

ANEXO I.A

Projeto Básico



**PROJETO BÁSICO DE RECUPERAÇÃO, REFORÇO E AMPLIAÇÃO DO
MOLHE DE ABRIGO DO PORTO DE IMBITUBA – IMBITUBA – SC**



RELATÓRIO Nº HD-1061/3

HIDROTOPO CONSULTORIA E PROJETOS LTDA.

SETEMBRO/2024

ÍNDICE

INFORMAÇÕES GERAIS	3
Equipe Técnica	4
Empresa Executante	4
1. INTRODUÇÃO	5
2. OBRAS DE BLOCOS NATURAIS (ROCHA) E ARTIFICIAIS (CONCRETO).....	6
3. ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM MATEMÁTICA NO PORTO DE IMBITUBA-SC	8
3.1. Estudos Meteoceanográficos.....	9
3.1.1. Base de Dados.....	9
3.2. Modelagem Computacional	12
3.2.1. Configuração do Modelo Matemático	12
3.2.2. Calibração do Modelo Matemático	16
3.3. Resultados.....	19
3.3.1. Análise dos Dados Medidos	19
3.3.2. Cenários de Modelagem de Ondas	23
3.4. Modelagem Hidrodinâmica	27
3.5. Onda De Projeto	29
3.6. Considerações Finais	31
4. PROJETO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO MOLHE - TRECHO RETO E CABEÇO ...	32
4.1. Blocos de Concreto - Tetrápodes	39
b- Peso unitário dos blocos da sub-carapaça(Wsc).....	40
c- Espessuras da carapaça (Ec) e da sub-carapaça (Esc)	40
d- Cota de coroamento da carapaça (Ccc), da sub-carapaça (Ccs) e do núcleo (Ccn)	40
e- Número de Tetrápodes por Unidade de Área.....	40
$Nr = A \cdot n \cdot k \Delta \cdot (1 - (P / 100)) \cdot (\gamma_r / W)^{2/3}$	41
4.2. Nível do Pé da Carapaça	41
4.3. Pé do Talude	42
4.4. Núcleo	43
4.5. Otimização do Projeto das Obras de Enrocamento	43
5. ALINHAMENTOS DA OBRA DE RESTAURAÇÃO	43
6. ESTIMATIVA DE QUANTIDADES	46
7. ASPECTOS CONSTRUTIVOS.....	47
7.1. Equipamentos.....	49
8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES	49
9. ANEXOS	50

INFORMAÇÕES GERAIS

A Hidrotopo Consultoria e Projetos Ltda. apresenta à **SCPAR PORTO DE IMBITUBA**, o relatório técnico **HD 1061/3**, referente ao projeto de restauração do molhe do Porto de Imbituba – Imbituba - SC.

