1	Quebra-mar norte, extradorso	
N, O	Praia de areia com declive de 5%	

No Quadro 2-4 e no Quadro 2-5 apresentam-se os valores dos coeficientes de reflexão utilizados nos cálculos para cada configuração da marina e para as condições de agitação marítima admitidas.

Quadro 2-4 - Valores dos coeficientes de reflexão nos troços da fronteira do domínio de cálculo sem marina

Troço	Coeficiente de reflexão
V	0
W	0
X	0
A	0.025 a 0.221

Quadro 2-5 - Valores dos coeficientes de reflexão nos troços da fronteira do domínio de cálculo com marina

Troço	Coeficiente de Reflexão
T	0
U	0
V	0
A	0.025 a 0.221
B1 - B3	0.314 a 0.845
B4 - B6	0.251 a 0.814
B7, B8	0.359 a 0.869
B9	0.346 a 0.853
B10, C, D10	0.340 a 0.850
D9	0.329 a 0.844
E	0.043 a 0.335
S7	0.314 a 0.837
P-F7	0.277 a 0.820
F6, F5	0.312 a 0.836
F4	0.300 a 0.830
F3, F2, Q, R	0.312 a 0.836
G, H, I	0.900
J	0.232 a 0.795
K	0.900
L	0.031 a 0.259
M4, M5, M4	0.355 a 0.857
M3	0.345 a 0.846
M2	0.324 a 0.852
M1	0.249 a 0.786
N, O	0.025 a 0.221

## 2.4 Resultados

### 2.4.1 Apresentação de resultados

Para as condições referidas na seção 2.3, efetuaram-se os cálculos sistemáticos de ondas regulares com o modelo DREAMS, para os domínios de cálculo correspondentes às situações sem e com a implantação da marina.

Os resultados do modelo DREAMS consistem nos valores dos índices de agitação e de direção de onda em todo o domínio de cálculo e num conjunto de 18 pontos de controlo, D1 a D18, Figura 2-5. A batimetria dos pontos de controlo é dada no Quadro 2-6.

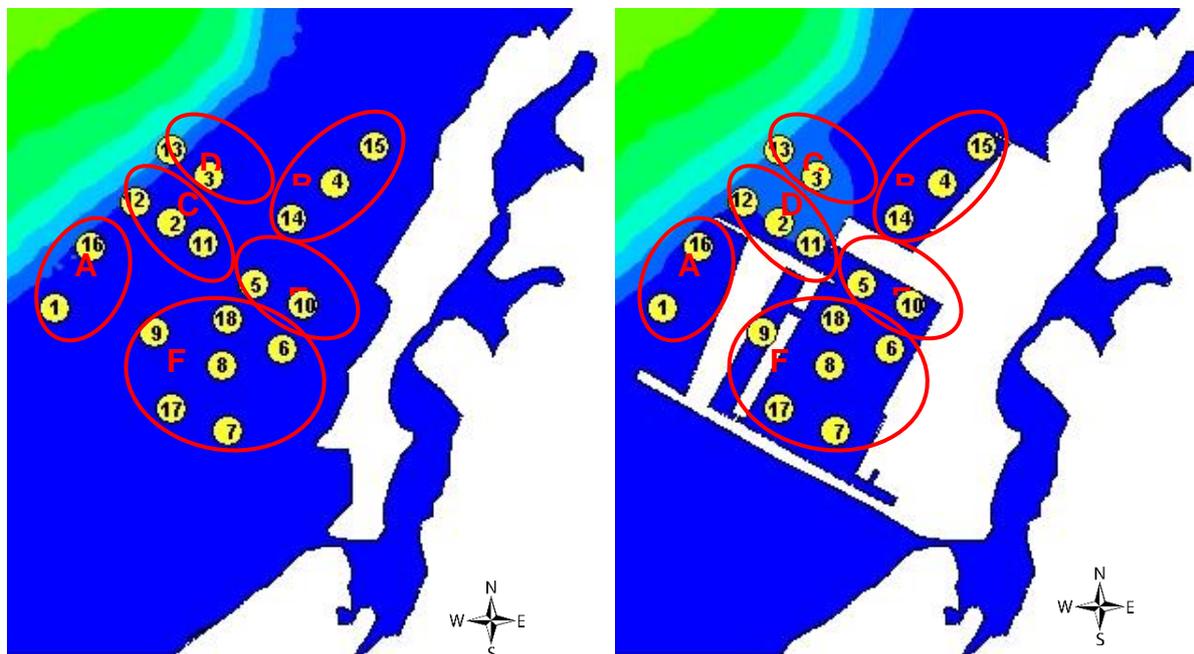


Figura 2-5 - Situações sem e com marina. Localização dos 18 pontos e das 6 zonas de estudo

Quadro 2-6 - Batimetria dos pontos de controlo D1 a D18 (em m (ZH))

Ponto	D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	D8	D9
Sem marina	-5.4	-4.8	-5.4	-2.1	-1.7	-0.3	-1.1	-0.7	-2.3
Com marina	-5.5	-11.5	-11.5	-2.1	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0	-5.0

Ponto	D10	D11	D12	D13	D14	D15	D16	D17	D18
Sem marina	-0.5	-3.5	-8.5	-17.8	-2.2	-2.2	-8.7	-0.7	-1.3
Com marina	-5.0	-9.1	-8.8	-17.4	-2.2	-2.2	-4.3	-5.0	-5.0

Com base nos resultados desses índices de agitação e de direção de onda, obtidos para todas as condições de agitação testadas, são transferidos os valores de altura de onda significativa, direção média e período de pico que caracterizam o regime de agitação estabelecido em P9 para cada um dos 18 pontos de controlo, D1 a D18. Para a determinação da altura máxima de rebentação considerou-se o nível de maré igual a +3.1 m (ZH).

Nas próximas secções, apresentam-se e analisam-se:

- Os índices de agitação nos pontos D1 a D18 para as diferentes condições de agitação incidente, para as situações sem e com marina;

- Os regimes de agitação marítima nos pontos D1 a D18 para as diferentes condições de agitação incidente, para as situações sem e com marina.

Para facilitar a análise dos resultados, agruparam-se os pontos referidos em seis zonas contendo, Figura 2-5:

- Zona A - Praia 1 - Pontos D1 e D16;
- Zona B - Praia 2 - Pontos D4, D14 e D15;
- Zona C - Zona exterior - Pontos D3 e D13;
- Zona D - Zona de entrada, exterior - Pontos D2, D11 e D12;
- Zona E - Zona de entrada, interior - Pontos D5 e D10;
- Zona F - Zona interior da marina - Pontos D6, D7, D8, D9, D17 e D18.

#### **2.4.2 Índices de agitação marítima**

Para as condições de agitação marítima testadas e para as situações sem e com marina, os resultados do modelo DREAMS são:

- Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, Figura 2-6 a Figura 2-8 e Figura A-1 a Figura A-42 do Anexo A;
- Valores médios do índice de agitação ( $H/H_0$ ) nos 18 pontos de controlo, D1 a D18. Estes valores são calculados com os valores dos índices de agitação contidos numa área de  $15 \times 15 \text{ m}^2$  em redor do ponto de controlo, Quadro A-1 e Quadro A-4 do Anexo A, e encontram-se representados na Figura 2-9 e na Figura 2-10, para todas as condições de cálculo consideradas. A batimétrica dos pontos é indicada no Quadro 2-6;
- Valores médios do índice de agitação ( $H/H_0$ ) nas 6 zonas, A a F. Estes valores são calculados com a média dos valores médios dos índices de agitação dos pontos que estão contidos em cada zona, Quadro A-5 a Quadro A-6 do anexo A, e encontram-se representados na Figura 2-12 e na Figura 2-13, para todas as condições de cálculo consideradas.

Apresentam-se, a título de exemplo, da Figura 2-6 à Figura 2-8, os diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação para as situações sem e com marina, nos casos de período  $T=10 \text{ s}$ , direções  $220^\circ$ ,  $280^\circ$  e  $300^\circ$  e nível de maré de  $+1.1 \text{ m}$  (ZH).

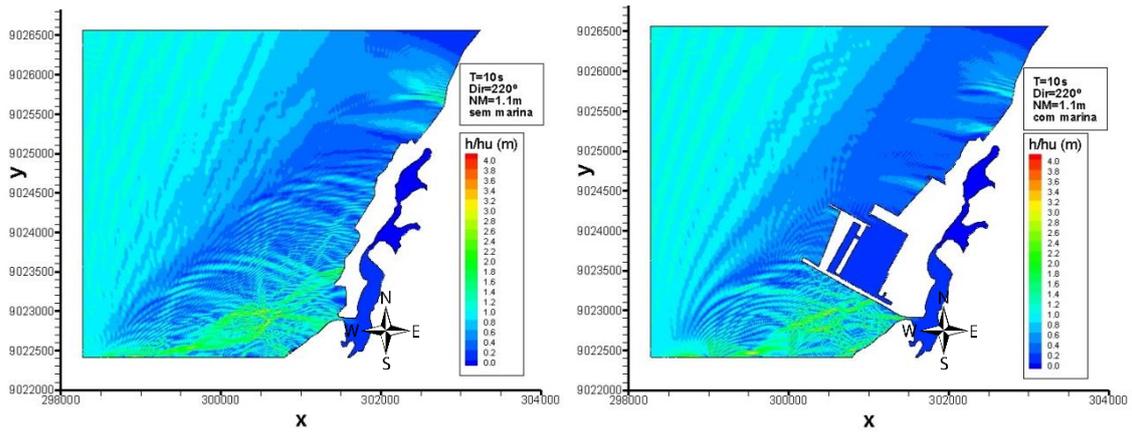


Figura 2-6 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para  $T=10$  s, direção de  $220^\circ$  e nível de maré de  $+1.1$  m (ZH), para as situações sem e com marina

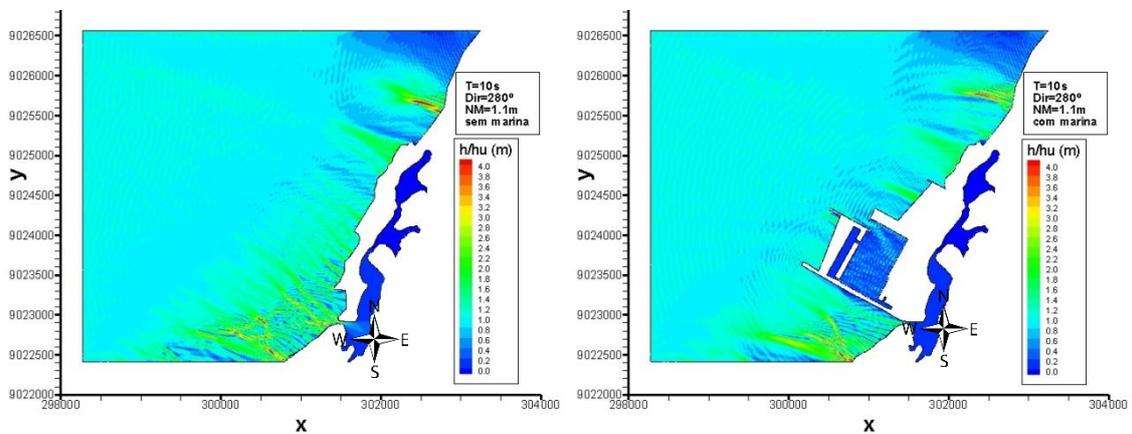


Figura 2-7 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para  $T=10$  s, direção de  $280^\circ$  e nível de maré de  $+1.1$  m (ZH), para as situações sem e com marina

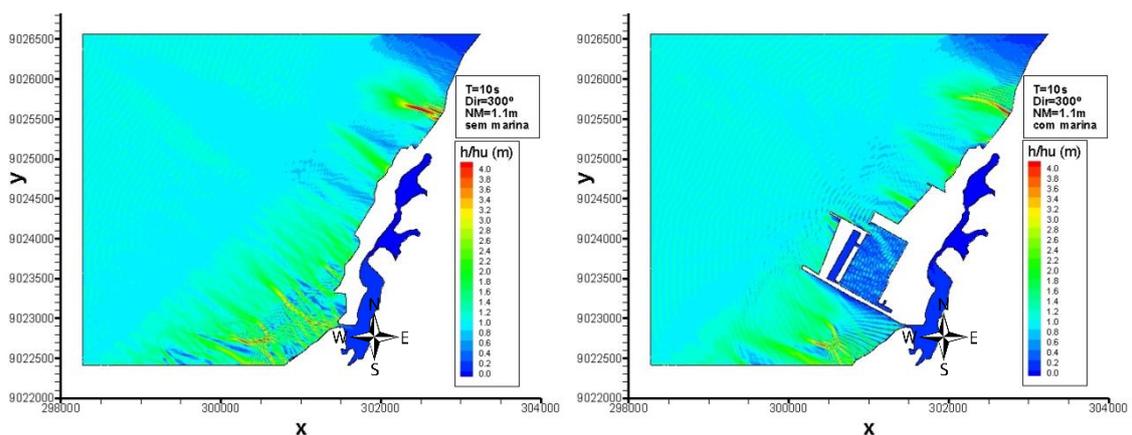


Figura 2-8 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para  $T=10$  s, direção de  $300^\circ$  e nível de maré de  $+1.1$  m (ZH), para as situações sem e com marina

Apresentam-se na Figura 2-9 e na Figura 2-10, os valores médios dos índices de agitação  $H/H_o$  obtidos para os 18 pontos de controlo, para as situações sem e com marina, em

função da direção e do período da onda incidente. Estes valores podem ser consultados também do Quadro A-1 ao Quadro A-4, do Anexo A. Apresentam-se ainda na Figura 2-11, as diferenças entre os valores médios dos índices de agitação obtidos com e sem marina, nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente.

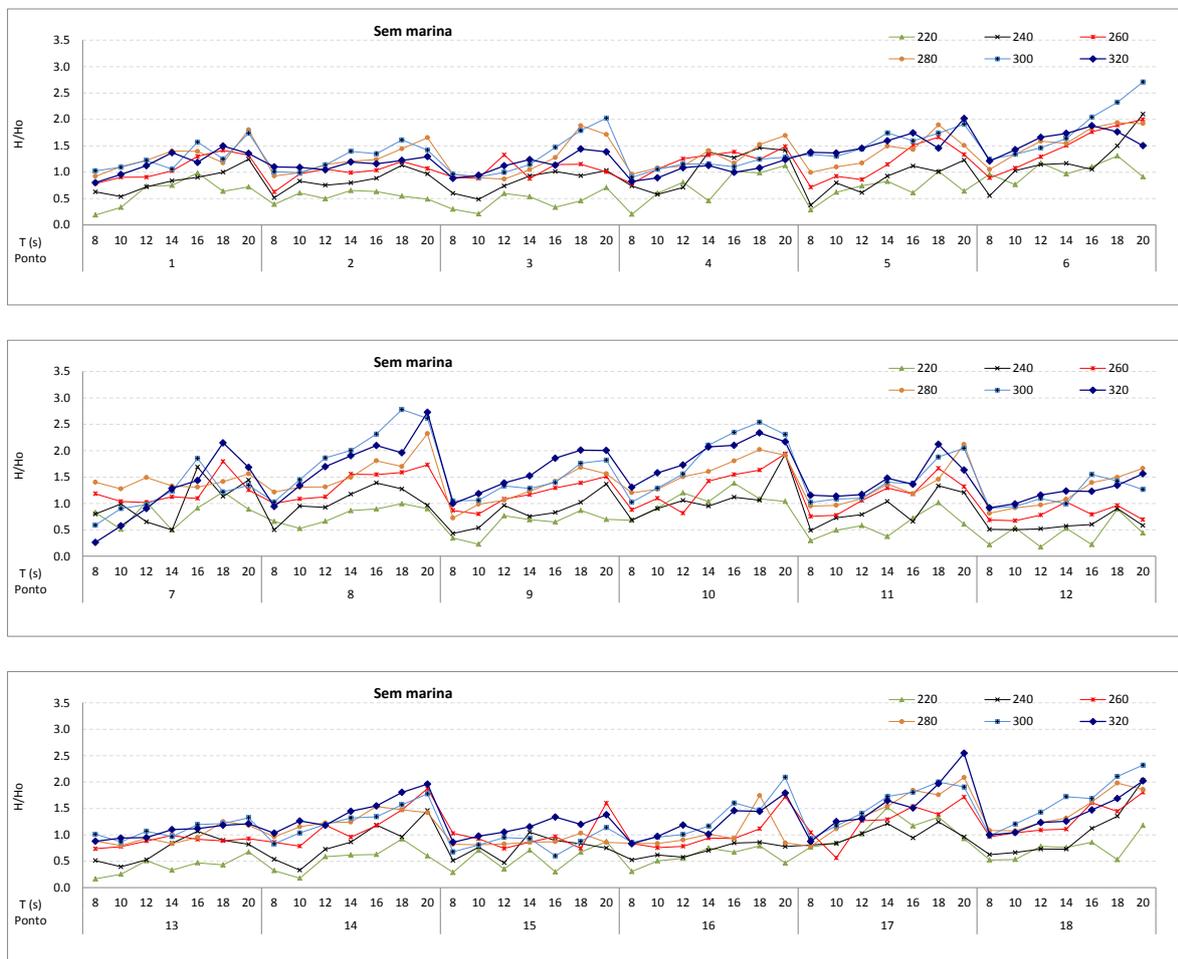


Figura 2-9 - Valores médios dos índices de agitação nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente, para a situação sem marina

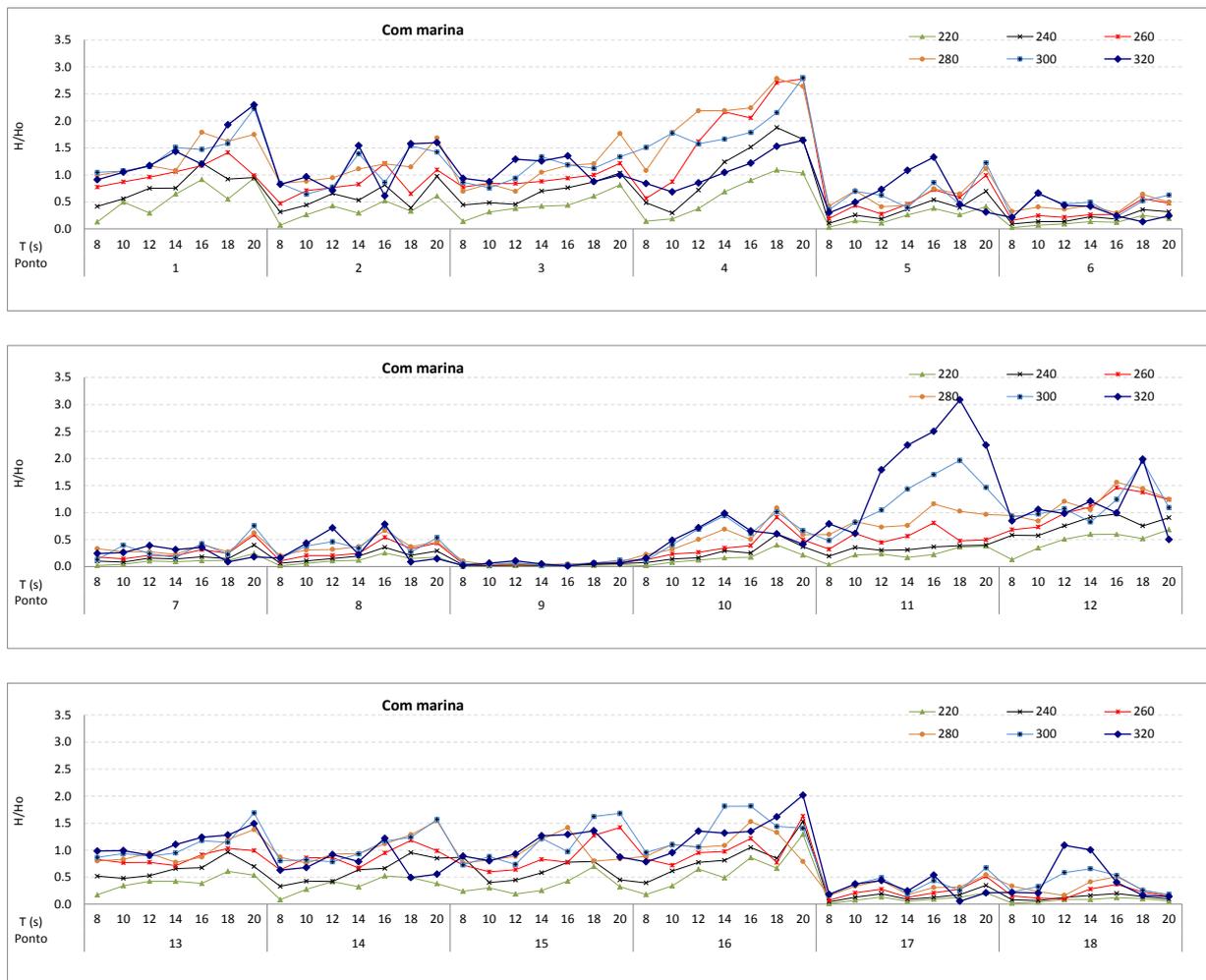


Figura 2-10 - Valores médios dos índices de agitação nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente, para a situação com marina

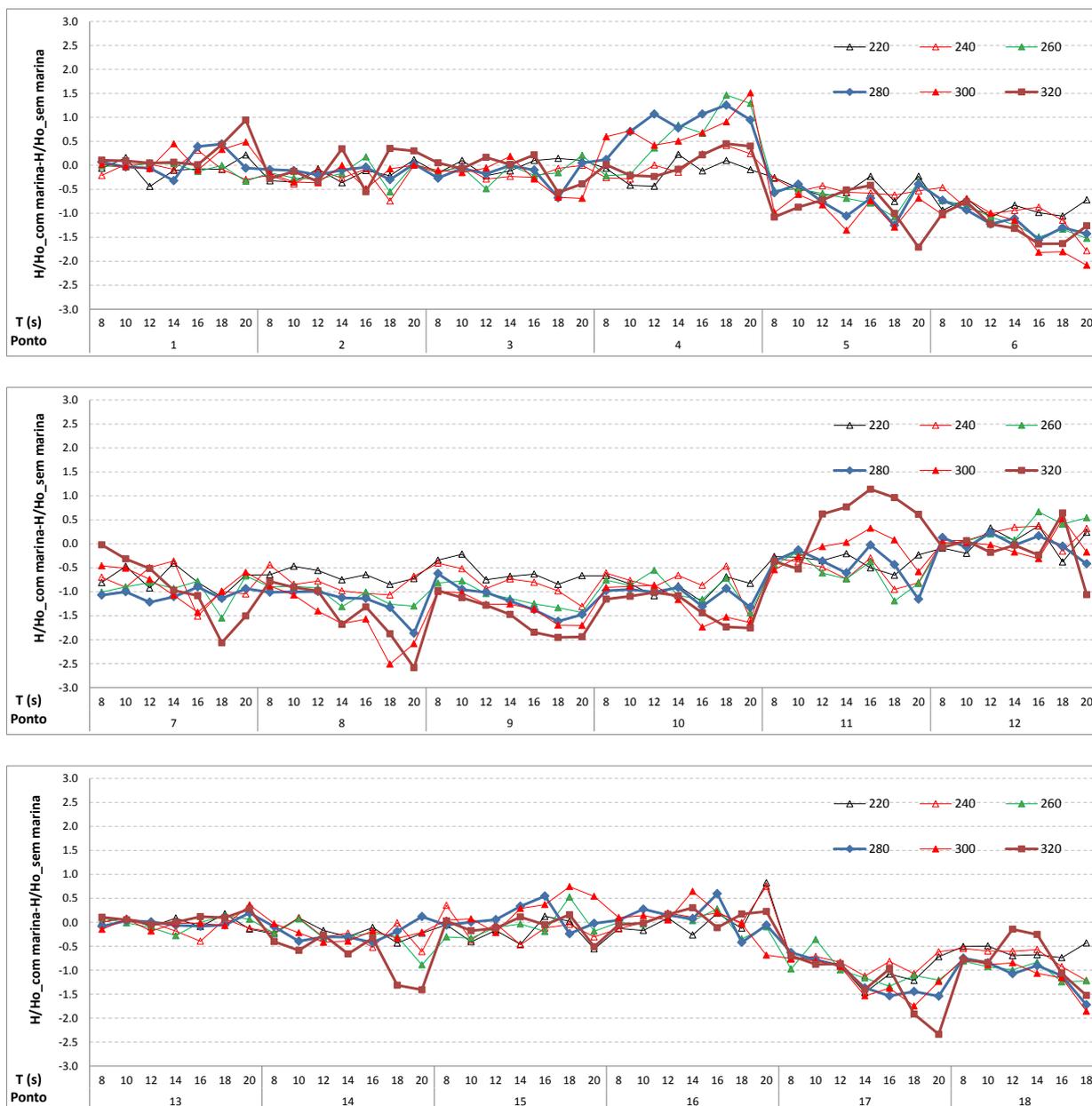


Figura 2-11 - Diferença entre os valores médios dos índices de agitação  $H/H_o$  com e sem marina nos 18 pontos de controlo, em função do período e da direção de onda incidente

Apresentam-se na Figura 2-12, os índices de agitação nas zonas A e F, para as situações sem e com marina, em função da direção e do período da onda incidente. Estes valores foram calculados através da média dos valores médios dos índices de agitação,  $H/H_o$ , obtidos nos pontos que constituem cada uma das zonas A a F. Estes valores podem ser consultados também no Quadro A-5 e Quadro A-6 do Anexo A. É de notar que para a zona F não foram considerados os valores de  $H/H_o$  no ponto D9.

Apresentam-se ainda na Figura 2-13, as diferenças entre os valores dos índices de agitação obtidos com e sem marina, nas zonas A a F, em função do período e da direção de onda incidente.

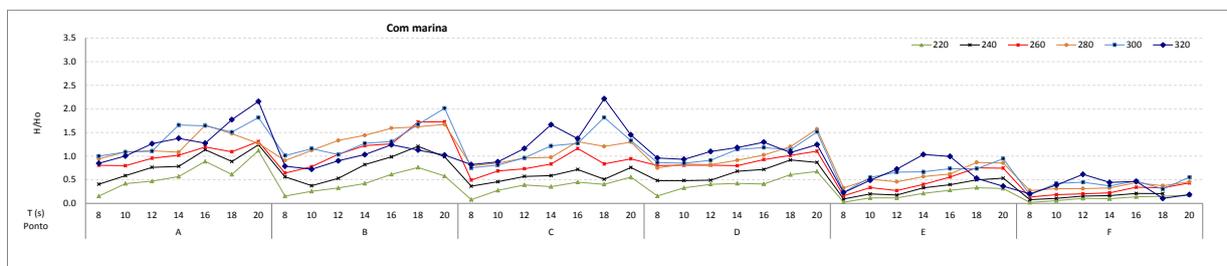
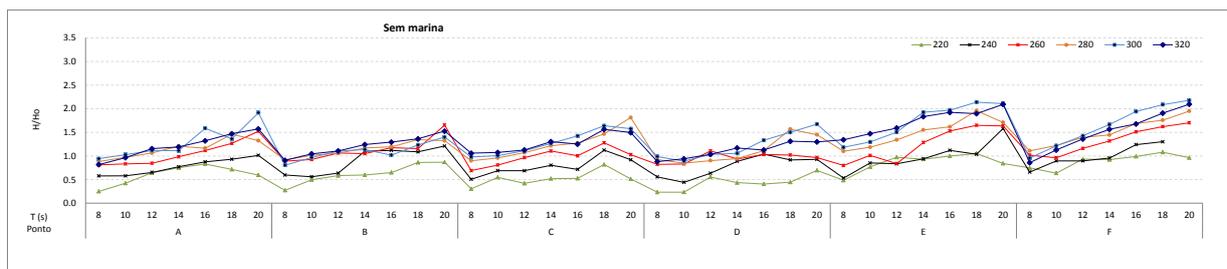


Figura 2-12 - Valores dos índices de agitação com e sem marina nas zonas A a F, em função do período e da direção de onda incidente

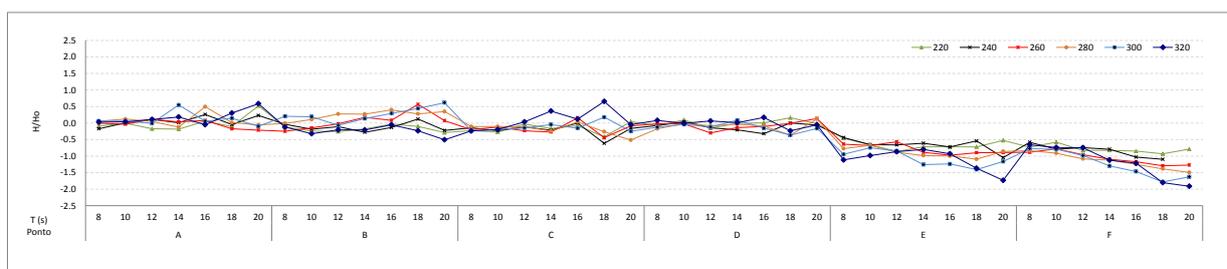


Figura 2-13 - Diferença entre a média dos valores dos índices de agitação com e sem marina nas zonas A a F, em função do período e da direção de onda incidente

No Quadro A-7 e no Quadro A-8 apresentam-se os valores mínimo, médio e máximo correspondentes a cada zona A a F, em função do período de onda. Estes valores foram calculados considerando para cada período de onda e cada zona considerada, o valor mínimo, a média e o valor máximo dos valores correspondentes às direções de onda testadas. Apresentam-se também nesses quadros os valores mínimo, médio e máximo dos valores de  $H/H_o$  correspondente a cada zona A a F, considerando todas as condições testadas.

Tendo em conta as figuras anteriores e as Figuras A-1 a A-42 e os quadros do Anexo A (Quadro A-1 e Quadro A-8), pode concluir-se que:

### Sem marina

- Para as várias condições de agitação marítima, os valores do índice de agitação variam significativamente ao longo do domínio devido aos efeitos da refração e difração da onda e das reflexões nas fronteiras sólidas desse domínio

(correspondentes à linha de costa). Existem assim zonas de concentração de energia e outras de dissipação, função da batimetria local;

- Em geral, à medida que a agitação marítima roda de 220° para 320°, dá-se um aumento dos índices de agitação junto à costa na zona dos pontos D1 a D18, para todos os períodos de onda incidente;
- Em geral, para cada direção de onda, à medida que o período de onda aumenta, aumentam também os valores dos índices de agitação nos pontos D1 a D18.

### Com marina

- Para as várias condições de agitação marítima, e tal como acontecia para a situação sem marina, os valores do índice de agitação variam significativamente ao longo do domínio devido aos efeitos da refração e difração da onda e das reflexões nas fronteiras sólidas desse domínio (correspondentes à linha de costa e às fronteiras físicas da marina). Existem também ao longo da linha de costa zonas quer de concentração, quer de dissipação de energia;
- Para as condições testadas, em geral, verifica-se que à medida que a agitação penetra no interior da marina, os valores dos índices de agitação marítima vão diminuindo progressivamente. Com efeito, tendo por base a análise por zonas, para todos os períodos e direções de onda incidentes, os valores dos índices de agitação nos pontos da zona de entrada exterior – zona D (pontos D2, D11 e D12) – e de entrada interior - zona E (D5 e D10) - são superiores à zona F (D6 a D9, D17 e D18);
- Em geral, à medida que a agitação marítima roda de 220° para 320°, dá-se um aumento dos índices de agitação na zona da marina, quer no exterior quer no seu interior, refletindo assim um menor abrigo proporcionado pela marina.
  - Isto é principalmente visível ao longo do canal de entrada da marina, no qual se podem obter valores mais elevados do índice de agitação marítima quando a agitação provém de ângulos superiores a 260° e períodos de onda elevados;
  - No interior da marina, zona F (pontos D6 a D9, D17 e D18), este comportamento é também observado, embora de forma menos acentuada em relação ao que se verifica para as outras zonas. Com efeito, a agitação no interior da marina tende a aumentar com a rotação da agitação de 220° para 320° para a maioria dos pontos selecionados e períodos de onda testados, mas esse aumento não é muito significativo. É de notar que estes valores

também são o resultado de reflexões ocorridas devido às características das fronteiras físicas que constituem a marina;

- Em geral, verifica-se o aumento dos valores de  $H/H_0$ , à medida que o período de onda aumenta. Esta tendência nem sempre é comum para os pontos do interior da marina em virtude da menor expressão dos índices de agitação nesta zona;
- É de salientar a ocorrência de importantes reflexões ao longo do canal de entrada da marina (quer ao longo do quebra-mar central quer em frente e ao longo do cais do terminal de cruzeiros) e no interior da marina, que conseqüentemente conduzem a valores elevados dos índices de agitação nessas zonas. Em geral, este fenómeno torna-se progressivamente mais importante à medida que o período da onda aumenta e que a agitação roda de  $220^\circ$  para  $320^\circ$ ;
- Considerando todas as condições testadas, e com base apenas nos pontos e zonas selecionados, Quadro A-3, Quadro A-4, Quadro A-6, Quadro A-8, Figura 2-9 a Figura 2-13,
  - Nas zonas de praia A e B, o valor do índice de agitação máximo calculado foi de 2.8 (D4), sendo no ponto D4 que se verificaram os maiores valores de  $H/H_0$ . Em termos médios, Quadro A-8, o valor máximo de  $H/H_0$  nas zonas A e B, foi de 2.16 e 2.02, respetivamente, enquanto o valor médio em ambas as zonas foi da ordem de 1.0;
  - Na zona de entrada, exterior, D (pontos D2, D12 e D11), e interior, E (D5 e D10), o valor do índice de agitação máximo calculado foi de 3.09 (D11). Em termos médios, Quadro A-8, o valor máximo de  $H/H_0$  nas zonas D e E, foi de 1.57 e 1.04, respetivamente, enquanto os valores médios foram iguais a 0.87 e 0.47, respetivamente;
  - Na zona interior, F (D6 a D8 e D17 e D18), o valor de  $H/H_0$  máximo calculado foi de 1.09 (D18). Em termos médios, Quadro A-8, o valor máximo de  $H/H_0$  foi de 0.61 e o valor médio de  $H/H_0$  foi igual a 0.27. No ponto D9 acontecem os menores valores de  $H/H_0$  (máximo de 0.12 e média de 0.05).

Comparando as situações sem e com marina em termos dos pontos e das zonas estudadas, Figura 2-11 e Figura 2-13, verifica-se que:

- Nas zonas das praias artificiais A e B, não existe uma clara tendência quanto ao comportamento dos valores dos índices de agitação entre as situações sem e com marina, para as várias condições de agitação testadas. Com efeito, tal depende da condição de agitação testada e do ponto considerado. Na maioria dos pontos destas

zonas e para a maioria das condições de agitação, verifica-se que os valores de  $H/H_0$ , na situação com marina, se mantêm da mesma ordem de grandeza que os verificados na situação sem marina. No entanto, no caso do ponto D4, os valores de  $H/H_0$  na situação com marina aumentam significativamente face aos obtidos sem a presença da marina enquanto no ponto D16 acontece exatamente o contrário;

- Nas zonas C e D, também não é evidente uma tendência clara quanto ao comportamento dos valores dos índices de agitação entre as situações sem e com marina, pois tal comportamento é função da agitação incidente e ponto considerado. Em geral, os índices de agitação são da mesma ordem de grandeza ou ligeiramente inferiores em média;
- Nas zonas E e F, os valores dos índices de agitação são inferiores na situação com marina face aos obtidos na situação sem marina, para todas as condições de agitação testadas.

Em resumo, pode-se afirmar que, em geral, o abrigo concedido pela marina diminui à medida que a agitação incidente roda de  $220^\circ$  para  $320^\circ$ , e que o período de onda aumenta. Verifica-se uma tendência de diminuição dos valores dos índices de agitação à medida que a agitação se propaga para o interior da marina. É no entanto de salientar a ocorrência de importantes reflexões ao longo do canal de acesso da marina (quer ao longo do quebra-mar central quer em frente e ao longo do cais interior do terminal de cruzeiros) e no seu interior que conduzem a valores elevados dos índices de agitação nessas zonas.

### **2.4.3 Regimes da agitação marítima**

Com base nos valores do índice de agitação determinados pelo modelo DREAMS correspondentes a cada período de pico e de direção média de onda incidente, efetuou-se a transferência do regime de agitação marítima estabelecido no ponto P9 para os pontos selecionados, D1 a D18. No Quadro 2-7 e Quadro 2-8, são apresentadas estatísticas descritivas das séries de  $H_s$ ,  $T_p$  e  $Dir_p$  obtidas em D1 a D18, para as situações sem e com marina.

Quadro 2-7 – Pontos D1 a D18. Estatísticas das séries totais de Hs, Tp e Dirp sem marina

Estatística (Sem Marina)	Largo (P9)			D1			D2			D3			D4			D5			D6		
	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)
Média	0.72	12.14	242.50	0.56	12.20	293.54	0.60	12.20	284.54	0.57	12.20	287.51	0.70	12.20	293.72	0.61	12.20	299.70	0.85	12.20	292.63
Erro-padrão	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.07
Mediana	0.69	12.89	242.74	0.51	12.89	296.73	0.56	12.89	285.09	0.53	12.89	288.58	0.61	12.89	293.21	0.54	12.89	301.02	0.79	12.89	304.56
Moda	0.63	12.89	243.02	0.41	12.89	297.55	0.49	12.89	286.66	0.44	12.89	288.58	0.34	12.89	294.42	0.54	12.89	301.02	0.68	12.89	305.40
Desvio-padrão	0.22	2.02	4.56	0.26	1.96	7.06	0.22	1.96	7.34	0.27	1.96	6.94	0.38	1.96	5.94	0.28	1.96	4.88	0.33	1.96	19.29
Variância	0.05	4.07	20.83	0.07	3.83	49.79	0.05	3.83	53.84	0.07	3.83	48.11	0.14	3.83	35.24	0.08	3.83	23.80	0.11	3.83	372.21
Curtose	0.61	-0.03	4.50	1.28	-0.13	-0.14	1.10	-0.13	-0.78	0.27	-0.13	1.93	0.46	-0.13	2.83	2.45	-0.13	10.58	1.12	-0.13	-0.70
Assimetria	0.76	0.14	0.37	1.00	0.25	-0.99	0.87	0.25	-0.08	0.70	0.25	-0.95	0.94	0.25	-0.93	1.34	0.25	-2.94	0.90	0.25	-0.84
Intervalo	1.67	15.05	69.09	2.00	10.61	36.44	1.75	10.61	49.68	1.75	10.61	54.07	2.43	10.61	44.92	2.33	10.61	38.12	2.47	10.61	68.86
Mínimo	0.20	4.05	230.91	0.10	8.49	275.74	0.11	8.49	268.80	0.09	8.49	262.93	0.12	8.49	270.40	0.09	8.49	274.03	0.16	8.49	252.46
Máximo	1.87	19.10	300.00	2.10	19.10	312.18	1.86	19.10	318.48	1.85	19.10	317.00	2.54	19.10	315.32	2.42	19.10	312.15	2.63	19.10	321.32
Contagem	75968	75968	75968	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992

Estatística (Sem Marina)	D7			D8			D9			D10			D11			D12		
	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)
Média	0.59	12.20	290.65	0.78	12.20	305.45	0.60	12.20	296.30	0.75	12.20	283.88	0.65	12.20	288.89	0.44	12.20	294.04
Erro-padrão	0.00	0.01	0.05	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.04
Mediana	0.54	12.89	290.09	0.71	12.89	307.87	0.58	12.89	296.66	0.70	12.89	295.03	0.59	12.89	287.52	0.40	12.89	295.98
Moda	0.41	12.89	290.09	0.85	12.89	308.84	0.62	12.89	297.76	0.57	12.89	295.79	0.68	12.89	284.11	0.28	12.89	302.46
Desvio-padrão	0.24	1.96	12.73	0.34	1.96	4.71	0.27	1.96	5.60	0.29	1.96	18.87	0.29	1.96	5.53	0.18	1.96	11.22
Variância	0.06	3.83	161.93	0.12	3.83	22.20	0.07	3.83	31.37	0.08	3.83	355.98	0.08	3.83	30.62	0.03	3.83	125.83
Curtose	5.77	-0.13	-0.43	1.18	-0.13	5.86	0.41	-0.13	-0.56	1.58	-0.13	-0.95	0.91	-0.13	3.08	1.28	-0.13	0.52
Assimetria	1.90	0.25	-0.29	1.02	0.25	-2.18	0.59	0.25	-0.04	1.03	0.25	-0.60	0.92	0.25	1.84	1.07	0.25	-0.94
Intervalo	2.34	10.61	52.98	2.44	10.61	33.50	1.98	10.61	35.28	2.27	10.61	67.54	2.18	10.61	31.00	1.36	10.61	58.32
Mínimo	0.13	8.49	256.08	0.13	8.49	283.25	0.09	8.49	280.32	0.16	8.49	246.81	0.10	8.49	280.41	0.09	8.49	257.63
Máximo	2.47	19.10	309.06	2.57	19.10	316.75	2.07	19.10	315.61	2.43	19.10	314.34	2.28	19.10	311.42	1.45	19.10	315.95
Contagem	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992

Estatística (Sem Marina)	D13			D14			D15			D16			D17			D18		
	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)
Média	0.48	12.20	281.81	0.54	12.20	298.36	0.55	12.20	291.18	0.49	12.20	284.40	0.77	12.20	299.29	0.59	12.20	305.33
Erro-padrão	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02
Mediana	0.43	12.89	283.29	0.51	12.89	299.17	0.49	12.89	292.63	0.45	12.89	286.90	0.72	12.89	298.99	0.53	12.89	306.55
Moda	0.30	12.89	283.81	0.44	12.89	297.34	0.39	12.89	292.84	0.39	12.89	287.84	0.65	12.89	298.08	0.39	12.89	306.15
Desvio-padrão	0.25	1.96	7.64	0.29	1.96	5.10	0.24	1.96	3.78	0.20	1.96	8.78	0.31	1.96	3.72	0.27	1.96	4.52
Variância	0.06	3.83	58.39	0.08	3.83	26.00	0.06	3.83	14.25	0.04	3.83	77.17	0.10	3.83	13.87	0.07	3.83	20.42
Curtose	0.61	-0.13	-0.43	0.65	-0.13	2.62	1.13	-0.13	-1.36	1.57	-0.13	-0.01	0.62	-0.13	2.87	3.55	-0.13	14.06
Assimetria	0.95	0.25	-0.03	0.79	0.25	-1.05	1.09	0.25	0.02	1.11	0.25	-0.58	0.84	0.25	0.55	1.51	0.25	-3.62
Intervalo	1.65	10.61	52.61	2.13	10.61	35.67	1.72	10.61	25.77	1.67	10.61	51.50	2.15	10.61	31.96	2.29	10.61	36.12
Mínimo	0.08	8.49	260.71	0.07	8.49	279.98	0.11	8.49	284.73	0.10	8.49	259.80	0.17	8.49	284.17	0.13	8.49	280.19
Máximo	1.73	19.10	313.32	2.19	19.10	315.65	1.83	19.10	310.50	1.77	19.10	311.30	2.32	19.10	316.13	2.41	19.10	316.31
Contagem	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992

Quadro 2-8 – Pontos D1 a D18. Estatísticas das séries totais de Hs, Tp e Dirp com marina

Estatística (Com Marina)	Largo (P9)			D1			D2			D3			D4			D5			D6		
	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)
Média	0.71	12.14	243.77	0.56	12.20	292.14	0.45	12.20	311.58	0.44	12.20	286.68	0.76	12.20	286.06	0.22	12.20	274.14	0.13	12.20	179.28
Erro-padrão	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.03	0.00	0.01	0.18	0.00	0.01	0.22
Mediana	0.68	12.89	242.74	0.52	12.89	293.34	0.42	12.89	313.38	0.39	12.89	289.40	0.62	12.89	289.44	0.18	12.89	290.21	0.12	12.89	139.60
Moda	0.62	12.89	244.04	0.47	12.89	294.01	0.40	12.89	313.38	0.30	12.89	290.00	0.40	12.89	290.14	0.13	12.89	253.27	0.08	12.89	138.63
Desvio-padrão	0.22	2.02	5.90	0.26	1.96	6.37	0.21	1.96	4.93	0.21	1.96	6.10	0.56	1.96	7.86	0.13	1.96	48.76	0.07	1.96	59.86
Variância	0.05	4.07	34.79	0.07	3.83	40.59	0.04	3.83	24.31	0.04	3.83	37.22	0.32	3.83	61.86	0.02	3.83	2377.34	0.01	3.83	3583.45
Curtose	0.58	-0.03	1.29	1.21	-0.13	1.09	2.02	-0.13	0.95	1.03	-0.13	-1.04	0.65	-0.13	-1.05	3.20	-0.13	-1.00	3.11	-0.13	-1.59
Assimetria	0.74	0.14	0.47	0.97	0.25	-1.09	1.07	0.25	-0.56	1.06	0.25	-0.43	1.01	0.25	-0.44	1.62	0.25	-0.56	1.37	0.25	0.31
Intervalo	1.68	15.04	69.91	2.08	10.60	46.43	1.69	10.60	70.65	1.52	10.60	34.60	3.94	10.60	37.55	1.02	10.60	146.97	0.71	10.60	197.34
Mínimo	0.19	4.05	230.09	0.08	8.49	270.39	0.05	8.49	256.89	0.07	8.49	275.02	0.06	8.49	272.48	0.02	8.49	181.73	0.02	8.49	112.48
Máximo	1.87	19.10	300.00	2.16	19.10	316.82	1.74	19.10	327.54	1.59	19.10	309.62	4.00	19.10	310.03	1.05	19.10	328.70	0.73	19.10	309.82
Contagem	75968	75968	75968	74992	74992	74992	74990	74990	74990	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992

Estatística (Com Marina)	D7			D8			D9			D10			D11			D12		
	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)
Média	0.11	12.20	205.97	0.13	12.20	91.19	0.02	12.20	155.15	0.16	12.20	275.76	0.27	12.20	267.33	0.60	12.20	287.67
Erro-padrão	0.00	0.01	0.17	0.00	0.01	0.07	0.00	0.01	0.27	0.00	0.01	0.15	0.00	0.01	0.23	0.00	0.01	0.01
Mediana	0.10	12.89	233.31	0.11	12.89	93.96	0.02	12.89	192.22	0.14	12.89	298.88	0.24	12.89	278.51	0.54	12.89	287.18
Moda	0.10	12.89	234.35	0.13	12.89	94.91	0.02	12.89	192.23	0.08	12.89	299.67	0.17	12.89	277.62	0.29	12.89	288.13
Desvio-padrão	0.06	1.96	47.26	0.09	1.96	18.76	0.01	1.96	75.22	0.10	1.96	39.92	0.13	1.96	61.93	0.29	1.96	3.82
Variância	0.00	3.83	2233.38	0.01	3.83	351.76	0.00	3.83	5658.60	0.01	3.83	1593.68	0.02	3.83	3834.82	0.08	3.83	14.56
Curtose	1.95	-0.13	-1.21	4.96	-0.13	3.18	1.55	-0.13	-1.44	5.49	-0.13	4.79	3.34	-0.13	4.90	1.24	-0.13	0.56
Assimetria	1.09	0.25	-0.61	1.87	0.25	1.44	0.91	0.25	-0.09	1.73	0.25	-2.20	1.49	0.25	-2.39	1.02	0.25	0.38
Intervalo	0.43	10.60	153.30	0.72	10.60	92.82	0.08	10.60	214.23	1.15	10.60	189.96	1.16	10.60	271.46	2.20	10.60	47.23
Mínimo	0.01	8.49	113.06	0.01	8.49	57.14	0.00	8.49	37.15	0.01	8.49	114.34	0.04	8.49	37.87	0.09	8.49	279.44
Máximo	0.45	19.10	266.36	0.73	19.10	149.96	0.08	19.10	251.37	1.16	19.10	304.30	1.19	19.10	309.62	2.29	19.10	326.67
Contagem	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992

Estatística (Com Marina)	D13			D14			D15			D16			D17			D18		
	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)	Hs (m)	Tp (s)	Dirp (°)
Média	0.43	12.20	279.26	0.40	12.20	288.22	0.40	12.20	302.24	0.56	12.20	282.43	0.11	12.20	204.70	0.11	12.20	196.63
Erro-padrão	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.01	0.00	0.01	0.02	0.00	0.01	0.30	0.00	0.01	0.20
Mediana	0.39	12.89	280.60	0.36	12.89	287.44	0.36	12.89	302.90	0.53	12.89	282.82	0.10	12.89	159.45	0.09	12.89	193.19
Moda	0.38	12.89	281.47	0.30	12.89	289.62	0.37	12.89	303.73	0.45	12.89	285.43	0.11	12.89	159.16	0.07	12.89	193.19
Desvio-padrão	0.18	1.96	6.80	0.19	1.96	5.41	0.19	1.96	3.39	0.24	1.96	4.79	0.04	1.96	81.36	0.07	1.96	53.78
Variância	0.03	3.83	46.18	0.04	3.83	29.28	0.04	3.83	11.50	0.06	3.83	22.90	0.00	3.83	6618.74	0.01	3.83	2892.16
Curtose	1.33	-0.13	-0.65	1.83	-0.13	-0.60	2.00	-0.13	4.97	0.89	-0.13	-1.07	1.54	-0.13	-1.66	2.04	-0.13	-0.75
Assimetria	1.03	0.25	-0.12	1.14	0.25	0.32	1.27	0.25	-2.08	0.83	0.25	0.12	0.75	0.25	1.35	0.25	0.44	
Intervalo	1.52	10.60	44.35	1.72	10.60	24.33	1.68	10.60	25.40	1.84	10.60	41.07	0.40	10.60	207.92	0.53	10.60	201.51
Mínimo	0.08	8.49	263.70	0.06	8.49	280.47	0.08	8.49	288.18	0.08	8.49	273.87	0.01	8.49	101.77	0.01	8.49	124.64
Máximo	1.61	19.10	308.05	1.78	19.10	304.80	1.76	19.10	313.58	1.91	19.10	314.94	0.41	19.10	309.69	0.54	19.10	326.15
Contagem	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992	74992

Apresentam-se as séries temporais das alturas de onda Hs, dos períodos Tp e das direções de onda, Dirp, e os histogramas conjuntos e marginais de Hs-Tp e Hs\_Dirp, correspondentes ao período de 01-01-1985 a 31-12-2010, para as situações sem e com marina, no Anexo A, da Figura A-43 à Figura A-96. Note-se que nas zonas D, E e F não se apresentam as séries temporais das direções de onda Dirp nem os respetivos histogramas que envolvam essa variável, porque os valores de direção da onda são o resultado de múltiplas reflexões que acontecem.