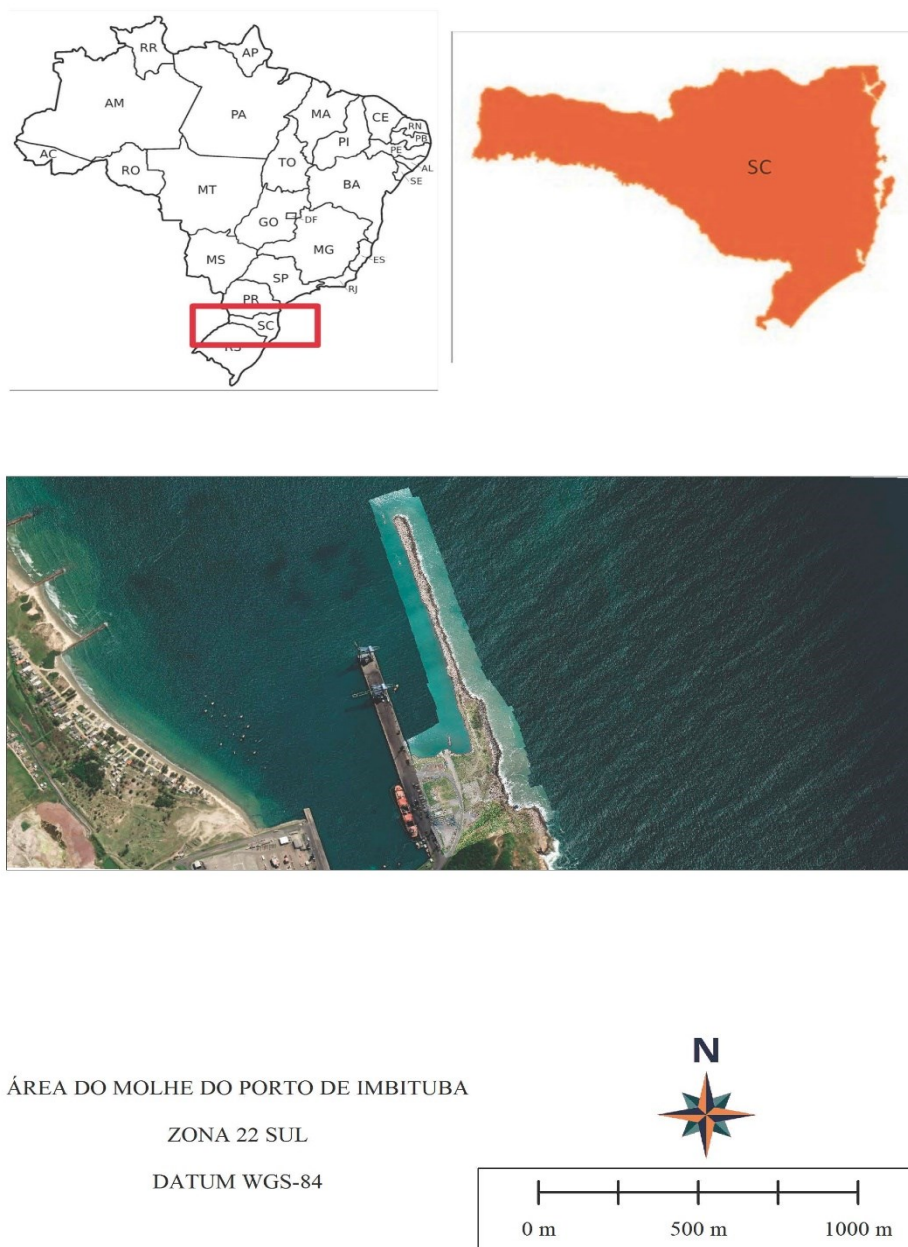


Figura 1 – Visão geral da área do molhe do Porto de Imbituba.

Equipe Técnica

A equipe técnica foi composta pelos seguintes profissionais (Tabela 2)

Tabela 1 – Equipe Técnica

	FUNÇÃO	PROFISSIONAL
Supervisão Geral	Engenheiro	Augusto Dantas Sampaio
Equipe de Campo	Geólogo	Francisco Rodrigues da Silva Jr.
	Téc. Sinalização Náutica	Nilton de Oliveira Santos
Equipe de Escritório	Engenheiro	Reginaldo Gonçalves Abreu
	Engenheira	Ana Beatriz da Rocha Sampaio
	Geólogo	Francisco Rodrigues da Silva Jr.
	Téc. Sinalização Náutica	Nilton de Oliveira Santos

Empresa Executante

HIDROTOPO CONSULTORIA E PROJETOS LTDA

Matriz: Av. Ayrton Senna, nº 3000, Bloco Grumari, Grupo 3051

Barra da Tijuca, Rio de Janeiro - RJ.

CNPJ nº 31.250.137/0001-28

Tel./Fax: +55 (021) 2533-0160

Filial: Rua Samuel Heusi, 190 sala 801

Centro – Itajaí – SC

CNPJ nº 31.250.137/0003-90

e-mail: hidrotopo@hidrotopo.com.br

1. INTRODUÇÃO

O presente relatório descreve a elaboração do projeto de restauração do molhe de abrigo do Porto de Imbituba em Santa Catarina.

O projeto foi elaborado com base em dados hidráulicos históricos existentes no INPH, que inicialmente datam da década de 50, em levantamentos e dados coletados, à época, pela Companhia Docas de Imbituba e em fotografias do molhe e de ressacas atingindo a obra. O levantamento das seções transversais a cada 10(dez) metros ao longo do molhe serviu, sem dúvida, para uma correta definição da geometria - longitudinal e transversalmente - do estado atual do molhe de abrigo.

O início da implantação do molhe do Porto de Imbituba data da década de 60. Os estudos hidráulicos iniciais para a implantação do Terminal foram realizados em 1956 no Laboratoire Central D'Hydraulique de France (Maisons-Alfort). Posteriormente, já na década de 70, estudos complementares de estabilidade foram realizados no INPH. O molhe é constituído por blocos de rocha e tem 840m de comprimento, sendo que os últimos 340m constituem uma ampliação construída no início dos anos 80, portanto já a 43 anos. A última intervenção que se tem notícia foi realizada em 2012, pelo 10º Batalhão de Engenharia de Construção do Exército Brasileiro.