Com base nas figuras do Anexo A, Figura A-43 a Figura A-96 e nos Quadro 2-7 e Quadro 2-8 pode-se concluir que para os pontos e zonas selecionados:

#### Sem marina

- A gama de valores de Hs nos pontos D1 a D18 é maior quando comparada com a do ponto P9, devido aos fenómenos da refração e difração das ondas, consequência da variação da batimetria dos fundos. Com efeito, os valores de Hs, que em P9 (largo) variam entre 0.20 e 1.87 m, passam a estar compreendidos entre 0.07 m e 2.63 m no cômputo geral dos pontos, sendo a gama mais frequente em qualquer dos pontos entre 0.0 m e 1.0 m, em geral. A média dos valores de Hs, com base em todos os registos considerados, tem valores entre 0.7-0.8 m, nos pontos D4, D6, D8, D10 e

D17, entre 0.56-0.65 m nos pontos D1, D2, D3, D5, D7, D9, D11 e D18, e entre 0.44-0.55 m nos pontos D12, D13, D14, D15 e D16. Note-se que no ponto D6, a altura da onda foi limitada pela profundidade;

- Para todos os pontos, os valores de períodos de pico, situam-se entre 8.5 s e 19.1 s, sendo a média de 12.2 s, a mediana de 12.9 s e o desvio padrão de 2 s;
- A direção das ondas sofre uma rotação no sentido de estas se apresentarem mais perpendiculares à batimetria, que é tanto maior quanto mais perto da costa se encontram os pontos de transferência. Assim, obtiveram-se rotações das gamas das direções de 230.9° e 300°, no ponto P9, para gamas, entre 246° e 322° nos pontos D1 a D18.

#### Com marina

- Os valores de Hs nos pontos junto às praias artificiais, zonas A e B, apresentam variações quando comparados com o ponto P9, devido aos fenómenos da refração e difração das ondas, consequência da variação da batimetria dos fundos.
  - Na zona A, no ponto D1 e no ponto D16, embora o valor máximo verificado (2.16 m em D1 e 1.91 m em D16) seja superior a P9 (1.87 m), a média dos valores de Hs diminui de 0.71 m (P9) para 0.56 m em ambos os pontos e a maioria desses valores encontra-se na gama entre [0-1.0 m], sendo a gama mais frequente a de [0-0.5 m];
  - Na zona B, os maiores valores de Hs verificam-se no ponto D4, onde a média de Hs é de 0.76 m. A maioria dos valores de Hs encontram-se entre [0-1.5 m], sendo a gama mais frequente a dos [0-0.5 m]. No caso dos pontos D14 e D15, a média dos valores de Hs é de 0.4 m e a gama mais frequente é de [0-0.5 m];
- Nas zonas de entrada da marina, exterior e interior, D e E, verifica-se que, em geral, os valores de Hs são inferiores aos do ponto P9, à exceção do ponto D12.
  - Os valores de Hs passam a estar compreendidos entre: zona D - 0.05 m e 1.74 m para D2, 0.04 m e 1.19 m para D11 e 0.09 m e 2.29 m para D12 e zona E - 0.02 m e 1.05 m para D5 e 0.01 m e 1.16 m para D10. A média dos valores de Hs é da ordem de 0.44 m para a zona D e 0.19 m para a zona E. A grande maioria dos valores de Hs encontra-se entre [0-1.0 m], sendo a gama mais frequente em qualquer dos pontos entre 0.0 m e 0.5 m;
- No interior da marina (zona F), os valores de Hs são inferiores aos verificados no ponto P9.
  - Os valores de Hs nesta zona estão compreendidos entre 0.02 e 0.73 m no ponto D6, 0.01 e 0.45 m no ponto D7, 0.01 e 0.73 m no ponto D8, 0.00 e 0.08 no ponto D9, 0.01 e 0.41 m no ponto D17 e 0.01 e 0.54 m no ponto D18.

Note-se que a média dos valores de  $H_s$  encontra-se entre 0.02 m e 0.13 m (Quadro 2-8), i.e., é da ordem de 0.1 m. Os valores de  $H_s$  estão compreendidos na gama entre [0.0-1.0 m], sendo sem dúvida a gama mais frequente a dos [0-0.5 m].

- O ponto D9 é o que apresenta os menores valores no interior da marina, inferiores a 0.08 m.
- Para todos os pontos, os valores de períodos de pico, situam-se entre 8.5 s e 19.1 s, sendo a média de 12.2 s, a mediana de 12.9 s e o desvio padrão de 2 s;
- Para os pontos no exterior da marina, a direção das ondas sofre uma rotação significativa no sentido de estas se apresentarem mais perpendiculares à batimetria, que é tanto maior quanto mais perto da costa se encontram os pontos de transferência. Para os pontos no interior da marina, as direções assumem outros ângulos devido à difração e reflexão das ondas em torno das estruturas construídas.

Comparando as situações sem e com marina e considerando apenas os pontos e zonas selecionados, verifica-se que:

- Existem diferenças significativas, face à situação sem marina, nos pontos no interior da marina (zona F) quer no que diz respeito às alturas de onda, quer relativamente a direções de onda. Tal é consequência do abrigo causado pela Marina Luanda. Verifica-se efetivamente uma significativa redução das alturas de onda nos pontos selecionados do interior da marina, em que o máximo de  $H_s$  verificado (pontos D6 e D8) é igual a 0.73 m e o valor médio de  $H_s$  (ponto D6) não excede 0.13 m, ao contrário do que se verificava na situação sem marina, em que o máximo é de 2.63 m (ponto D6), e o valor médio de  $H_s$  é de 0.85 m;
- No caso dos pontos no exterior da marina as diferenças não são tão significativas, havendo casos de aumento de alturas de onda devido a reflexões nas fronteiras físicas da marina;
- Em termos de períodos de onda, não existem diferenças quanto à gama de períodos encontrada nas situações sem e com marina, i.e., para todos os pontos a gama varia entre 8.5 s e 19.1 s, devido ao facto de se ter utilizado um modelo linear;
- Em termos de direções, existem diferenças significativas principalmente nas zonas de acesso (exterior e interior) e interior da marina, devido às reflexões. Verificam-se também diferenças ao nível das zonas das praias artificiais.

## 2.5 Conclusões

Neste capítulo, analisaram-se as condições de agitação marítima na zona marítima adjacente à Marina Luanda e no seu interior, resultantes da propagação de diferentes

condições de agitação incidente. Para este fim, procedeu-se à propagação de várias condições de agitação marítima (direções, alturas e períodos da onda), para duas situações: sem e com a implantação da marina.

As condições de agitação marítima incidentes foram definidas com base no regime de agitação marítima estabelecido no exterior da Marina Luanda, e mais concretamente, no ponto P9, na batimétrica de -80 m (ZH), Portela et al. (2013).

O modelo numérico utilizado foi o modelo DREAMS (Fortes, 1993) baseado na equação de declive suave de Berkhoff (1972) que permite efetuar estudos de penetração de agitação marítima em zonas portuárias ou abrigadas, bem como estudos de ressonância portuária.

Para um conjunto de condições de agitação marítima (períodos entre 8 e 20 s, direções entre 220° e 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH)) efetuaram-se cálculos sistemáticos de ondas regulares com o modelo DREAMS, para as situações sem e com a implantação da marina. Os resultados do modelo DREAMS consistiram nos valores dos índices de agitação e de direção de onda em todo o domínio de cálculo, num conjunto de 18 pontos (D1 a D18) e nas zonas A a F em que se dividiu o domínio de cálculo.

Com base nos valores dos índices de agitação, verifica-se que, em geral, o abrigo concedido pela marina diminui à medida que a agitação incidente roda de 220° para 320°, e que o período de onda aumenta. Verifica-se uma tendência de diminuição dos valores dos índices de agitação à medida que a agitação se propaga para o interior da marina. É, no entanto, de salientar a ocorrência de importantes reflexões ao longo do canal de acesso da marina (quer ao longo do quebra-mar central quer em frente e ao longo do cais interior do terminal de cruzeiros) e no seu interior que conduzem a valores elevados dos índices de agitação nessas zonas.

Considerando os resultados dos índices de agitação e de direção da onda, obtidos para todas as condições de agitação incidente testadas, foram transferidos os valores de altura de onda significativa, direção média e período de pico de onda que caracterizam o regime de agitação estabelecido em P9 para cada um dos 18 pontos de controlo, D1 a D18. Obtiveram-se assim os regimes de agitação nos pontos D1 a D18 e as principais conclusões foram:

- Os valores de  $H_s$  nos pontos D1 a D18 apresentam variações quando comparados com o ponto P9, devido aos fenómenos da refração e difração das ondas, consequência da variação da batimetria dos fundos e da reflexão das ondas nas estruturas da marina;
- Na zona das praias artificiais, zonas A e B, a média dos valores de  $H_s$  não excede 0.56 m (ponto D1) e 0.76 m (ponto D4), respetivamente, sendo que para todos os

pontos dessas zonas, a maioria desses valores de Hs encontra-se na gama entre [0-1.0 m]. A gama mais frequente é de [0-0.5 m]. No ponto D4, verificam-se os maiores valores de Hs;

- Nas zonas de entrada da marina, D e E, verifica-se que os valores de Hs são, em geral, inferiores aos verificados em P9, com exceção do ponto D12, que apresenta valores elevados de Hs. A média dos valores de Hs nos pontos dessas zonas é 0.44 m para a zona D e 0.19 m para a zona E, sendo a gama mais frequente em qualquer dos pontos dessas zonas entre 0.0 m e 0.5 m;
- No interior da marina (zona F), os valores de Hs são inferiores a 0.73 m (ponto D6), sendo a média dos valores de Hs dos pontos dessa zona de 0.1 m. Os valores de Hs estão compreendidos na gama entre [0.0-1.0 m], sendo a gama mais frequente a dos [0-0.5 m]. No ponto D9, obtiveram-se os menores valores de Hs, inferiores a 0.08 m;
- Para todos os pontos, os valores de períodos de pico situam-se entre 8.5 s e 19.1 s, sendo a média de 12.2 s;
- As direções tendem a rodar de forma a acompanhar as linhas batimétricas e rodam ainda mais quando difratam em torno dos novos obstáculos (estruturas da Marina Luanda).

É importante ter em atenção que todos os resultados foram obtidos com o modelo DREAMS, o qual tem limitações intrínsecas (trata-se de um modelo linear e que não em conta os efeitos de galgamentos de estruturas), além de que se considerou como agitação marítima incidente, a agitação regular, em lugar de agitação irregular.

Assim, a realização de ensaios de agitação em modelo físico tridimensional da Marina Luanda, que permite ter em conta alguns dos aspetos limitativos da modelação numérica, será um importante contributo para avaliação dos resultados numéricos obtidos como para a caracterização da agitação marítima no interior da marina.

## **3 ANÁLISE DA ESTABILIDADE E GALGAMENTOS DA OBRA PRINCIPAL DE PROTEÇÃO DA MARINA**

---

### **3.1 Introdução**

Com vista a caracterizar as condições de estabilidade e de galgamentos do molhe sul (principal obra de proteção da Marina, Figura 1-1 e Figura 1-2), foi estabelecido que o LNEC procedesse à realização de ensaios em modelo reduzido bidimensional (2D) de um perfil-corrente do molhe. Associado à exploração deste modelo, complementou-se a informação através de cálculos resultantes da aplicação da ferramenta NN\_OVERTOPPING2, desenvolvida com base na análise de redes neuronais artificiais.

Os ensaios em modelo reduzido foram realizados de acordo com as especificações oportunamente fornecidas ao LNEC, com o título “*Obras Marítimas. Especificações para ensaios de estabilidade e galgamentos em canal de ondas*”, de janeiro de 2013.

### **3.2 Seleção do perfil a estudar**

Inicialmente, aquando do início do estudo, não havia uma perspetiva consistente sobre a possibilidade de realização de ensaios tridimensionais (3D) da Marina e da sua principal obra de proteção, embora o LNEC sempre tivesse frisado que o estudo ficaria globalmente muito mais completo com a sua realização.

Perante este cenário, seria óbvio que o perfil a ensaiar em canal de ondas deveria corresponder ao mais exposto à agitação marítima em toda a obra, ou seja, um perfil localizado imediatamente a sotamar da cabeça da obra.

O processo do estudo da Marina Luanda veio a ter desenvolvimento, tendo sido solicitada ao LNEC a apresentação de uma proposta concreta para a realização de ensaios 3D. O LNEC procedeu então à análise dos elementos já ao seu dispor, tendo concluído sobre a necessidade de construção e exploração de dois modelos reduzidos 3D, devendo, num desses modelos ser estudada a estabilidade e os galgamentos da extremidade do molhe sul, ou seja, o seu trecho mais exposto.

Perante a possibilidade real de realização dos ensaios 3D, optou-se por ensaiar no canal um perfil relativamente ao qual o seu galgamento pudesse ter consequências mais graves, tendo em conta a ocupação interior prevista, ficando reservado para os ensaios a realizar num dos modelos 3D a análise do comportamento da zona mais exposta da obra, tanto do ponto de vista da estabilidade, como do ponto de vista dos galgamentos.

Após reflexão, acabou por ser selecionado o perfil-tipo PT7 (Figura 3-1), na medida em que de todos os que continham infraestruturas no seu intradorso era o mais exposto à agitação marítima por se encontrar fundado em maiores profundidades.

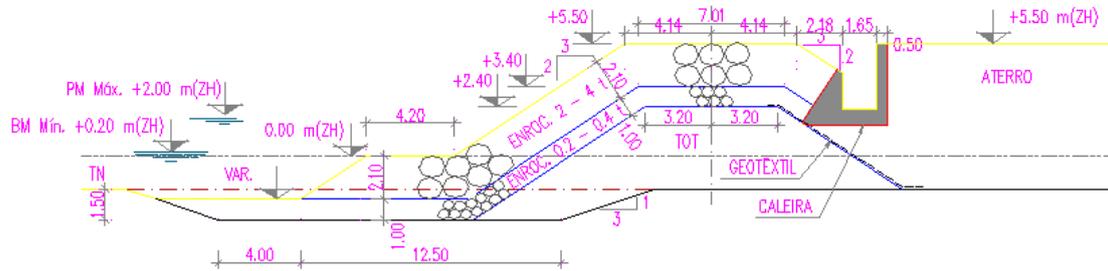


Figura 3-1 - Perfil ensaiado (PT7)

De acordo com os desenhos disponibilizados, o perfil PT7 encontra-se fundado entre fundos da ordem de -1.0 m (ZH) e -2.0 m (ZH), tendo sido esta última a profundidade considerada no estudo em canal de ondas irregulares. Procedeu-se à reprodução da escavação destinada à fundação do pé do perfil, tal como representado na Figura 3-1.

O manto resistente do perfil desenvolve-se em talude inclinado a 3:2 entre o (ZH) e a cota +5.5 m (ZH) e é constituído por duas camadas de enrocamento de 2-4 tf. Este manto apoia inferiormente numa banqueteta com 4.2 m de largura, a cota variável e igualmente constituída por blocos de enrocamento de 2-4 tf. A berma de coroamento encontra-se à cota +5.5 m (ZH), é também constituída por duas camadas de enrocamento de 2-4 tf e apresenta 8.28 m de largura.

Interiormente à berma de coroamento existe uma caleira em betão destinada à recolha de água proveniente de galgamentos. A sotamar deste elemento desenvolve-se o terraplino portuário com coroamento à cota +5.5 m (ZH).

Após a realização de uma série de ensaios prévios destinados à auscultação do comportamento global do modelo, considerou-se importante que o terraplino dispusesse de um obstáculo que proporcionasse uma fronteira física que salvaguarde a segurança dos utentes daquele terraplino e que também possa contribuir para a redução de eventuais galgamentos. Foi então proposta a reprodução de um pequeno murete ao longo do bordo sul do terraplino, situação que se apresenta esquematicamente na Figura 3-2.

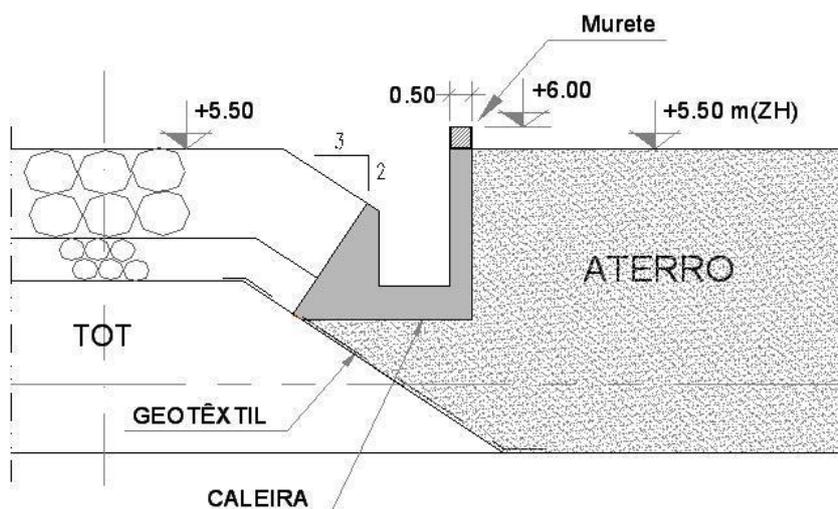


Figura 3-2 – Aspeto esquemático do murete proposto figurar ao longo do bordo sul do terrapleno

### 3.3 Ensaios em modelo físico 2D

#### 3.3.1 Instalação de ensaio

Os ensaios foram realizados nas instalações experimentais do Departamento de Hidráulica e Ambiente (DHA) do LNEC (Figura 3-3), num dos canais de ondas irregulares, designado por COI1.

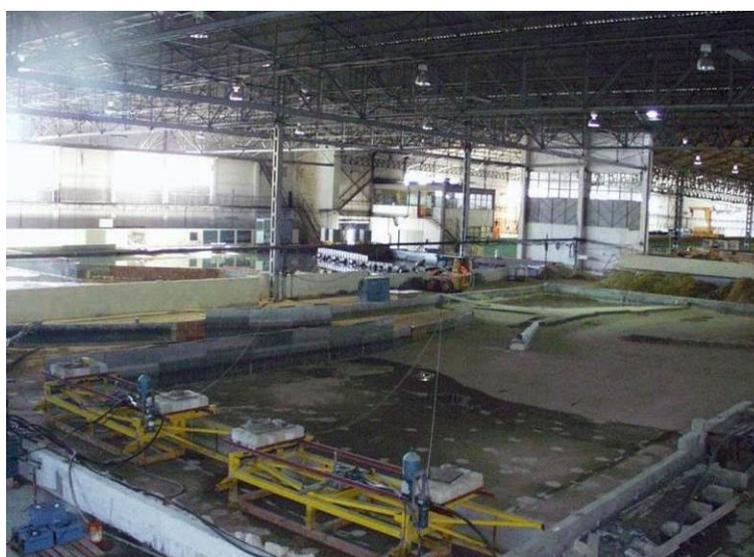


Figura 3-3 – Aspeto das instalações experimentais de hidráulica marítima do DHA do LNEC

O canal COI1 tem aproximadamente 50 m de comprimento, 1.6 m de largura e 1.2 m de profundidade (largura e profundidade úteis de 0.8 m) (Figura 3-4), sendo nele possível a reprodução de ondas regulares e irregulares. Está equipado com um batedor do tipo pistão

ao qual se encontra associado o sistema AWASYS (*Active Wave Absorption System*) de absorção ativa da onda, o que permite uma absorção dinâmica da reflexão.



Figura 3-4 – Canal de ondas irregulares COI1: a) Vista exterior; b) Vista superior; c) Vista interior

### 3.3.2 Condições técnicas de realização dos ensaios

#### 3.3.2.1 Escala geométrica e fundos

O modelo foi construído a uma escala geométrica de 1/30, de acordo com a lei de semelhança de Froude. Esta escala foi selecionada de maneira a garantir que os principais aspetos da interação onda-estrutura (reflexão, dissipação e transmissão, especialmente por galgamento), eram bem reproduzidos no modelo, eram evitados efeitos de escala significativos, especialmente no que se refere à reprodução da rebentação e do escoamento

nos mantos da estrutura, e as condições de teste definidas podiam ser reproduzidas na instalação de ensaio com os recursos disponíveis. Apresenta-se no Anexo B deste relatório a justificação mais detalhada para a utilização desta escala.

Os fundos em frente ao local de implantação do modelo do perfil foram reproduzidos por intermédio de um fundo fixo, através de uma rampa única de inclinação constante de cerca de 2% (Figura 3-5), que se desenvolvia, aproximadamente, entre as cotas -2.0 m (ZH) e -11.0 m (ZH) no protótipo.

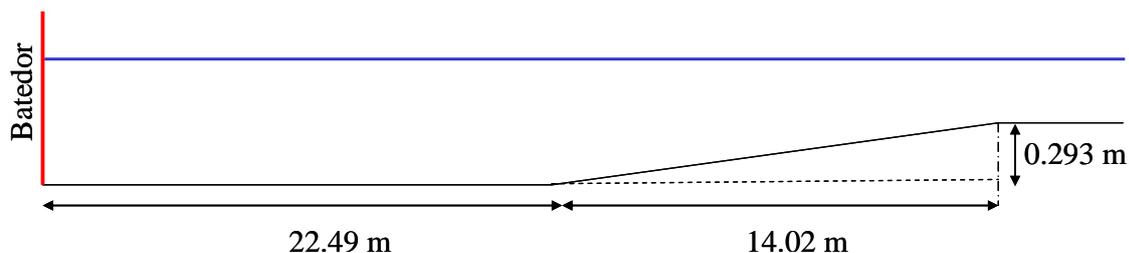


Figura 3-5 – Representação esquemática dos fundos reproduzidos no canal

### 3.3.2.2 Agitação marítima e níveis de maré

De acordo com o estipulado nas especificações para a realização dos ensaios, foram reproduzidos dois níveis de maré constantes, correspondentes a:

- Preia-mar + sobrelevação (PM+S): +2.8 m (ZH);
- Baixa-mar (BM): +0.0 m (ZH).

A agitação marítima foi igualmente reproduzida de acordo com as especificações, tendo-se simulado as seguintes condições:

- Ondas irregulares com uma configuração espectral empírica de JONSWAP (fator de esbelteza  $\gamma = 3.3$ ), contemplando-se a reprodução de grupos de ondas segundo o método utilizado usualmente no LNEC;
- Três períodos de pico do espectro ( $T_p$ ) de 8, 12 e 15 s;
- Ondas de altura crescente desde  $H_s = 0.5$  m até  $H_s = 3.0$  m ou até ao limite imposto pela rebentação, com escalões de 0.5 m.

Tal como estipulado, a duração de cada ensaio foi de 3 horas no protótipo, entendendo-se por ensaio a atuação das condições de agitação marítima correspondentes a uma determinada altura de onda significativa ( $H_s$ ), associada a um determinado período de pico do espectro ( $T_p$ ) e a um nível de maré.

No final do programa de ensaios definido nas especificações, foi solicitado ao LNEC a realização de ensaios adicionais com a reprodução do nível de maré de +3.1 m (ZH), com o objetivo de avaliar apenas os galgamentos da estrutura.

### 3.3.3 Metodologia

#### 3.3.3.1 Calibração da agitação marítima

A calibração da agitação marítima foi efetuada após a reprodução dos fundos do modelo e antecedendo a construção do perfil a ensaiar, de modo a reproduzir apenas a agitação incidente, ou seja, sem o efeito da reflexão da obra.

Esta calibração consistiu na atuação das condições de ensaio e na medição dos parâmetros de agitação gerados (altura significativa e período de pico) de modo a proceder a eventuais ajustes caso esses parâmetros não correspondessem aos que se pretendiam ensaiar.

Foram utilizadas 5 sondas, posicionadas de acordo com o esquema que se apresenta na Figura 3-6. As sondas S1, S2 e S5 encontravam-se posicionadas à saída do gerador de ondas irregulares, sendo elas as responsáveis pela eficácia do funcionamento do sistema AWASYS. A sonda S3 encontrava-se posicionada no início da rampa de simulação esquemática dos fundos existentes em frente à obra. A sonda S4 foi posicionada no topo daquela rampa, no local onde posteriormente ficaria situado o pé do perfil a ensaiar. Os sinais provenientes das sondas S1 e S2 foram adquiridos à taxa de 40 Hz e os sinais das sondas S3 a S5 a 50 Hz (escala do modelo), consoante o sistema de aquisição utilizado.

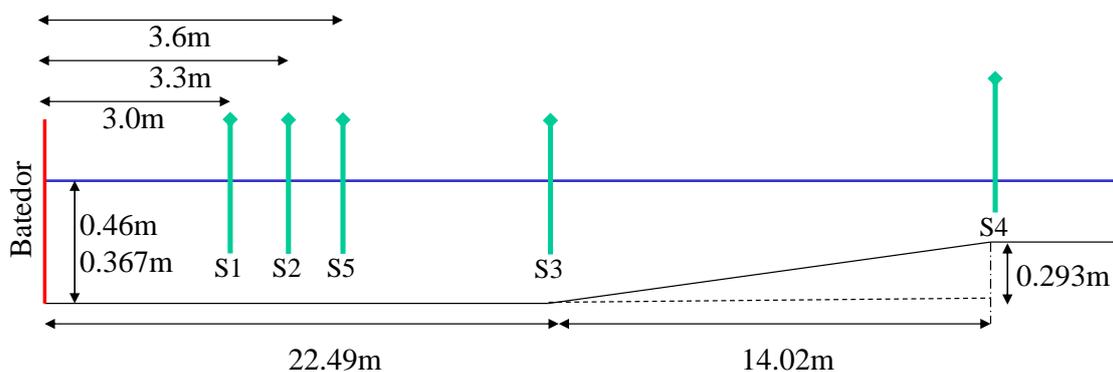


Figura 3-6 – Esquema do posicionamento das sondas durante a fase de calibração da agitação marítima (sem a estrutura)

Na medida em que a geração da série temporal associada a cada conjunto de parâmetros é aleatória, houve necessidade de fazer diversas tentativas no sentido de aproximar, tanto quanto possível, os parâmetros registados no local onde posteriormente iria ficar situado o pé da obra, em S4 (de acordo com a determinação do projetista), com os parâmetros programados para figurarem como nominais dos ensaios.

Em regra e em termos de valores de Hs, consideraram-se como válidas as séries temporais cujos resultados medidos no canal diferissem em menos de 5% dos pretendidos. Foi, no entanto, admitido um valor percentual superior no caso de valores de Hs que se consideraram não serem determinantes para a análise da estabilidade e dos galgamentos globais da estrutura e desde que os valores registados no canal não fossem inferiores aos pretendidos.

Esta aproximação foi particularmente difícil no caso da reprodução do nível de maré de baixa-mar, devido à limitação da agitação pela profundidade, tendo-se admitido como válidos, no caso deste nível de maré, desvios superiores dos valores medidos relativamente aos pretendidos.

No Quadro 3-1 e no Quadro 3-2 apresenta-se a correspondência entre os valores de Hs e de Tp registados em S4 e os valores nominais de ensaio pretendidos. Nas colunas relativas a Tp apresenta-se a média dos registos efetuados. São ainda apresentados os erros relativos em percentagem.

Nos ensaios com a reprodução do nível de maré de +3.1 m (ZH) foram consideradas válidas as calibrações efetuadas com o nível de PM+S, em virtude da fase tardia em que os ensaios foram solicitados e da diferença entre os dois níveis em causa ser apenas de 0.30 m.

Quadro 3-1 – Resultados das calibrações para o nível de maré de BM

Condições Nominais (Sonda 4)		Medições (Sonda 4)		Erro (%)	
Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
0.5	8	0.51	8.1	2.0	0.8
1.0		1.11		11.0	
1.5		1.44		-4.0	
1.6		1.65		3.1	
0.5	12	0.54	12.7	8.0	6.1
1.0		0.99		-1.0	
1.5		1.35		-10.0	
1.8		1.80		0.0	
0.5	15	0.48	16.2	-4.0	8.0
1.0		1.17		17.0	
1.5		1.65		10.0	
1.9		1.92		1.1	

Quadro 3-2 – Resultados das calibrações para o nível de maré de PM+S

Condições Nominais (Sonda 4)		Medições (Sonda 4)		Erro (%)	
Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)	Hs (m)	Tp (s)
0.5	8	0.54	8.2	8.0	2.4
1.0		0.99		-1.0	
1.5		1.59		6.0	
2.0		2.01		0.5	
2.5		2.61		4.4	
3.0		3.06		2.0	
0.5	12	0.48	12.0	-4.0	0.4
1.0		1.02		2.0	
1.5		1.47		-2.0	
2.0		2.13		6.5	
2.5		2.46		-1.6	
3.0		3.06		2.0	
0.5	15	0.54	14.9	8.0	-0.4
1.0		1.02		2.0	
1.5		1.47		-2.0	
2.0		2.04		2.0	
2.5		2.67		6.8	
3.0		3.12		4.0	

De acordo com o Quadro 3-1, constata-se que a agitação marítima incidente era francamente limitada por rebentação no caso da reprodução do nível de maré de baixa-mar, tendo-se apenas conseguido atingir valores de Hs, em S4, de 1.65 m, 1.80 m e 1.92 m para os valores de Tp de 8 s, 12 s e 15 s, respetivamente.

A Figura 3-7 ilustra alguns aspetos da calibração da agitação no canal de ondas irregulares CO11.

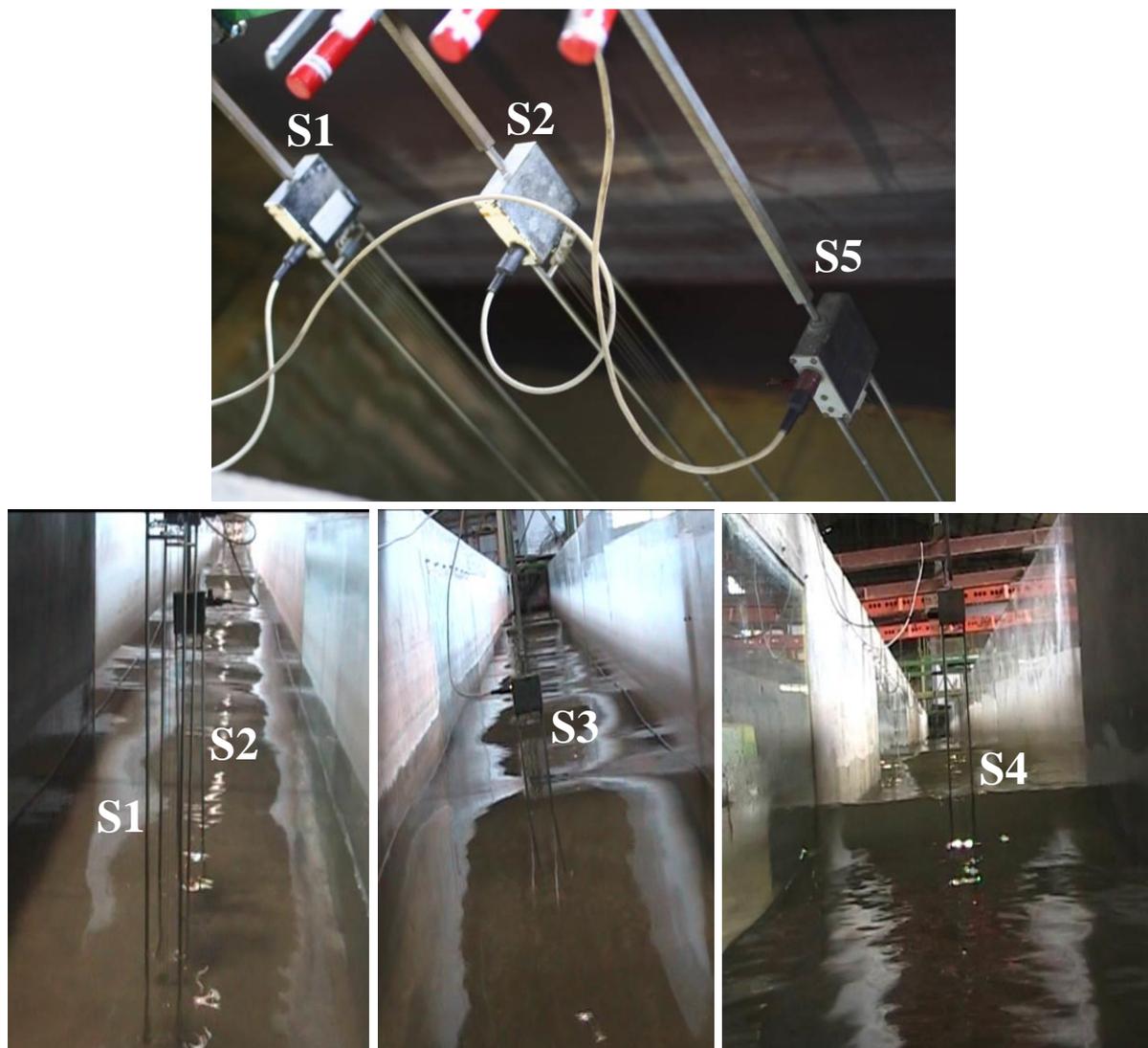


Figura 3-7 – Aspeto da calibração da agitação no canal de ondas irregulares COI1

### 3.3.3.2 Construção do modelo do perfil

A implantação do modelo do perfil foi efetuada após a finalização dos ensaios de calibração da agitação marítima, apresentando-se na Figura 3-8 à Figura 3-14 alguns aspetos dessa fase do programa de trabalhos.



Figura 3-8 – Aspeto da construção da escavação destinada à fundação do pé do perfil



Figura 3-9 – Aspeto da implantação do perfil no vidro do canal



Figura 3-10 – Aspeto da construção do núcleo da estrutura

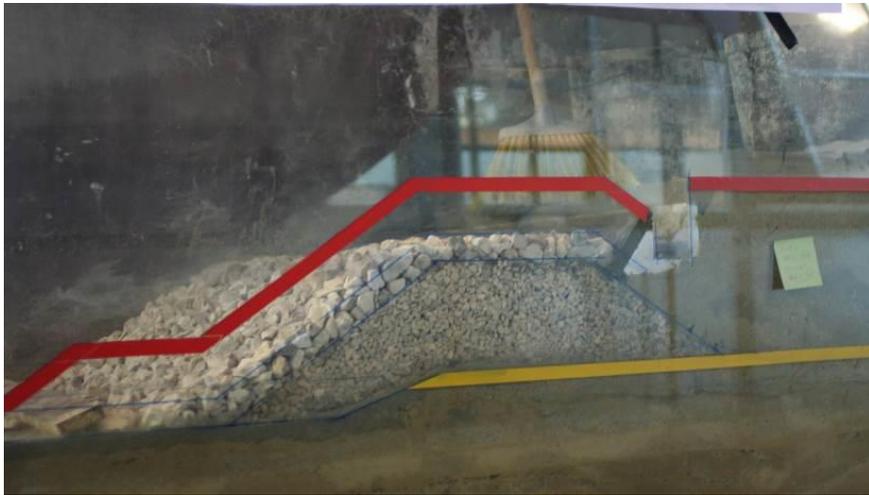


Figura 3-11 – Aspeto da construção dos filtros da estrutura



Figura 3-12 – Aspeto do remate superior dos filtros da estrutura



Figura 3-13 – Aspeto da construção do manto resistente da estrutura

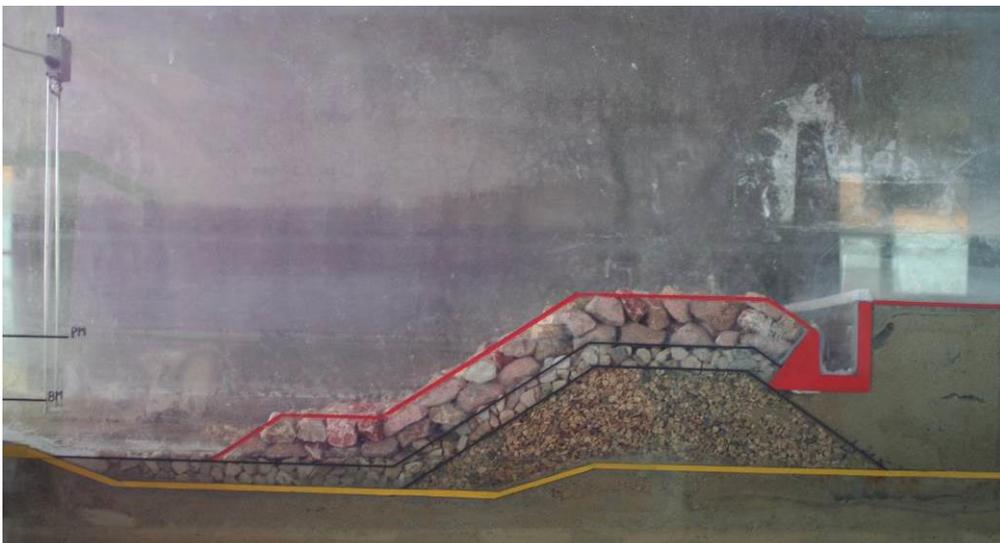


Figura 3-14 – Aspeto final do perfil da estrutura

Todos os elementos utilizados na construção do perfil foram previamente selecionados através de pesagem individual, tendo havido a preocupação de rejeitar blocos de enrocamentos que não apresentassem forma prismática bem definida. De acordo com o estipulado nas especificações, os blocos de enrocamento foram selecionados tendo em conta que pelo menos 75% dos blocos utilizados devia pesar mais do que o peso médio da gama em que se encontravam integrados.

Em termos de manto resistente, foram colocados no modelo do perfil 704 blocos de enrocamento.

### 3.3.3.3 Medição dos galgamentos

O modelo do perfil foi projetado para que fosse possível a recolha e a medição dos galgamentos em dois níveis distintos do modelo do perfil: i) sobre o murete que limita o terrapleno; e ii) recolhido pela caleira de drenagem proposta para o coroamento da obra.

Relativamente à recolha e à medição dos galgamentos sobre o murete referido anteriormente, foi colocada uma estrutura constituída por uma rampa de 0.295 m de largura e por um reservatório, tal como se apresenta na Figura 3-15. O galgamento era recolhido ao longo de todo o tempo de ensaio e era medido no final deste.

A medição dos volumes de galgamentos foi feita utilizando um processo em que se colocou dentro do reservatório um limnómetro (Figura 3-15) ligado a um computador que monitorizava e registava a variação do nível de água em cada ensaio com uma frequência de 40 Hz. Esta medição permitiu quantificar volumes muito pequenos.

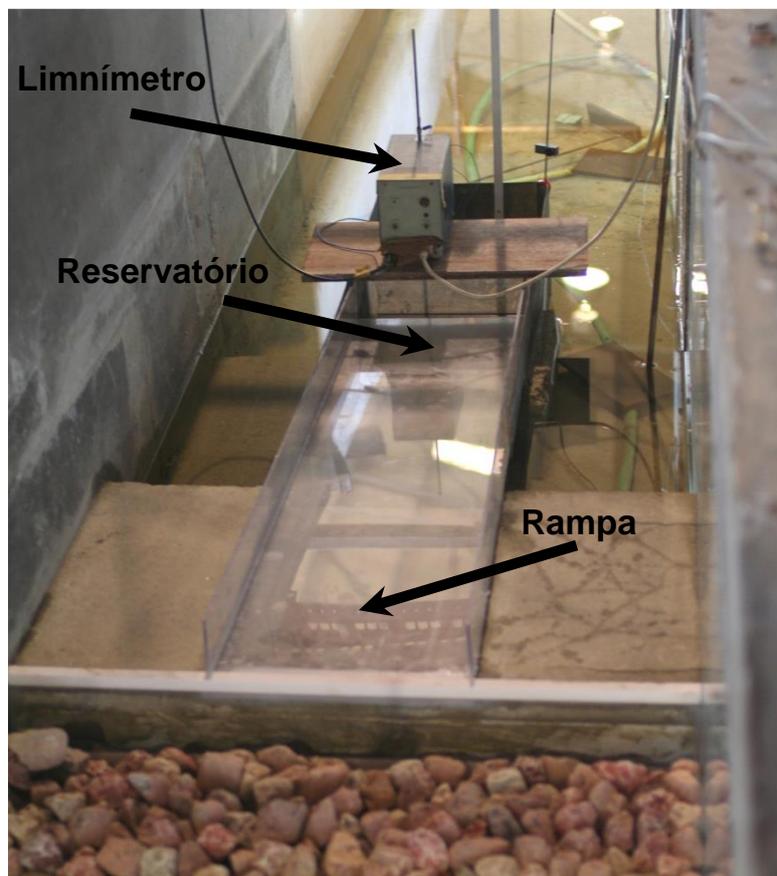


Figura 3-15 – Equipamento de medição dos galgamentos

Relativamente à recolha e à medição da água recolhida pela caleira, importa realçar o facto de não se encontrarem reproduzidas nos ensaios as condições de drenagem da caleira, por estas serem ainda desconhecidas. A caleira dispunha de um orifício (Figura 3-16) que drenava a água recolhida e que estava ligado ao exterior através de uma mangueira.



Figura 3-16 – Pormenor do orifício da caleira

A posterior realização dos ensaios veio demonstrar que o volume de água recolhido da caleira era sobretudo condicionado pelas condições de escoamento reproduzidas no modelo, pelo que os valores registados pouco informavam sobre o volume de água real vertido para o interior da caleira, em circunstâncias em que se assistia ao enchimento total da caleira e à sua descarga sobre o muro de barlar, como se pode ver na Figura 3-17). Assim sendo, optou-se por apenas se apresentarem, no presente relatório, os volumes dos medidos em situação de inexistência da descarga referida anteriormente, nas quais se incluem as condições de projeto da obra.

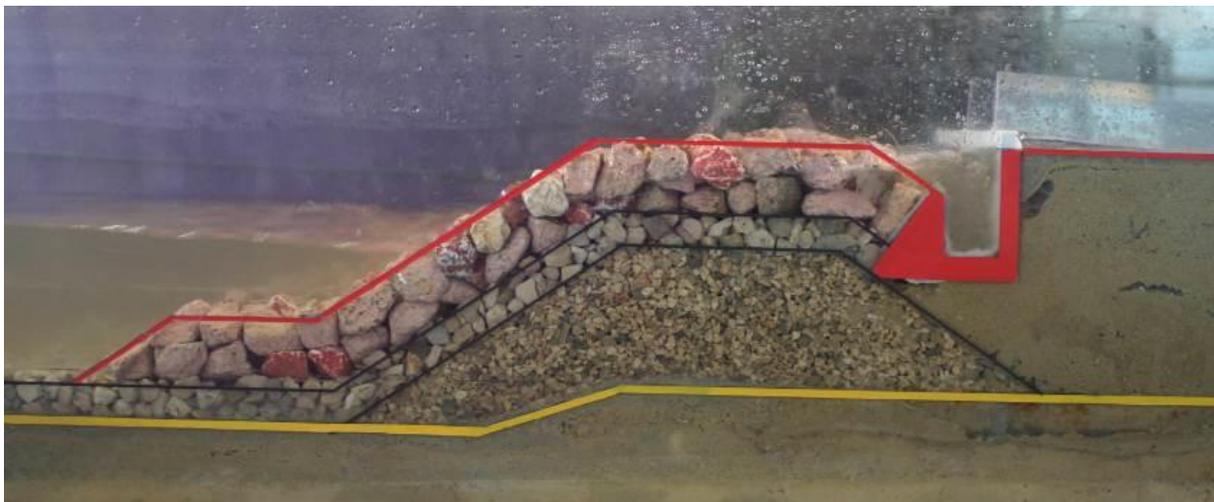


Figura 3-17 – Funcionamento da caleira

#### 3.3.3.4 Realização dos ensaios

O programa de ensaios foi iniciado com a reprodução das condições de agitação marítima associadas ao nível de maré de BM, ensaios que foram realizados ainda sem a reprodução do murete no bordo sul do terraplino. Após a construção deste murete, procedeu-se à

reprodução das condições de agitação marítima associadas ao nível de maré de PM+S e, posteriormente, ao nível de 3.1 m (ZH)

Os valores de  $H_s$  associados a cada  $T_p$  e a cada nível de maré atuaram por ordem crescente, durante o tempo correspondente a 3 horas no protótipo.

Procedeu-se à reconstrução do modelo do perfil após a atuação do conjunto de valores de  $H_s$  associado a cada  $T_p$  e a cada nível de maré.

Depois de realizados os ensaios para os níveis de BM e PM+S, todos os ensaios foram repetidos.

Durante cada ensaio efetuou-se uma reportagem vídeo. Para as menores alturas de onda, fez-se uma pequena reportagem, enquanto para as maiores alturas de onda ( $H_s=2.5$  e  $3.0$  m), os ensaios foram filmados na íntegra. As filmagens dos ensaios para os níveis de BM e PM+S foram executadas perpendicularmente à estrutura, excetuando os ensaios de repetição do nível de PM+S, nos quais a filmagem foi lateral. Nos ensaios para o nível de +3.1 m (ZH) as filmagens foram realizadas lateralmente. Foi ainda efetuada uma reportagem englobando as várias etapas do modelo físico (calibração, construção e exploração).

No início de cada ensaio e no final da atuação de cada valor de  $H_s$ , procedeu-se à inspeção do estado do perfil e à realização de registos fotográficos desse estado. Para as maiores alturas de onda, também foram feitos registos fotográficos durante o ensaio.

### **3.3.4 Resultados dos ensaios**

#### **3.3.4.1 Nota prévia**

No que respeita à estabilidade do perfil ensaiado, procedeu-se à quantificação do número de quedas e de movimentos dos blocos de enrocamento constituintes do manto de proteção, sendo os resultados apresentados em termos de percentagem, relativamente ao número total de blocos colocados no perfil. A contabilização do número de blocos com movimentos foi apenas possível devido à escala utilizada no modelo.

Para efeitos de análise e apresentação dos resultados dos ensaios de estabilidade, considerou-se ainda um vasto conjunto de fotografias de que se apresentam os exemplos mais relevantes na secção seguinte do presente relatório.

Os galgamentos admitidos pelo perfil ensaiado foram avaliados qualitativamente e quantitativamente. A avaliação qualitativa resultou da observação visual do modelo e da utilização do critério de classificação de galgamentos em ensaios com agitação irregular em uso no LNEC e que se apresenta no Quadro 3-3.

Quadro 3-3 – Critério de classificação de galgamentos

GRAU	DESIGNAÇÃO	DESCRIÇÃO
0	Inexistentes	Não há galgamentos
1	Início	As ondas de maior altura provocam a passagem de "salpicos"
2	Ligeiros	Passagem frequente de "salpicos"
3	Moderados	As ondas de maior altura provocam a passagem de lâminas de água
4	Importantes	Há frequentes galgamentos constituídos por lâminas de água; as ondas de maior altura provocam a passagem de grandes massas de água
5	Sérios	Há frequentes galgamentos constituídos por grandes massas de água

Nota: Quando os galgamentos têm características intermédias entre dois graus consecutivos, A e B, é utilizada a simbologia A-B para os caracterizar.

Da avaliação quantitativa resultou a determinação dos valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura,  $q$  (l/s/m).

Apresentam-se ainda neste relatório, a título ilustrativo, algumas fotografias de ocorrência de galgamentos durante os ensaios realizados.

### 3.3.4.2 Estabilidade

Os resultados dos ensaios de estabilidade são apresentados no Quadro 3-4 e no Quadro 3-5. Foi contabilizada uma “queda de bloco” sempre que um bloco apresentou um deslocamento relativamente à sua posição original superior ou igual ao seu diâmetro nominal.

O número de quedas de blocos por cada teste foi avaliado através da observação visual do modelo durante o teste, pela comparação de fotografias tiradas antes e depois do teste e pela análise do respetivo vídeo.

Quadro 3-4 – Resultados dos ensaios de estabilidade respeitantes ao nível de maré de BM

Condições Nominais		Estabilidade	
Tp (s)	Hs (m)	Movimentos (%)	Quedas (%)
8	0.5	0.0	0.0
	1.0	0.1	0.0
	1.5	0.3	0.0
	1.6	0.3	0.0
12	0.5	0.0	0.0
	1.0	0.1	0.0
	1.5	0.4	0.0
	1.8	0.6	0.0
15	0.5	0.0	0.0
	1.0	0.1	0.0
	1.5	0.3	0.0
	1.9	0.6	0.0

Quadro 3-5 – Resultados dos ensaios de estabilidade respeitantes ao nível de maré de PM+S

Condições Nominais		Estabilidade	
Tp (s)	Hs (m)	Movimentos (%)	Quedas (%)
8	0.5	0.0	0.0
	1.0	0.1	0.0
	1.5	0.6	0.0
	2.0	1.4	0.1
	2.5	2.4	0.4
	3.0	2.8	0.4
12	0.5	0.0	0.0
	1.0	0.0	0.0
	1.5	0.6	0.0
	2.0	2.1	0.4
	2.5	2.8	0.4
	3.0	3.6	1.0
15	0.5	0.0	0.0
	1.0	0.1	0.0
	1.5	0.4	0.0
	2.0	1.8	0.3
	2.5	3.6	1.1
	3.0	5.0	2.7

Da Figura 3-18 à Figura 3-20 apresentam-se alguns dos exemplos mais relevantes dos ensaios de estabilidade.



Figura 3-18 – Aspeto do manto da estrutura para o ensaio com o nível de maré de PM+S,  $T_p=8$  s: início do ensaio (à esquerda, em cima), após atuação de  $H_s=2.0$  m (à direita, em cima) e de  $H_s=3.0$  m (em baixo)



Figura 3-19 – Aspeto do manto da estrutura para o ensaio com o nível de maré de PM+S,  $T_p=12$  s: início do ensaio (à esquerda, em cima), após atuação de  $H_s=2.0$  m (à direita, em cima) e de  $H_s=3.0$  m (em baixo)



Figura 3-20 – Aspeto do manto da estrutura para o ensaio com o nível de maré de PM+S,  $T_p=15$  s: início do ensaio (à esquerda, em cima), após atuação de  $H_s=2.0$  m (à direita, em cima) e de  $H_s=3.0$  m (em baixo)

Os ensaios mostraram que o perfil é estável para as condições ensaiadas: para o nível de maré de BM não se verificaram quaisquer quedas e para o nível de PM+S a percentagem de quedas de blocos de enrocamento foi sempre inferior a 2.7%. Quando ocorreram estragos, estes limitaram-se à camada superior do manto, não ficando os filtros visíveis em qualquer situação.

É de notar que, para o nível de maré de PM+S, verificou-se a queda de alguns blocos de enrocamento para a caleira (Figura 3-21), o que poderá causar danos na caleira e/ou impedir o normal escoamento das águas. Este facto observou-se para  $T_p=12$  e 15 s com a atuação de valores de  $H_s$  de 2.5 e 3.0 m.



Figura 3-21 – Queda de blocos de enrocamento para a caleira para o ensaio com o nível de maré de PM+S, após a atuação de  $H_s=3.0$  m:  $T_p=12$  s (à esquerda) e  $T_p=15$  s (à direita)

#### 3.3.4.3 Galgamentos

Os resultados dos ensaios de galgamento são apresentados no Quadro 3-6, no Quadro 3-7 e no Quadro 3-8, em valores do protótipo, entendendo-se como galgamento a água que alagava o coroamento do terrapleno.

Quadro 3-6 – Grau dos galgamentos e valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura, q (l/s/m), para o nível de maré de BM

Condições Nominais		Galgamentos	
Tp (s)	Hs (m)	Grau	q (l/s/m)
8	0.5	0	0
	1.0	0	0
	1.5	0	0
	1.6	0	0
12	0.5	0	0
	1.0	0	0
	1.5	0	0
	1.8	0	0
15	0.5	0	0
	1.0	0	0
	1.5	0	0
	1.9	0	0

Quadro 3-7 – Grau dos galgamentos e valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura, q (l/s/m), para o nível de maré de PM+S

Condições Nominais		Galgamentos	
Tp (s)	Hs (m)	Grau	q (l/s/m)
8	0.5	0	0.000
	1.0	0	0.000
	1.5	0	0.000
	2.0	1	0.000
	2.5	1-2	0.004
	3.0	2	0.095
12	0.5	0	0.000
	1.0	0	0.000
	1.5	1	0.000
	2.0	2	0.092
	2.5	2-3	0.373
	3.0	3	2.279
15	0.5	0	0.000
	1.0	0	0.000
	1.5	1	0.000
	2.0	2	0.006
	2.5	3	2.645
	3.0	3-4	8.963

Quadro 3-8 – Grau dos galgamentos e valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura,  $q$  (l/s/m), para o nível de maré de +3.1 m (ZH)

Condições Nominais		Galgamentos	
Tp (s)	Hs (m)	Grau	$q$ (l/s/m)
8	0.5	0	0.000
	1.0	0	0.000
	1.5	0	0.000
	2.0	1	0.000
	2.5	1-2	0.228
	3.0	2-3	1.562
12	0.5	0	0.000
	1.0	0	0.000
	1.5	1	0.000
	2.0	2-3	0.467
	2.5	3	1.460
	3.0	4-5	19.324
15	0.5	0	0.000
	1.0	1	0.000
	1.5	2-3	0.000
	2.0	4	0.259
	2.5	4-5	14.134
	3.0	0	25.621

Da Figura 3-22 à Figura 3-26 apresentam, a título ilustrativo, algumas fotografias de ocorrência de galgamentos durante os ensaios realizados.

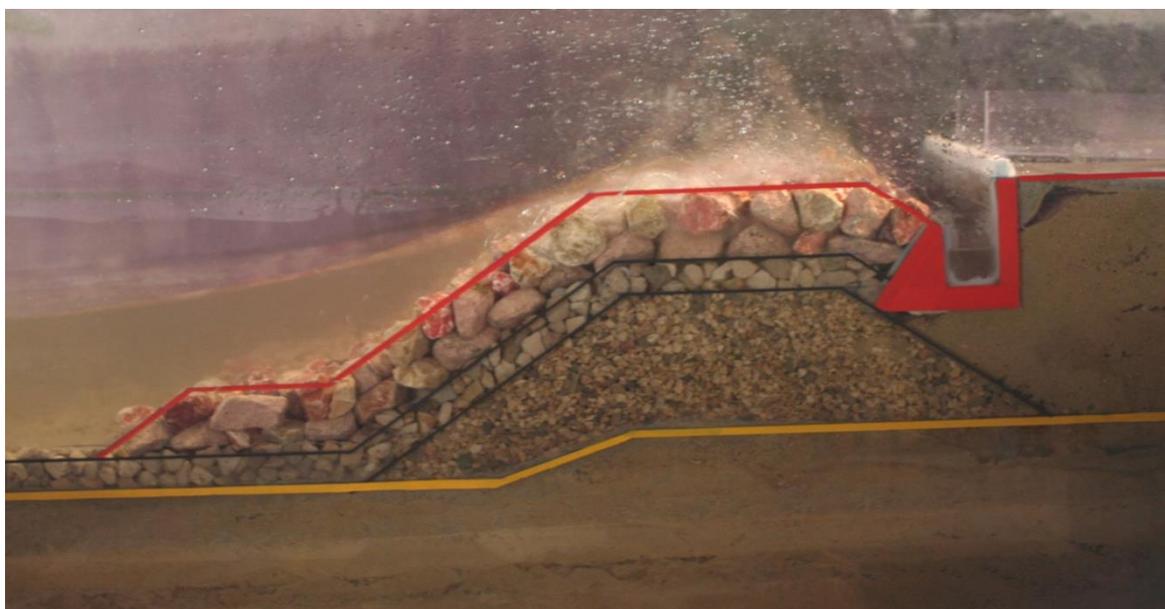


Figura 3-22 – Aspeto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S,  $T_p=8$  s e  $H_s=2.5$  m

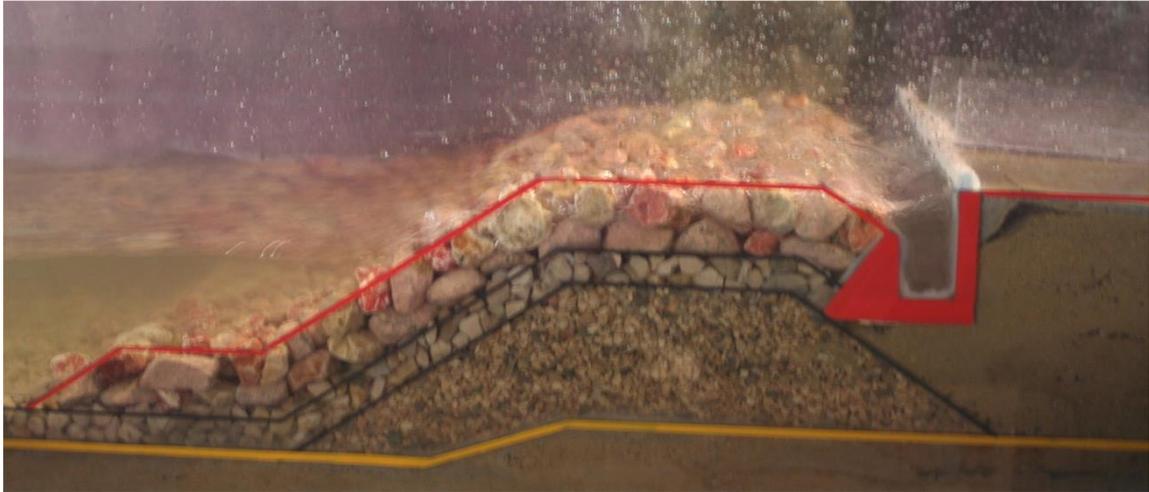


Figura 3-23 – Aspeto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S,  $T_p=8$  s e  $H_s=3.0$  m



Figura 3-24 – Aspeto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S,  $T_p=12$  s e  $H_s=3.0$  m

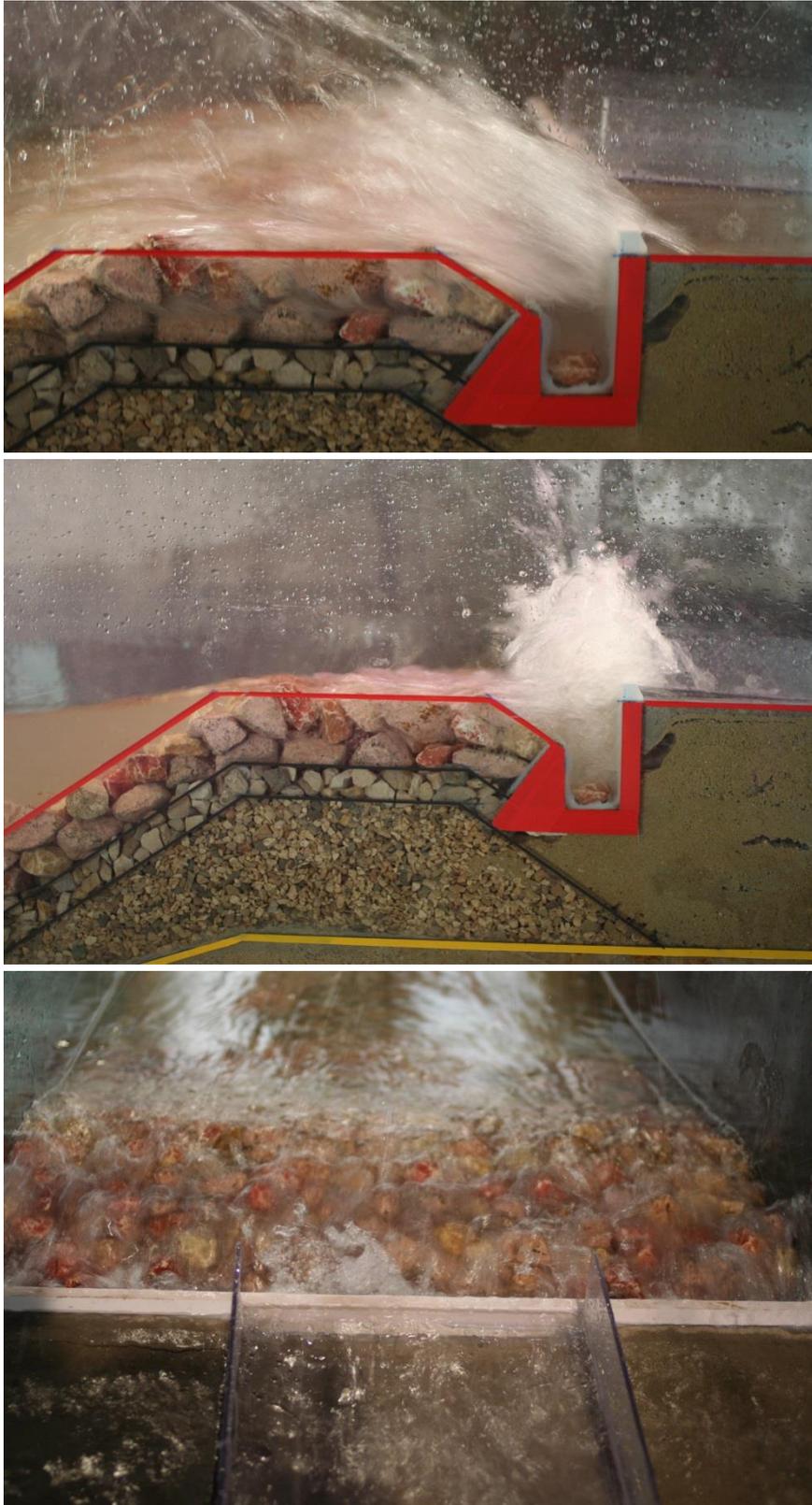


Figura 3-25 – Aspeto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S,  $T_p=15$  s e  $H_s=2.5$  m

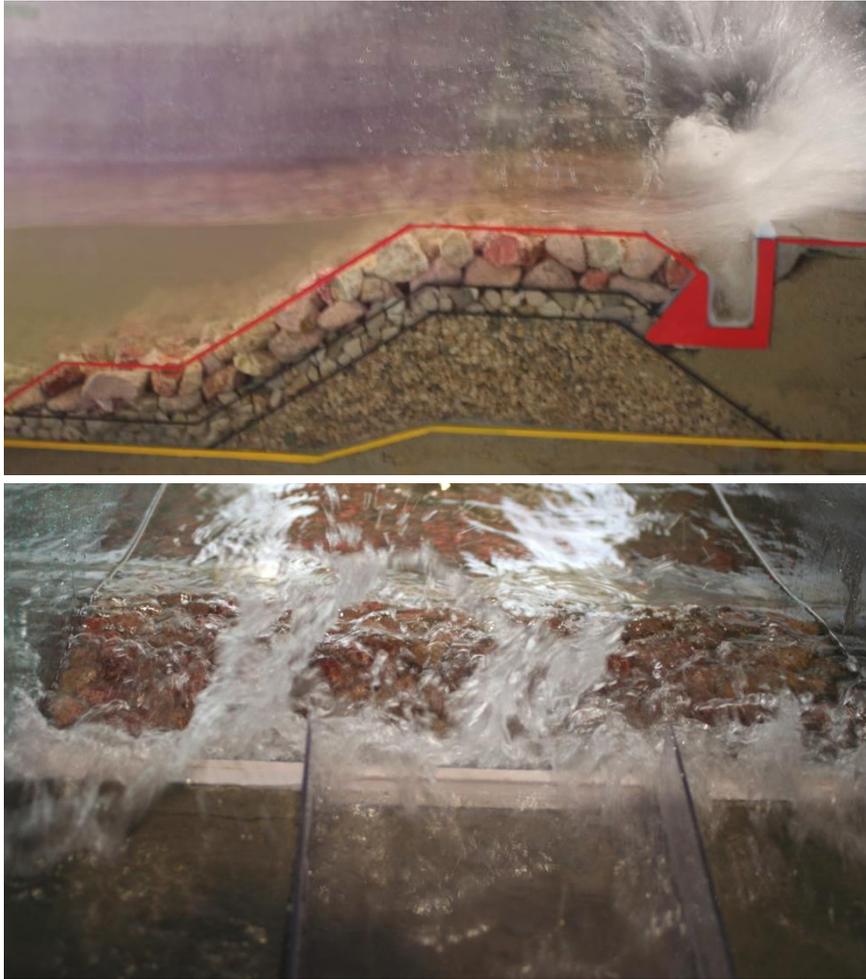


Figura 3-26 – Aspeto de galgamentos observados no decurso dos ensaios para o nível de maré de PM+S,  $T_p=15$  s e  $H_s=3.0$  m

Os valores de  $q$  obtidos para cada teste foram comparados com os valores máximos aceitáveis adequados para a utilização da zona protegida pela estrutura, de acordo com as atuais recomendações disponíveis em Pullen *et al.* (2007). Verifica-se que, para os níveis de maré de BM e PM+S e  $H_s \leq 2.0$  m, os caudais medidos podem considerar-se muito pouco relevantes, pelo que não deverão representar perigo para a utilização da zona. Com as condições de nível de maré de PM+S,  $T_p \geq 12$  s e  $H_s > 2.0$  m, a utilização do terrapleno será bastante condicionada.

Com a atuação do nível de maré de +3.1 m (ZH) os valores de  $q$  foram substancialmente superiores, podendo proporcionar dificuldades de utilização para  $H_s \geq 2.0$  m.

A observação visual do modelo mostrou que o murete ao longo do bordo sul do terrapleno é muito eficaz a limitar o volume de água associado aos galgamentos.

No que diz respeito à água recolhida pela caleira, os resultados dos ensaios encontram-se apresentados em termos de valores médios de caudais galgados por metro linear de caleira,

qc (l/s/m), no Quadro 3-9 e no Quadro 3-10 em valores do protótipo, frisando-se de novo que apenas se apresentam os valores que se consideram não serem influenciados pelas condições de drenagem reproduzidas no modelo.

Quadro 3-9 – Valores médios de caudais galgados por metro linear de caldeira, qc (l/s/m), para o nível de maré de BM

Condições Nominais		qc (l/s/m)
Tp (s)	Hs (m)	
8	0.5	0.000
	1.0	0.000
	1.5	0.000
	1.6	0.000
12	0.5	0.000
	1.0	0.000
	1.5	0.000
	1.8	0.000
15	0.5	0.000
	1.0	0.000
	1.5	0.000
	1.9	0.000

Quadro 3-10 – Valores médios de caudais galgados por metro linear de caldeira, qc (l/s/m), para o nível de maré de PM+S

Condições Nominais		qc (l/s/m)
Tp (s)	Hs (m)	
8	0.5	0.000
	1.0	0.000
	1.5	0.000
	2.0	1.415
	2.5	*
	3.0	*
12	0.5	vestígios
	1.0	vestígios
	1.5	0.257
	2.0	2.347
	2.5	*
	3.0	*
15	0.5	0.000
	1.0	0.000
	1.5	0.315
	2.0	2.155
	2.5	*
	3.0	*

\* Valores condicionados pelas condições de drenagem reproduzidas no modelo.

## 3.4 Aplicação da ferramenta NN\_OVERTOPPING2

### 3.4.1 Considerações gerais sobre a ferramenta

Para complementar a análise dos galgamentos realizada com base nos ensaios em modelo físico reduzido para os níveis de maré de BM e PM+S, utilizou-se, neste trabalho, a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 (Coeveld *et al.*, 2005), baseada em redes neuronais, tal como previsto na proposta do LNEC. O objetivo desta análise é a validação da aplicação desta ferramenta para a geometria da estrutura e para as condições de mar e de agitação em estudo.

Esta ferramenta, desenvolvida no âmbito do projeto europeu de investigação CLASH (<http://www.clash.ugent.be/>), processa os resultados produzidos por 700 redes neuronais fornecendo o valor médio,  $q$ , e intervalos de confiança daquela amostra de resultados. Para além destes parâmetros estatísticos do caudal médio galgado por unidade de comprimento do coroamento da estrutura, a ferramenta também estima o caudal médio galgado esperado no protótipo, i.e., o valor de  $q$  corrigido para ter em linha de conta alguns efeitos de escala e de modelo.

Cada uma daquelas redes neuronais foi “treinada” e “testada” utilizando um conjunto de dados obtido por um procedimento de amostragem “bootstrapping” aplicado aos pares (valores de entrada, caudal médio galgado) contidos numa base de dados de 8400 valores de ensaios em modelo físico reduzido. Aquela base de dados contém informação de testes efetuados em vários laboratórios, incluindo, para cada teste, informação relativa ao comportamento de vários parâmetros hidráulicos (por exemplo: características das ondas incidentes e medições dos caudais galgados), assim como informação relativa às estruturas em estudo. A base de dados criada inclui ainda informação geral sobre a fiabilidade do teste e a complexidade das estruturas.

Todas as redes neuronais utilizam os mesmos 15 parâmetros de entrada que incluem informação sobre a agitação marítima e a geometria da estrutura (Figura 3-27).

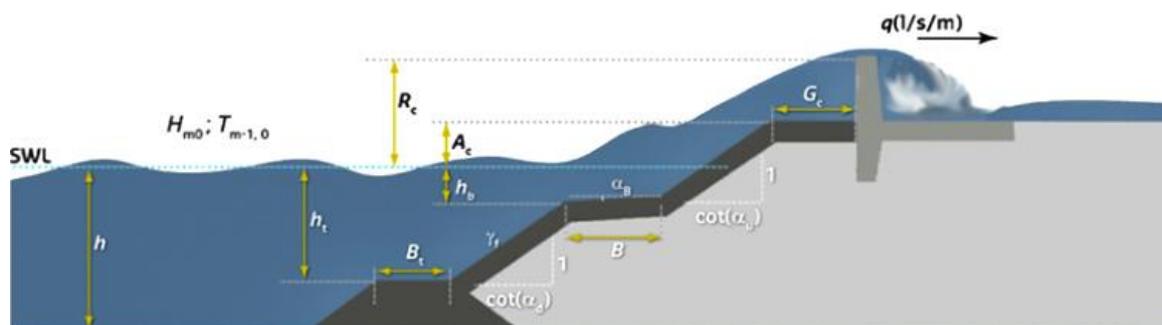


Figura 3-27 – Parâmetros de entrada da ferramenta NN\_OVERTOPPING2  
(<http://nn-overtopping.deltares.nl/overtopping.aspx>)

Para descrever a agitação marítima incidente na estrutura, são considerados três parâmetros: a altura de onda significativa espectral na base da estrutura ( $H_{m0}$ ), o período médio de onda espectral na base da estrutura ( $T_{m-1,0}$ ) e a direção de ataque da onda ( $\beta$ ).

Para descrever a forma geométrica da estrutura, são considerados 12 parâmetros (Figura 3-27): a profundidade da água em frente à estrutura ( $h$ ), a profundidade da água no pé do talude da estrutura ( $h_t$ ), a largura do pé do talude ( $B_t$ ), a rugosidade/permeabilidade do manto ( $\gamma_f$ ), o declive da estrutura abaixo da berma ( $\cot \alpha_d$ ), o declive da estrutura acima da berma ( $\cot \alpha_u$ ), a largura da berma ( $B$ ), a profundidade da água na berma ( $h_b$ ), o declive da berma ( $\tan \alpha_b$ ), o bordo livre da parte impermeável do coroamento da estrutura ( $R_c$ ), o bordo livre do manto permeável da estrutura ( $A_c$ ) e a largura do coroamento da estrutura ( $G_c$ ).

### 3.4.2 Aplicação ao perfil em estudo

Para o perfil do molhe sul em estudo, a parte superior até ao aterro, com uma largura de 12.11 m, é composta por enrocamento, numa largura de 10.46 m, e por uma caleira de betão armado com escoamento, que cria condições especiais de drenagem e dissipação de energia, numa largura de 1.65 m (ver Figura 3-1 e Figura 3-2). Assim, considera-se que a melhor estimativa da ferramenta NN\_OVERTOPPING2 do caudal médio de galgamento para cada estado de mar e de agitação incidente se pode obter através do cálculo dos valores de  $q$  para uma configuração aproximada do coroamento da estrutura, i.e., considerando a parte superior totalmente constituída por enrocamento, com 12.11 m de largura ( $G_c=12.11$  m) e ignorando a presença da caleira.

O valor de  $\gamma_f$  teórico referido no manual da ferramenta para estruturas de enrocamento é  $\gamma_f=0.5$ . Como este parâmetro tem uma grande influência nos resultados, serão considerados nos cálculos efetuados dois valores,  $\gamma_f=0.45$  e  $0.55$ .

Consoante o nível de maré e as condições de agitação ensaiados, a banquetta de 4.2 m de largura comportar-se-á como berma (para o nível de BM e para o nível de PM+S com  $H_s=2.5$  e  $3.0$  m) ou como pé do talude (para as restantes condições de PM+S), segunda as designações associadas à ferramenta NN\_OVERTOPPING2.

Em resumo, as variáveis da NN\_OVERTOPPING2 que caracterizam o perfil em estudo para as várias condições ensaiadas são as referidas no Quadro 3-11.

### **3.4.3 Resultados**

No Quadro 3-12 apresentam-se os resultados obtidos com a ferramenta NN\_OVERTOPPING2, para a configuração aproximada do coroamento da estrutura.

Como se pode constatar, há uma série de condições de ensaio para as quais a ferramenta não produz resultados, visto não ter a capacidade de prever caudais nulos de galgamento.

Quadro 3-11 – Características do perfil em estudo utilizadas na ferramenta NN\_OVERTOPPING2 para as várias condições de ensaio (valores do protótipo)

Nível de Maré (m ZH)	Tp (s) Sonda 4	$T_{m-1,0}$ (s)	$H_{m0}=H_s$ (m) Sonda 4	Comportamento da banqueteta	h (m)	$h_t$ (m)	$B_t$ (m)	$\gamma_f$ (-)	$cota_d$ (-)	$cota_u$ (-)	$R_c$ (m)	B (m)	$h_b$ (m)	$\tan\alpha_b$ (-)	$A_c$ (m)	$G_c$ (m)
0	8.1	7.4	0.51	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	8.1	7.4	1.11	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	8.1	7.4	1.44	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	8.1	7.4	1.65	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	12.7	11.5	0.54	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	12.7	11.5	0.99	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	12.7	11.5	1.35	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	12.7	11.5	1.80	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	16.2	14.7	0.48	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	16.2	14.7	1.17	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
	16.2	14.7	1.65	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11
16.2	14.7	1.92	Berma	2.0	2.0	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	6.0	4.2	0.4	0.0	5.5	12.11	
2.8	8.2	7.5	0.54	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	8.2	7.5	0.99	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	8.2	7.5	1.59	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	8.2	7.5	2.01	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	8.2	7.5	2.61	Berma	4.8	4.8	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	4.2	3.2	0.0	2.7	12.11
	8.2	7.5	3.06	Berma	4.8	4.8	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	4.2	3.2	0.0	2.7	12.11
	12.0	10.9	0.48	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	12.0	10.9	1.02	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	12.0	10.9	1.47	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	12.0	10.9	2.13	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	12.0	10.9	2.46	Berma	4.8	4.8	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	4.2	3.2	0.0	2.7	12.11
	12.0	10.9	3.06	Berma	4.8	4.8	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	4.2	3.2	0.0	2.7	12.11
	14.9	13.5	0.54	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	14.9	13.5	1.02	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	14.9	13.5	1.47	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
	14.9	13.5	2.04	Pé do Talude	4.8	3.2	4.2	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	0.0	0.0	0.0	2.7	12.11
14.9	13.5	2.67	Berma	4.8	4.8	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	4.2	3.2	0.0	2.7	12.11	
14.9	13.5	3.12	Berma	4.8	4.8	0.0	0.45 e 0.55	1.5	1.5	3.2	4.2	3.2	0.0	2.7	12.11	

Quadro 3-12– Resultados da ferramenta NN\_OVERTOPPING2 para as várias condições de ensaio  
(valores do protótipo)

Nível de Maré (m ZH)	Tp (s) Sonda 4	T <sub>m-1,0</sub> (s)	H <sub>m0</sub> =H <sub>s</sub> (m) Sonda 4	$\gamma_f=0.45$			$\gamma_f=0.55$		
				q <sub>NN</sub> (l/s/m)	q <sub>2.5%</sub> (l/s/m)	q <sub>97.5%</sub> (l/s/m)	q <sub>NN</sub> (l/s/m)	q <sub>2.5%</sub> (l/s/m)	q <sub>97.5%</sub> (l/s/m)
0	8.1	7.4	0.51	---	---	---	---	---	---
	8.1	7.4	1.11	---	---	---	---	---	---
	8.1	7.4	1.44	---	---	---	---	---	---
	8.1	7.4	1.65	---	---	---	---	---	---
	12.7	11.5	0.54	---	---	---	---	---	---
	12.7	11.5	0.99	---	---	---	---	---	---
	12.7	11.5	1.35	---	---	---	---	---	---
	12.7	11.5	1.80	---	---	---	0.00951	0.0002579	0.2844
	16.2	14.7	0.48	---	---	---	---	---	---
	16.2	14.7	1.17	---	---	---	---	---	---
	16.2	14.7	1.65	---	---	---	---	---	---
	16.2	14.7	1.92	0.022	0.001	0.944	0.0363	0.001177	1.553
2.8	8.2	7.5	0.54	---	---	---	---	---	---
	8.2	7.5	0.99	---	---	---	---	---	---
	8.2	7.5	1.59	0.016	0.002	0.164	0.03313	0.002576	0.514
	8.2	7.5	2.01	0.058	0.014	0.243	0.1249	0.02406	0.7771
	8.2	7.5	2.61	0.078	0.011	0.526	0.2334	0.02258	2.33
	8.2	7.5	3.06	0.201	0.029	1.385	0.5601	0.06721	5.12
	12.0	10.9	0.48	---	---	---	---	---	---
	12.0	10.9	1.02	---	---	---	---	---	---
	12.0	10.9	1.47	0.053	0.002	1.547	0.08995	0.002876	4.069
	12.0	10.9	2.13	0.484	0.059	4.219	0.8396	0.07331	9.01
	12.0	10.9	2.46	0.349	0.030	4.504	0.8694	0.05332	17.58
	12.0	10.9	3.06	1.222	0.148	11.830	2.982	0.2383	36.9
	14.9	13.5	0.54	---	---	---	---	---	---
	14.9	13.5	1.02	---	---	---	---	---	---
	14.9	13.5	1.47	0.133	0.003	5.506	0.2029	0.00412	11.63
	14.9	13.5	2.04	0.837	0.048	13.300	1.289	0.05713	25.07
14.9	13.5	2.67	1.435	0.088	29.860	3.105	0.111	104.8	
14.9	13.5	3.12	3.527	0.246	50.090	7.363	0.4189	160.1	

Por comparação com o Quadro 3-6 e o Quadro 3-7, é possível verificar que, em geral, a ferramenta tende a prever razoavelmente ou por defeito os maiores caudais medidos no modelo físico e por excesso os menores caudais. A Figura 3-28 ilustra os resultados obtidos, q<sub>NN</sub>, para  $\gamma_f=0.45$  e  $\gamma_f=0.55$ , constatando-se que se obtém, em geral, um melhor ajuste aos valores de caudal medidos para  $\gamma_f=0.55$ .

Pode ainda verificar-se que os caudais medidos, q, estão dentro dos intervalos de confiança de 95% determinados pela NN\_OVERTOPPING2, o que seria de esperar, uma vez que estes intervalos são muito amplos para o caso em análise e indicativos da limitação da aplicação desta ferramenta a este caso de estudo.

Importa lembrar que esta ferramenta é de carácter empírico, pois tem como base um conjunto alargado de testes em modelo físico reduzido, limitando assim o cálculo do

galgamento à gama de geometrias de estruturas estudadas e às condições de agitação e de maré presentes nesses ensaios.

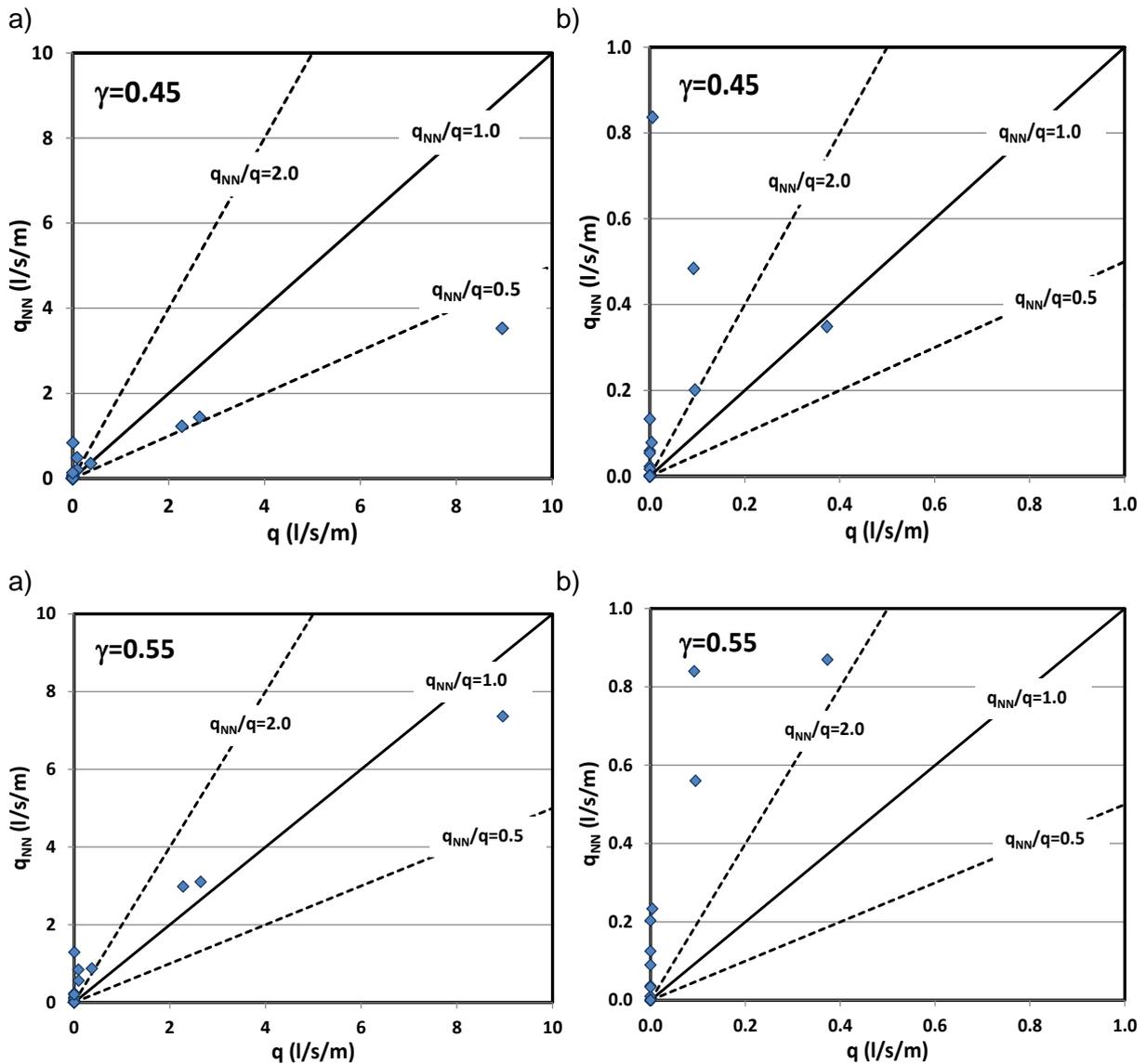


Figura 3-28 – Comparação dos valores médios de caudais galgados por metro linear de estrutura medidos nos ensaios ( $q$ ) e calculados com a ferramenta NN\_OVERTOPPING2 ( $q_{NN}$ ) para os níveis de maré de BM e de PM+S: a) todos os resultados; b) resultados para os menores caudais

### 3.5 Conclusões

As conclusões do LNEC em relação ao perfil testado nos ensaios bidimensionais são as seguintes:

- Do ponto de vista da estabilidade, o perfil apresenta bom comportamento, mesmo para condições de agitação marítima para além das consideradas como sendo de

projeto e independentemente do nível de maré considerado.

- Os ensaios demonstraram a possibilidade de alguns blocos de enrocamento colocados na berma de coroamento do perfil poderem, com condições muito adversas de agitação marítima, ser arremessados para a caleira, situação que pode resultar no eventual dano desta e influenciar as suas condições de drenagem.
- Do ponto de vista do alagamento do terraplino (galgamento), este só foi observado com a atuação dos níveis de maré de +2.8 m (ZH) e +3.1 m (ZH) e apenas com a reprodução das condições de agitação marítima mais adversas do cômputo geral do programa de ensaios.
- De acordo com os resultados obtidos, a utilização do terraplino, nomeadamente o trânsito de pessoas e veículos, será bastante condicionado quando ocorrerem valores de  $H_s \geq 2.0$  m associados a valores de  $T_p \geq 12$  s em níveis de maré da ordem de grandeza de PM+S. Com a atuação do nível de maré +3.1 m (ZH) esta limitação estende igualmente para valores de  $H_s = 2.0$  m.
- Embora não se disponham de resultados comparativos, a observação visual do modelo mostrou que o murete colocado ao longo do bordo sul do terraplino é muito eficaz a limitar o volume de água associada aos galgamentos.
- Ainda relacionado com os galgamentos, os resultados obtidos com a utilização da ferramenta NN\_OVERTOPPING2 ajustam-se razoavelmente aos resultados obtidos nos ensaios em modelo físico, embora a geometria do perfil ensaiado não se encontre totalmente contemplada no desenvolvimento desta ferramenta.

## 4 CONCLUSÕES

---

Neste trabalho apresentam-se os resultados dos estudos das condições de agitação marítima no interior da marina e da estabilidade e galgamentos da obra principal de proteção da marina.

Primeiramente, analisaram-se as condições de agitação marítima na zona marítima adjacente à Marina Luanda e no seu interior, resultantes da propagação de diferentes condições de agitação incidente. Para este fim, procedeu-se à propagação de diferentes condições de agitação marítima (direções, alturas e períodos da onda), para duas situações: sem e com a implantação da marina.

As condições de agitação marítima incidentes foram definidas com base no regime de agitação marítima estabelecido no exterior da Marina Luanda, e mais concretamente, no ponto P9, na batimétrica de -80 m (ZH), Portela et al. (2013).

O modelo numérico utilizado foi o modelo DREAMS (Fortes, 1993) baseado na equação de declive suave de Berkhoff (1972) que permite efetuar estudos de penetração de agitação marítima em zonas portuárias ou abrigadas, bem como estudos de ressonância portuária.

Para um conjunto de condições de agitação marítima (períodos entre 8 e 20 s, direções entre 220° e 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH)) efetuaram-se cálculos sistemáticos de ondas regulares com o modelo DREAMS, para as situações sem e com a implantação da marina. Os resultados do modelo DREAMS consistiram nos valores dos índices de agitação e de direção de onda em todo o domínio de cálculo, num conjunto de 18 pontos (D1 a D18) e nas zonas A a F em que se dividiu o domínio de cálculo.

Com base nos resultados dos índices de agitação, em geral, o abrigo concedido pela marina diminui à medida que a agitação incidente roda de 220° para 320°, e que o período de onda aumenta. Verifica-se uma tendência de diminuição dos valores dos índices de agitação à medida que a agitação se propaga para o interior da marina. É, no entanto, de salientar a ocorrência de importantes reflexões ao longo do canal de acesso da marina (quer ao longo do quebra-mar central quer em frente e ao longo do cais interior do terminal de cruzeiros) e no seu interior que conduzem a valores elevados dos índices de agitação nessas zonas.

Considerando os resultados dos índices de agitação e de direção da onda, obtidos para todas as condições de agitação incidente testadas, foram transferidos os valores de altura de onda significativa, direção média e período de pico de onda que caracterizam o regime de agitação estabelecido em P9 para cada um dos 18 pontos de controlo, D1 a D18.

Obtiveram-se assim os regimes de agitação nos pontos D1 a D18 e as principais conclusões foram:

- Os valores de Hs nos pontos D1 a D18 apresentam variações quando comparados com o ponto P9, devido aos fenómenos da refração e difração das ondas, consequência da variação da batimetria dos fundos e da reflexão das ondas nas estruturas da marina;
- Na zona das praias artificiais, zonas A e B, a média dos valores de Hs não excede 0.56 m (ponto D1) e 0.76 m (ponto D4), respetivamente, sendo que para todos os pontos dessas zonas, a maioria desses valores de Hs encontra-se na gama entre [0-1.0 m]. A gama mais frequente é de [0-0.5 m]. No ponto D4, verificam-se os maiores valores de Hs;
- Nas zonas de entrada da marina, D e E, verifica-se que os valores de Hs são, em geral, inferiores aos verificados em P9, com exceção do ponto D12, que apresenta valores elevados de Hs. A média dos valores de Hs nos pontos dessas zonas é 0.44 m para a zona D e 0.19 m para a zona E, sendo a gama mais frequente em qualquer dos pontos dessas zonas entre 0.0 m e 0.5 m;
- No interior da marina (zona F), os valores de Hs são inferiores a 0.73 m (ponto D6), sendo a média dos valores de Hs dos pontos dessa zona de 0.1 m. Os valores de Hs estão compreendidos na gama entre [0.0-1.0 m], sendo a gama mais frequente a dos [0-0.5 m]. No ponto D9, obtiveram-se os menores valores de Hs, inferiores a 0.08 m;
- Para todos os pontos, os valores de períodos de pico situam-se entre 8.5 s e 19.1 s, sendo a média de 12.2 s;
- As direções tendem a rodar de forma a acompanhar as linhas batimétricas e rodam ainda mais quando difratam em torno dos novos obstáculos (estruturas da Marina Luanda).

É importante ter em atenção que todos os resultados foram obtidos com o modelo DREAMS, o qual tem limitações intrínsecas (trata-se de um modelo linear e que não em conta os efeitos de galgamentos de estruturas), além de que se considerou como agitação marítima incidente, a agitação regular, em lugar de agitação irregular.

Assim, a realização de ensaios de agitação em modelo físico tridimensional da Marina Luanda, que permite ter em conta alguns dos aspetos limitativos da modelação numérica, será um importante contributo para avaliação dos resultados numéricos obtidos como principalmente para a caracterização da agitação marítima no interior da marina.

No que diz respeito ao estudo das condições de estabilidade e de galgamentos do molhe sul (a principal obra de proteção da Marina Luanda) efetuaram-se ensaios em modelo reduzido bidimensional (2D) de um perfil-corrente do molhe (PT7). Associado à exploração deste modelo, complementou-se a informação através de cálculos resultantes da aplicação da ferramenta NN\_OVERTOPPING2, desenvolvida com base na análise de redes neuronais artificiais.

Os ensaios em modelo reduzido foram realizados de acordo com as especificações fornecidas ao LNEC, intituladas “Obras Marítimas. Especificações para ensaios de estabilidade e galgamentos em canal de ondas”, de janeiro de 2013. O modelo foi construído à escala de 1/30, de acordo com a lei de semelhança de Froude. Foram reproduzidos dois níveis de maré constantes, correspondentes a Preia-mar + sobrelevação (PM+S): +2.8 m (ZH) e Baixa-mar (BM): +0.0 m (ZH). Reproduziram-se ondas irregulares com uma configuração espectral empírica de JONSWAP (fator de esbelteza  $\gamma = 3.3$ ), contemplando-se a reprodução de grupos de ondas segundo o método utilizado usualmente no LNEC. Consideraram-se três períodos de pico do espectro ( $T_p$ ) de 8, 12 e 15 s e ondas de altura crescente desde  $H_s = 0.5$  m até  $H_s = 3.0$  m ou até ao limite imposto pela rebentação, com escalões de 0.5 m. A duração de cada ensaio foi de 3 horas no protótipo. Foram ainda efetuados um conjunto de ensaios adicionais com a reprodução do nível de maré de +3.1 m (ZH), com o objetivo de avaliar apenas os galgamentos da estrutura.

No que diz respeito à análise da estabilidade e dos galgamentos do perfil PT7 do molhe sul e considerando as condições de agitação marítima especificadas (níveis de maré de +0.0 m (ZH) e de +2.8 m (ZH)), os ensaios em modelo reduzido bidimensional realizados mostram um bom comportamento da estrutura em termos de estabilidade para todas as alturas de onda ensaiadas. Do ponto de vista dos galgamentos, os mesmos ensaios demonstram a inexistência de limitações à utilização do terraplano para valores de altura de onda inferiores ou iguais a 2 m.

Com a atuação do nível de maré de +3.1 m (ZH) a utilização do terraplano passa a ser também condicionada para valores de altura de onda de 2 m, de acordo com as recomendações sugeridas em Pullen *et al.* (2007).

## 5 REFERÊNCIAS

---

- Berkhoff, J.C.W. (1972). Computation of combined refraction-diffraction. Proc. 13th International Conference in Coastal Engineering, Vancouver, Canada, Vol. 2, pp. 471-490.
- Booij, N., Ris, R.C., Holtthuijsen, L.H. (1999). A Third-generation Wave Model for Coastal Regions, Part I, Model Description and Validation. Journal of Geophysical Research, 104 (C4), 7649-7666.
- Coeveld, E.M., Van Gent, M.R.A., Pozueta, B. (2005). Neural Network. Manual NN\_OVERTOPPING 2. CLASH WP8, WL | Delft Hydraulics, Delft, The Netherlands Junho.
- Fortes, C.J.E.M. (1993). Modelação matemática da refração e difracção combinadas de ondas marítimas. Análise pelo método dos elementos finitos. Tese de Mestrado em Engenharia Mecânica, Instituto Superior Técnico.
- Fortes, C.J.E.M., Covas, J.M.A., Fernandes, J.L.M. (1997). Harbour resonance and wave agitation studies in Baleeira's harbour by using the mathematical model DREAMS. Proc. 3rd Int. Conference WAVES 97 – Ocean wave Measurement and Analysis, ASCE, Vol. 2, pp. 1495-1509. Virginia, USA.
- Geometral (2012). Levantamentos topo-hidrográficos na ilha de Luanda – zona da Chicala. Relatório Geometral – Técnicas de Medição e Informática, S.A., Lisboa, Portugal, 25 pp.
- Oliveira, F.S.B.F., Fortes, C.J.E.M., Capitão, R., Freire, P., Sancho, F., Portela, L. (2012). Caracterização das condições de dinâmica costeira e avaliação dos impactes da construção da Marina Luanda. Estudo I: Caracterização das condições naturais. Relatório LNEC 334/12-DHA/NPE/NEC. Dezembro de 2012.
- Portela, L. Sancho, F., Capitão, R. Fortes, C.J.E.M., Pinheiro, P. (2013). Caracterização das condições de dinâmica costeira e avaliação dos impactes da construção da Marina Luanda. Estudo II: Avaliação dos impactes da construção da marina. Relatório LNEC 334/13-DHA/NPE/NEC. Julho de 2012 (em preparação)
- Pullen, T., Allsop, N.W.H., Bruce, T., Kortenhaus, A., Schuttrumpf, H., Van der Meer, J.W. (2007). EurOtop: Wave Overtopping of Sea Defences and Related Structures: Assessment Manual. Environment Agency, UK, Expertise Network Waterkeren, NL, and Kuratorium für Forschung im Küsteningenieurwesen, DE, Agosto.