O Porto de Imbituba já foi o maior Terminal exportador de carvão do país. Em 1986, no auge, chegou a movimentar mais de 4 (quatro) milhões de toneladas de carvão. O carvão extraído nas minas do estado de Santa Catarina era transportado por via férrea até o Terminal, de onde escoava para as siderúrgicas. Em 1990, com a redução das alíquotas de importação e a retirada do subsídio da extração a movimentação reduziu-se de forma drástica.

A participação de outras matérias primas e de produtos industrializados tem proporcionado gradativamente o soerguimento do Porto, que atingiu uma movimentação de mais de 1(um) milhão de toneladas anuais a partir de 1997. Congelados, contêineres, granéis sólidos e líquidos e carga geral; as exportações de congelados, açúcar e contêineres, além das importações de fertilizantes, coque, milho, sal e barrilha são as principais categorias de cargas.

Durante a sua existência o molhe tem atendido perfeitamente à sua função principal que é proporcionar abrigo às áreas de manobras e de atracação do Porto. Entretanto, dado o tempo decorrido e as numerosas tempestades que atingiram a estrutura, a sua carapaça está em grande parte da sua extensão bastante avariada, correndo o risco de rompimento, principalmente no seu terço mais próximo ao enraizamento onde os danos já atingiram o núcleo.

Dado o estado de alta degradação do molhe, observa-se que as últimas tempestades têm provocado ultrapassagens das ondas de forma intensa colocando em risco as operações portuárias, com a possibilidade eminente de rompimento da obra. Torna-se, portanto, altamente necessário um projeto de restauração emergencial do molhe e sua rápida execução antes que o processo de degeneração da estrutura atinja níveis mais drásticos ainda.

2. OBRAS DE BLOCOS NATURAIS (ROCHA) E ARTIFICIAIS (CONCRETO)

Uma estrutura marítima de blocos soltos (naturais ou artificiais) é constituída por camadas de pedras ou concreto previamente definidas e selecionadas. Via de regra essas estruturas são compostas por camadas: a externa denominada carapaça que recebe o impacto direto das ondas incidentes, a intermediária denominada sub-carapaça e a massa central denominada de núcleo. Em alguns casos pode ser inserida uma segunda camada intermediária. Os blocos de rocha ou peças de concreto que compõem a carapaça são colocados de maneira mais ou menos ordenada com equipamentos adequados como preceitua a concepção convencional. Uma arrumação mais cuidadosa dos blocos proporciona um maior embricamento favorecendo, portanto, a estabilidade.

O projeto de restauração de um molhe deverá levar ainda em consideração: a sua funcionalidade, economicidade, estética e, ainda, prováveis impactos ambientais.

A princípio, no caso presente, a nova seção transversal não deverá permitir ultrapassagens importantes. Alguma ultrapassagem de pequena monta poderá ser admitida, pois as áreas de atracação estão a uma certa distância do molhe.

A geometria da seção transversal – que resulta do cálculo estrutural propriamente dito - dependerá basicamente das condições físicas e hidráulicas às quais a estrutura está sujeita, das limitações quanto a possíveis galgamentos e/ou ultrapassagens e ainda de alguns aspectos relacionados ao processo de construção a ser utilizado.

Deste trabalho resultará a geometria e as características estruturais básicas do molhe de abrigo que, entretanto, dependerão ainda, para o seu aprimoramento e otimização, de estudos em modelos físicos reduzidos de estabilidade.

Quando as ondas atingem um molhe de abrigo, podem ocorrer três situações diferentes:

- 1) Arrebetam exatamente sobre a estrutura, o que ocasiona grandes pressões na face do talude da carapaça. Esta situação corresponde àquela em que se considera, para efeito de cálculo, a obra na zona de arrebetamento.
- 2) Estabelecem um movimento oscilatório sobre o talude externo da estrutura. Esta situação corresponde àquela em que a obra está fora da zona de arrebetamento.
- 3) Arrebetam antes de atingirem a estrutura, proporcionando uma redução dos esforços no talude da carapaça.

Na prática, para estruturas expostas ao mar oceânico, sem a interposição de obstáculos naturais ou artificiais, as três situações acima listadas ocorrem invariavelmente, em decorrência das inúmeras combinações das alturas das ondas incidentes e das variações dos níveis d'água. No caso em estudo, os trechos principais do molhe estão assentados na profundidade de -8,0 a 10,0 m (DHN), o que proporcionará a ocorrência dessas três situações acima listadas, com diferentes graus de recorrência.