Seelig, W.N., Ahrens, J.P. (1995). Wave reflection and energy dissipation by coastal structures. Wave forces on inclined and vertical wall structures, ASCE, pp. 28-55.

**VISTOS**

A Diretora do Departamento de  
Hidráulica e Ambiente



Rafaela de Saldanha Matos

**AUTORIA**



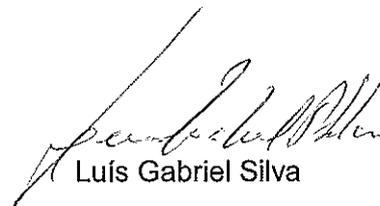
Conceição Juana Fortes

Investigadora Principal



Maria Teresa Reis

Investigadora Auxiliar



Luís Gabriel Silva

Técnico Superior



Liliana Pinheiro

Bolseira de Investigação

# **ANEXO A – ANÁLISE DAS CONDIÇÕES DE AGITAÇÃO MARÍTIMA NO INTERIOR DA MARINA**



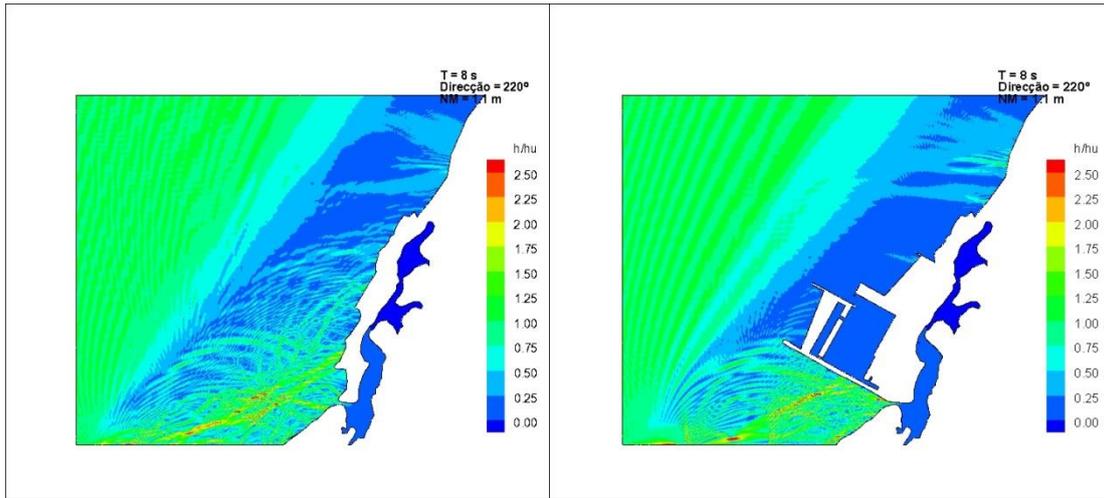


Figura A-1 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

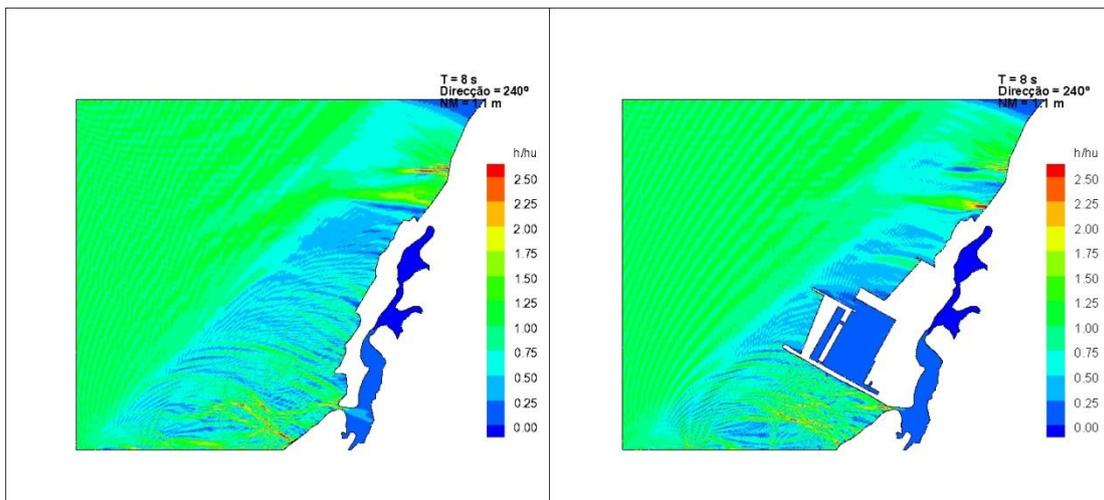


Figura A-30 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

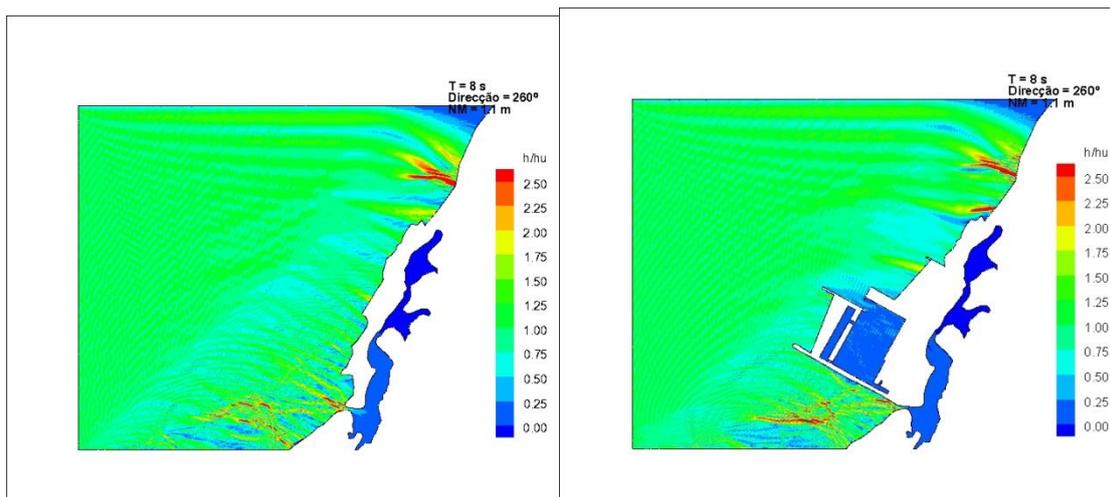


Figura A-31 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

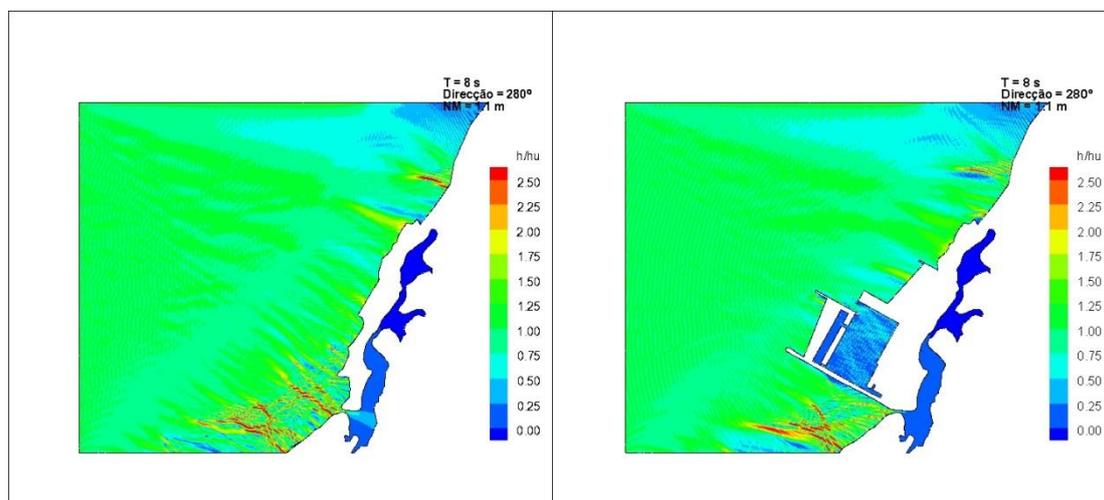


Figura A-32 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

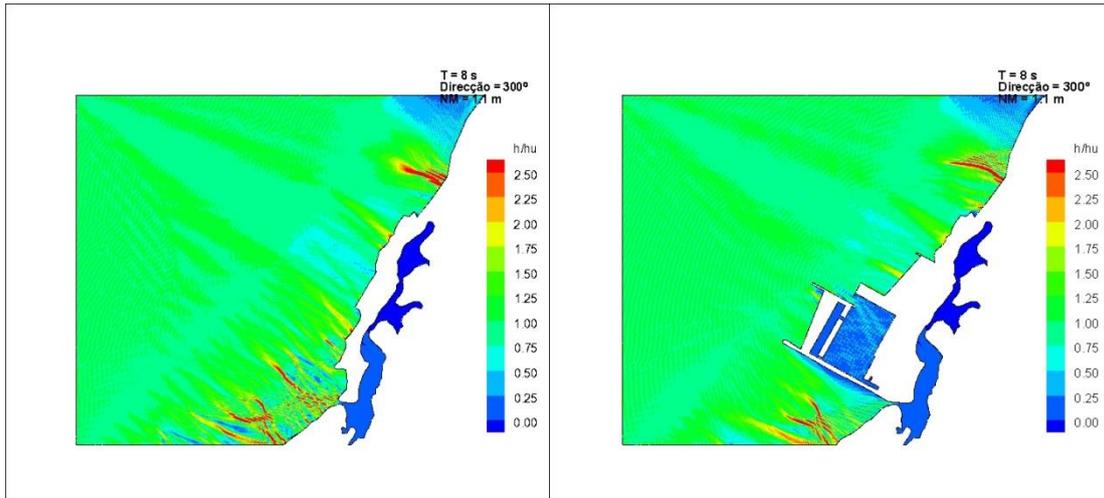


Figura A-33 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

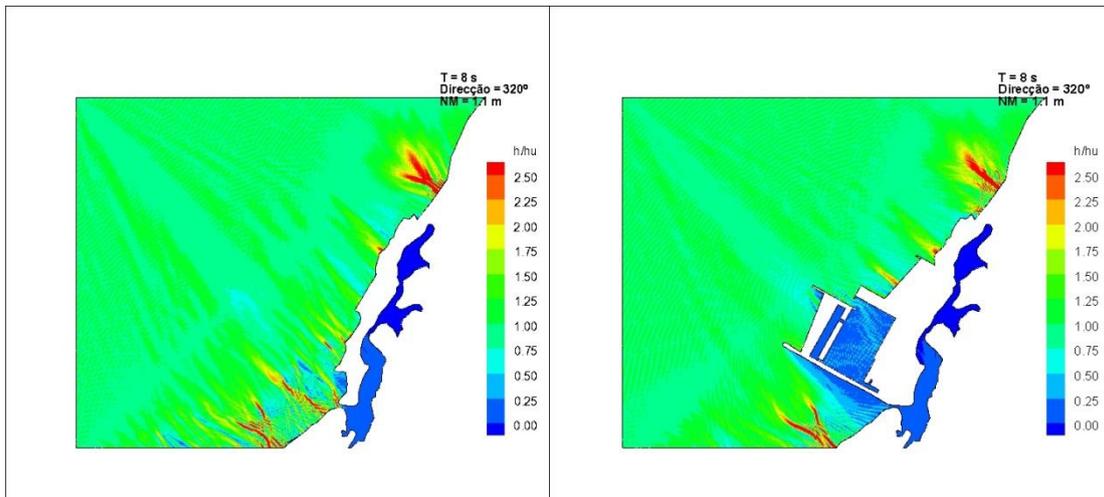


Figura A-34 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=8 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

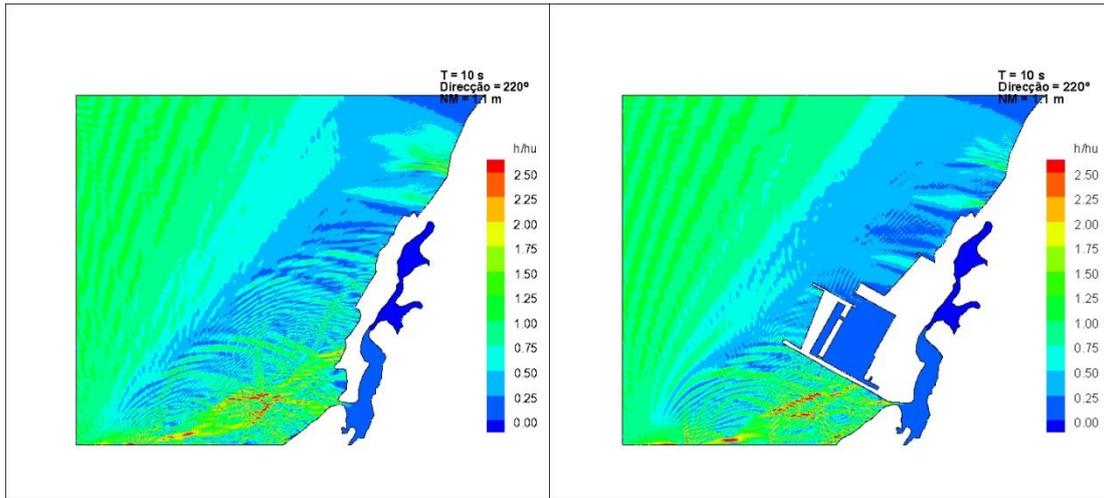


Figura A-35 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direcção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

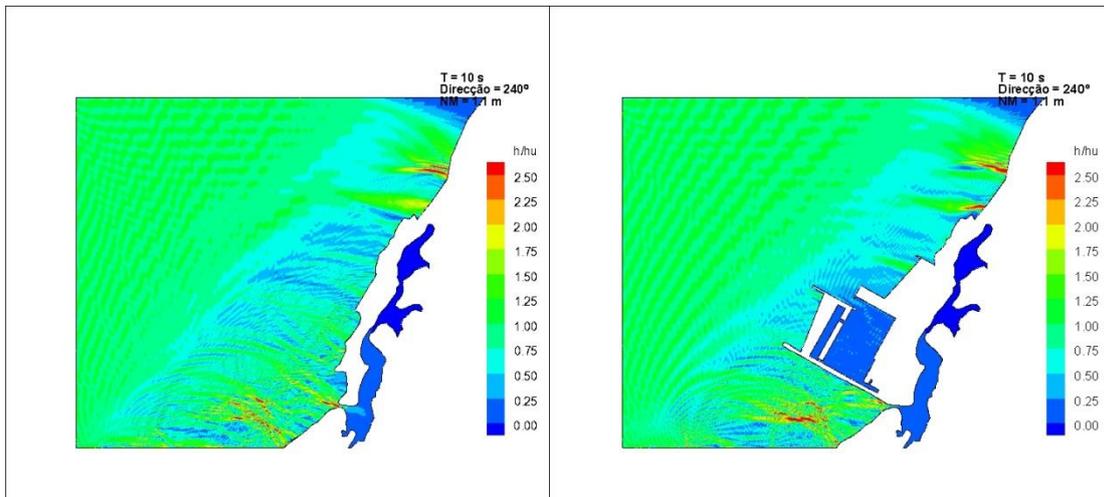


Figura A-36 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direcção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

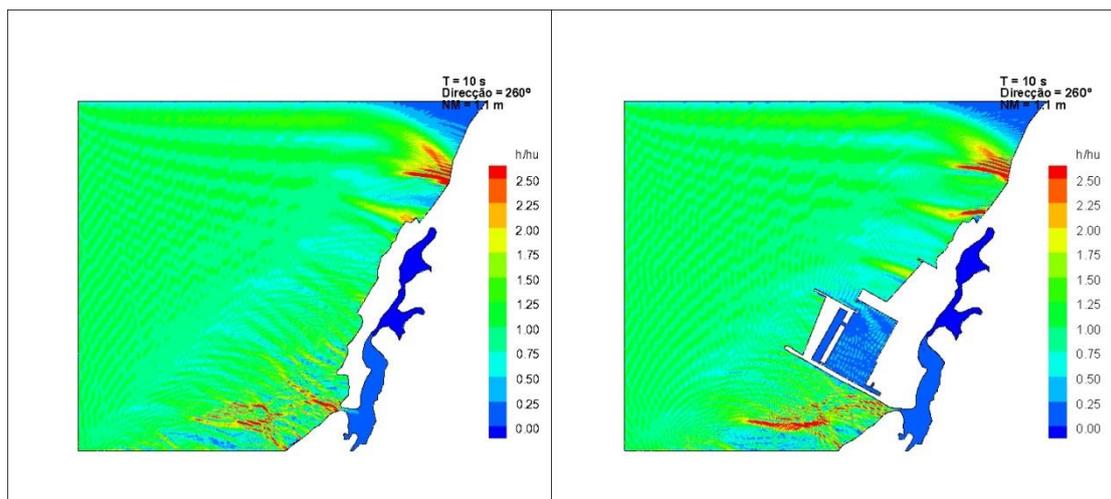


Figura A-37 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

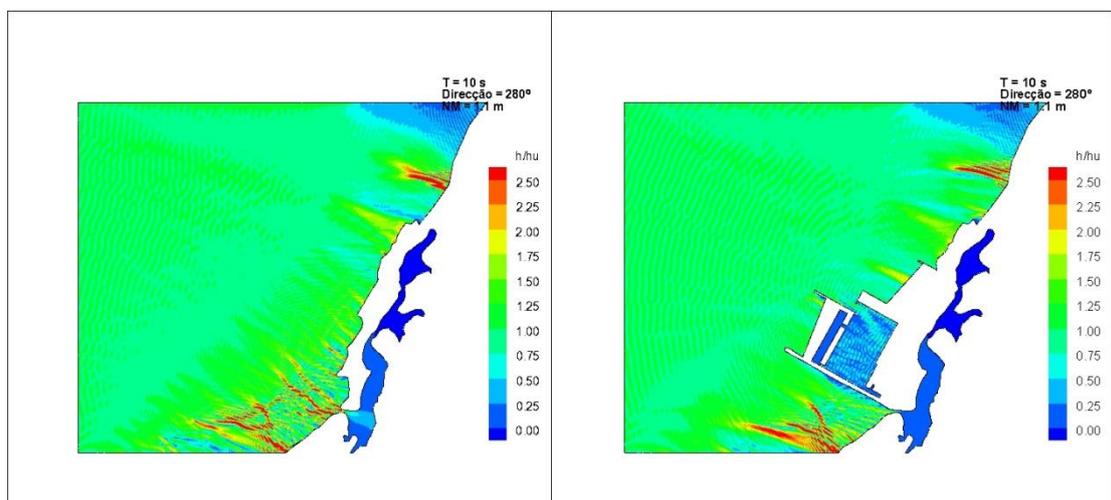


Figura A-38 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

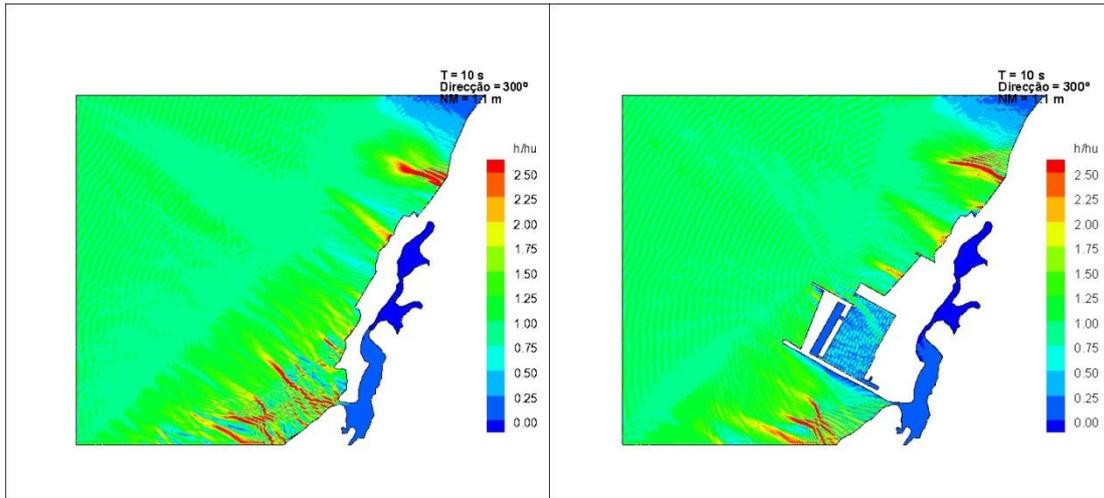


Figura A-39 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direcção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

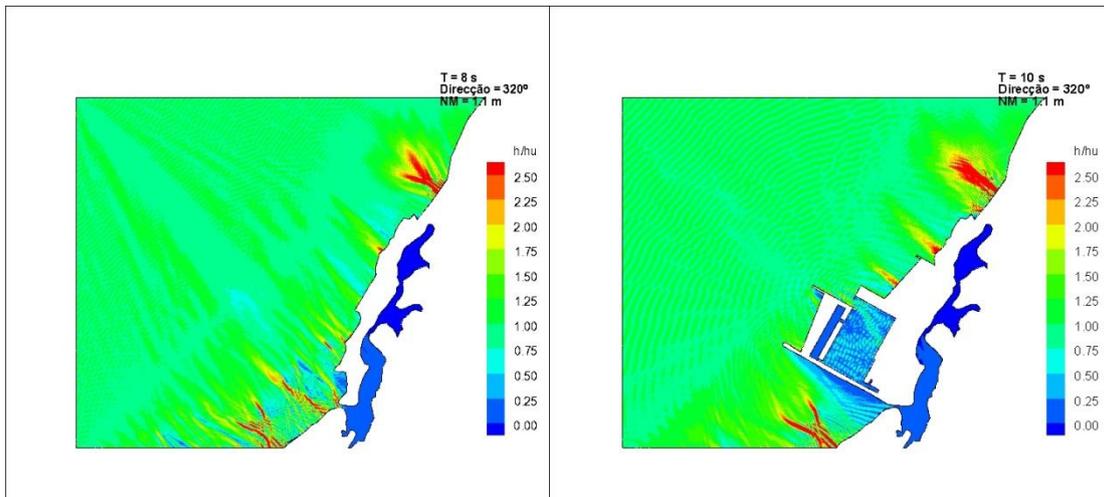


Figura A-40 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=10 s, Direcção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

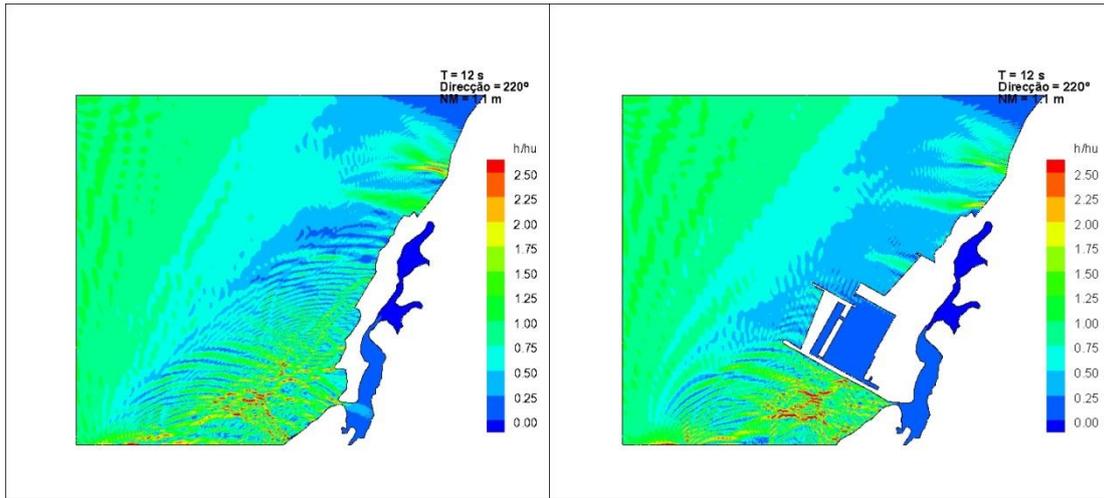


Figura A-41 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

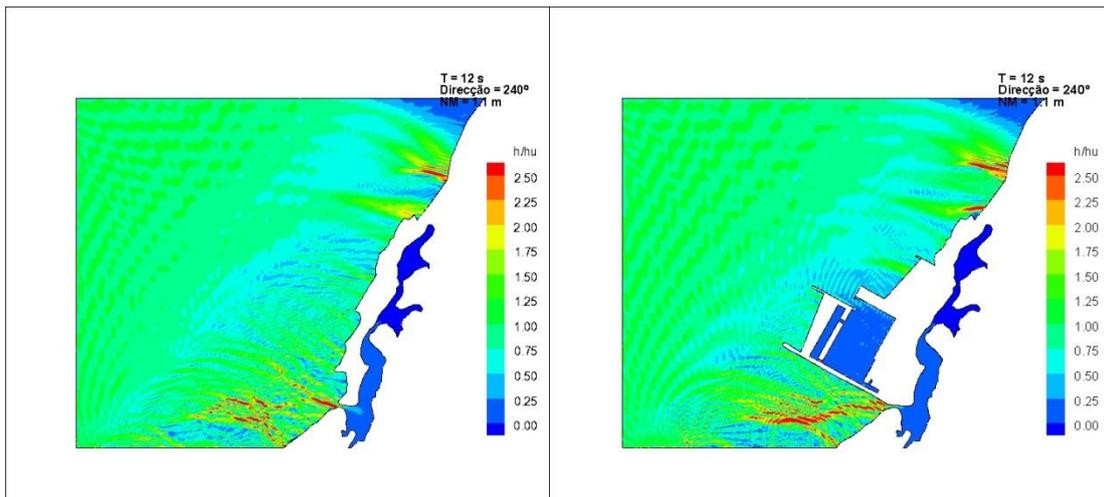


Figura A-42- Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

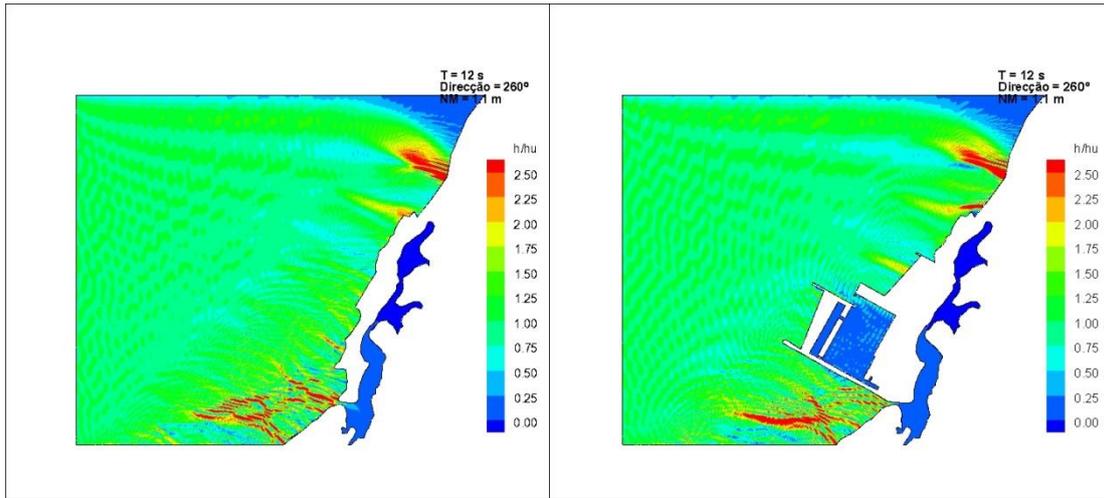


Figura A-43 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

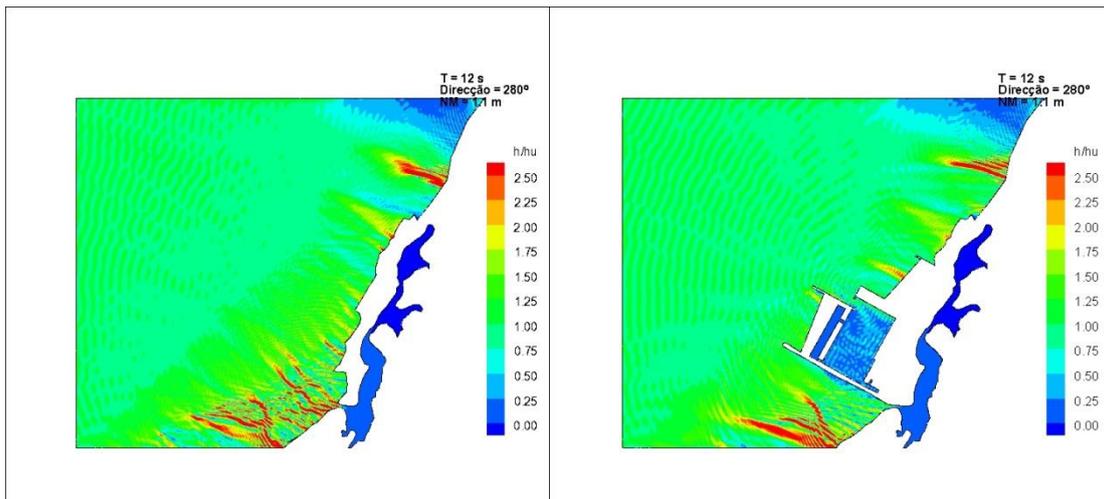


Figura A-44 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

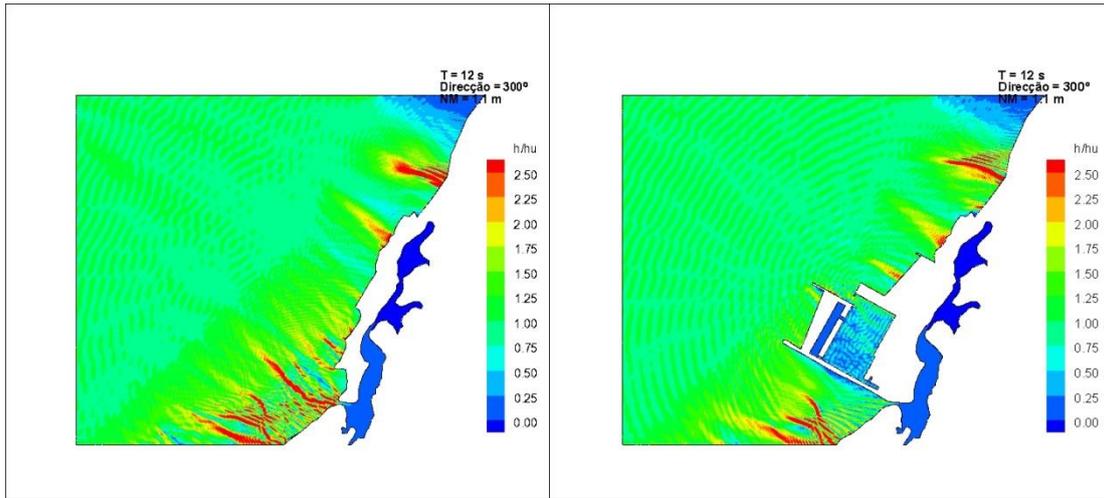


Figura A-45 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direcção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

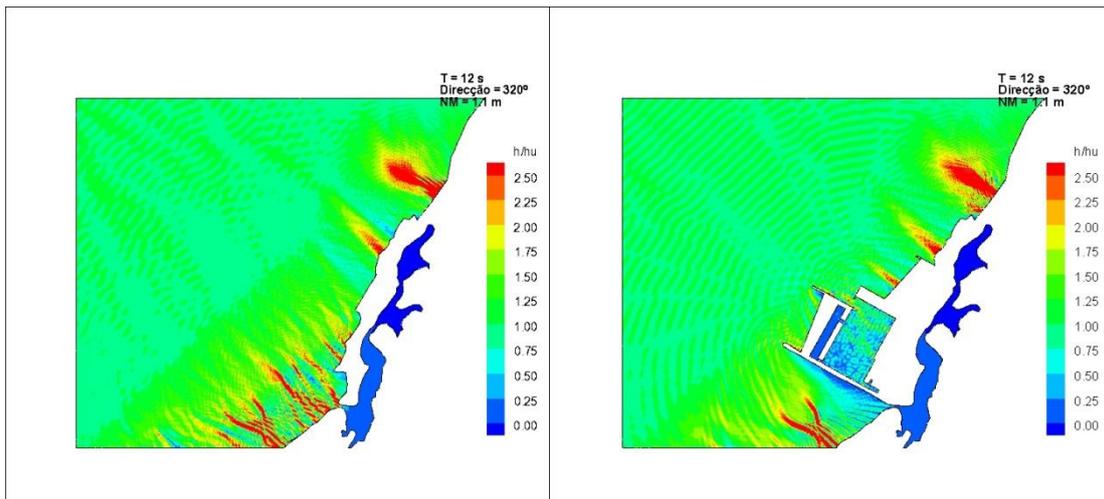


Figura A-46 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=12 s, Direcção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

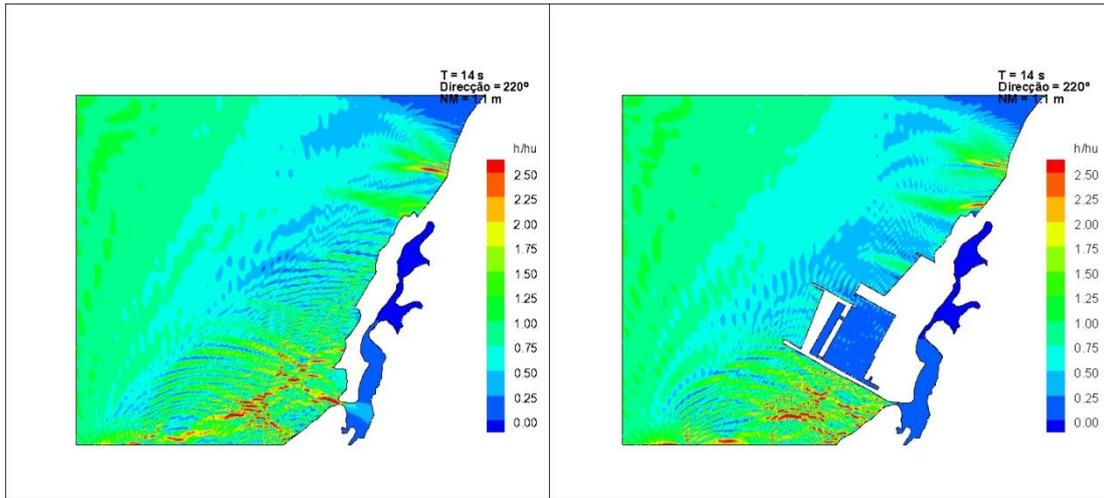


Figura A-47 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

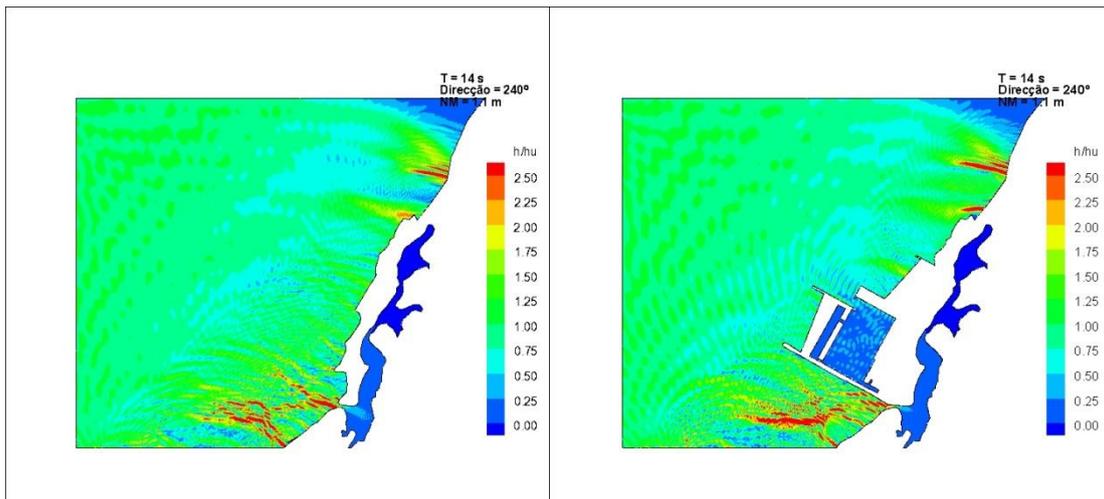


Figura A-48 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

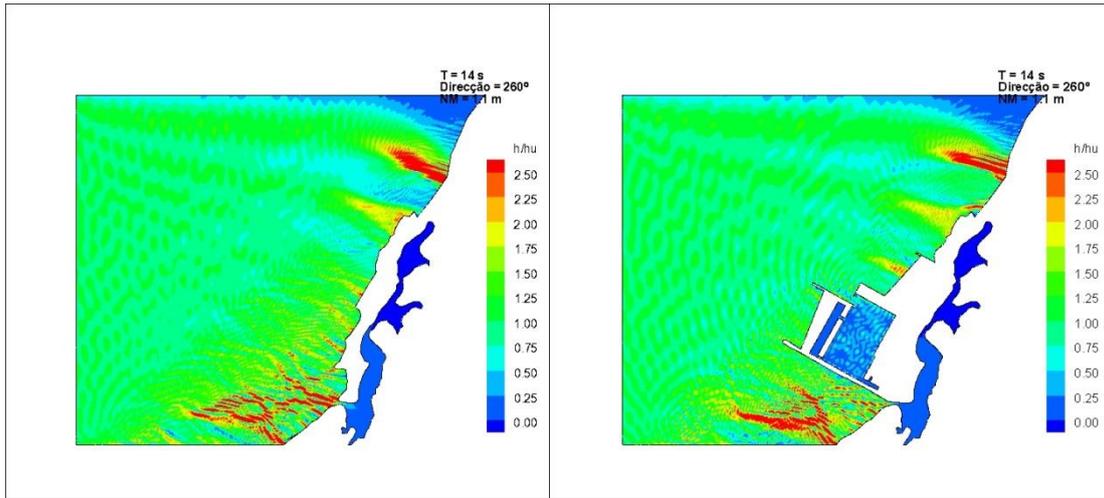


Figura A-49 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direcção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

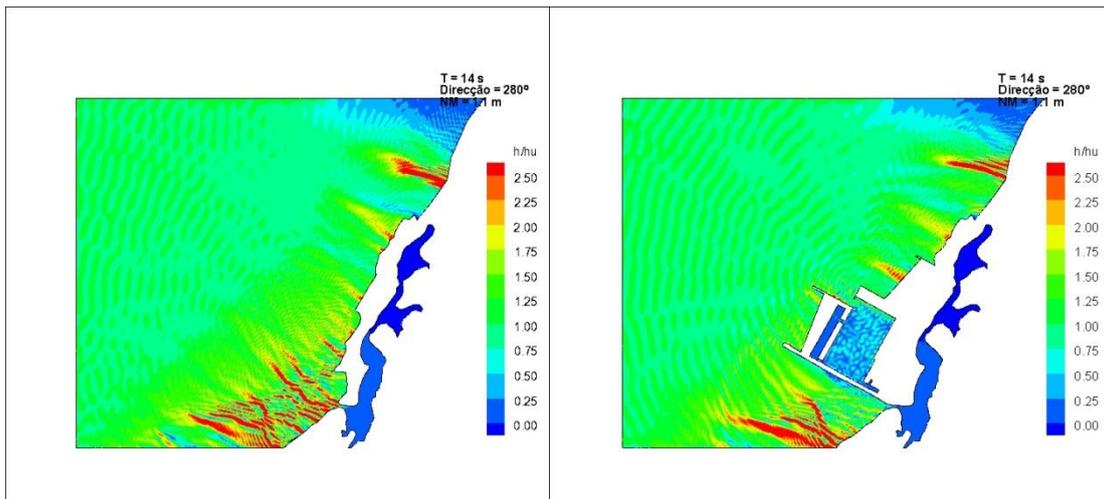


Figura A-50 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direcção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

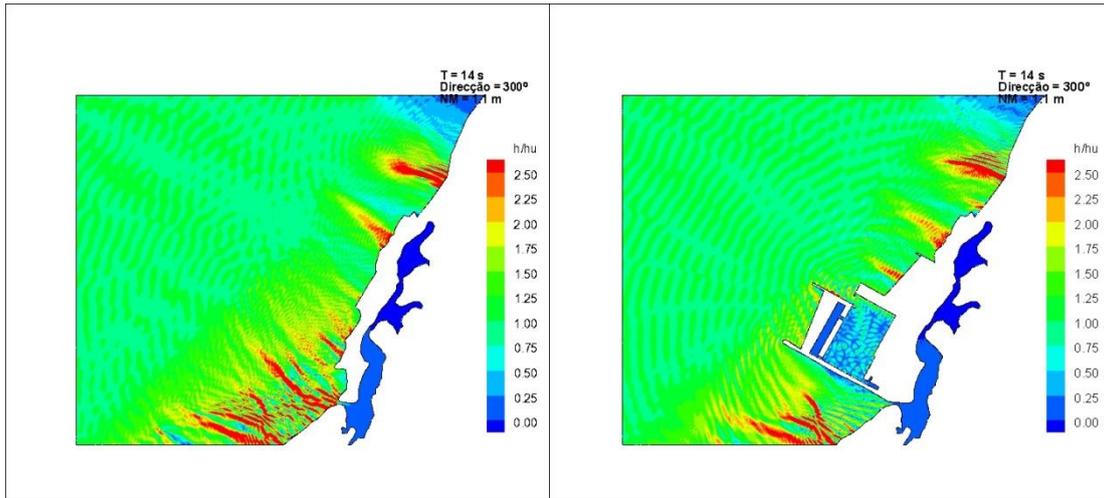


Figura A-51 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direcção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

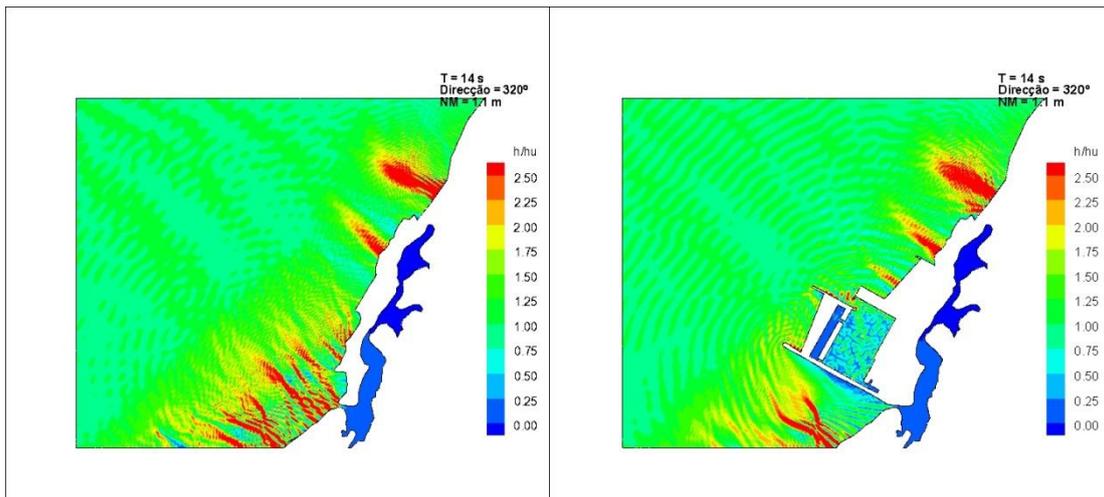


Figura A-52 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=14 s, Direcção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

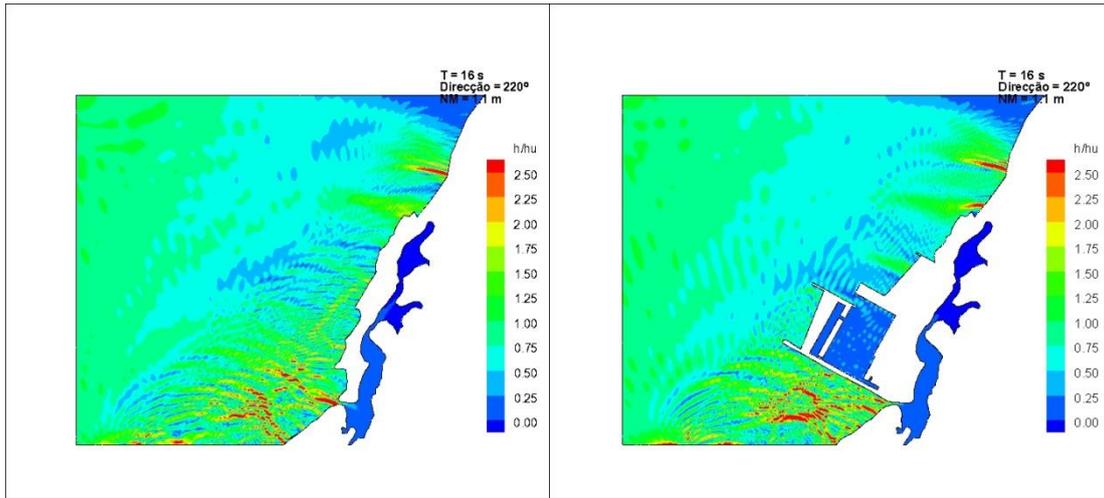


Figura A-53 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

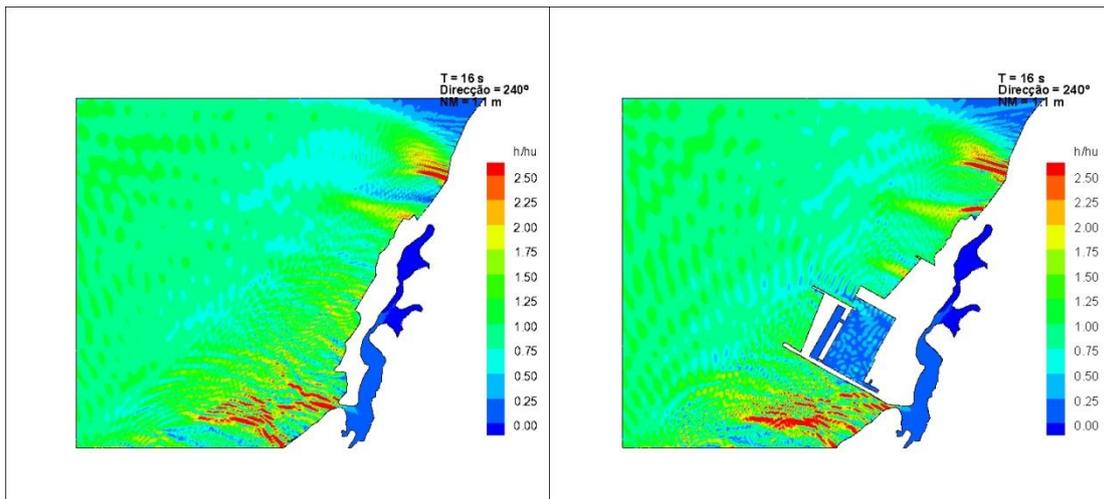


Figura A-54 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

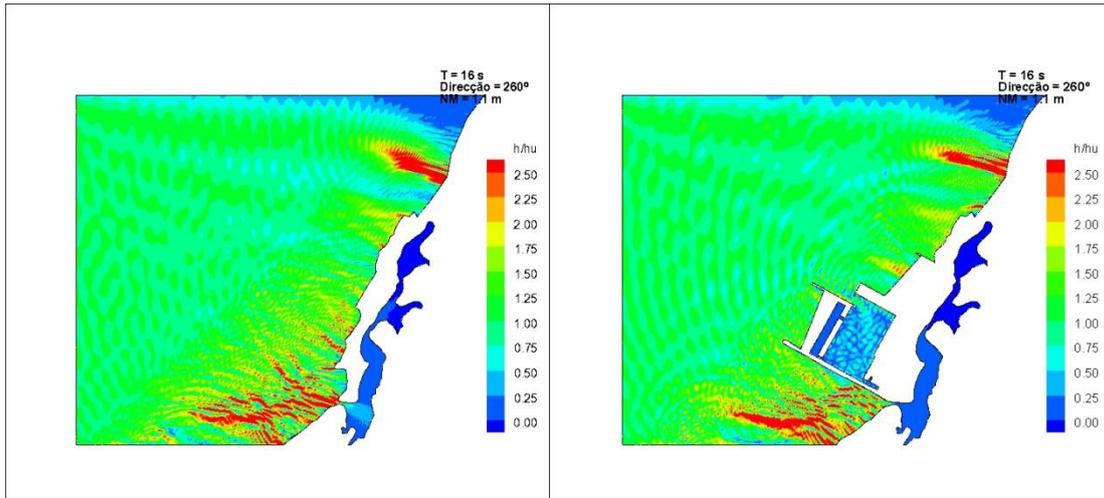


Figura A-55 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direcção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

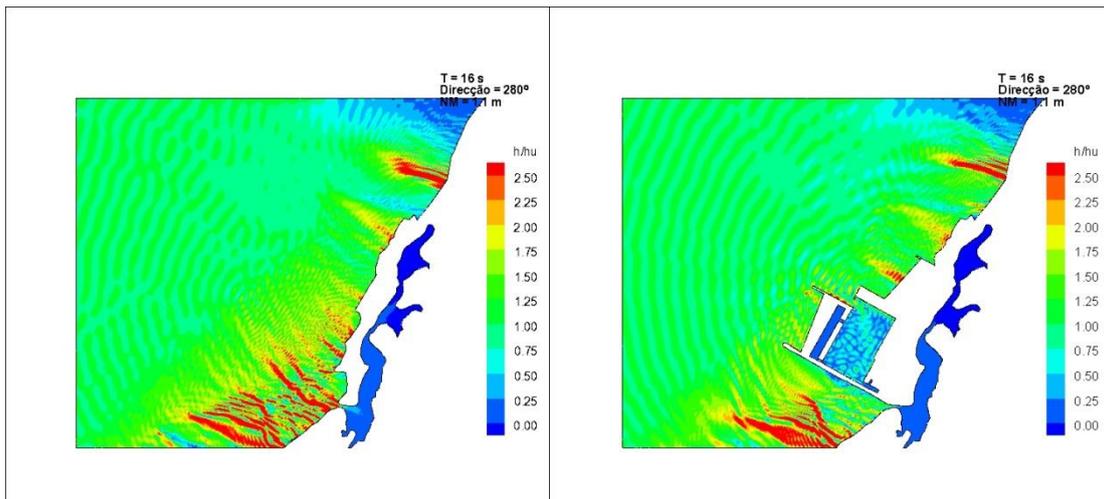


Figura A-56 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direcção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

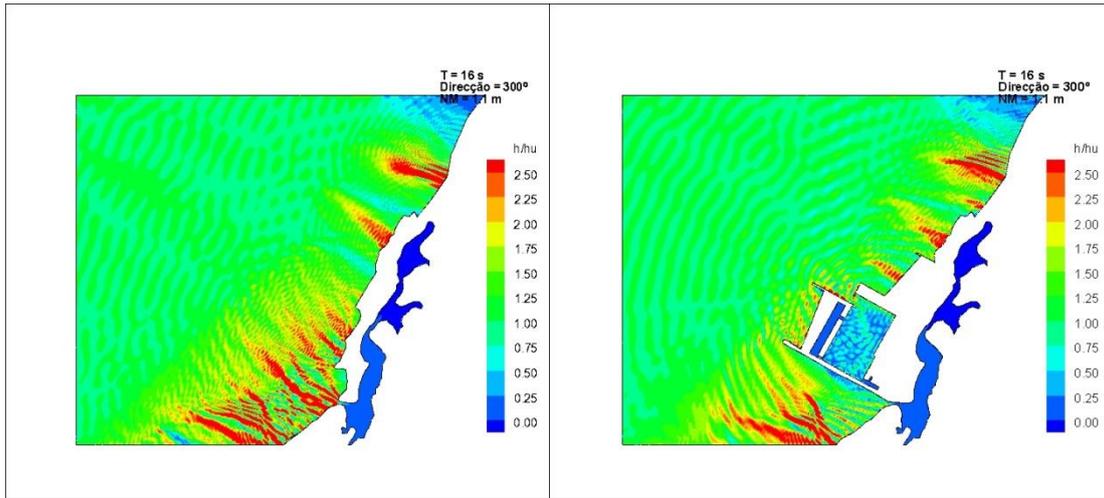


Figura A-57 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direcção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

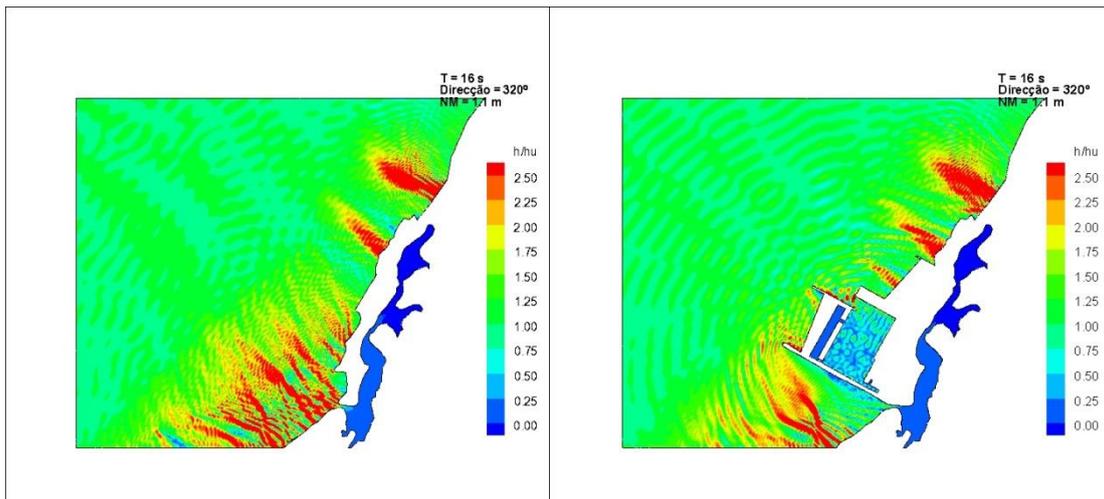


Figura A-58 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=16 s, Direcção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

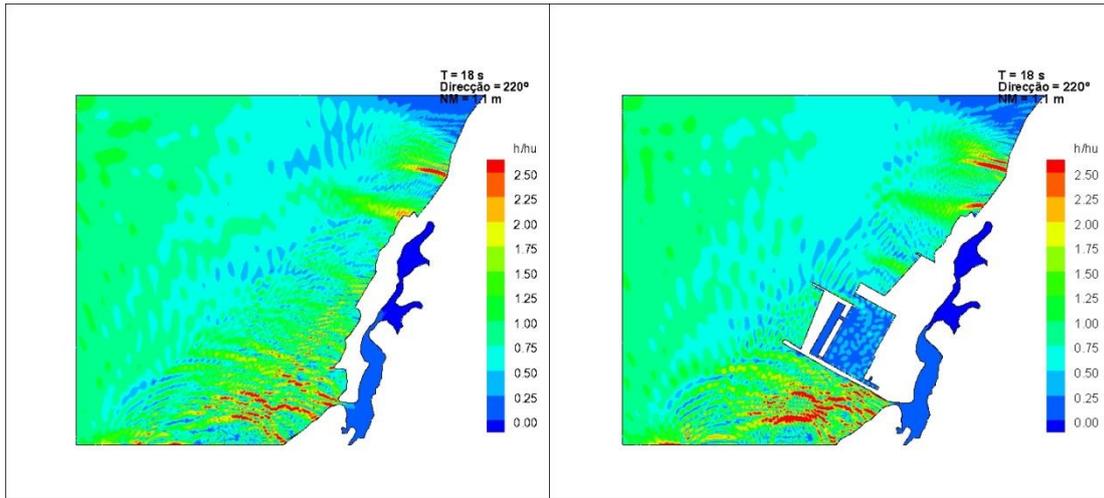


Figura A-59 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

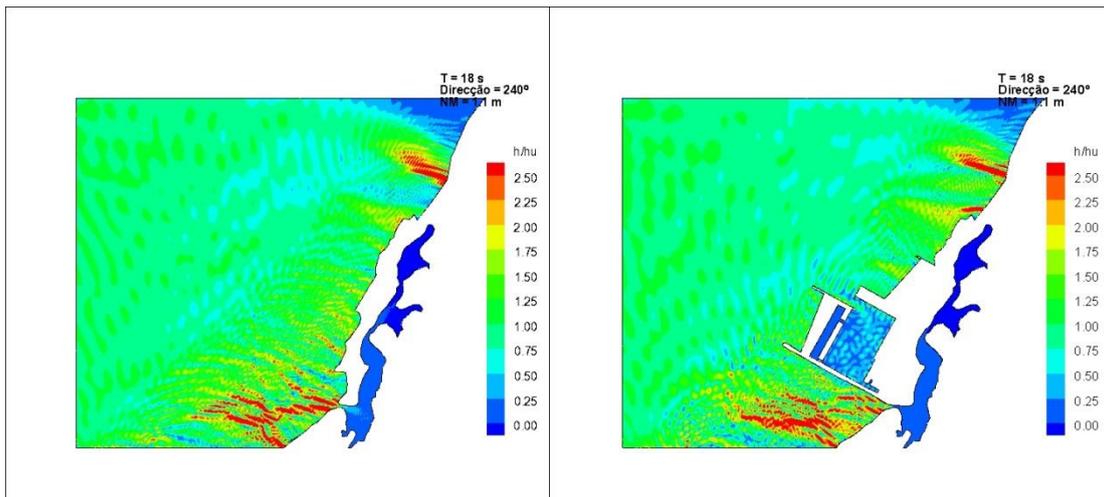


Figura A-60 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

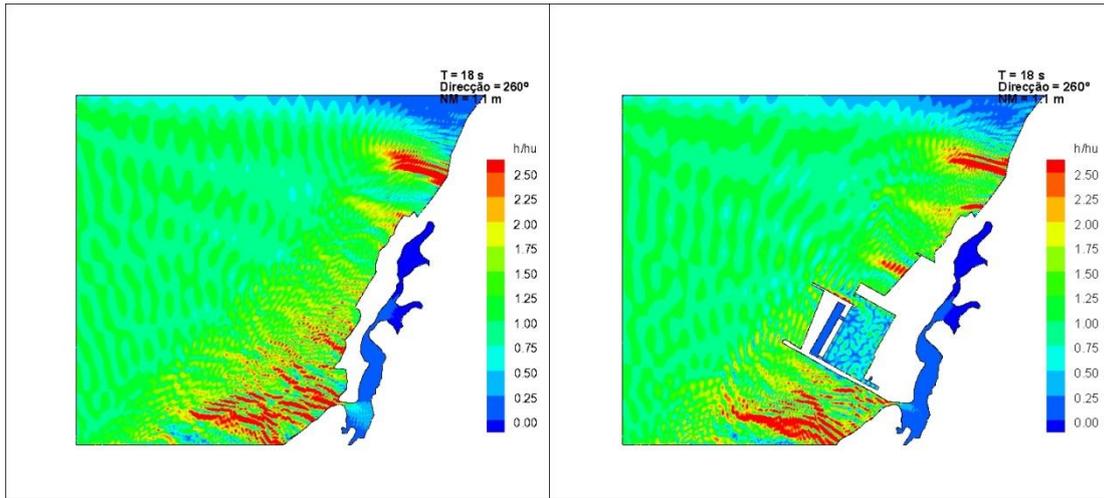


Figura A-61 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

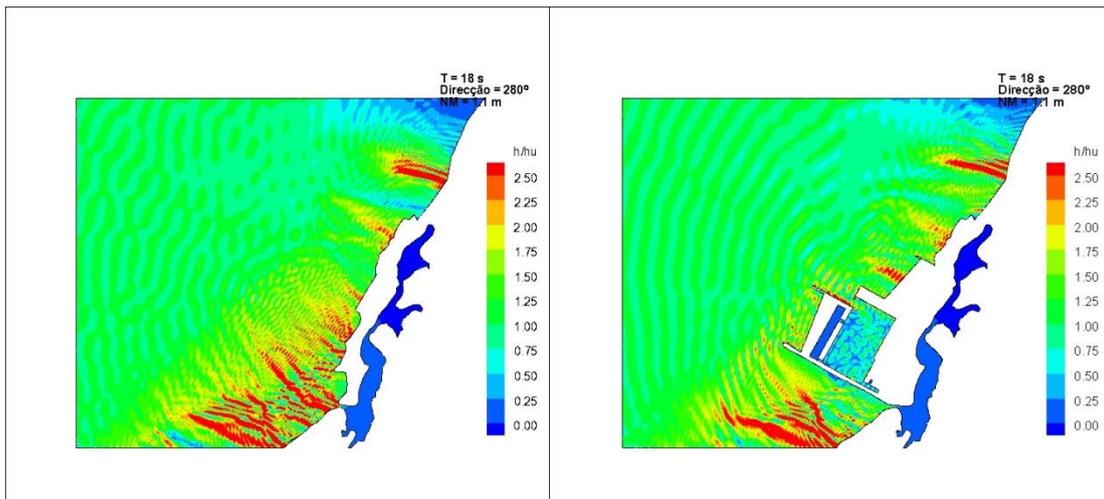


Figura A-62 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

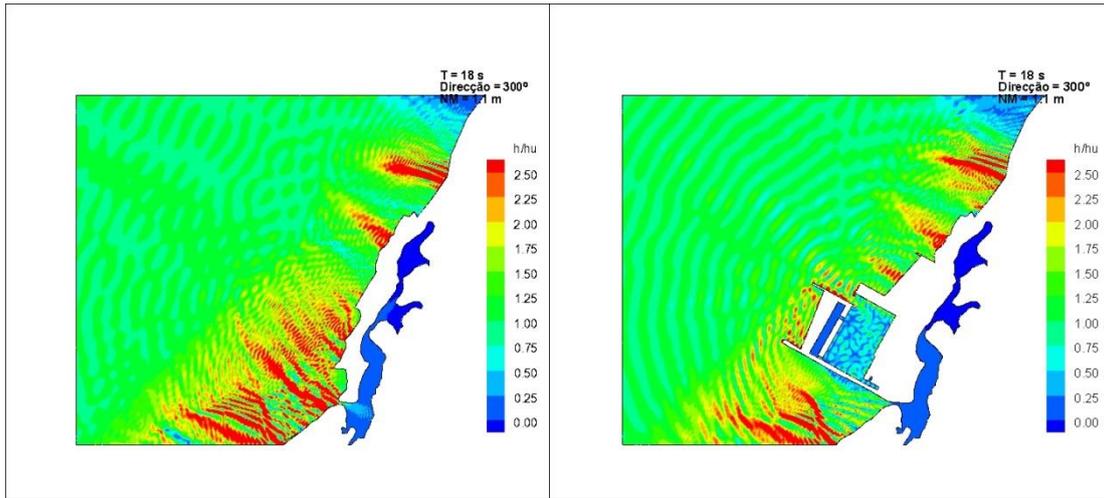


Figura A-63 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

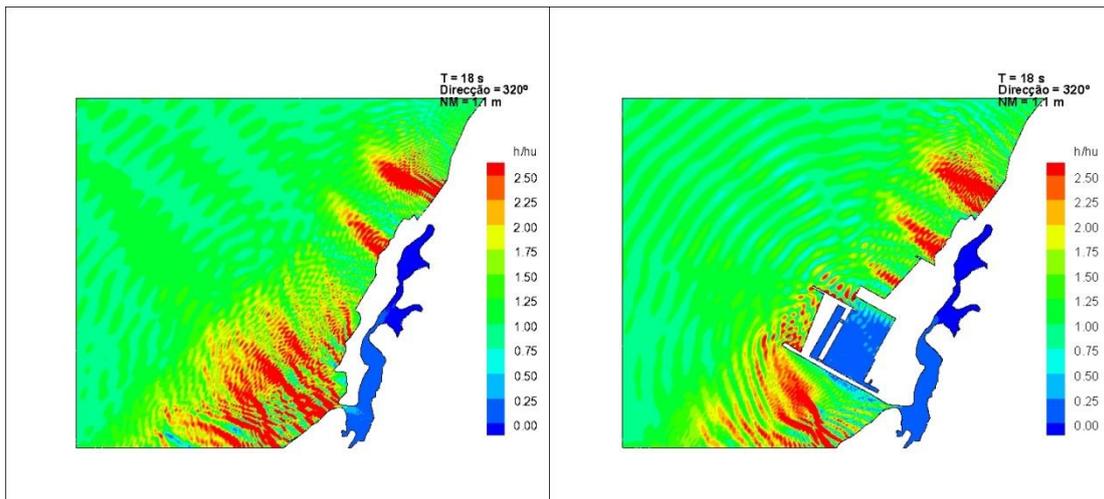


Figura A-64 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=18 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

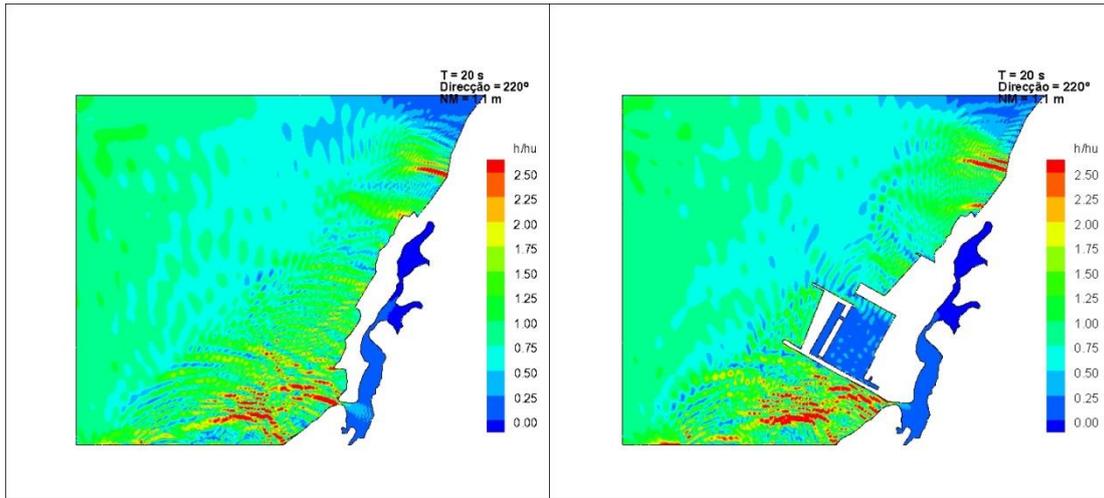


Figura A-65 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direcção 220° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

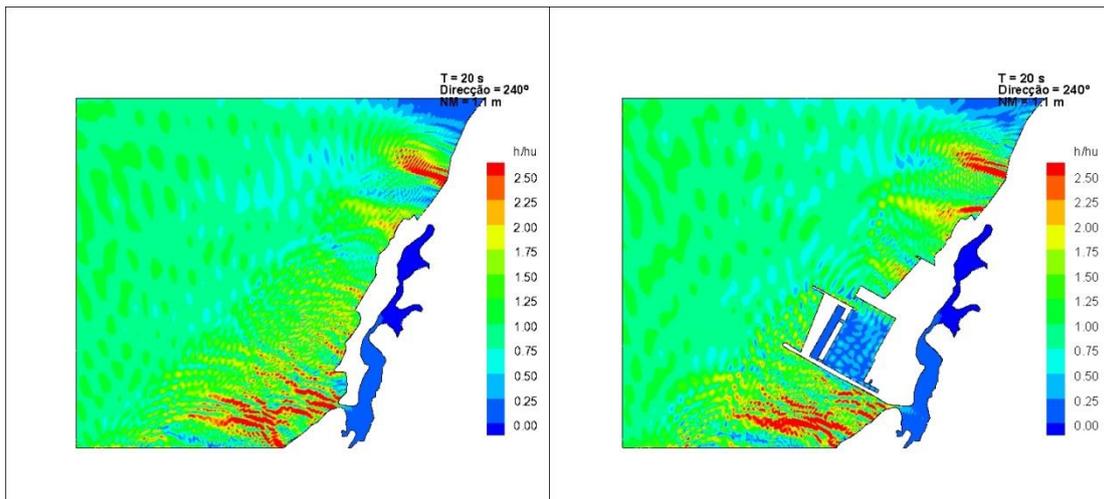


Figura A-66 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direcção 240° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

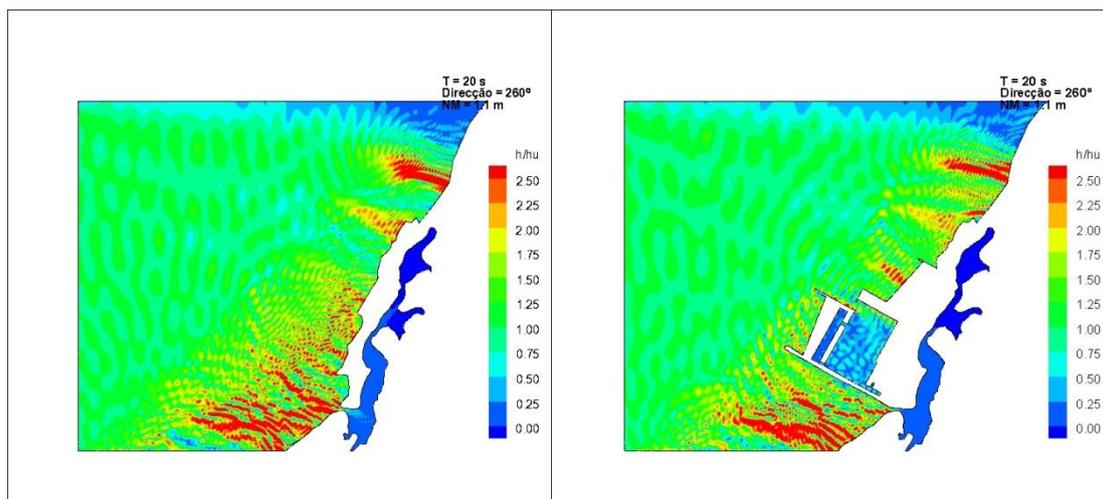


Figura A-67 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direcção 260° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

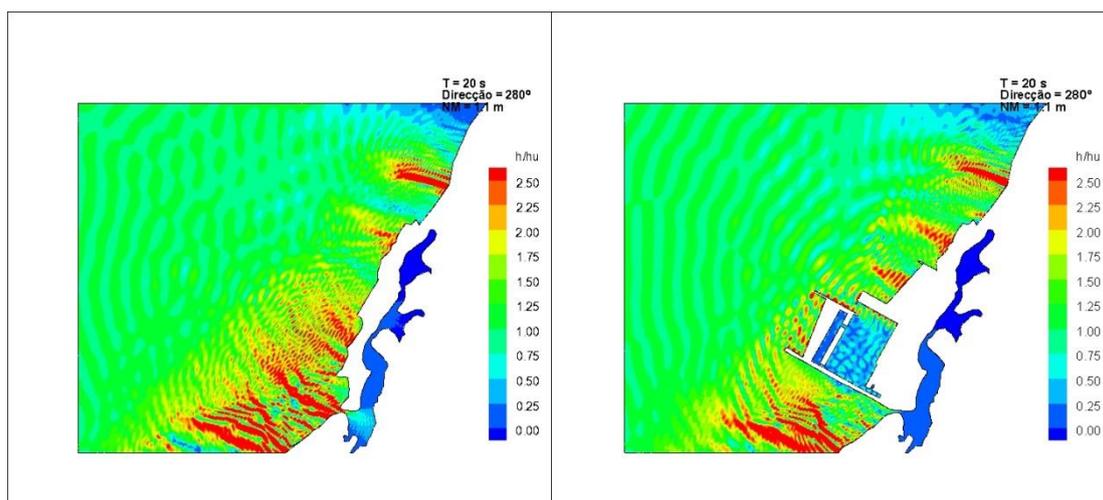


Figura A-68 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direcção 280° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

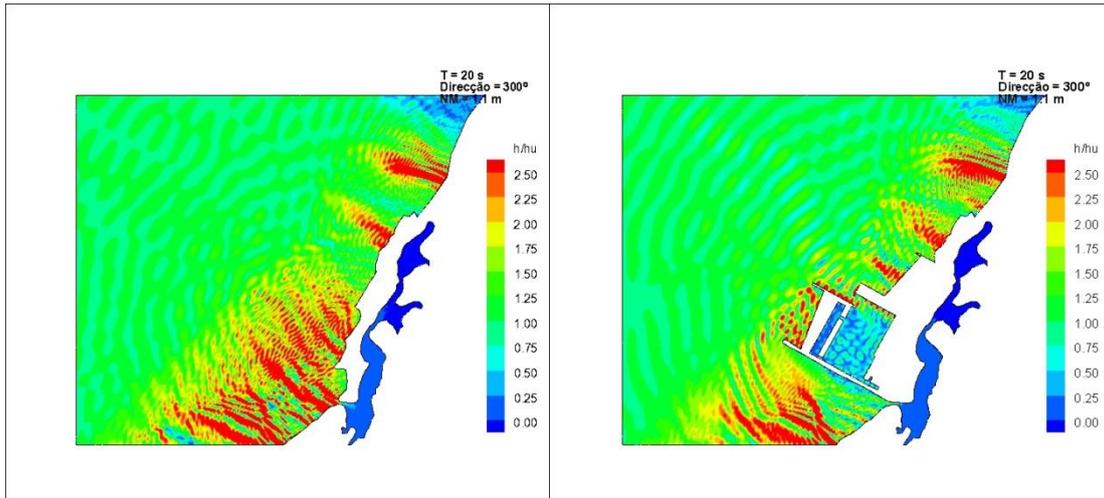


Figura A-69 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T=20 s, Direção 300° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

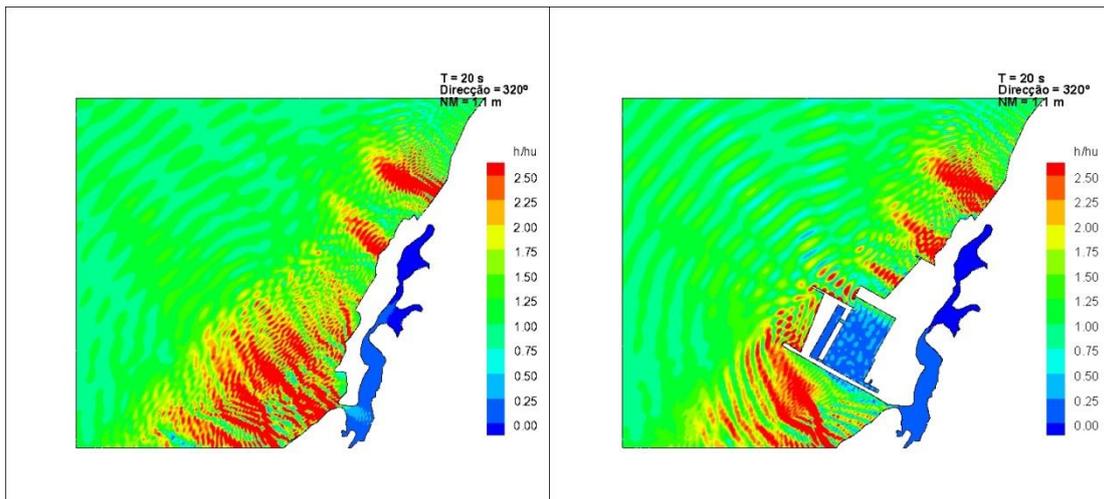


Figura A-42 - Diagramas de isolinhas dos valores dos índices de agitação, para T= 20 s, Direção 320° e nível de maré de +1.1 m (ZH), para as situações sem e com marina

Quadro A-1 – Índices de agitação nos pontos D1 a D9. Situação sem marina.

Sem Marina		Direção de onda (°)					
Ponto	T	220	240	260	280	300	320
		Med	Med	Med	Med	Med	Med
1	8	0.19	0.63	0.79	0.92	1.03	0.80
	10	0.34	0.54	0.90	1.11	1.09	0.96
	12	0.73	0.72	0.91	1.23	1.22	1.12
	14	0.75	0.84	1.03	1.40	1.06	1.37
	16	0.99	0.90	1.30	1.39	1.57	1.19
	18	0.64	1.00	1.42	1.18	1.25	1.50
	20	0.72	1.25	1.32	1.80	1.74	1.35
2	8	0.39	0.52	0.63	0.93	1.01	1.10
	10	0.61	0.83	0.97	0.99	0.99	1.09
	12	0.50	0.75	1.06	1.14	1.14	1.05
	14	0.65	0.80	0.99	1.21	1.40	1.19
	16	0.63	0.89	1.04	1.24	1.35	1.16
	18	0.55	1.13	1.21	1.44	1.61	1.22
	20	0.49	0.97	1.07	1.65	1.42	1.29
3	8	0.30	0.60	0.91	0.96	0.96	0.88
	10	0.21	0.49	0.88	0.90	0.91	0.94
	12	0.60	0.74	1.33	0.87	0.99	1.12
	14	0.54	0.93	0.88	1.05	1.15	1.24
	16	0.34	1.01	1.15	1.28	1.47	1.13
	18	0.46	0.93	1.15	1.88	1.79	1.44
	20	0.71	1.03	1.01	1.71	2.02	1.38
4	8	0.20	0.74	0.78	0.96	0.91	0.83
	10	0.60	0.58	1.06	1.08	1.05	0.89
	12	0.81	0.71	1.25	1.12	1.16	1.08
	14	0.46	1.38	1.32	1.41	1.16	1.13
	16	1.01	1.28	1.39	1.17	1.10	1.00
	18	0.99	1.46	1.24	1.53	1.25	1.08
	20	1.13	1.42	1.49	1.69	1.29	1.24
5	8	0.29	0.38	0.72	1.00	1.34	1.38
	10	0.62	0.80	0.92	1.10	1.30	1.36
	12	0.74	0.61	0.86	1.17	1.45	1.45
	14	0.83	0.93	1.15	1.50	1.74	1.60
	16	0.61	1.12	1.51	1.43	1.59	1.74
	18	1.02	1.01	1.66	1.90	1.74	1.45
	20	0.64	1.23	1.33	1.51	1.91	2.02
6	8	0.96	0.56	0.89	1.05	1.24	1.21
	10	0.77	1.03	1.08	1.34	1.34	1.42
	12	1.17	1.15	1.29	1.59	1.46	1.66
	14	0.97	1.17	1.50	1.54	1.64	1.73
	16	1.11	1.05	1.76	1.84	2.04	1.88
	18	1.31	1.50	1.89	1.94	2.32	1.77
	20	0.91	2.10	2.00	1.92	2.71	1.50
7	8	0.83	0.80	1.18	1.40	0.59	0.26
	10	0.51	0.99	1.04	1.28	0.90	0.57
	12	1.03	0.65	1.02	1.49	0.98	0.90
	14	0.49	0.50	1.13	1.33	1.23	1.28
	16	0.91	1.69	1.09	1.31	1.85	1.44
	18	1.22	1.13	1.79	1.41	1.22	2.15
	20	0.89	1.44	1.26	1.56	1.34	1.68
8	8	0.66	0.50	1.00	1.22	1.03	0.94
	10	0.53	0.95	1.09	1.31	1.45	1.34
	12	0.66	0.93	1.13	1.31	1.86	1.70
	14	0.87	1.18	1.56	1.49	2.00	1.90
	16	0.90	1.39	1.55	1.81	2.31	2.10
	18	1.00	1.27	1.59	1.70	2.78	1.96
	20	0.90	0.96	1.73	2.32	2.61	2.73
9	8	0.35	0.43	0.87	0.72	1.05	1.00
	10	0.23	0.54	0.80	0.99	1.06	1.19
	12	0.77	0.96	1.08	1.06	1.33	1.39
	14	0.69	0.76	1.17	1.23	1.28	1.52
	16	0.65	0.83	1.29	1.42	1.40	1.86
	18	0.87	1.02	1.39	1.68	1.76	2.01
	20	0.70	1.37	1.51	1.56	1.82	2.00

Quadro A-2 – Índices de agitação nos pontos D10 a D18. Situação sem marina.

Sem Marina		Direção de onda (°)					
Ponto	T	220	240	260	280	300	320
		Med	Med	Med	Med	Med	Med
10	8	0.68	0.69	0.88	1.20	1.03	1.31
	10	0.92	0.90	1.10	1.27	1.29	1.58
	12	1.20	1.06	0.82	1.51	1.56	1.73
	14	1.03	0.95	1.43	1.60	2.11	2.07
	16	1.38	1.12	1.55	1.81	2.35	2.10
	18	1.09	1.06	1.63	2.02	2.54	2.34
	20	1.04	1.93	1.94	1.91	2.31	2.17
11	8	0.30	0.49	0.76	0.95	1.02	1.16
	10	0.49	0.73	0.78	0.96	1.08	1.14
	12	0.58	0.79	1.06	1.09	1.10	1.17
	14	0.38	1.04	1.29	1.37	1.40	1.48
	16	0.72	0.66	1.18	1.19	1.38	1.36
	18	1.02	1.33	1.67	1.46	1.88	2.12
	20	0.61	1.21	1.32	2.12	2.05	1.63
12	8	0.22	0.51	0.69	0.82	0.91	0.92
	10	0.54	0.50	0.67	0.92	0.94	0.99
	12	0.18	0.52	0.78	0.97	1.09	1.16
	14	0.53	0.57	1.03	1.08	1.00	1.24
	16	0.22	0.60	0.79	1.39	1.55	1.23
	18	0.89	0.90	0.96	1.50	1.43	1.34
	20	0.44	0.58	0.69	1.66	1.26	1.56
13	8	0.17	0.51	0.74	0.88	1.01	0.88
	10	0.26	0.40	0.78	0.80	0.87	0.94
	12	0.51	0.53	0.88	0.93	1.07	0.95
	14	0.33	0.84	0.99	0.84	0.97	1.10
	16	0.47	1.07	0.92	0.95	1.20	1.12
	18	0.43	0.90	0.89	1.25	1.21	1.18
	20	0.68	0.82	0.93	1.18	1.32	1.21
14	8	0.32	0.54	0.86	0.96	0.83	1.03
	10	0.18	0.33	0.79	1.15	1.04	1.26
	12	0.59	0.73	1.19	1.23	1.20	1.18
	14	0.62	0.86	0.96	1.24	1.32	1.45
	16	0.63	1.19	1.18	1.54	1.34	1.55
	18	0.92	0.96	1.47	1.47	1.57	1.81
	20	0.60	1.46	1.88	1.42	1.78	1.96
15	8	0.29	0.51	1.03	0.82	0.68	0.86
	10	0.71	0.77	0.93	0.81	0.81	0.98
	12	0.35	0.47	0.74	0.83	0.95	1.05
	14	0.71	1.05	0.86	0.86	0.93	1.15
	16	0.30	0.89	0.97	0.87	0.60	1.34
	18	0.67	0.83	0.75	1.03	0.88	1.20
	20	0.87	0.75	1.60	0.86	1.14	1.38
16	8	0.31	0.53	0.84	0.84	0.86	0.83
	10	0.51	0.62	0.76	0.83	0.96	0.97
	12	0.56	0.58	0.78	0.90	1.01	1.19
	14	0.75	0.70	0.94	1.01	1.17	1.01
	16	0.67	0.85	0.93	0.93	1.60	1.46
	18	0.79	0.86	1.12	1.74	1.47	1.44
	20	0.47	0.78	1.72	0.85	2.09	1.79
17	8	0.77	0.81	1.04	0.79	0.93	0.88
	10	0.84	0.84	0.56	1.11	1.17	1.25
	12	1.02	1.02	1.27	1.34	1.41	1.30
	14	1.52	1.21	1.29	1.54	1.73	1.65
	16	1.17	0.94	1.54	1.84	1.81	1.51
	18	1.34	1.25	1.39	1.76	2.00	1.97
	20	0.93	0.96	1.72	2.09	1.91	2.55
18	8	0.52	0.63	0.96	1.08	0.99	1.00
	10	0.53	0.67	1.04	1.08	1.21	1.04
	12	0.78	0.73	1.09	1.23	1.43	1.23
	14	0.76	0.73	1.11	1.32	1.72	1.26
	16	0.86	1.12	1.61	1.62	1.69	1.47
	18	0.53	1.35	1.45	1.98	2.11	1.69
	20	1.18	2.03	1.81	1.86	2.32	2.02

Quadro A-3 – Índices de agitação nos pontos D1 a D9. Situação com marina.

Com Marina		Direção de onda (°)					
Ponto	T	220	240	260	280	300	320
		Med	Med	Med	Med	Med	Med
1	8	0.13	0.42	0.78	0.99	1.05	0.91
	10	0.50	0.56	0.87	1.07	1.07	1.05
	12	0.30	0.75	0.96	1.17	1.16	1.17
	14	0.65	0.75	1.06	1.08	1.51	1.44
	16	0.91	1.22	1.17	1.79	1.47	1.20
	18	0.55	0.92	1.41	1.62	1.58	1.93
	20	0.94	0.95	0.99	1.75	2.23	2.30
2	8	0.07	0.31	0.47	0.84	0.84	0.83
	10	0.26	0.44	0.71	0.88	0.64	0.97
	12	0.43	0.66	0.76	0.95	0.77	0.71
	14	0.29	0.53	0.82	1.11	1.39	1.54
	16	0.52	0.81	1.21	1.20	0.86	0.61
	18	0.33	0.39	0.65	1.15	1.54	1.58
	20	0.61	0.97	1.09	1.68	1.42	1.60
3	8	0.14	0.44	0.77	0.70	0.86	0.94
	10	0.31	0.49	0.85	0.83	0.76	0.87
	12	0.38	0.46	0.84	0.70	0.94	1.29
	14	0.42	0.70	0.88	1.05	1.34	1.26
	16	0.44	0.76	0.94	1.18	1.19	1.35
	18	0.60	0.87	1.00	1.21	1.12	0.88
	20	0.81	1.03	1.22	1.76	1.34	1.00
4	8	0.14	0.48	0.56	1.08	1.50	0.84
	10	0.19	0.30	0.87	1.79	1.77	0.69
	12	0.37	0.72	1.62	2.19	1.58	0.85
	14	0.69	1.24	2.17	2.19	1.66	1.04
	16	0.90	1.51	2.06	2.24	1.79	1.22
	18	1.09	1.88	2.71	2.78	2.15	1.53
	20	1.04	1.66	2.78	2.64	2.80	1.64
5	8	0.03	0.11	0.19	0.43	0.36	0.30
	10	0.15	0.26	0.43	0.71	0.70	0.49
	12	0.11	0.19	0.28	0.41	0.62	0.73
	14	0.26	0.37	0.46	0.44	0.39	1.08
	16	0.38	0.54	0.73	0.74	0.86	1.33
	18	0.26	0.39	0.59	0.65	0.45	0.45
	20	0.41	0.70	0.99	1.12	1.22	0.31
6	8	0.03	0.09	0.16	0.32	0.21	0.21
	10	0.07	0.14	0.25	0.41	0.64	0.66
	12	0.09	0.14	0.22	0.37	0.46	0.44
	14	0.14	0.23	0.27	0.44	0.49	0.42
	16	0.12	0.18	0.27	0.29	0.23	0.24
	18	0.25	0.36	0.56	0.64	0.52	0.13
	20	0.19	0.32	0.48	0.50	0.63	0.24
7	8	0.02	0.10	0.18	0.33	0.13	0.24
	10	0.04	0.09	0.14	0.28	0.40	0.26
	12	0.11	0.16	0.21	0.27	0.24	0.39
	14	0.09	0.14	0.20	0.23	0.16	0.32
	16	0.11	0.18	0.32	0.41	0.42	0.36
	18	0.11	0.15	0.25	0.27	0.23	0.09
	20	0.24	0.40	0.59	0.63	0.75	0.18
8	8	0.02	0.06	0.10	0.21	0.15	0.16
	10	0.06	0.11	0.20	0.31	0.38	0.43
	12	0.11	0.15	0.20	0.32	0.46	0.72
	14	0.12	0.20	0.24	0.37	0.34	0.22
	16	0.25	0.36	0.54	0.67	0.74	0.78
	18	0.15	0.21	0.33	0.37	0.27	0.09
	20	0.18	0.29	0.43	0.46	0.53	0.15
9	8	0.01	0.03	0.05	0.10	0.06	0.02
	10	0.01	0.02	0.03	0.03	0.04	0.06
	12	0.02	0.03	0.05	0.05	0.07	0.11
	14	0.02	0.02	0.03	0.04	0.03	0.05
	16	0.02	0.03	0.04	0.05	0.03	0.01
	18	0.02	0.04	0.06	0.07	0.07	0.06
	20	0.03	0.06	0.08	0.09	0.12	0.06

Quadro A-4 – Índices de agitação nos pontos D10 a D18. Situação com marina.

Com Marina		Direção de onda (°)					
Ponto	T	220	240	260	280	300	320
		Med	Med	Med	Med	Med	Med
10	8	0.02	0.08	0.13	0.22	0.12	0.16
	10	0.08	0.14	0.23	0.32	0.40	0.49
	12	0.12	0.16	0.26	0.50	0.70	0.72
	14	0.16	0.29	0.34	0.69	0.94	0.99
	16	0.17	0.25	0.39	0.50	0.61	0.66
	18	0.40	0.60	0.92	1.09	1.01	0.61
	20	0.21	0.37	0.50	0.59	0.67	0.41
11	8	0.03	0.19	0.32	0.59	0.48	0.79
	10	0.22	0.35	0.61	0.83	0.82	0.61
	12	0.23	0.30	0.45	0.73	1.04	1.79
	14	0.17	0.31	0.56	0.76	1.44	2.25
	16	0.22	0.36	0.81	1.16	1.70	2.50
	18	0.36	0.39	0.48	1.02	1.97	3.09
	20	0.38	0.40	0.49	0.96	1.46	2.25
12	8	0.13	0.58	0.68	0.95	0.93	0.85
	10	0.34	0.57	0.73	0.84	0.97	1.06
	12	0.51	0.75	0.99	1.20	1.07	0.98
	14	0.60	0.92	1.11	1.05	0.83	1.21
	16	0.60	0.97	1.46	1.56	1.24	1.00
	18	0.52	0.75	1.38	1.44	1.95	1.99
	20	0.68	0.91	1.24	1.25	1.09	0.50
13	8	0.17	0.52	0.83	0.80	0.87	0.98
	10	0.34	0.48	0.77	0.83	0.94	0.99
	12	0.42	0.53	0.77	0.94	0.89	0.91
	14	0.42	0.66	0.71	0.77	0.95	1.10
	16	0.38	0.67	0.92	0.87	1.18	1.24
	18	0.61	0.97	1.03	1.20	1.14	1.28
	20	0.54	0.70	0.99	1.38	1.69	1.49
14	8	0.08	0.33	0.63	0.87	0.80	0.63
	10	0.27	0.42	0.86	0.76	0.82	0.68
	12	0.42	0.42	0.86	0.93	0.79	0.92
	14	0.32	0.64	0.67	0.94	0.93	0.79
	16	0.52	0.66	0.95	1.12	1.17	1.22
	18	0.49	0.95	1.18	1.29	1.24	0.49
	20	0.38	0.85	0.99	1.54	1.57	0.55
15	8	0.24	0.87	0.72	0.76	0.73	0.89
	10	0.30	0.40	0.60	0.82	0.88	0.80
	12	0.19	0.44	0.64	0.88	0.74	0.93
	14	0.25	0.58	0.83	1.20	1.22	1.26
	16	0.42	0.78	0.78	1.42	0.97	1.29
	18	0.70	0.79	1.27	0.80	1.62	1.36
	20	0.32	0.45	1.42	0.84	1.68	0.87
16	8	0.18	0.39	0.84	0.89	0.96	0.78
	10	0.34	0.61	0.72	1.11	1.10	0.95
	12	0.65	0.77	0.95	1.05	1.06	1.35
	14	0.49	0.81	0.98	1.09	1.81	1.32
	16	0.86	1.05	1.21	1.53	1.81	1.35
	18	0.67	0.85	0.77	1.33	1.44	1.62
	20	1.29	1.53	1.63	0.79	1.41	2.02
17	8	0.01	0.04	0.07	0.16	0.18	0.18
	10	0.07	0.13	0.21	0.33	0.37	0.37
	12	0.13	0.19	0.28	0.44	0.49	0.44
	14	0.06	0.09	0.13	0.18	0.19	0.25
	16	0.09	0.13	0.21	0.31	0.43	0.54
	18	0.12	0.18	0.28	0.32	0.25	0.05
	20	0.21	0.35	0.51	0.54	0.67	0.21
18	8	0.02	0.08	0.15	0.33	0.23	0.22
	10	0.04	0.07	0.11	0.23	0.32	0.21
	12	0.09	0.13	0.10	0.16	0.58	1.09
	14	0.09	0.16	0.28	0.41	0.66	1.01
	16	0.12	0.20	0.37	0.51	0.53	0.40
	18	0.10	0.14	0.23	0.26	0.25	0.16
	20	0.06	0.10	0.15	0.15	0.18	0.14

Quadro A-5 – Índices de agitação nas zonas A a F. Situação sem marina.

Sem Marina		Direção de onda (°)					
Zona	T (s)	220	240	260	280	300	320
		Med	Med	Med	Med	Med	Med
A	8	0.25	0.58	0.81	0.88	0.94	0.82
	10	0.42	0.58	0.83	0.97	1.03	0.96
	12	0.64	0.65	0.85	1.06	1.12	1.15
	14	0.75	0.77	0.98	1.21	1.11	1.19
	16	0.83	0.88	1.12	1.16	1.59	1.32
	18	0.72	0.93	1.27	1.46	1.36	1.47
	20	0.60	1.01	1.52	1.32	1.91	1.57
B	8	0.27	0.60	0.89	0.91	0.81	0.91
	10	0.50	0.56	0.92	1.02	0.97	1.04
	12	0.58	0.64	1.06	1.06	1.10	1.11
	14	0.60	1.10	1.05	1.17	1.14	1.24
	16	0.65	1.12	1.18	1.19	1.02	1.29
	18	0.86	1.09	1.15	1.34	1.23	1.36
	20	0.87	1.21	1.65	1.32	1.40	1.53
C	8	0.30	0.51	0.69	0.90	0.98	1.06
	10	0.55	0.69	0.81	0.96	1.01	1.07
	12	0.42	0.69	0.96	1.07	1.11	1.13
	14	0.52	0.80	1.10	1.22	1.26	1.30
	16	0.53	0.72	1.00	1.27	1.42	1.25
	18	0.82	1.12	1.28	1.47	1.64	1.56
	20	0.51	0.92	1.03	1.81	1.58	1.50
D	8	0.23	0.56	0.82	0.92	0.99	0.88
	10	0.23	0.44	0.83	0.85	0.89	0.94
	12	0.55	0.63	1.11	0.90	1.03	1.04
	14	0.43	0.89	0.94	0.94	1.06	1.17
	16	0.40	1.04	1.03	1.11	1.33	1.13
	18	0.45	0.92	1.02	1.57	1.50	1.31
	20	0.69	0.93	0.97	1.45	1.67	1.30
E	8	0.48	0.53	0.80	1.10	1.18	1.34
	10	0.77	0.85	1.01	1.18	1.30	1.47
	12	0.97	0.84	0.84	1.34	1.50	1.59
	14	0.93	0.94	1.29	1.55	1.93	1.83
	16	1.00	1.12	1.53	1.62	1.97	1.92
	18	1.05	1.04	1.65	1.96	2.14	1.90
	20	0.84	1.58	1.64	1.71	2.11	2.09
F	8	0.75	0.66	1.02	1.11	0.95	0.86
	10	0.64	0.90	0.96	1.22	1.21	1.13
	12	0.93	0.90	1.16	1.39	1.43	1.36
	14	0.92	0.96	1.32	1.45	1.67	1.57
	16	0.99	1.24	1.51	1.69	1.94	1.68
	18	1.08	1.30	1.62	1.76	2.09	1.91
	20	0.96	1.50	1.70	1.95	2.18	2.10

\*Média dos valores médios dos índices de agitação, H/Ho, obtidos nos pontos que constituem cada uma das zonas A a F

Quadro A-6 – Índices de agitação nas zonas A a F\*. Situação com marina.