A onda de projeto geralmente usada para o dimensionamento desse tipo de estrutura é a onda significativa. Essa onda, H_s , pode ser calculada através da análise estatística dos dados naturais medidos por ondógrafos, colocados em locais previamente determinados, ou extraída de Atlas de ondas, ou ainda calculada através de modelo matemático, baseando-se em dados meteorológicos.

3. ANÁLISE DE DADOS E MODELAGEM MATEMÁTICA NO PORTO DE IMBITUBA-SC

A análise de dados e modelagem matemática apresenta os esforços para a caracterização da hidrodinâmica e do clima de ondas nas proximidades do porto de Imbituba-SC, com o objetivo de obter os principais parâmetros de ondas, correntes e níveis de água na região.

Foram realizados estudos de modelagem matemática a fim de detalhar, de maneira estatística, a probabilidade de ocorrência de ondas em diversas direções e períodos, possibilitando subsidiar distintos cenários de acessibilidade para embarcações projetadas, e o adequado dimensionamento para a implementação de futuras obras rígidas de engenharia na região, caso necessário.

As ondas são consideradas perturbações na interface entre dois meios de densidades diferentes. A energia liberada pela onda é capaz de influenciar a morfologia local, o transporte de sedimento e a hidrodinâmica. Sabe-se que as ondas são os principais fatores na movimentação de navios atracados, causando também grandes esforços nas amarras e estruturas do cais. Dessa forma, realizar uma descrição do clima de ondas é fundamental nos ambientes costeiros, no aspecto da engenharia costeira.

Os custos envolvidos na aquisição e na manutenção de equipamentos voltados para a medição de ondas, levam a uma escassez de dados ao longo da costa brasileira. Sendo assim, essa dificuldade pode ser amenizada com o emprego da modelagem matemática a partir de modelos computacionais que simulam a atuação das ondas no ambiente a partir de dados meteorológicos.

O presente relatório compreende o estudo de hidrodinâmica marinha e mecânica das ondas, através da modelagem matemática, com o objetivo caracterizar a hidrodinâmica e o clima de ondas nas proximidades do Porto de Imbituba-SC.

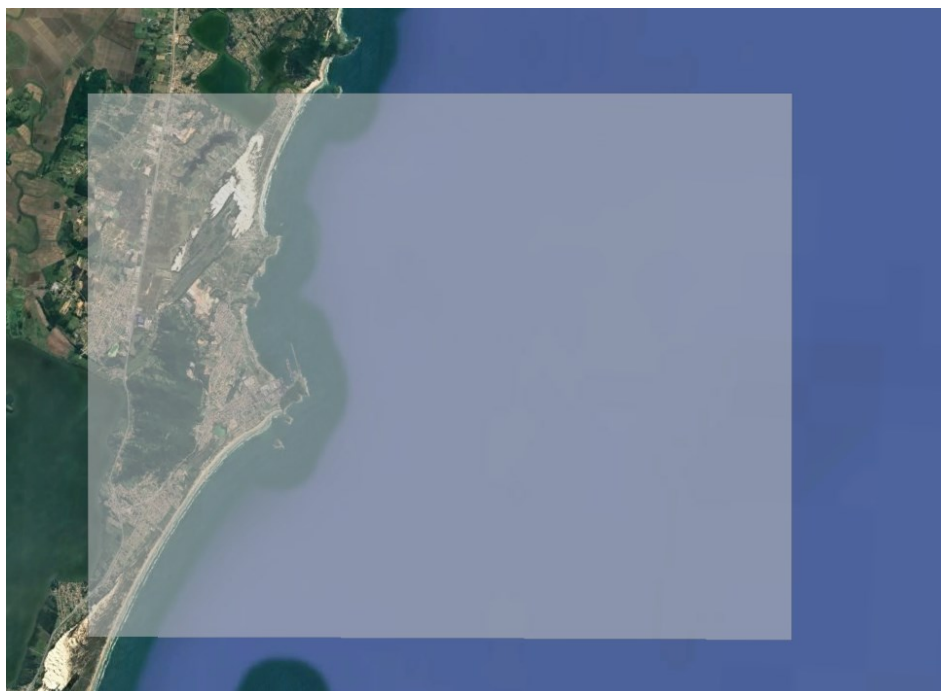


Figura 2 –Localização da área de estudo.