Com Marina		Direção de onda (°)					
Zona	T (s)	220	240	260	280	300	320
		Med	Med	Med	Med	Med	Med
A	8	0.15	0.41	0.81	0.94	1.00	0.85
	10	0.42	0.59	0.80	1.09	1.09	1.00
	12	0.47	0.76	0.95	1.11	1.11	1.26
	14	0.57	0.78	1.02	1.08	1.66	1.38
	16	0.89	1.13	1.19	1.66	1.64	1.27
	18	0.61	0.89	1.09	1.47	1.51	1.77
	20	1.12	1.24	1.31	1.27	1.82	2.16
B	8	0.15	0.56	0.64	0.91	1.01	0.79
	10	0.25	0.37	0.78	1.12	1.16	0.72
	12	0.33	0.53	1.04	1.33	1.03	0.90
	14	0.42	0.82	1.22	1.44	1.27	1.03
	16	0.61	0.98	1.26	1.59	1.31	1.24
	18	0.76	1.21	1.72	1.62	1.67	1.13
	20	0.58	0.99	1.73	1.67	2.02	1.02
C	8	0.08	0.36	0.49	0.79	0.75	0.82
	10	0.27	0.46	0.68	0.85	0.81	0.88
	12	0.39	0.57	0.73	0.96	0.96	1.16
	14	0.35	0.59	0.83	0.97	1.22	1.67
	16	0.45	0.72	1.16	1.31	1.27	1.37
	18	0.40	0.51	0.83	1.20	1.82	2.22
	20	0.56	0.76	0.94	1.30	1.33	1.45
D	8	0.16	0.48	0.80	0.75	0.86	0.96
	10	0.33	0.48	0.81	0.83	0.85	0.93
	12	0.40	0.49	0.81	0.82	0.91	1.10
	14	0.42	0.68	0.80	0.91	1.14	1.18
	16	0.41	0.72	0.93	1.02	1.18	1.29
	18	0.61	0.92	1.01	1.20	1.13	1.08
	20	0.68	0.87	1.10	1.57	1.51	1.24
E	8	0.02	0.09	0.16	0.32	0.24	0.23
	10	0.12	0.20	0.33	0.51	0.55	0.49
	12	0.12	0.18	0.27	0.46	0.66	0.72
	14	0.21	0.33	0.40	0.57	0.67	1.04
	16	0.28	0.40	0.56	0.62	0.73	0.99
	18	0.33	0.50	0.75	0.87	0.73	0.53
	20	0.31	0.53	0.74	0.85	0.94	0.36
F	8	0.02	0.08	0.13	0.27	0.18	0.20
	10	0.06	0.10	0.18	0.31	0.42	0.39
	12	0.10	0.15	0.20	0.31	0.45	0.61
	14	0.10	0.16	0.22	0.32	0.37	0.44
	16	0.14	0.21	0.34	0.44	0.47	0.46
	18	0.15	0.21	0.33	0.37	0.31	0.10
	20	0.18	0.29	0.43	0.46	0.55	0.18

\*Média dos valores médios dos índices de agitação, H/Ho, obtidos nos pontos que constituem cada uma das zonas A a F

Quadro A-7 – Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação nas zonas A a F, para cada período de onda. Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação nas zonas A a F, para todas as condições de agitação consideradas. Situação sem marina.

Sem Marina		Índices de agitação					
Zona	T (s)	Min	Med	Max	Min	Med	Max
A	8	0.25	0.71	0.94	0.25	1.01	1.91
	10	0.42	0.80	1.03			
	12	0.64	0.91	1.15			
	14	0.75	1.00	1.21			
	16	0.83	1.15	1.59			
	18	0.72	1.20	1.47			
	20	0.60	1.32	1.91			
B	8	0.27	0.73	0.91	0.27	1.02	1.65
	10	0.50	0.83	1.04			
	12	0.58	0.92	1.11			
	14	0.60	1.05	1.24			
	16	0.65	1.07	1.29			
	18	0.86	1.17	1.36			
	20	0.87	1.33	1.65			
C	8	0.30	0.74	1.06	0.30	1.01	1.81
	10	0.55	0.85	1.07			
	12	0.42	0.90	1.13			
	14	0.52	1.04	1.30			
	16	0.53	1.03	1.42			
	18	0.82	1.31	1.64			
	20	0.51	1.22	1.81			
D	8	0.23	0.73	0.99	0.23	0.93	1.67
	10	0.23	0.70	0.94			
	12	0.55	0.88	1.11			
	14	0.43	0.90	1.17			
	16	0.40	1.01	1.33			
	18	0.45	1.13	1.57			
	20	0.69	1.17	1.67			
E	8	0.48	0.91	1.34	0.48	1.34	2.14
	10	0.77	1.10	1.47			
	12	0.84	1.18	1.59			
	14	0.93	1.41	1.93			
	16	1.00	1.53	1.97			
	18	1.04	1.62	2.14			
	20	0.84	1.66	2.11			
F	8	0.66	0.89	1.11	0.64	1.32	2.18
	10	0.64	1.01	1.22			
	12	0.90	1.20	1.43			
	14	0.92	1.31	1.67			
	16	0.99	1.51	1.94			
	18	1.08	1.63	2.09			
	20	0.96	1.73	2.18			

Quadro A-8 – Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação calculados nas zonas A a F, para cada período de onda. Valores mínimo, médio e máximo dos valores dos índices de agitação calculados nas zonas A a F, para todas as condições de agitação consideradas. Situação com marina.

Com Marina		Índices de agitação					
Zona	T (s)	Min	Med	Max	Min	Med	Max
A	8	0.15	0.69	1.00	0.15	1.08	2.16
	10	0.42	0.83	1.09			
	12	0.47	0.94	1.26			
	14	0.57	1.08	1.66			
	16	0.89	1.30	1.66			
	18	0.61	1.22	1.77			
	20	1.12	1.48	2.16			
B	8	0.15	0.68	1.01			
	10	0.25	0.73	1.16			
	12	0.33	0.86	1.33			
	14	0.42	1.03	1.44	0.15	1.02	2.02
	16	0.61	1.17	1.59			
	18	0.76	1.35	1.72			
	20	0.58	1.33	2.02			
C	8	0.08	0.55	0.82	0.08	0.89	2.22
	10	0.27	0.66	0.88			
	12	0.39	0.80	1.16			
	14	0.35	0.94	1.67			
	16	0.45	1.05	1.37			
	18	0.40	1.16	2.22			
	20	0.56	1.06	1.45			
D	8	0.16	0.67	0.96			
	10	0.33	0.70	0.93			
	12	0.40	0.76	1.10			
	14	0.42	0.86	1.18	0.16	0.87	1.57
	16	0.41	0.93	1.29			
	18	0.61	0.99	1.20			
	20	0.68	1.16	1.57			
E	8	0.02	0.18	0.32	0.02	0.47	1.04
	10	0.12	0.37	0.55			
	12	0.12	0.40	0.72			
	14	0.21	0.54	1.04			
	16	0.28	0.60	0.99			
	18	0.33	0.62	0.87			
	20	0.31	0.63	0.94			
F	8	0.02	0.15	0.27			
	10	0.06	0.24	0.42			
	12	0.10	0.31	0.61			
	14	0.10	0.27	0.44	0.02	0.27	0.61
	16	0.14	0.34	0.47			
	18	0.10	0.24	0.37			
	20	0.18	0.35	0.55			

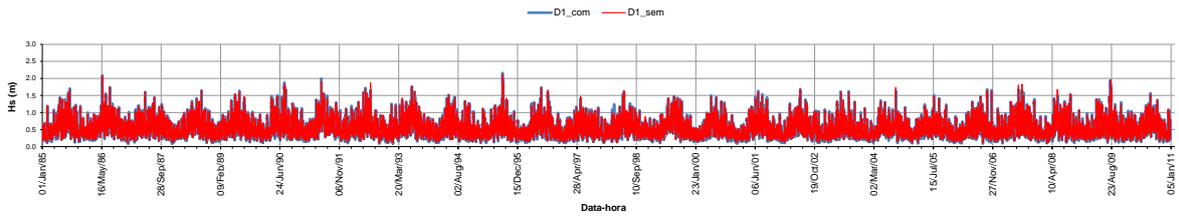


Figura A-43 – Ponto D1. Série temporal das alturas de onda  $H_s$ . Situações sem e com marina

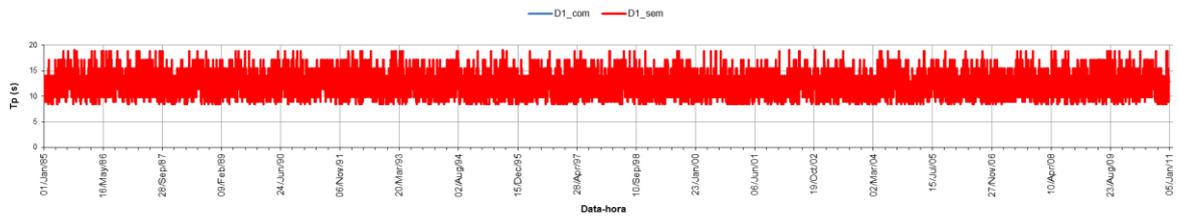


Figura A-72 – Ponto D1. Série temporal dos períodos de pico  $T_p$ . Situações sem e com marina

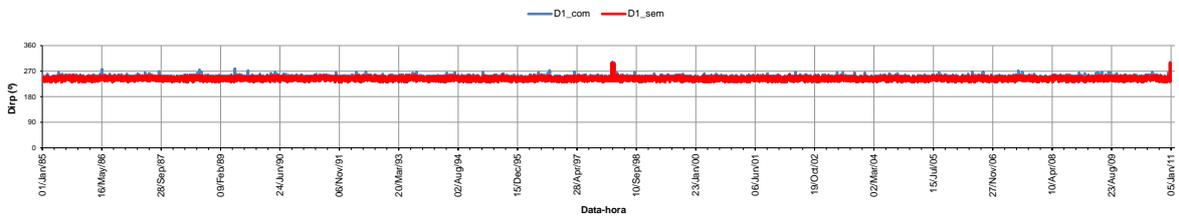


Figura A-73 – Ponto D1. Série temporal de direções  $Dir_p$ . Situações sem e com marina

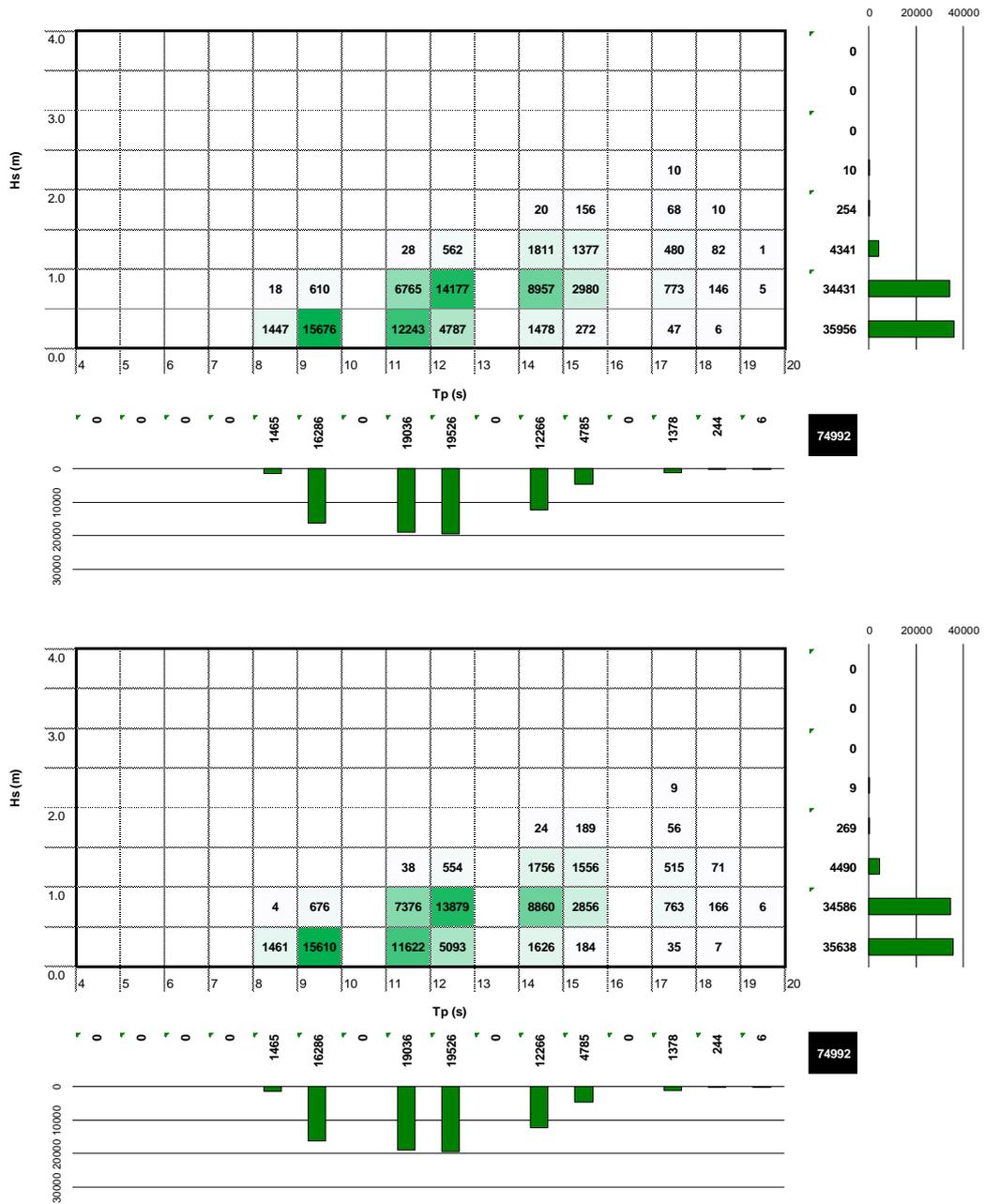


Figura A-74 – Ponto D1. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

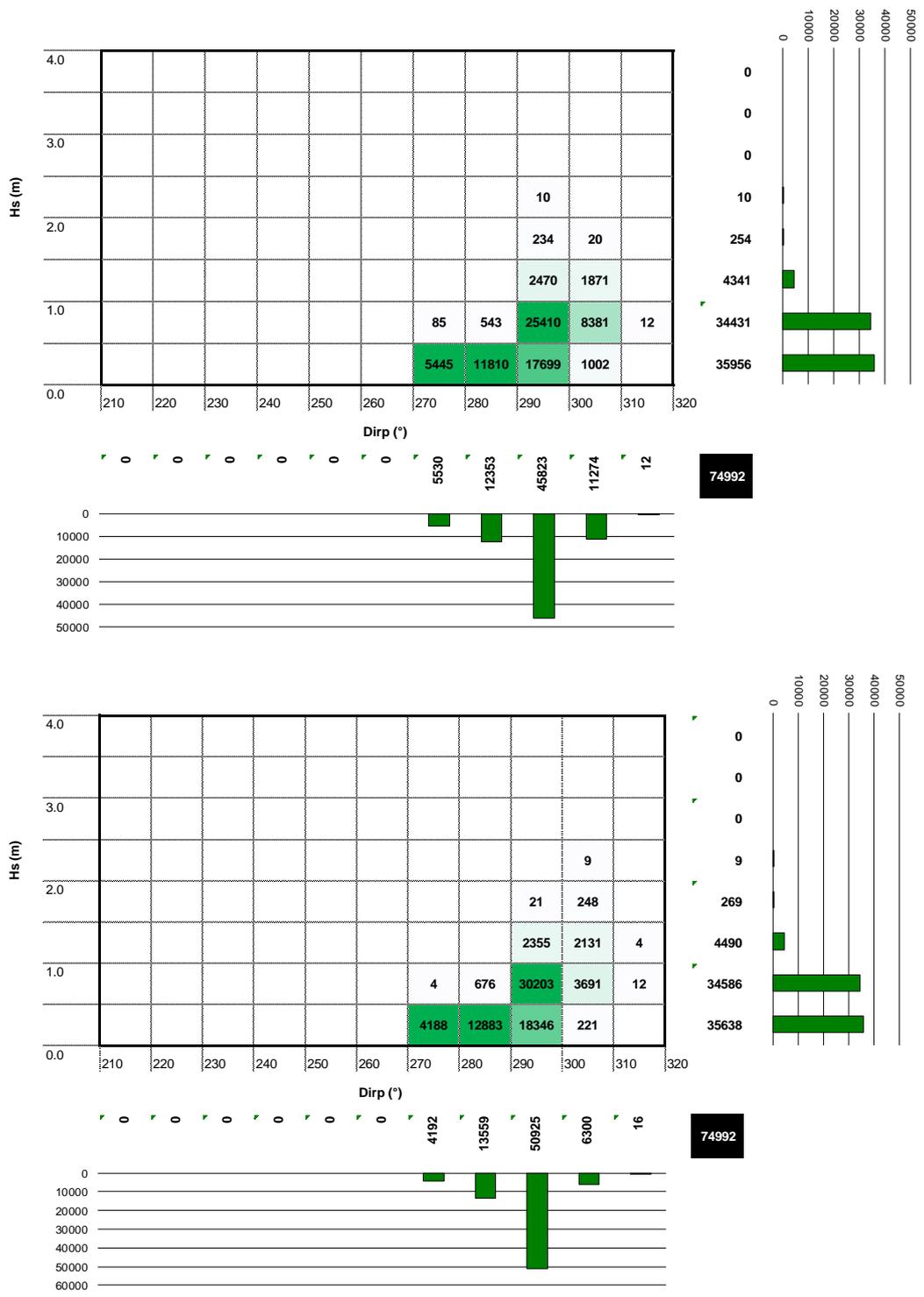


Figura A-75 – Ponto D1. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

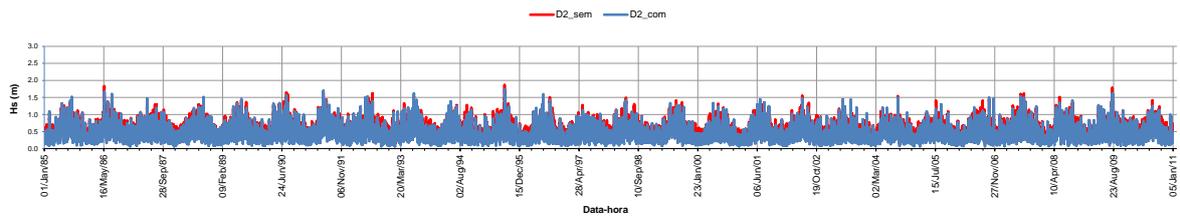


Figura A-76 – Ponto D2. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marinha

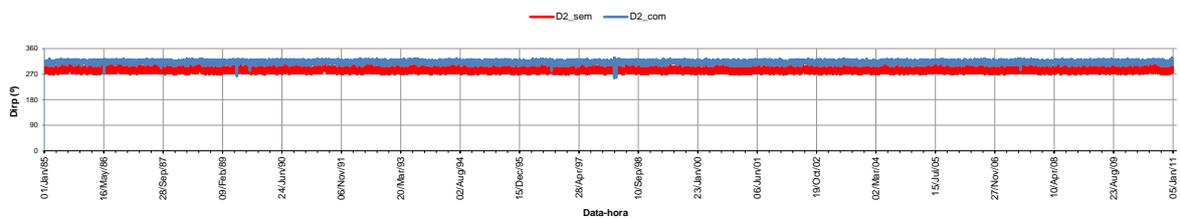


Figura A-77 – Ponto D2. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marinha

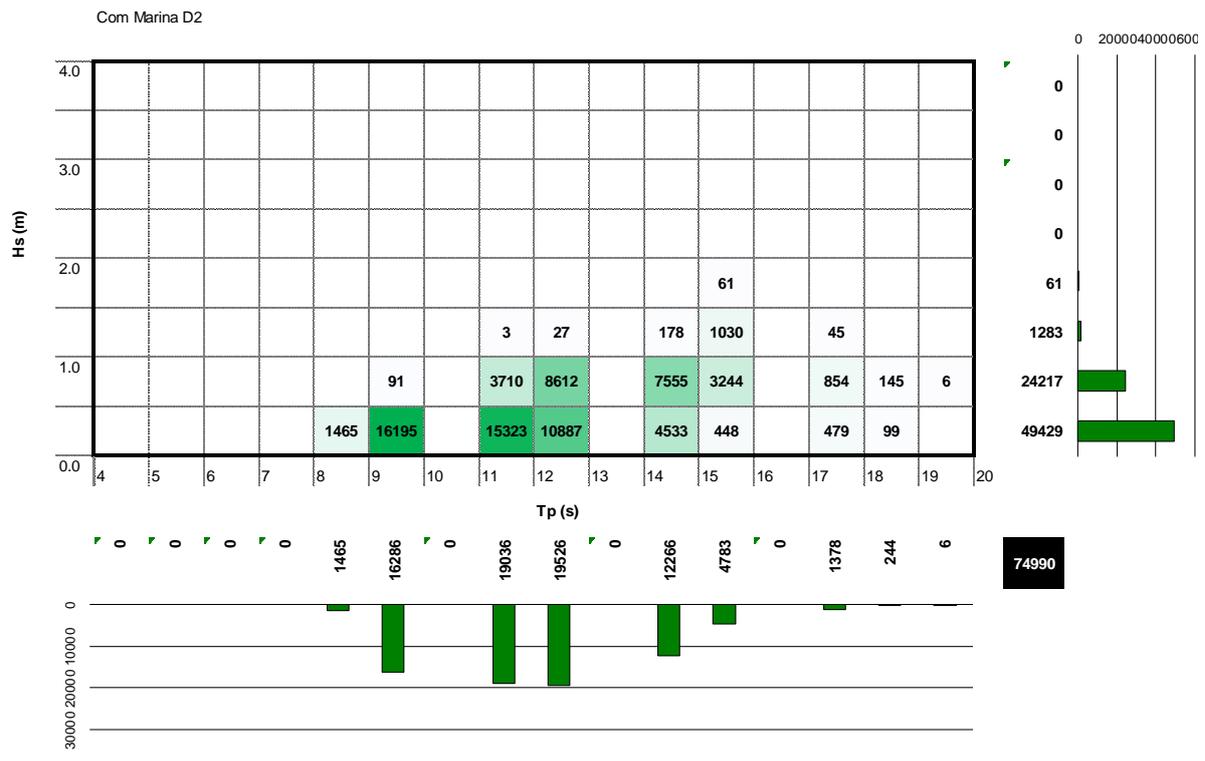
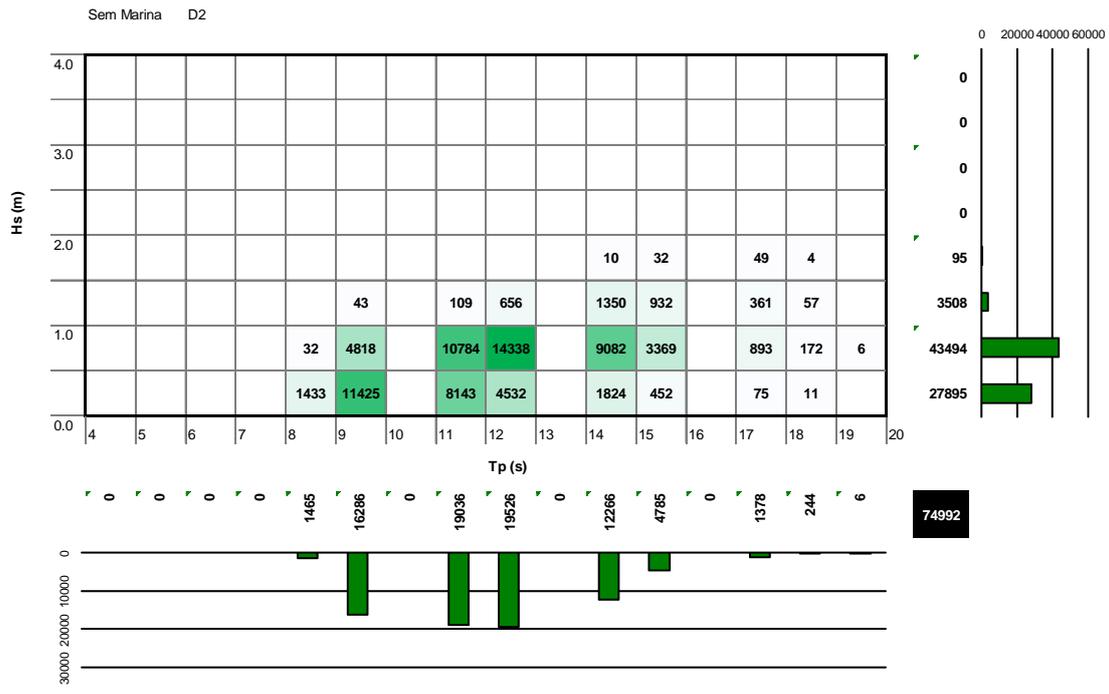


Figura A-78 – Ponto D2. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

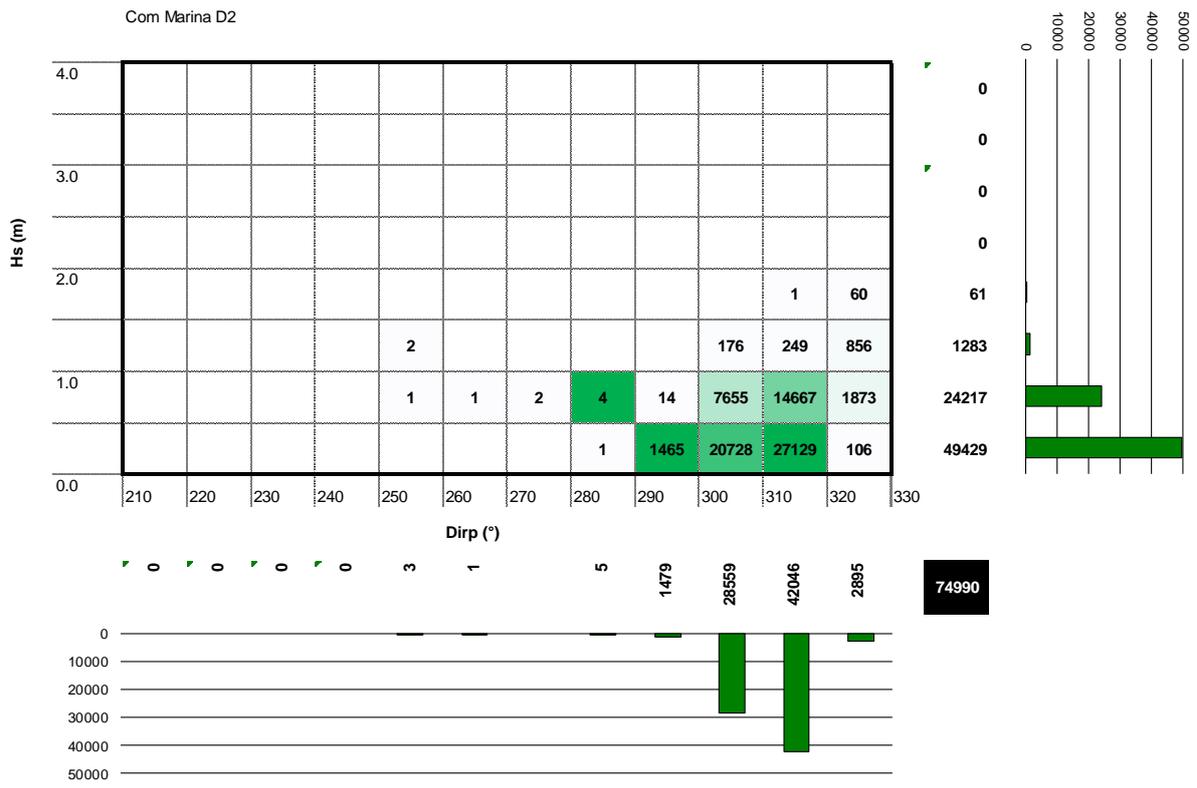
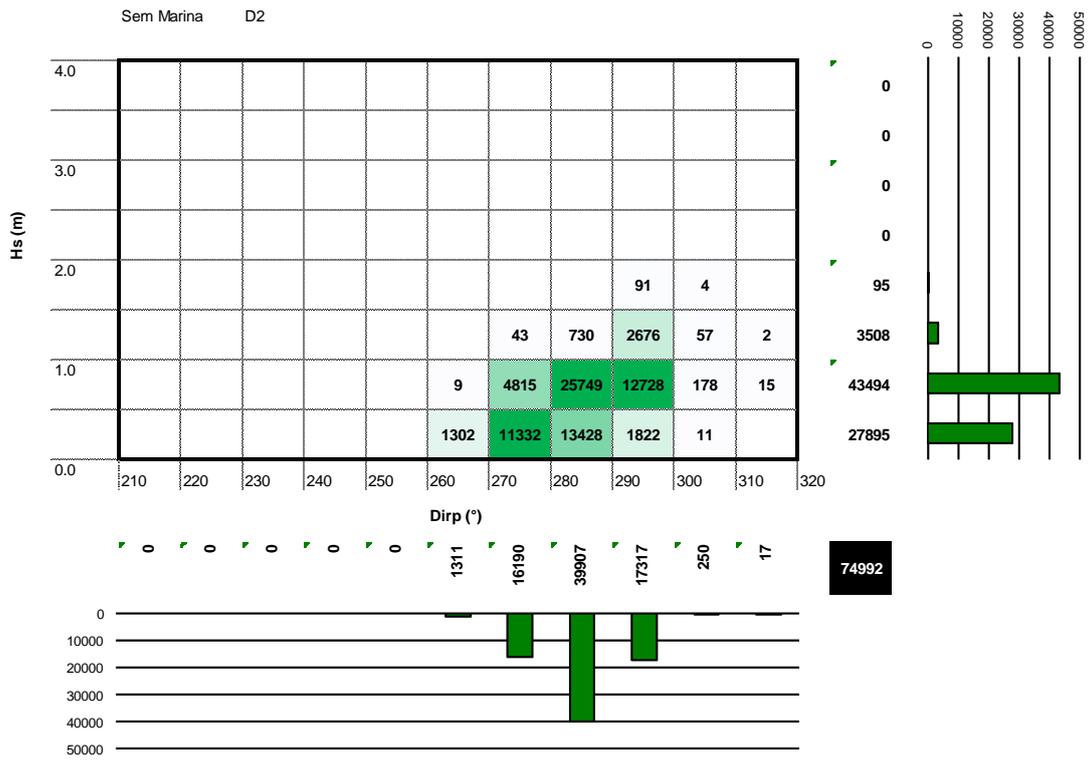


Figura A-79 – Ponto D2. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

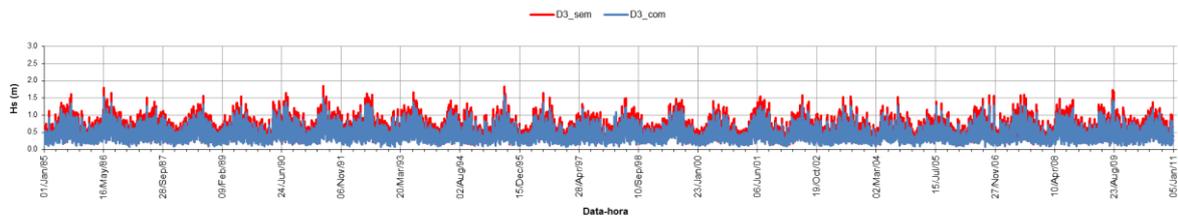


Figura A-1 – Ponto D3. Série temporal das alturas de onda  $H_s$ . Situações sem e com marina

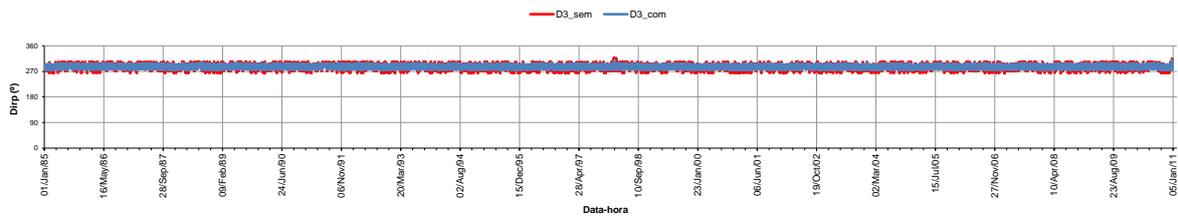


Figura A-80 – Ponto D3. Série temporal de direções  $Dirp$ . Situações sem e com marina



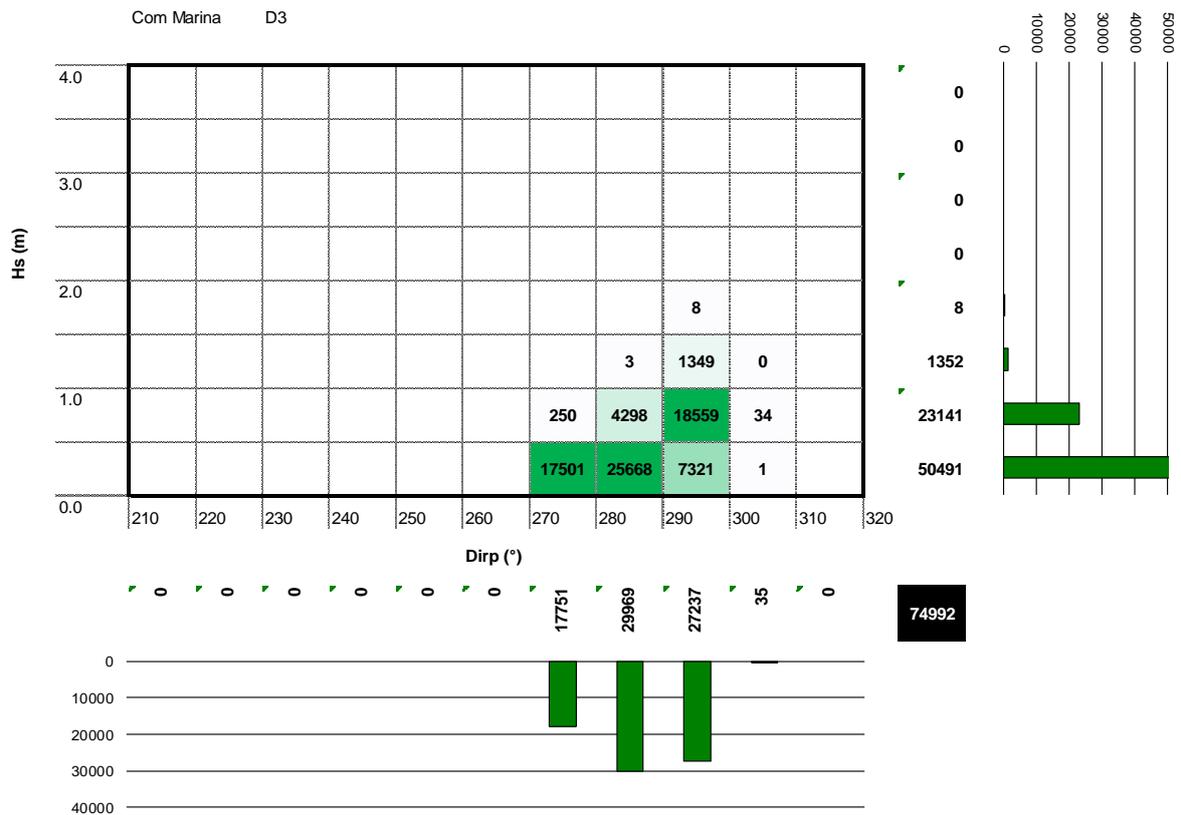
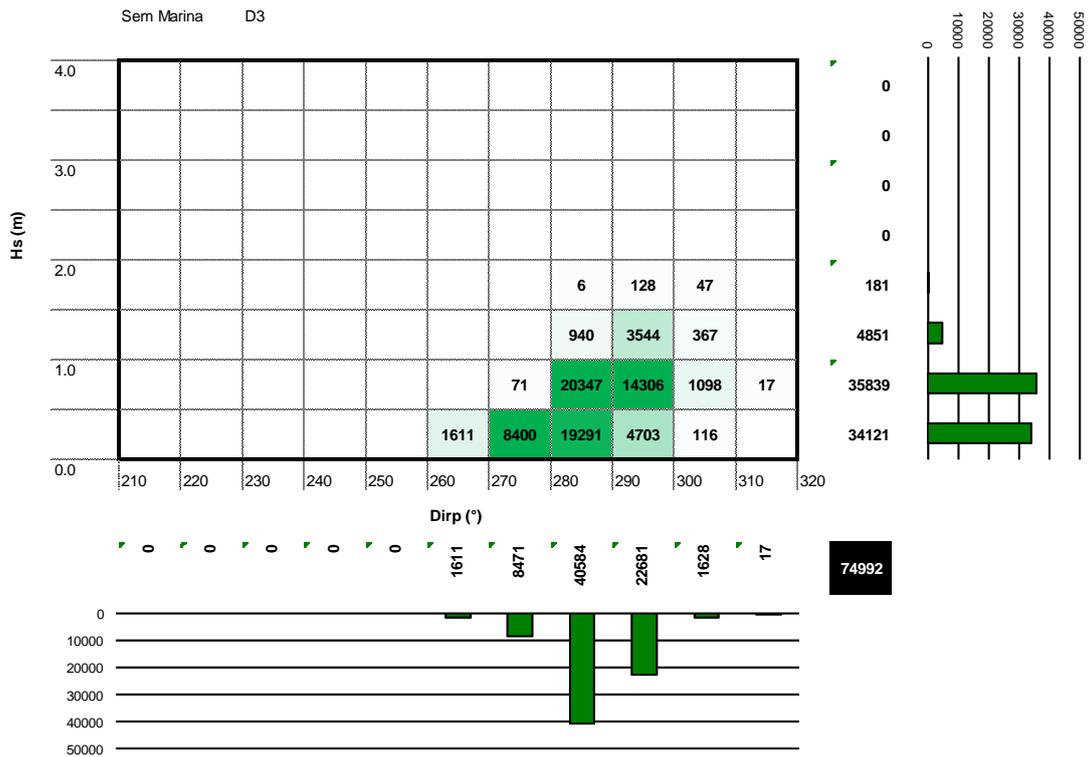


Figura A-82 – Ponto D3. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

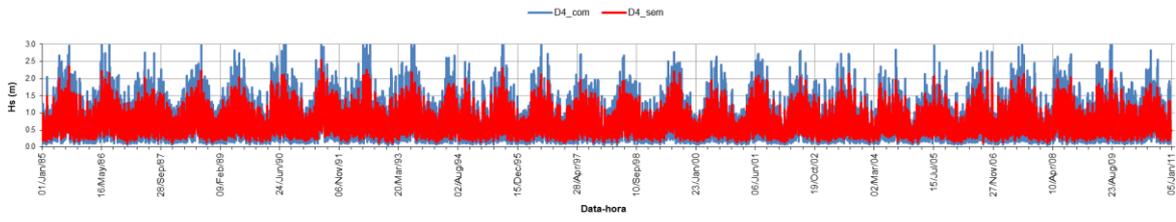


Figura A-83 – Ponto D4. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marinha

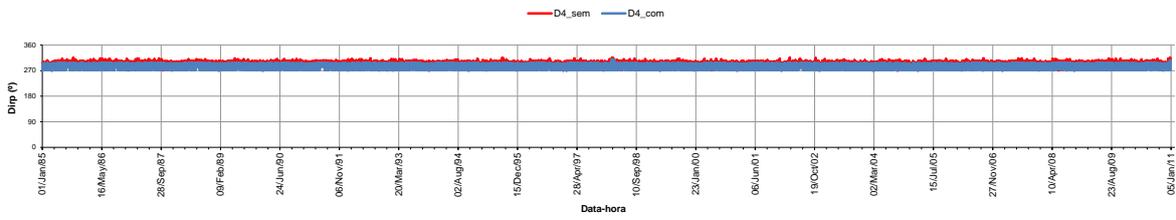


Figura A-84 – Ponto D4. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marinha

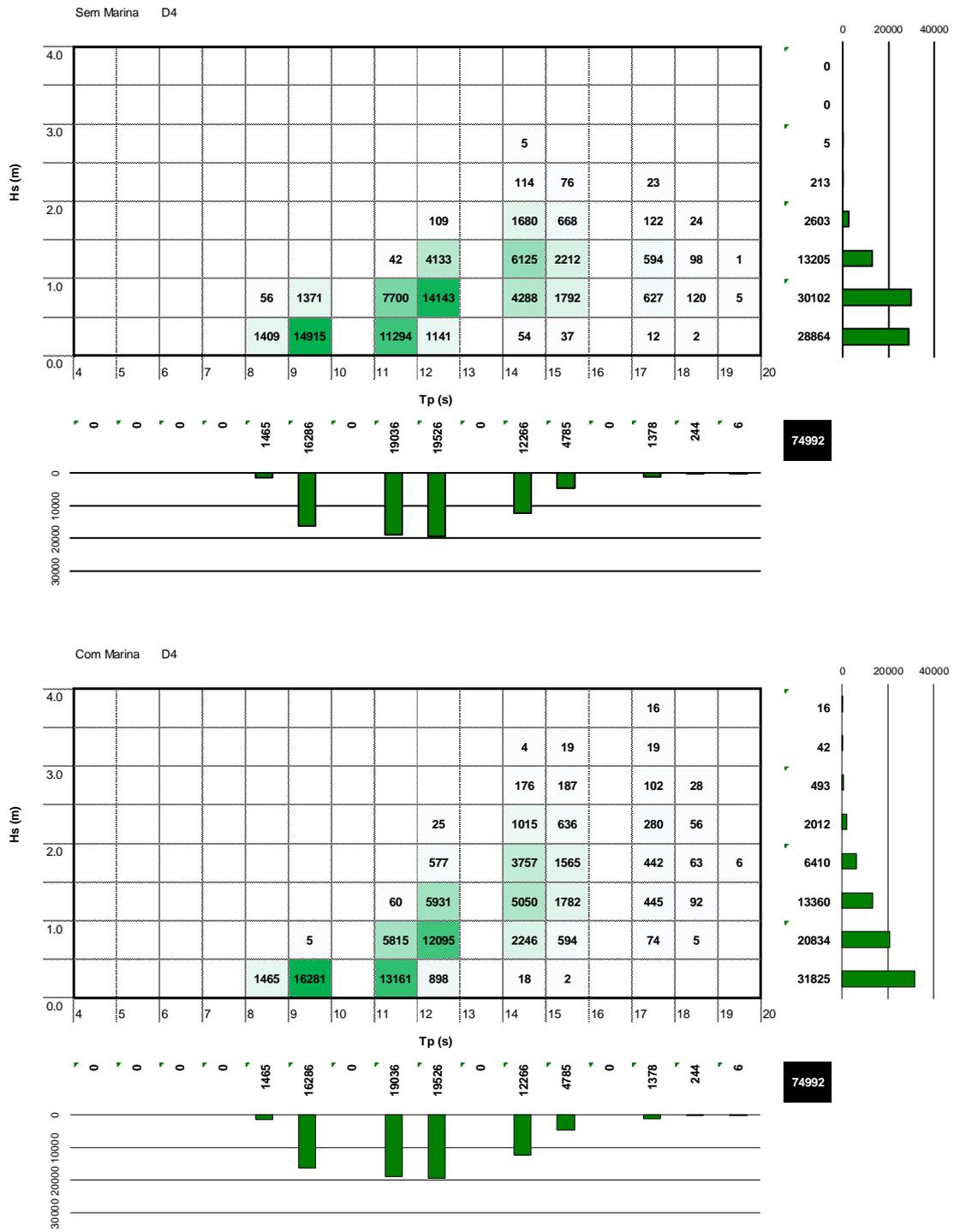


Figura A-85 – Ponto D4. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

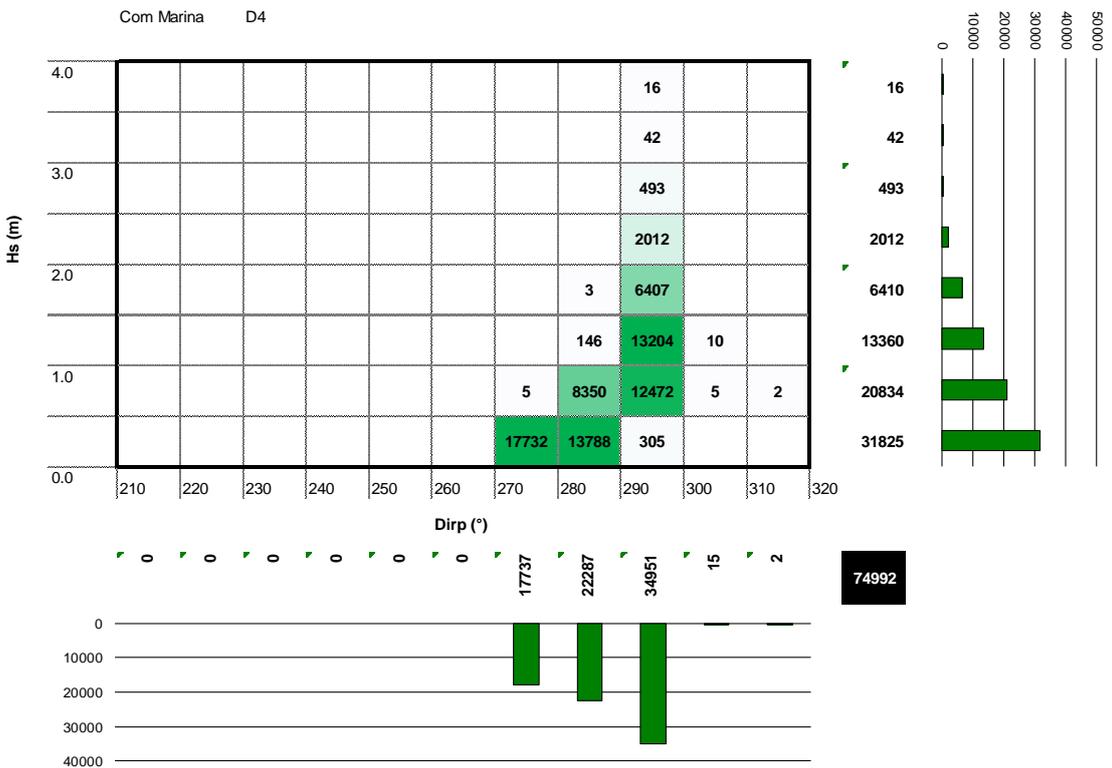
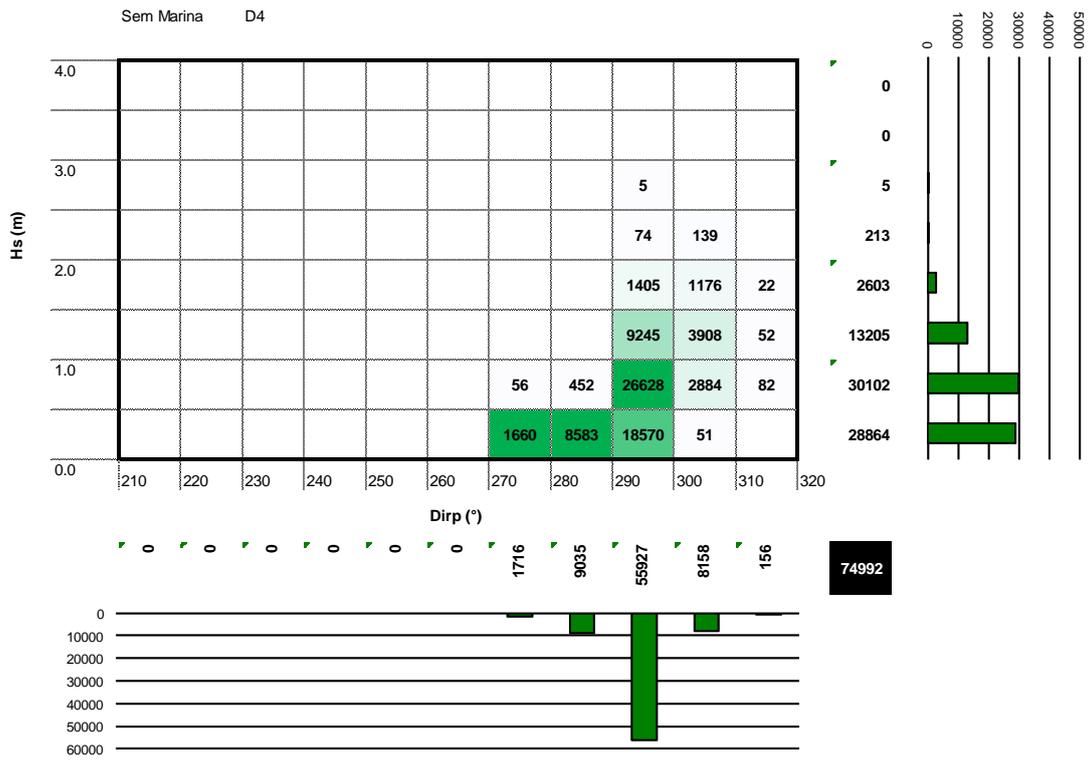


Figura A-86 – Ponto D4. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

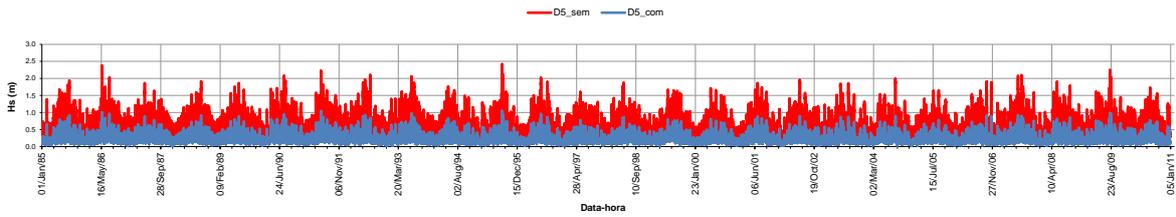


Figura A-87 – Ponto D5. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marinha

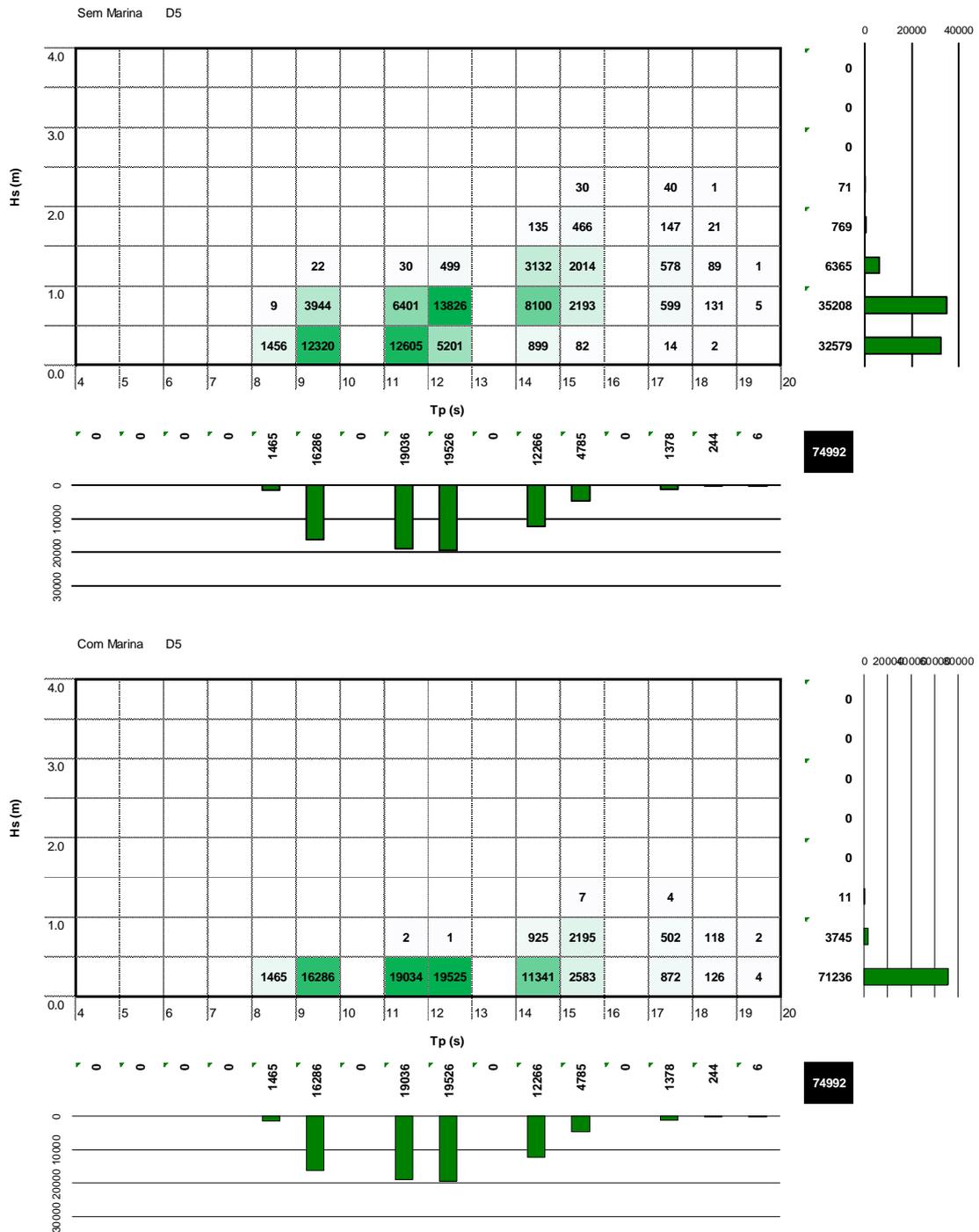


Figura A-88 – Ponto D5. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marinha

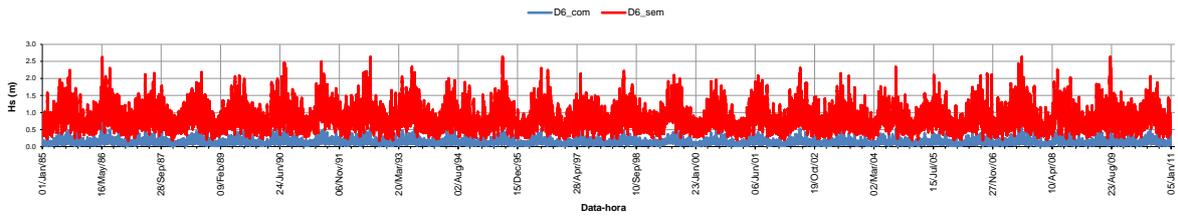


Figura A-89 – Ponto D6. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

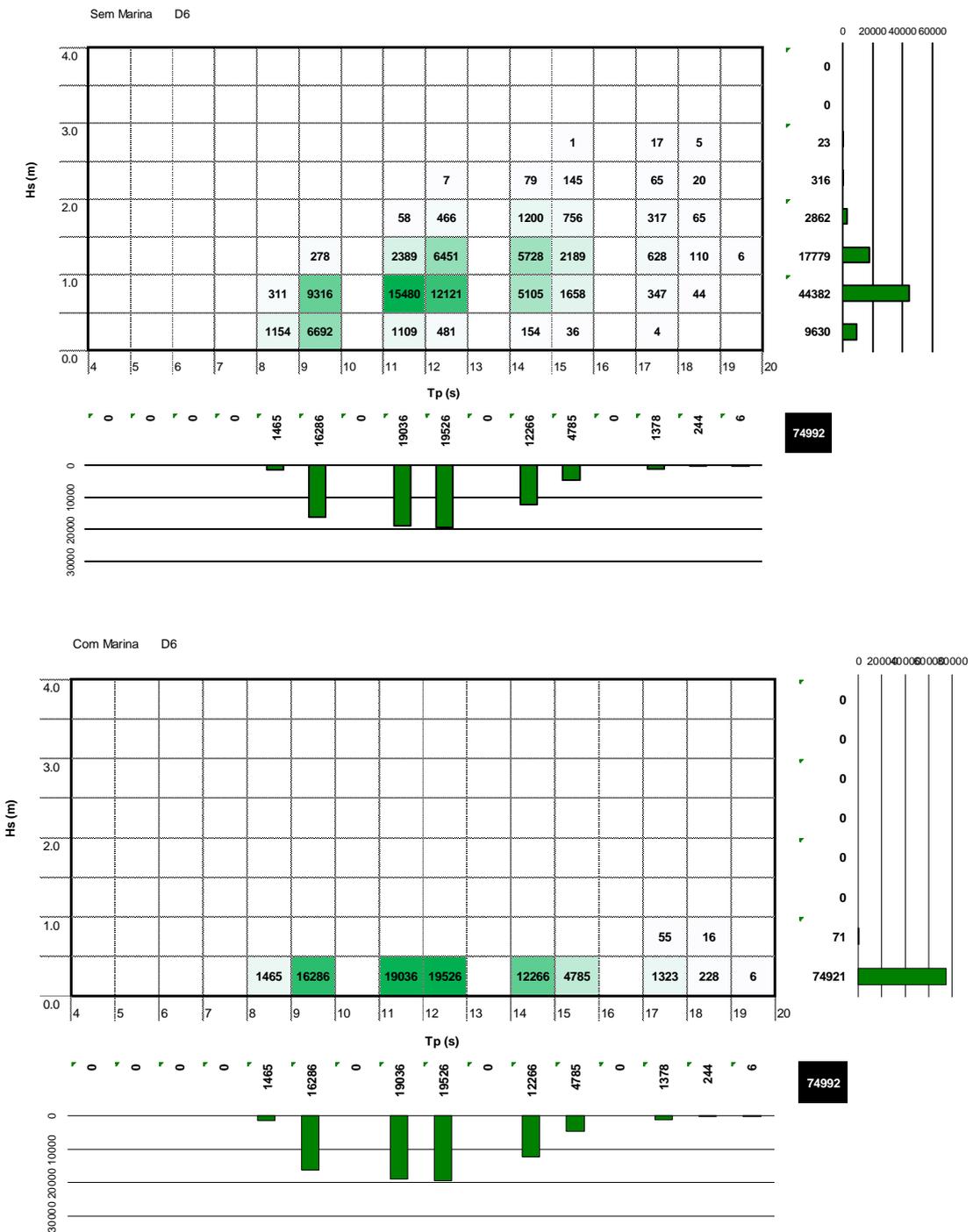


Figura A-90 – Ponto D6. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

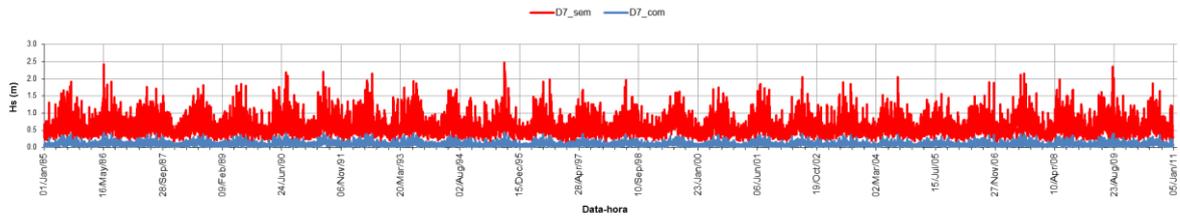


Figura A-91 – Ponto D7. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

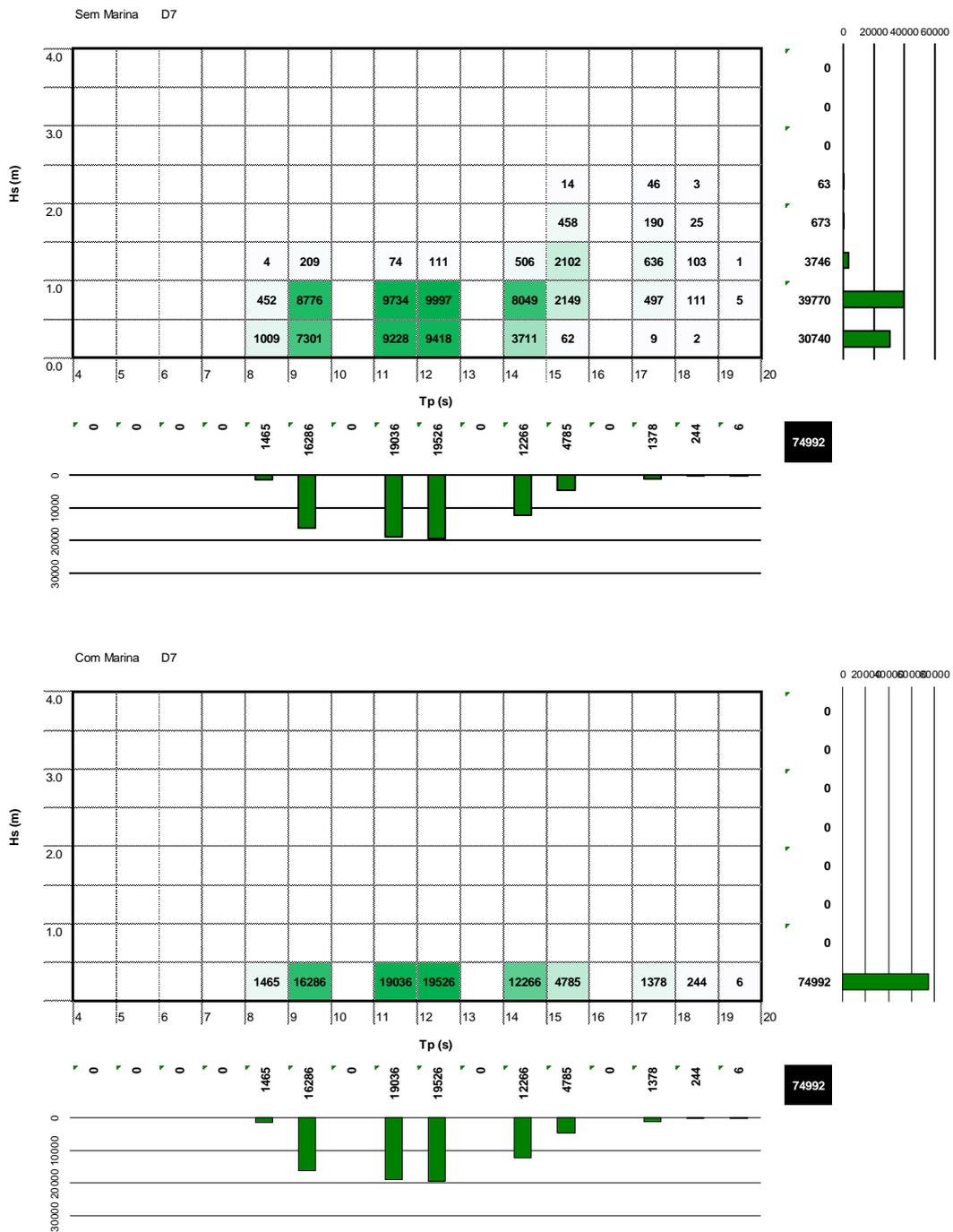


Figura A-92 – Ponto D7. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

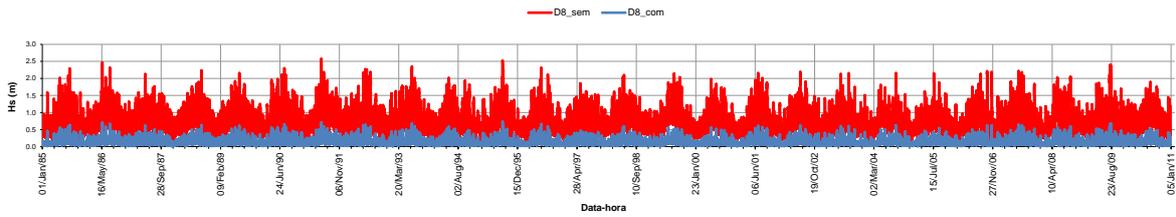


Figura A-93 – Ponto D8. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marinha

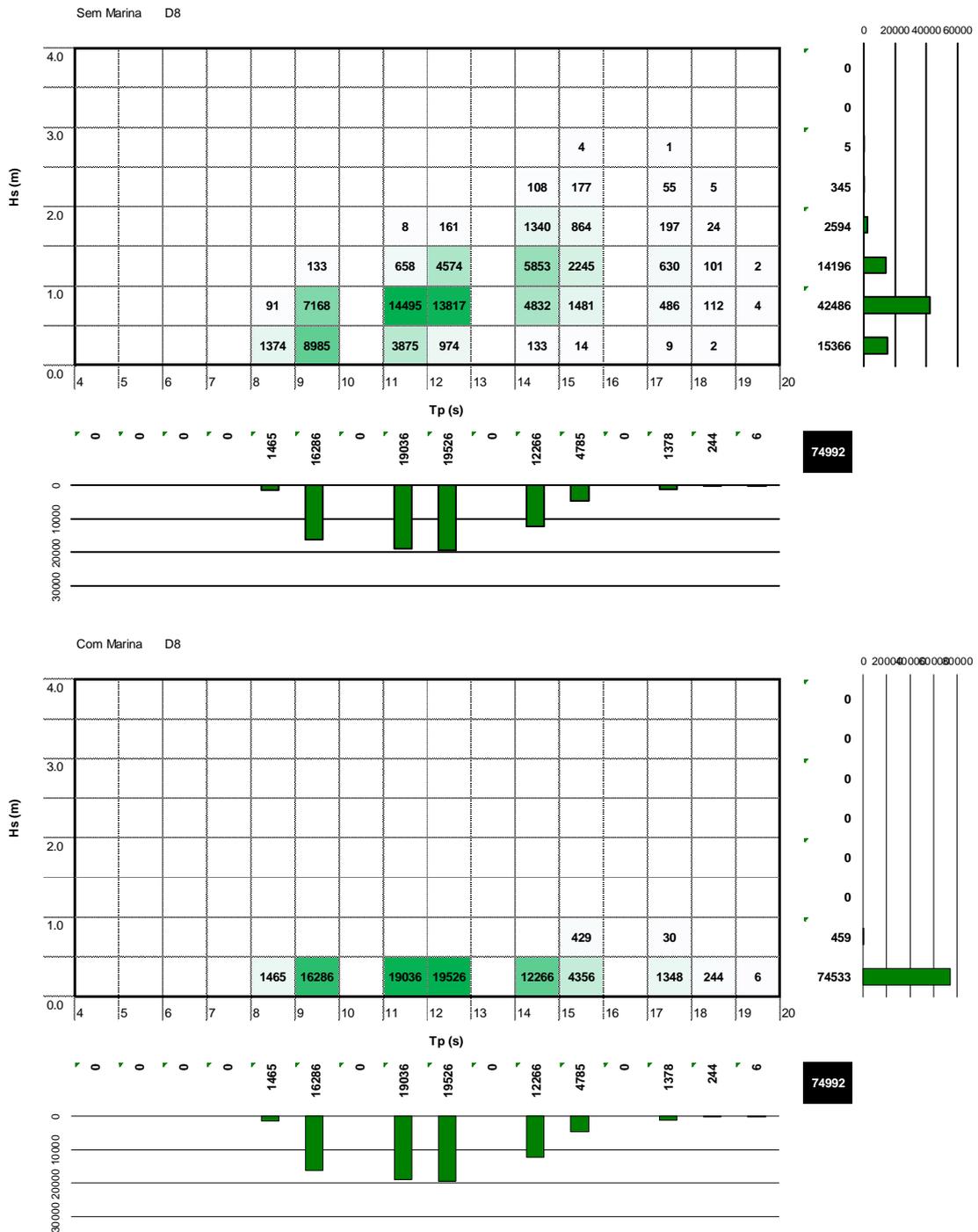


Figura A-94 – Ponto D8. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marinha

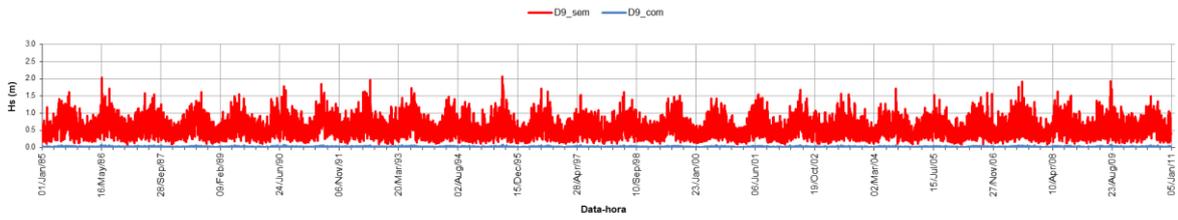


Figura A-95 – Ponto D9. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

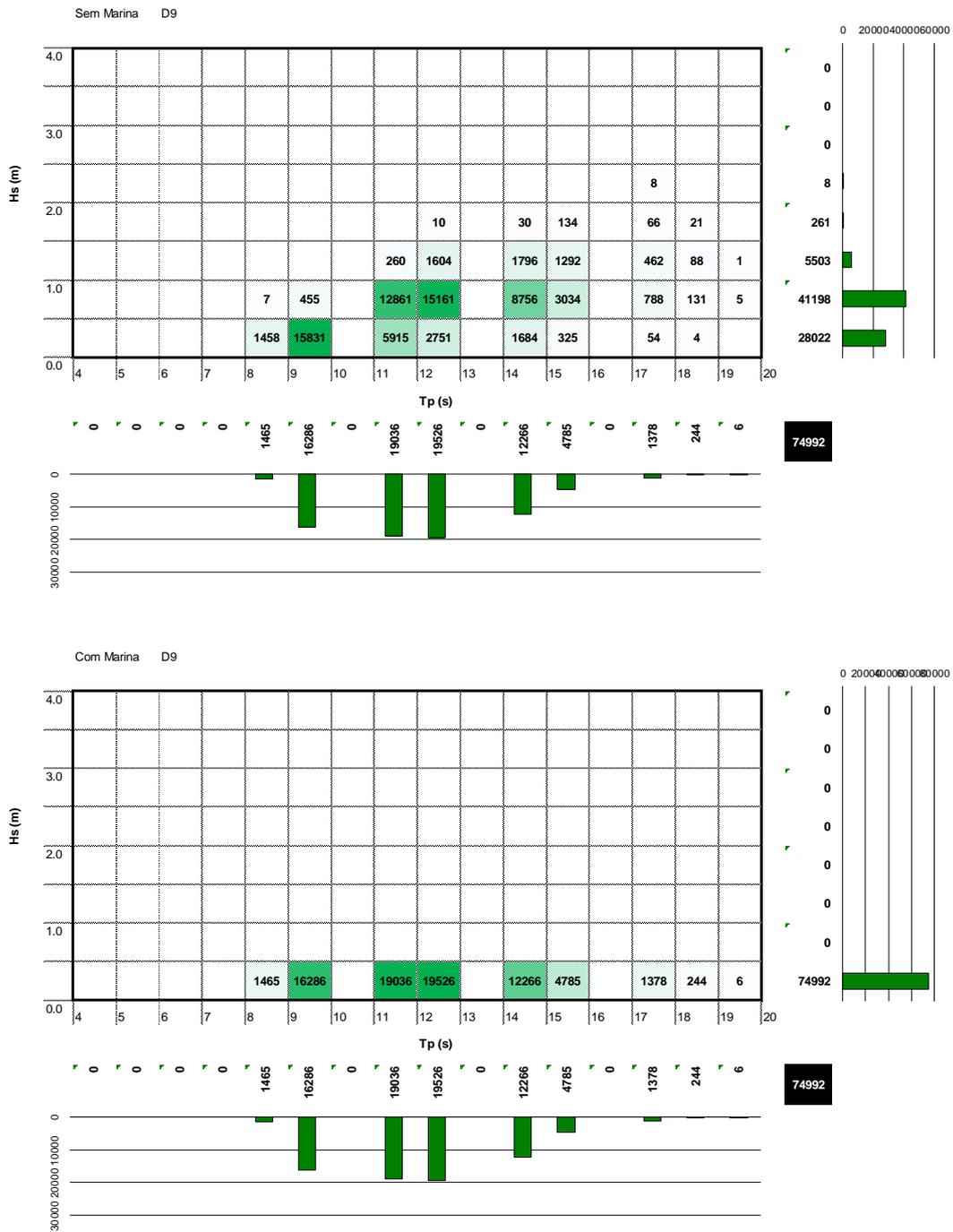


Figura A-96 – Ponto D9. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

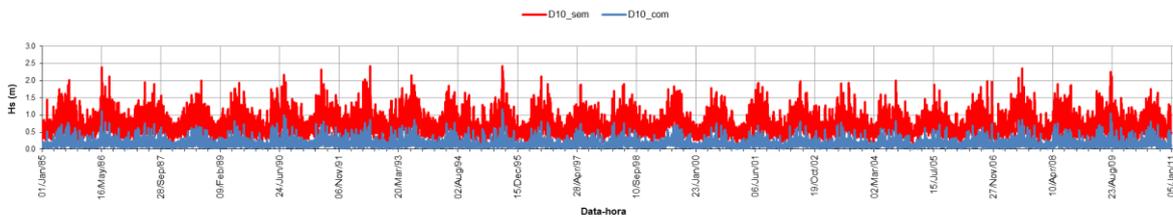


Figura A-97 – Ponto D10. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

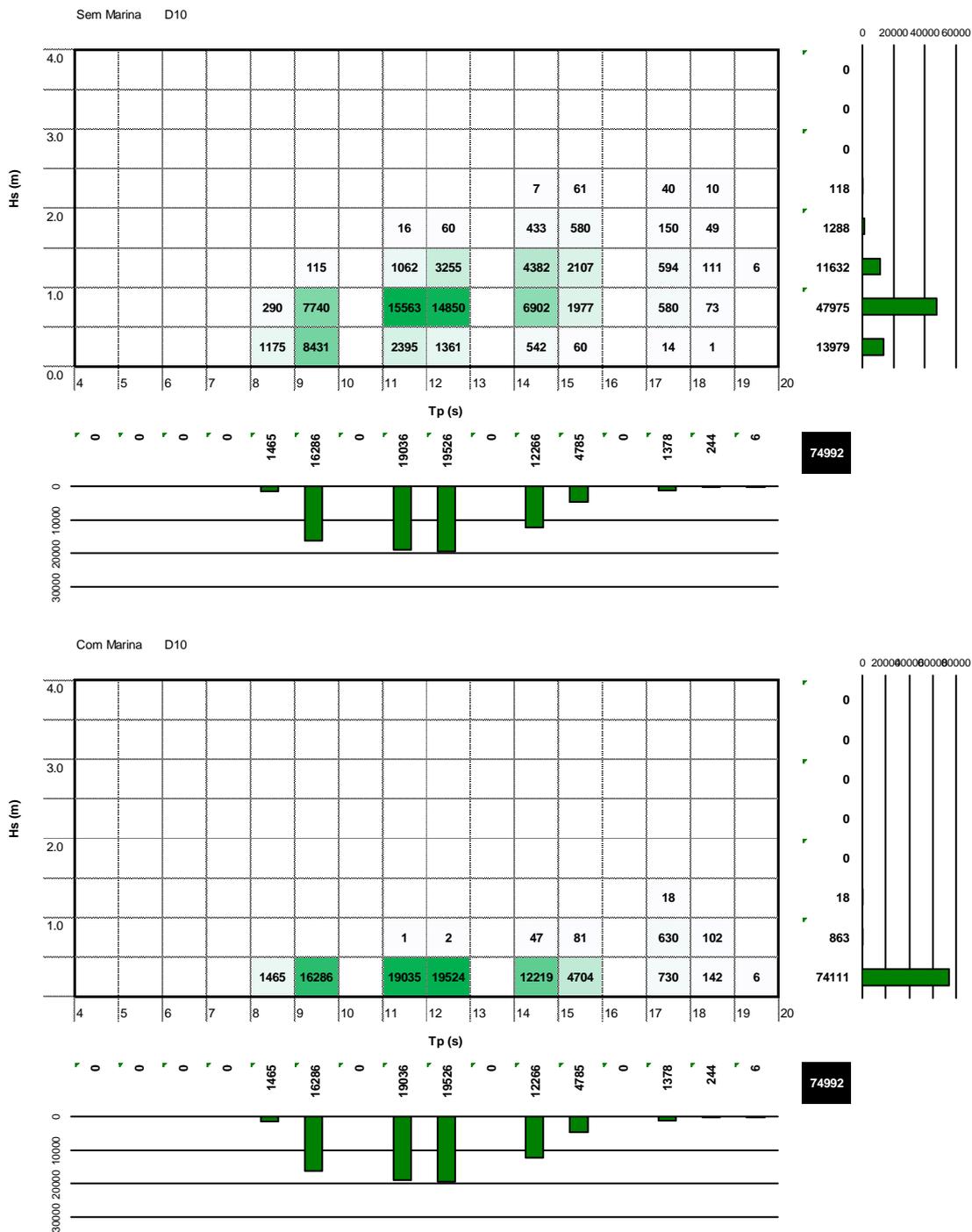


Figura A-98 – Ponto D10. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

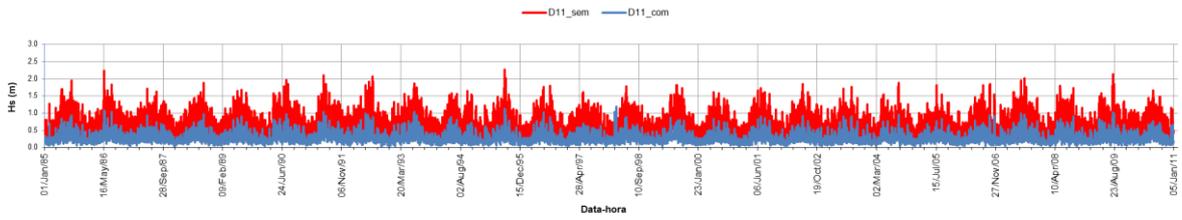


Figura A-99 – Ponto D11. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

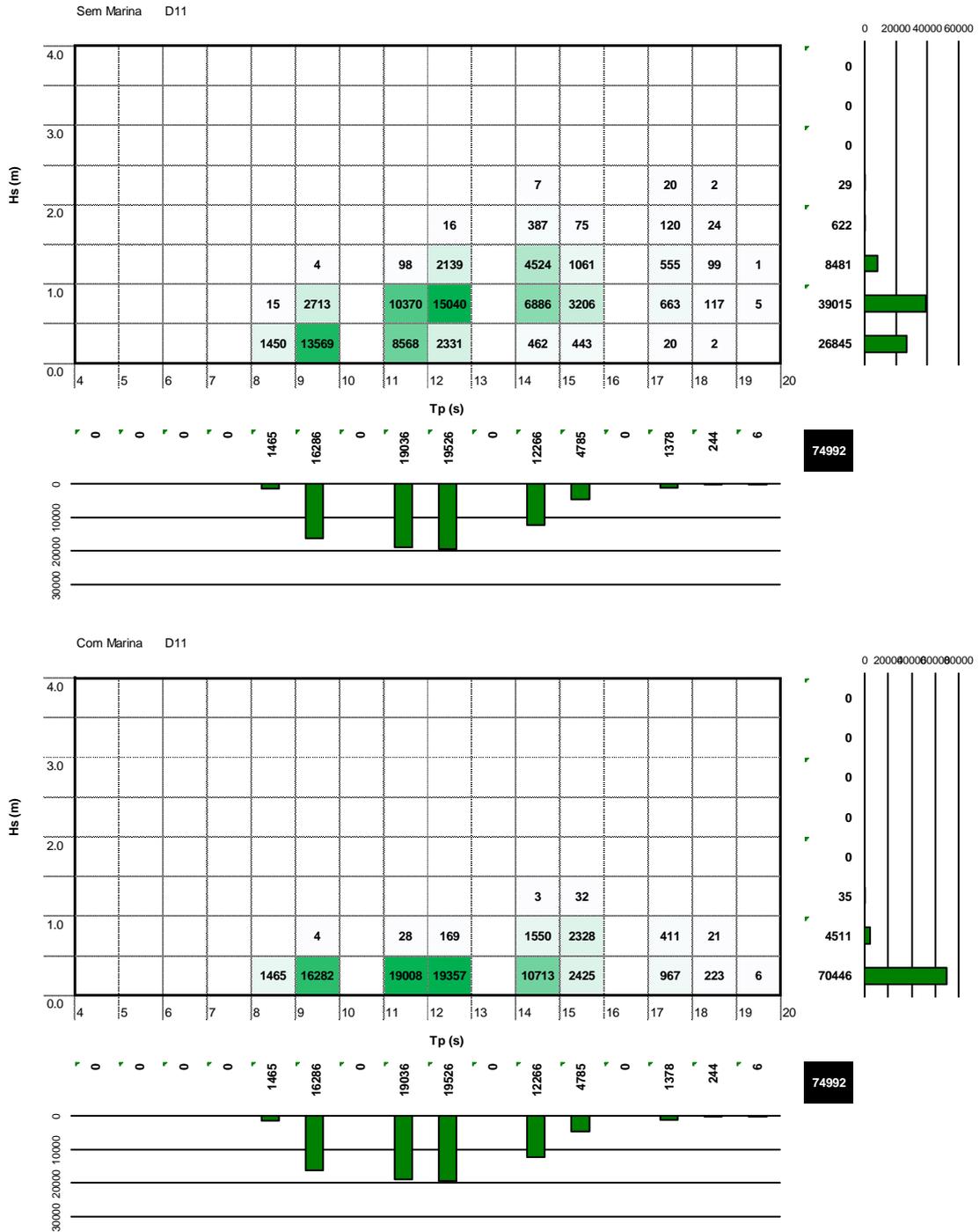


Figura A-100 – Ponto D11. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

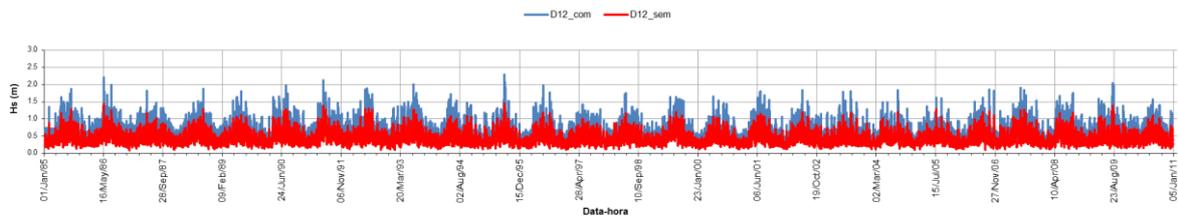


Figura A-101 – Ponto D12. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

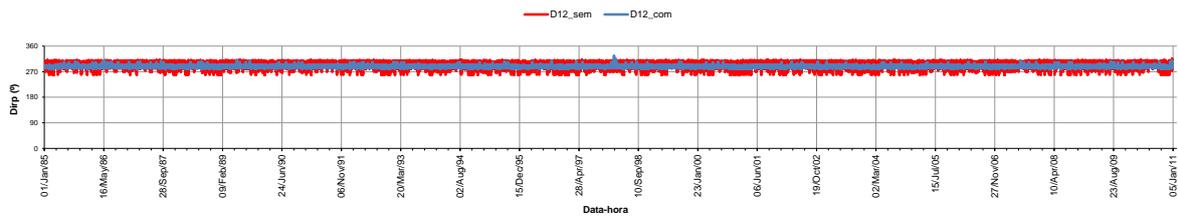


Figura A-102 – Ponto D12. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina

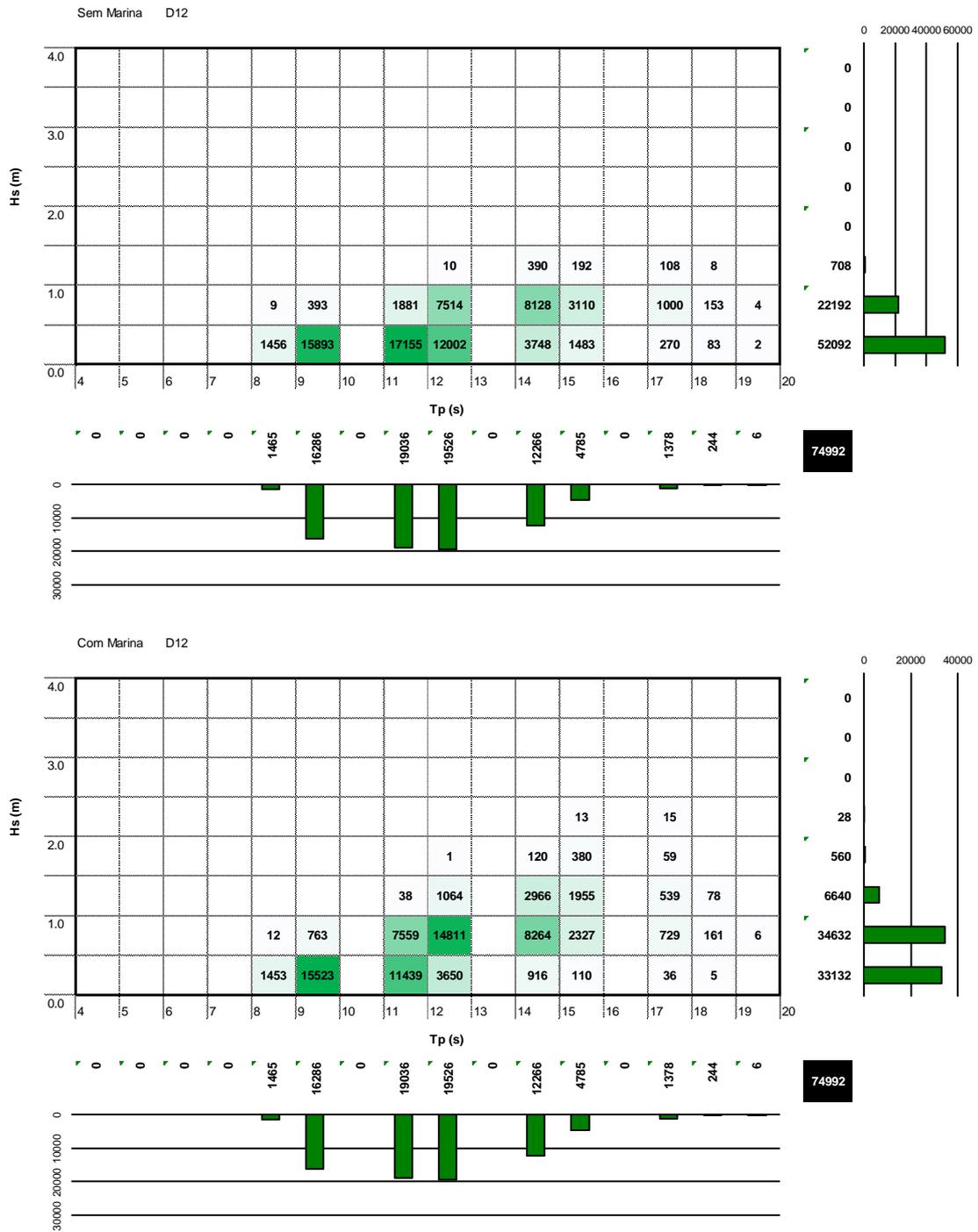


Figura A-103 – Ponto D12. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

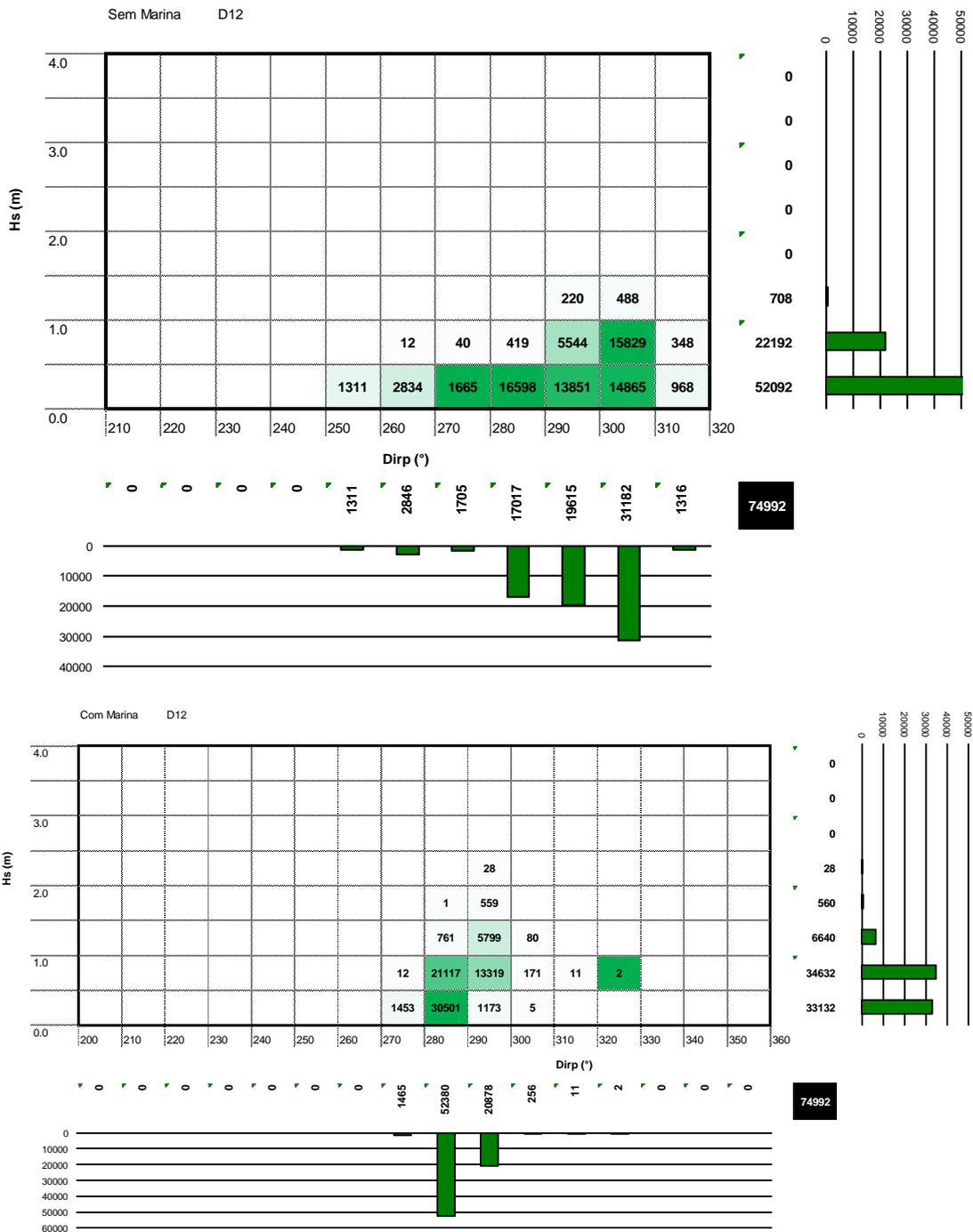


Figura A-104 – Ponto D12. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

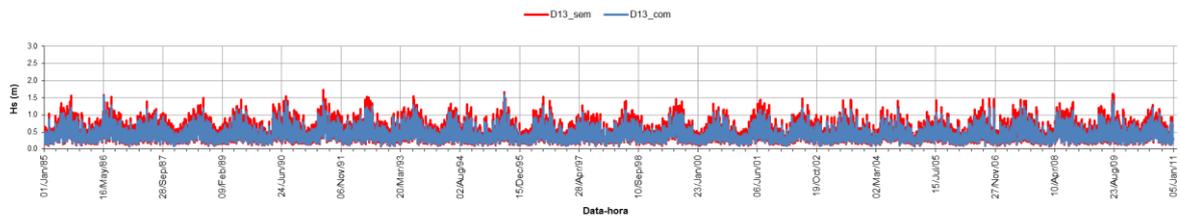


Figura A-105 – Ponto D13. Série temporal das alturas de onda  $H_s$ . Situações sem e com marina

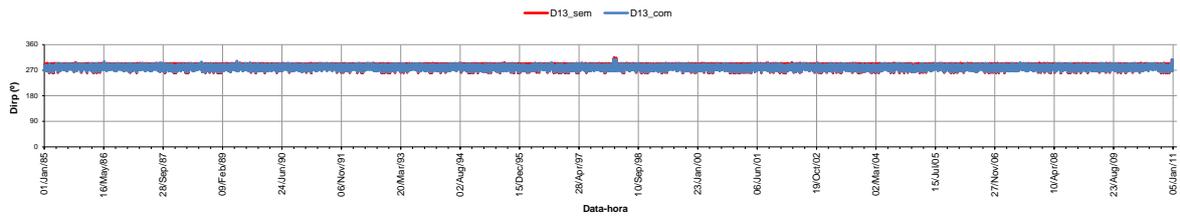


Figura A-106 – Ponto D13. Série temporal de direções  $Dirp$ . Situações sem e com marina

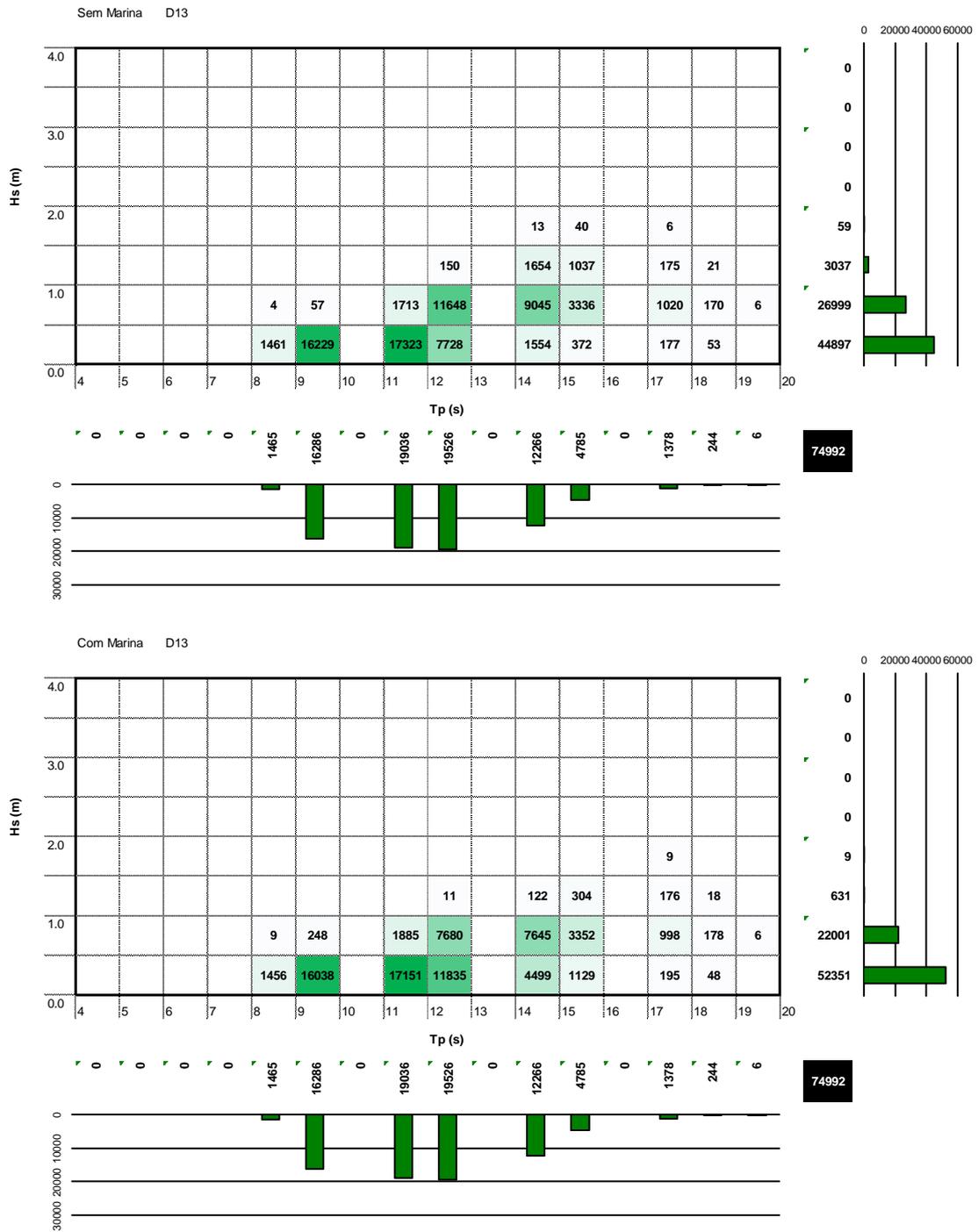


Figura A-107 – Ponto D13. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

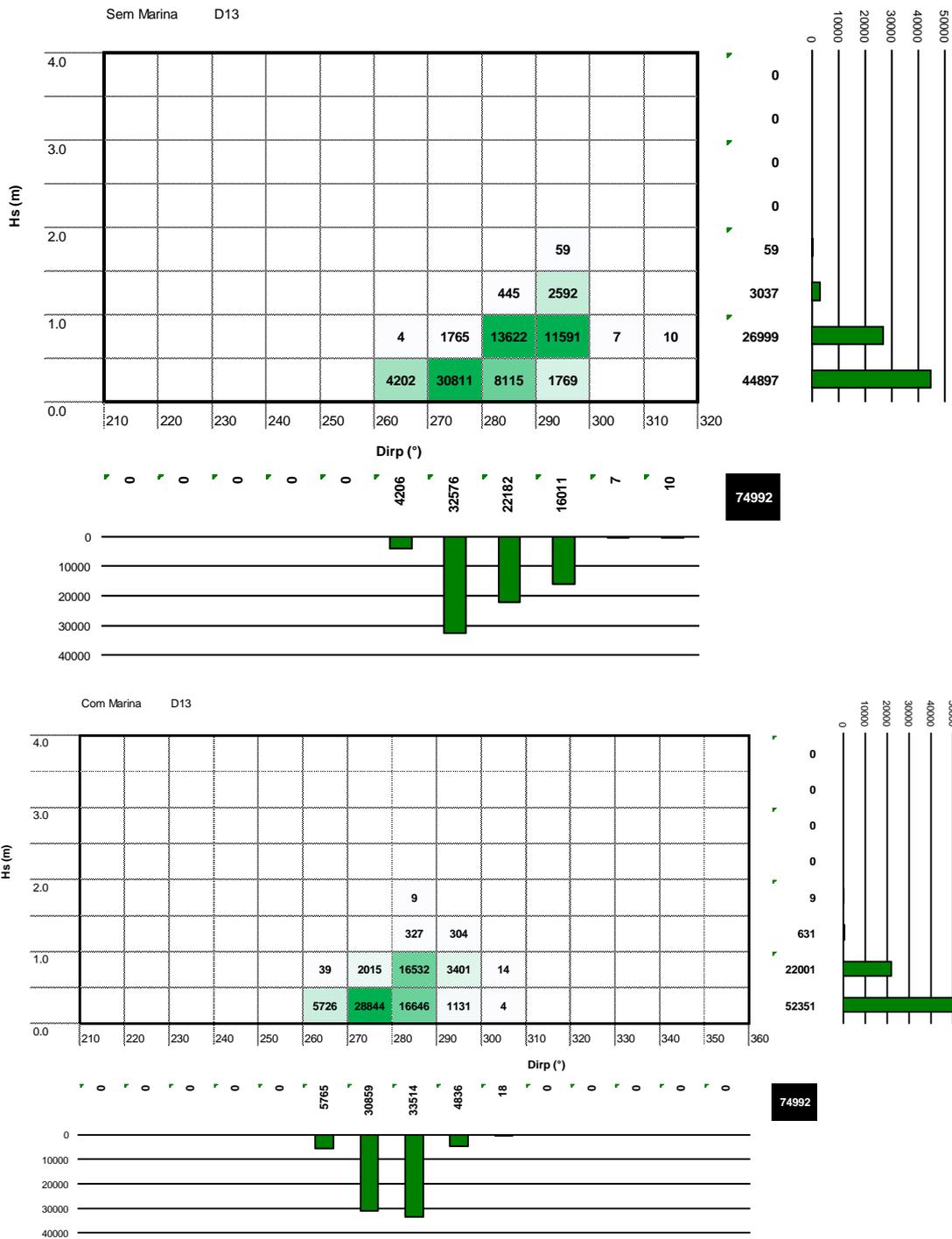


Figura A-108 – Ponto D13. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

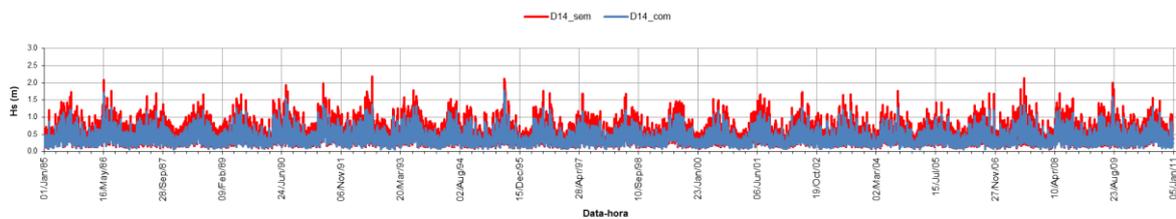


Figura A-109 – Ponto D14. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

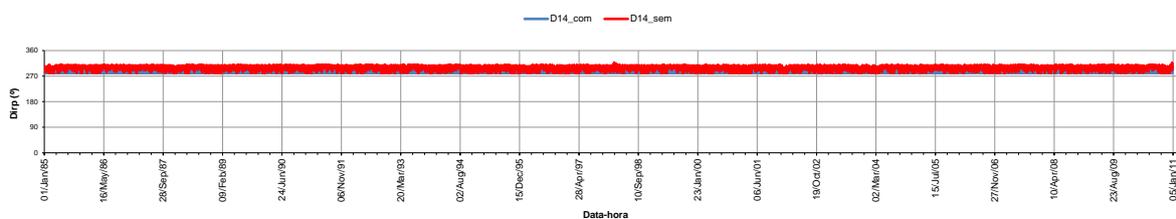


Figura A-110 – Ponto D14. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina

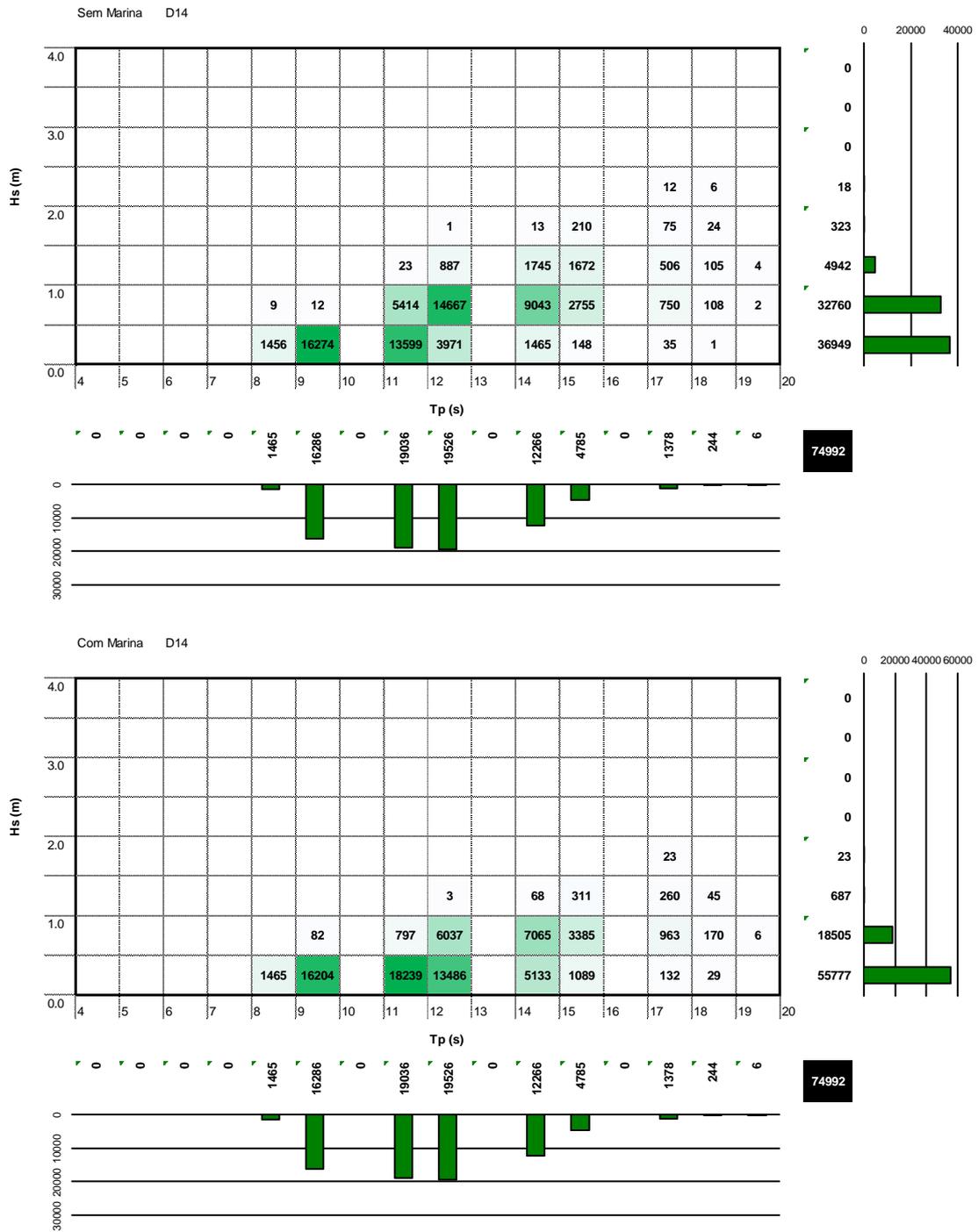


Figura A-111 – Ponto D14. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

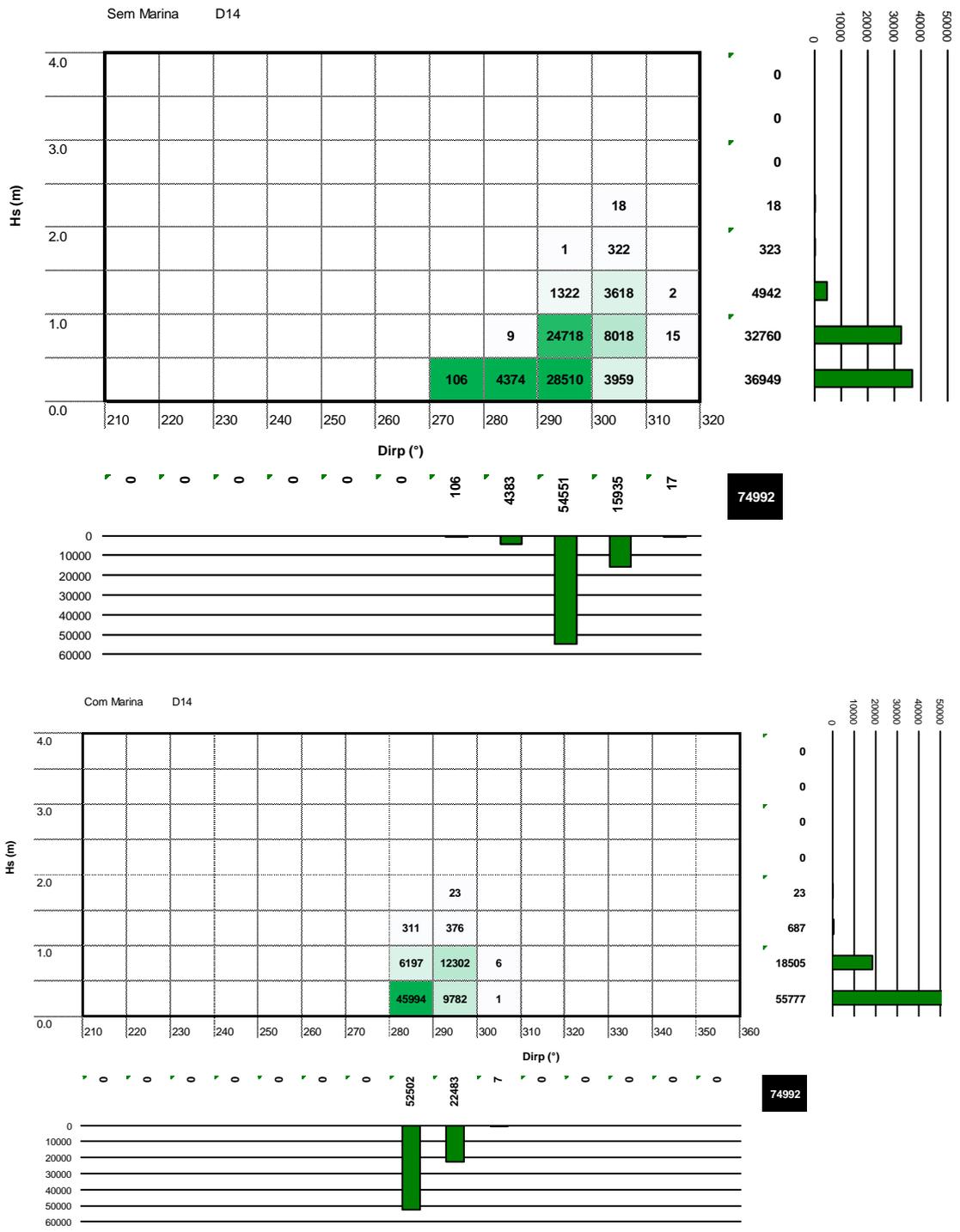


Figura A-112 – Ponto D14. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

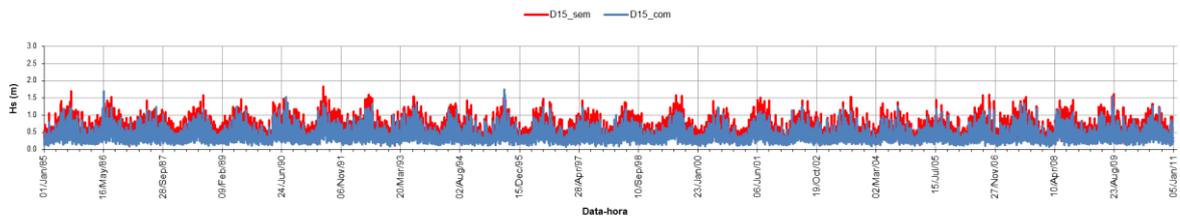


Figura A-113 – Ponto D15. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

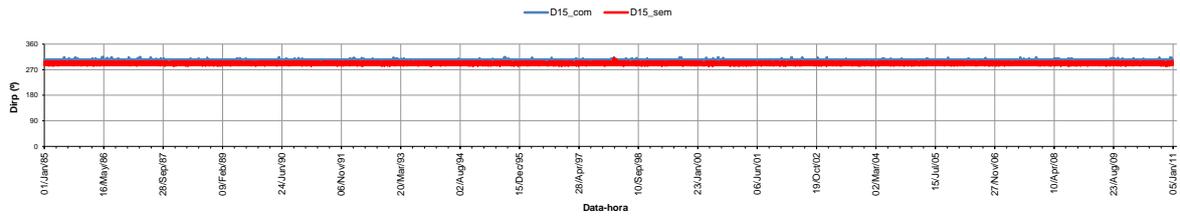


Figura A-114 – Ponto D15. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina

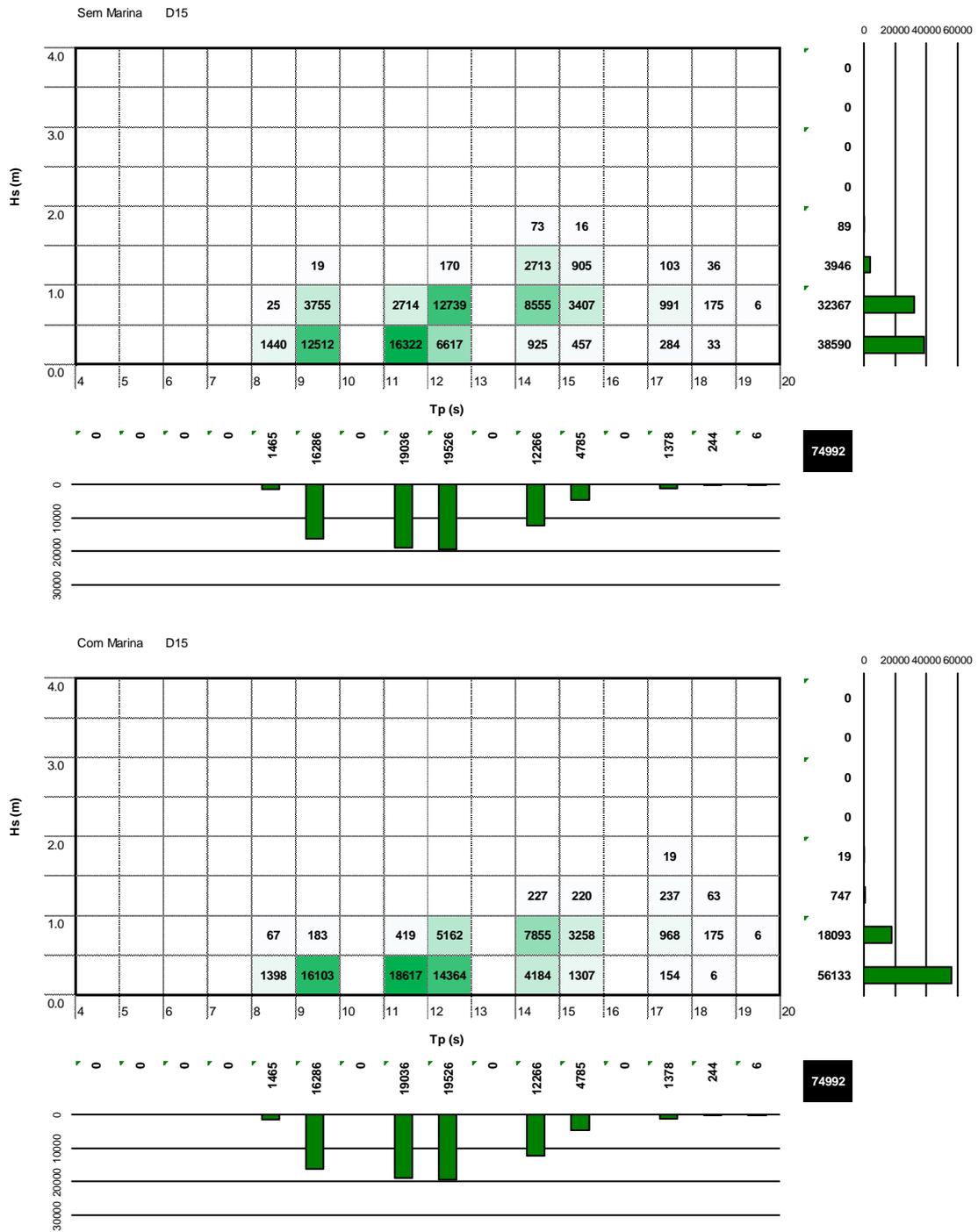


Figura A-115 – Ponto D15. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

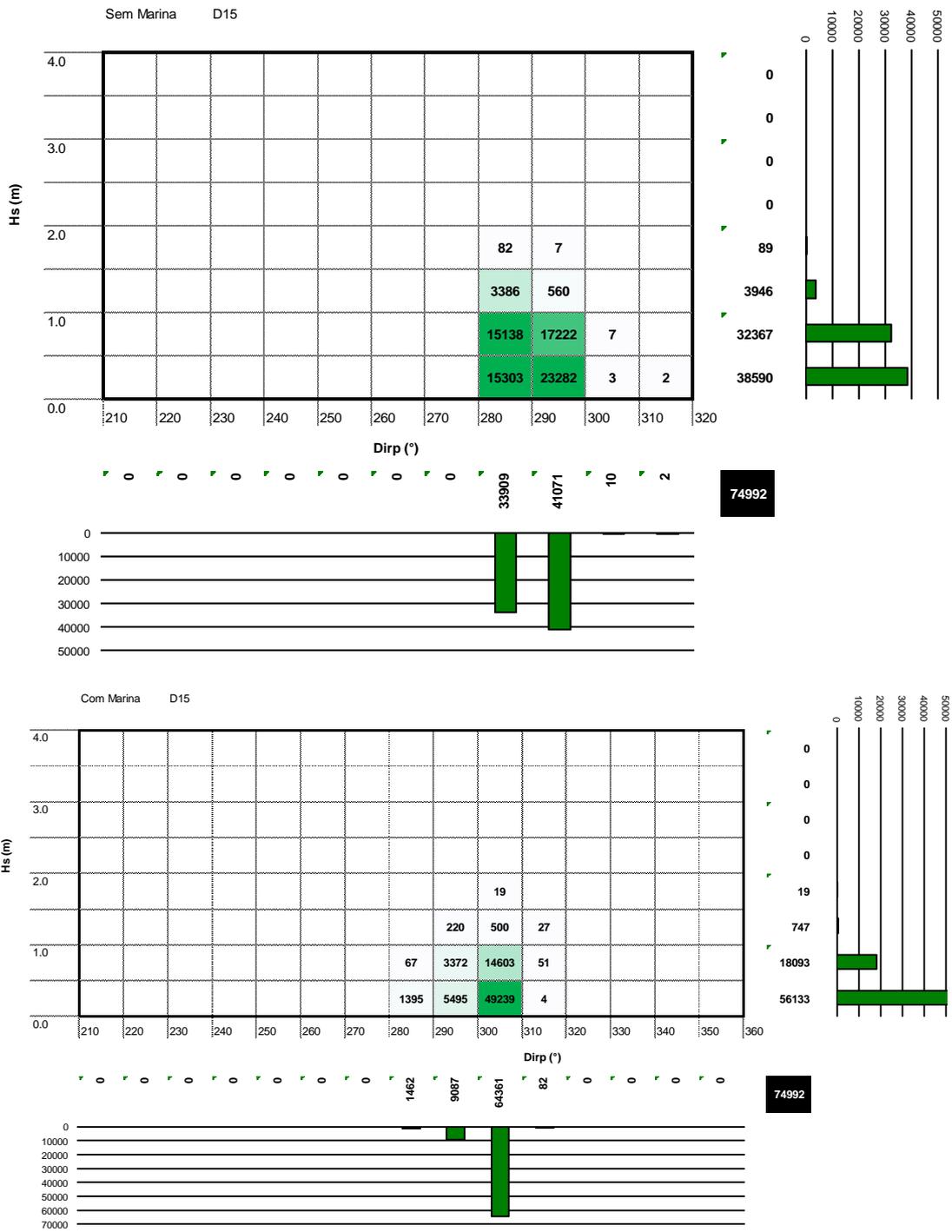


Figura A-116 – Ponto D15. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

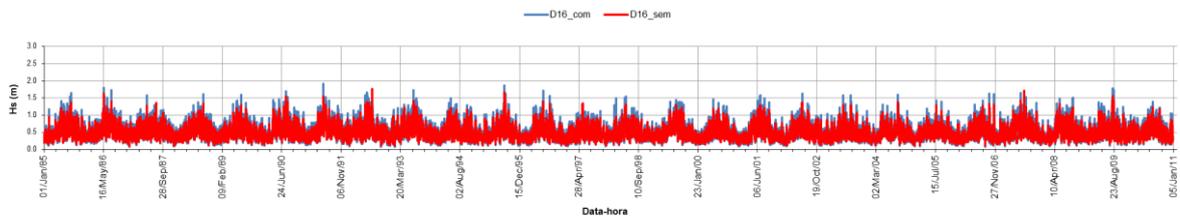


Figura A-117 – Ponto D16. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

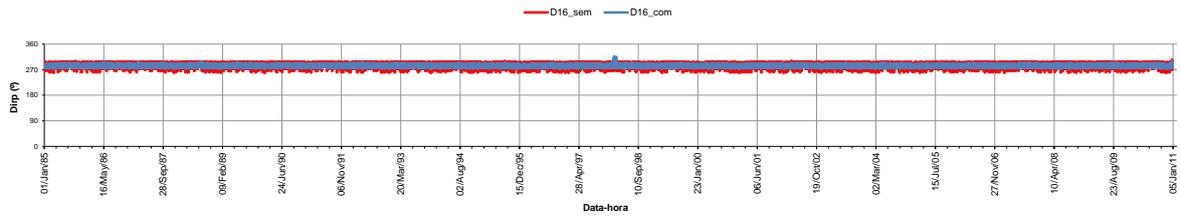
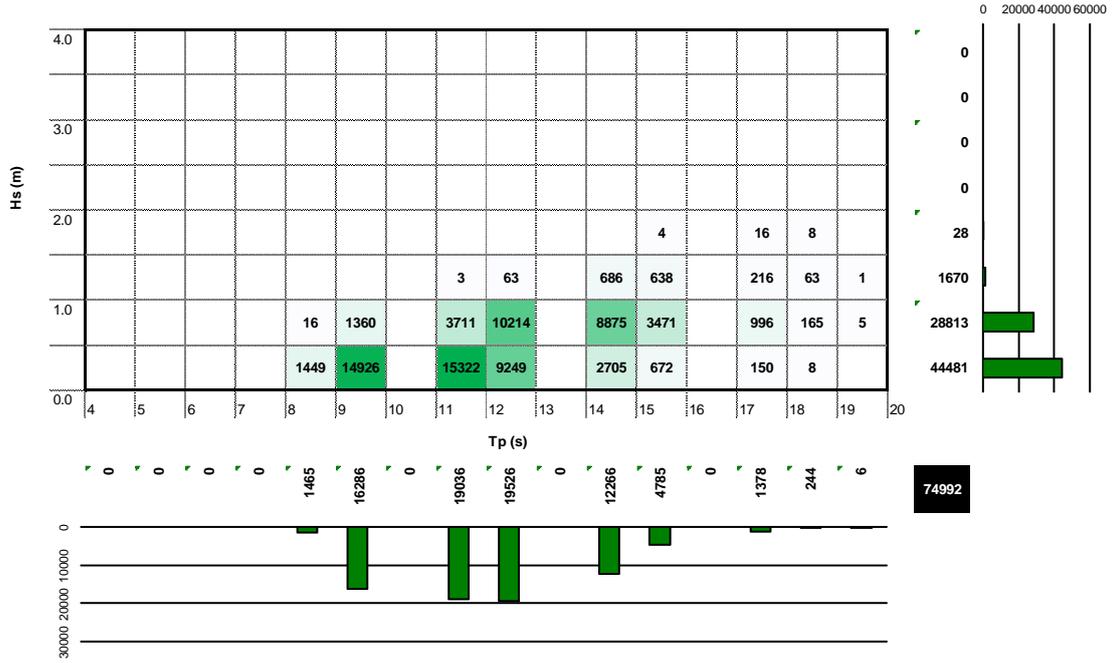


Figura A-118 – Ponto D16. Série temporal de direções Dirp. Situações sem e com marina

Sem Marina D16



Com Marina D16

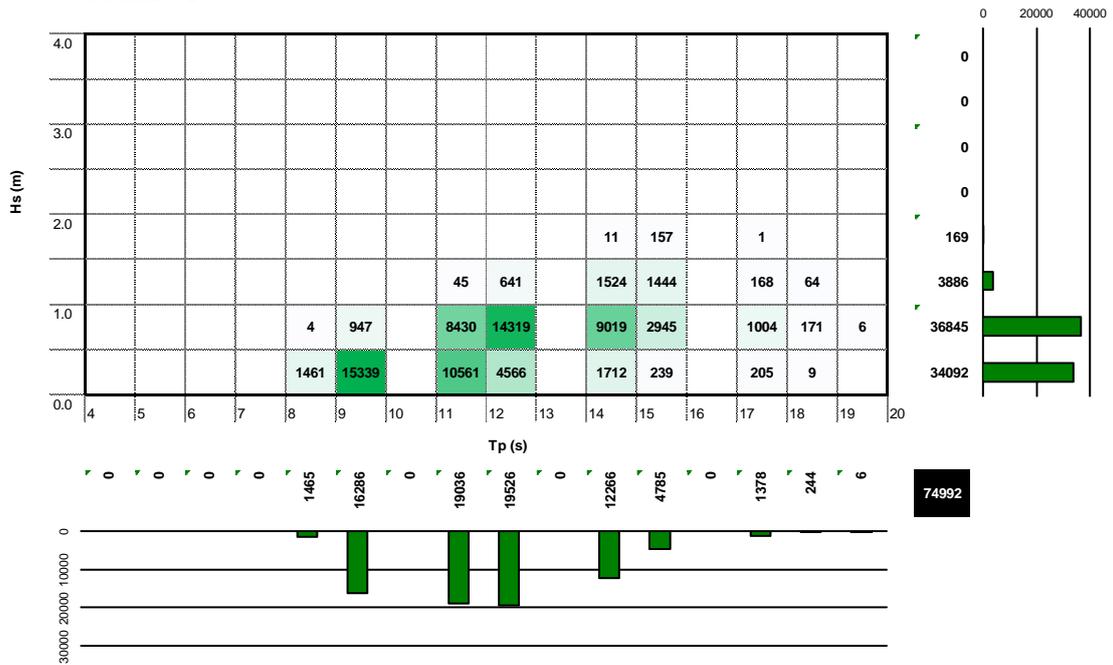


Figura A-119 – Ponto D16. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

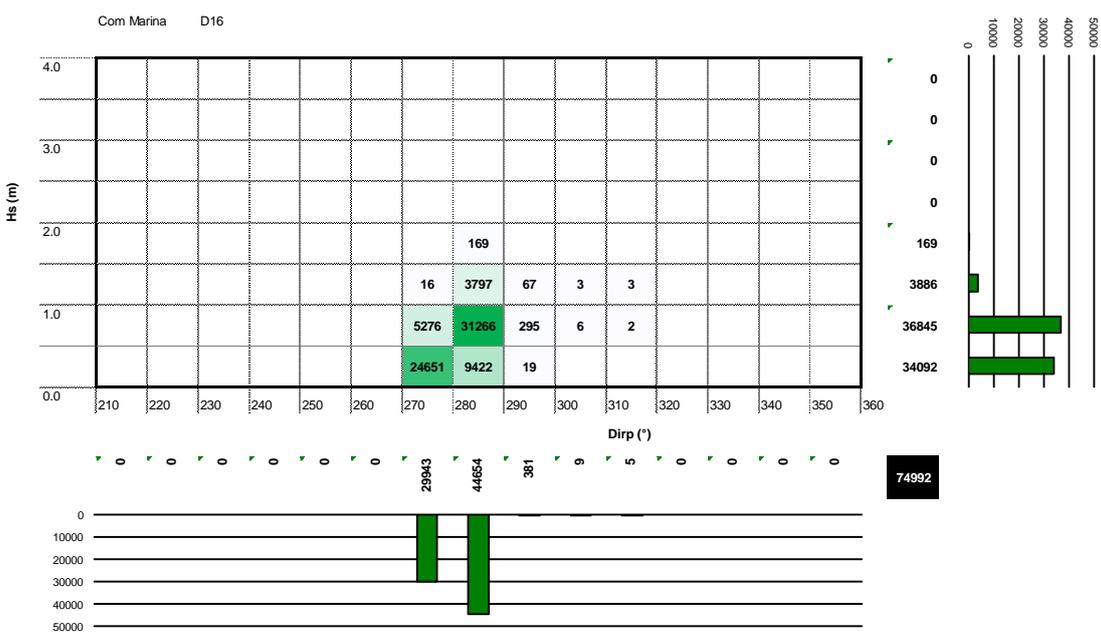
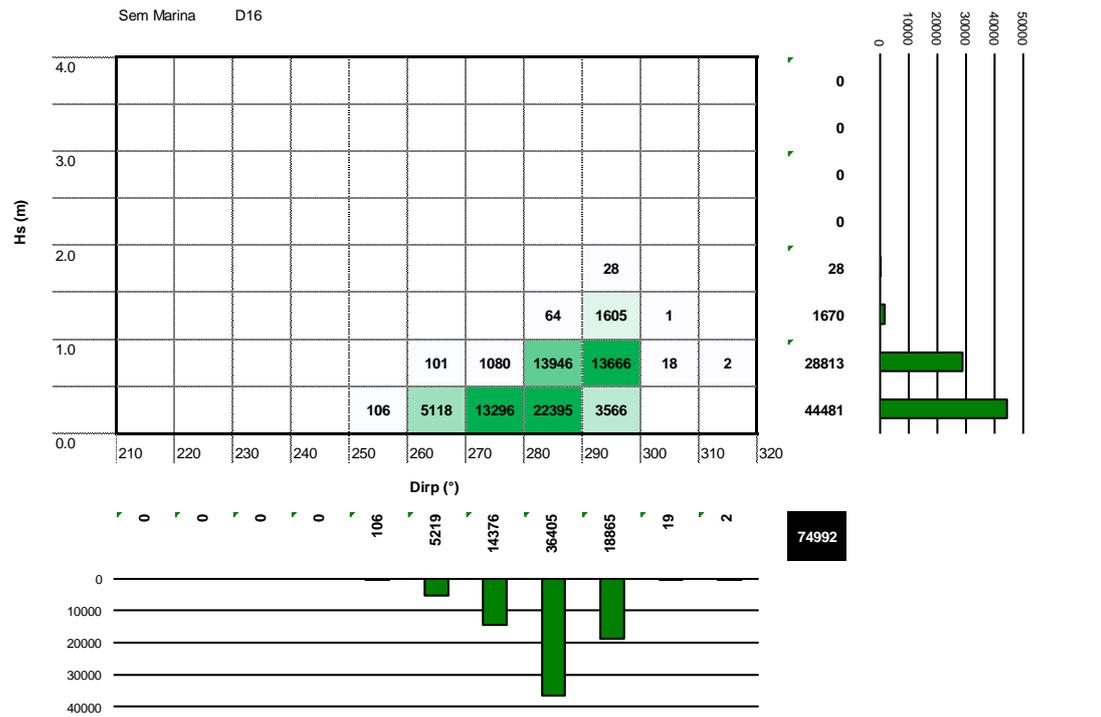


Figura A-120 – Ponto D16. Histogramas Hs-Dirp. Situações sem e com marina

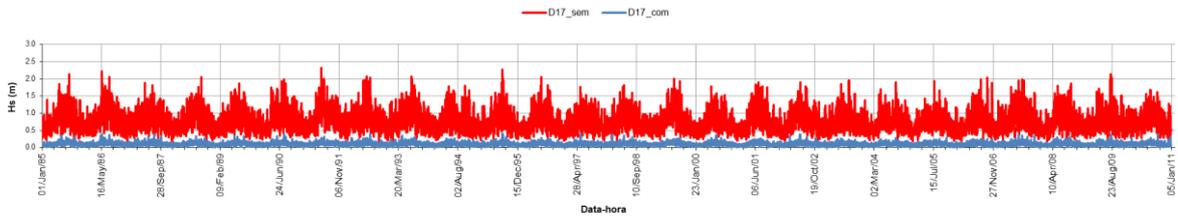


Figura A-121 – Ponto D17. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

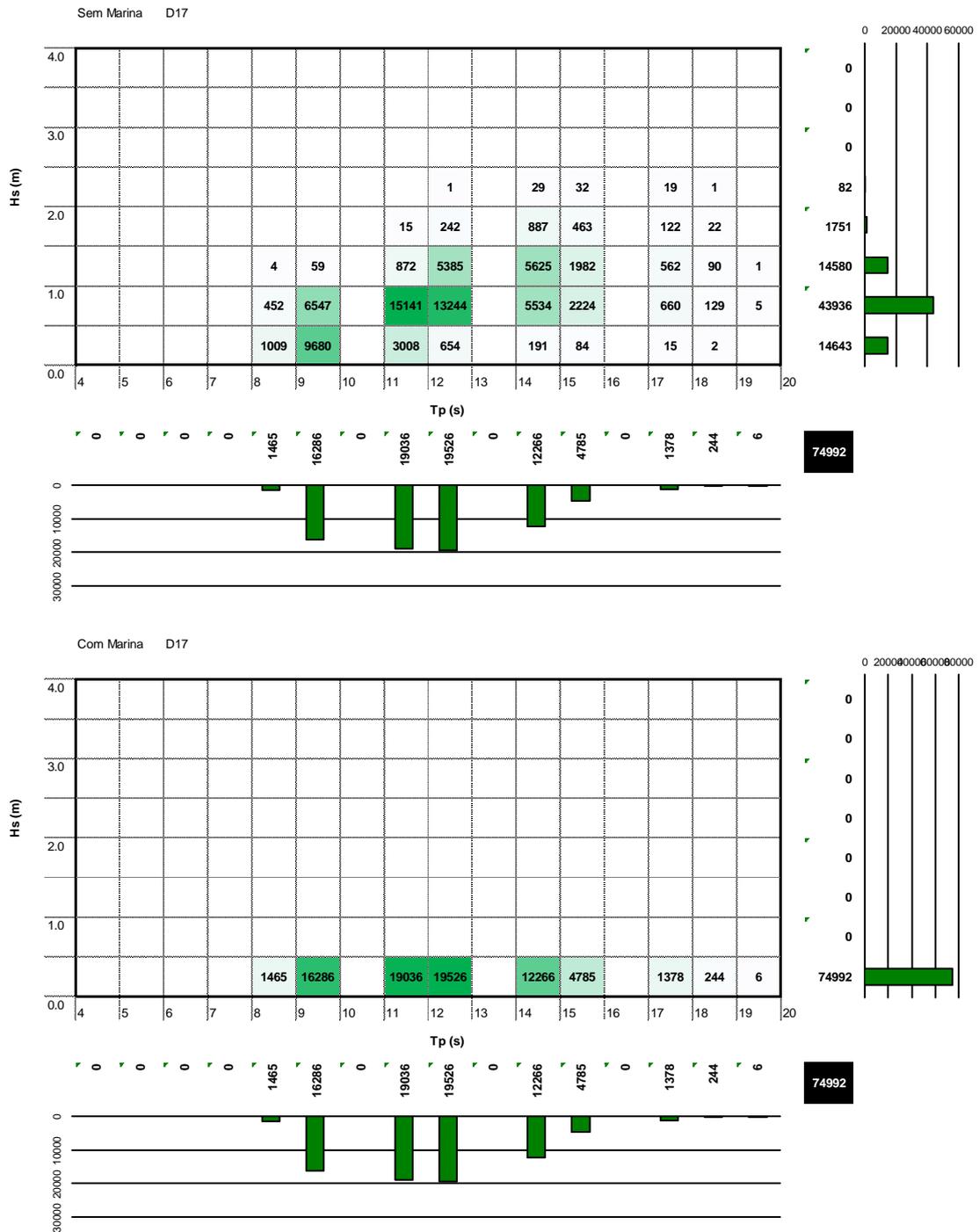


Figura A-122 – Ponto D17. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina

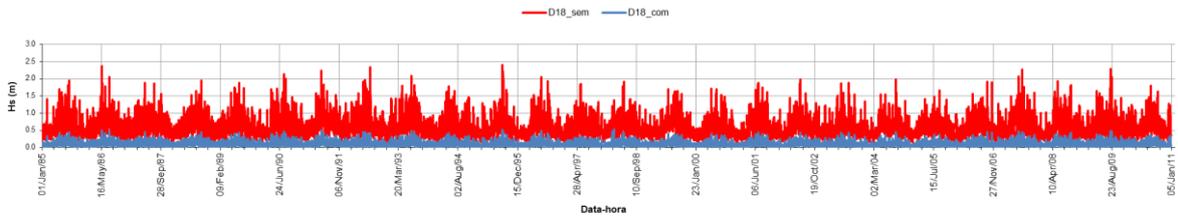


Figura A-123 – Ponto D18. Série temporal das alturas de onda Hs. Situações sem e com marina

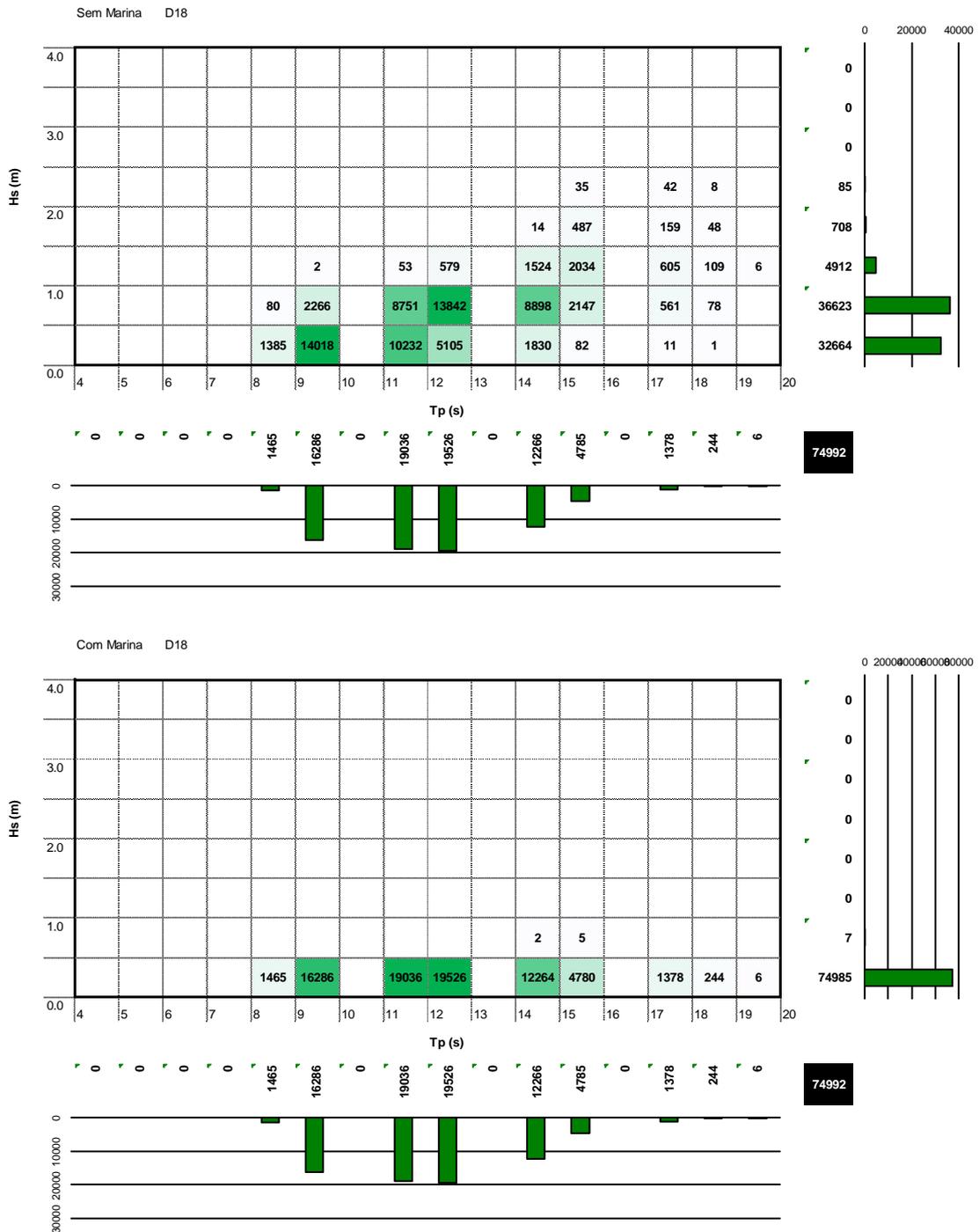


Figura A-96 – Ponto D18. Histogramas Hs-Tp. Situações sem e com marina



# **ANEXO B – ESCOLHA DA LEI DE SEMELHANÇA E DA ESCALA DO MODELO FÍSICO**



A semelhança entre o modelo físico reduzido e o protótipo pode ser traduzida através, nomeadamente, de semelhanças geométrica, cinemática e dinâmica de todas as solicitações atuantes no protótipo (à escala real) e no modelo. Em modelos de hidráulica marítima, podem considerar-se como forças dominantes as de gravidade e de pressão, sendo que, tanto a viscosidade do fluido (água) como a tensão superficial podem ser consideradas desprezáveis face às anteriores. Por isso, neste tipo de modelos, é comumente utilizada a *lei de semelhança de Froude*.

No presente caso, o modelo é, portanto, construído e explorado de acordo com a lei de semelhança de *Froude*, tendo sido utilizada a escala geométrica de 1:30, conforme especificado no ponto 3.3.2.1.

Assumindo esta lei, a correspondência entre as massas dos blocos no modelo e no protótipo é a apresentada no Quadro B.1. tendo sido assegurado que o número de estabilidade,  $N_s$ , é o mesmo no modelo e no protótipo. As diferenças da massa volúmica da água (água salgada no protótipo e água doce no modelo) e da massa volúmica das unidades do manto de proteção são tidas em conta neste parâmetro. O número de estabilidade é definido como:

$$N_s = \frac{H_s}{\Delta D_n} \quad (\text{B.1})$$

onde:

$$H_s = \text{altura significativa de onda} \quad (\text{m})$$

$$\Delta = \text{massa volúmica relativa} = (\rho_a - \rho_w) / \rho \quad (-)$$

$$\rho_a = \text{massa volúmica dos blocos de proteção} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$\rho_w = \text{massa volúmica da água} \quad (\text{kg/m}^3)$$

$$D_n = \text{diâmetro nominal dos blocos de proteção} \left( = \sqrt[3]{M/\rho_a} \right) \quad (\text{m})$$

$$M = \text{massa do bloco} \quad (\text{Kg})$$

A estabilidade dos blocos de proteção é modelada corretamente quando o valor de  $N_s$  no modelo e no protótipo é o mesmo. A eq. (B.1) pode ser resolvida para determinar a escala do modelo usando aquela relação. A escala do modelo ( $\lambda$ ) é determinada pelo quociente entre a altura de onda no protótipo e a altura de onda no modelo. Quando a massa e a massa volúmica dos blocos de proteção são conhecidas, a escala do modelo pode ser determinada a partir de:

$$\lambda = \frac{H_{s,p}}{H_{s,m}} = \frac{\Delta_p}{\Delta_m} \cdot \left( \frac{M_p}{M_m} \right)^{1/3} \cdot \left( \frac{\rho_{a,m}}{\rho_{a,p}} \right)^{1/3} \quad (\text{B.2})$$

Os índices m e p referem-se aos valores do modelo e do protótipo, respetivamente.

Para os parâmetros mais relevantes usados no modelo físico, os fatores de escala são os seguintes:

- Comprimento (m):  $\lambda$
- Volume (m<sup>3</sup>):  $\lambda^3$
- Tempo (s):  $\lambda^{0.5}$
- Massa (kg):  $\lambda^3$
- Galgamento (l/s/m):  $\lambda^{1.5}$

De acordo com as informações prestadas ao LNEC pelo projetista da obra, os blocos de enrocamento utilizados na construção do modelo possuem uma massa volúmica ( $\rho_{\text{aenr,m}} = 2600 \text{ kg/m}^3$ ) igual à sua massa volúmica no protótipo ( $\rho_{\text{aenr,p}} = 2600 \text{ kg/m}^3$ ) e a massa volúmica da água no modelo ( $\rho_{\text{w,m}} = 1000 \text{ kg/m}^3$ ) é ligeiramente inferior à da água salgada ( $\rho_{\text{w,p}} = 1025 \text{ kg/m}^3$ ).

Desta forma, as massas dos blocos no modelo ( $M_m$ ) são as que se apresentam no Quadro B.1 juntamente com as respetivas massas no protótipo ( $M_p$ ).

Quadro B-1 – Correspondência entre as massas dos blocos no modelo e no protótipo

	<b>M<sub>p</sub> (kg)</b>	<b>M<sub>m</sub> (g)</b>
<b>Gamas de Enrocamento</b>	2000 - 4000	65.6 - 131.2
	200 - 400	6.6 - 13.1

De modo a assegurar que o escoamento nas camadas do manto de proteção é turbulento no modelo (tal como no protótipo, sob as condições de projeto), deverá ser cumprido o seguinte critério relativo ao número de Reynolds:

$$R_e = \frac{\sqrt{gH_s} \cdot D_n}{\nu} > 3 \cdot 10^4 \quad (\text{B.3})$$

onde:

$g$  = aceleração da gravidade (m/s<sup>2</sup>)

$\nu$  = viscosidade cinemática da água ( $= 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ ) (m<sup>2</sup>/s)

Os efeitos da viscosidade no modelo são negligenciáveis se este critério for cumprido.

Tendo por base os valores de altura de onda que originaram mais estragos nos ensaios realizados ( $H_s = 2 - 3 \text{ m}$ ), constata-se que o troço de obra ensaiado (protegido com enrocamento de  $2 - 4 \text{ t}$ ) cumpre o critério atrás enunciado. Relativamente às menores alturas de onda ( $H_s = 0.5 - 1.5 \text{ m}$ ), pode admitir-se a instalação de ligeiros efeitos de escala, mas que, atendendo à sua expressão, não alteram de forma determinante os resultados obtidos nos ensaios.