3.1. Estudos Meteoceanográficos

Neste item é apresentado a base de dados disponível relevante para o estudo da área de influência e entorno do projeto.

3.1.1. Base de Dados

O estudo de caracterização do clima de ondas de uma região depende diretamente do período de coleta de dados, que deve ser suficiente para abranger as condições meteorológicas e oceanográficas da região de interesse e de possíveis áreas de geração de tempestades e ondulações vindas de outras regiões.

De forma geral, na costa brasileira são escassos os dados de ondas medidos por bóias, tanto em águas costeiras quanto em áreas de geração. Diante disso, a modelagem numérica se torna uma ferramenta fundamental nos estudos de caracterização e transformação de ondas. Os modelos numéricos globais também surgem como uma excelente alternativa, pois seus produtos são empregados como condição inicial e de contorno nos modelos em escala menor.

Os dados utilizados neste trabalho como forçantes do sistema são provenientes do modelo European Center for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF- disponíveis em <https://cds.climate.copernicus.eu>).

Este modelo simula dados através de modelos matemáticos globais com resolução espacial de 1.5° , os quais calculam as alturas de ondas, períodos e direções, a partir de dados de vento e pressão atmosférica. Esses dados são utilizados como condição de entrada no modelo numérico na fronteira oceânica a fim de se obter o clima de ondas litorâneo. O ponto de grade (Figura 2) escolhido para a extração dos dados e análise das condições de ondas está localizado nas coordenadas geográficas 28.19° S e 48.16° W, e abrange o período entre janeiro de 1980 a dezembro de 2023, com os parâmetros de onda fornecidos em intervalos de seis horas.

A caracterização do clima de ondas pode ser feita em função de três parâmetros de ondas: período de pico (T_p), altura significativa (H_s) e direção (Dir). A altura significativa pode ser obtida dividindo-se o registro de ondas em três partes iguais e através das maiores alturas de ondas do registro, obter uma média. O clima de ondas está composto por grupo de ondas de diferentes períodos, desta forma, a média desses períodos corresponde ao período médio de ondas. A direção indica de onde vem a onda.

A Figuras 3 e 4 apresentam as rosas de ondas de H_s e direção, e T_p e direção, respectivamente, obtida do ponto selecionado no modelo global do ECMWF para todo o período. Observa-se ondas provenientes de: N, NNE, NE, ENE, E, ESE, SE, SSE e S. Nota-se que as ondas de maiores períodos são também as ondas de maiores alturas, vindas da direção S, SSE.

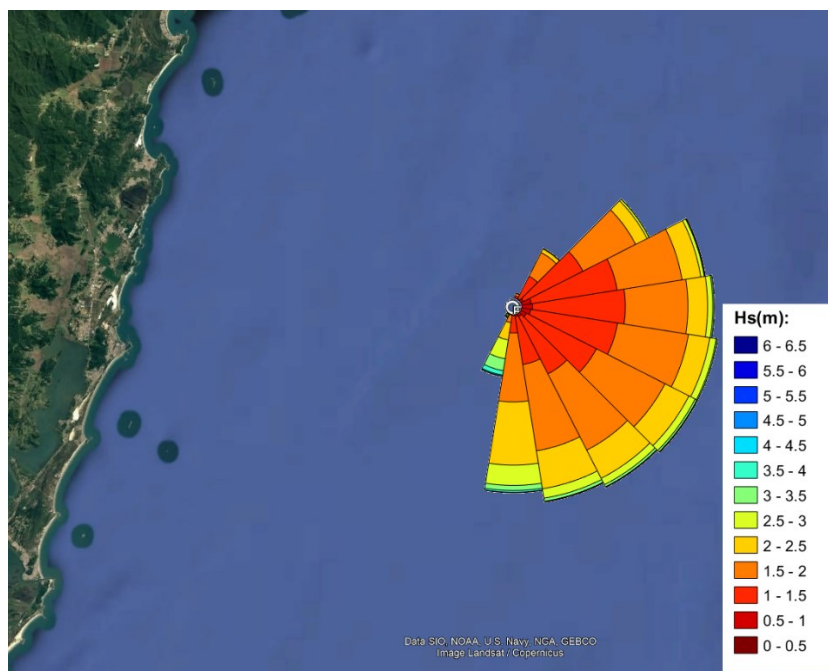


Figura 3 –Rosa de ondas de altura significativa e direção.

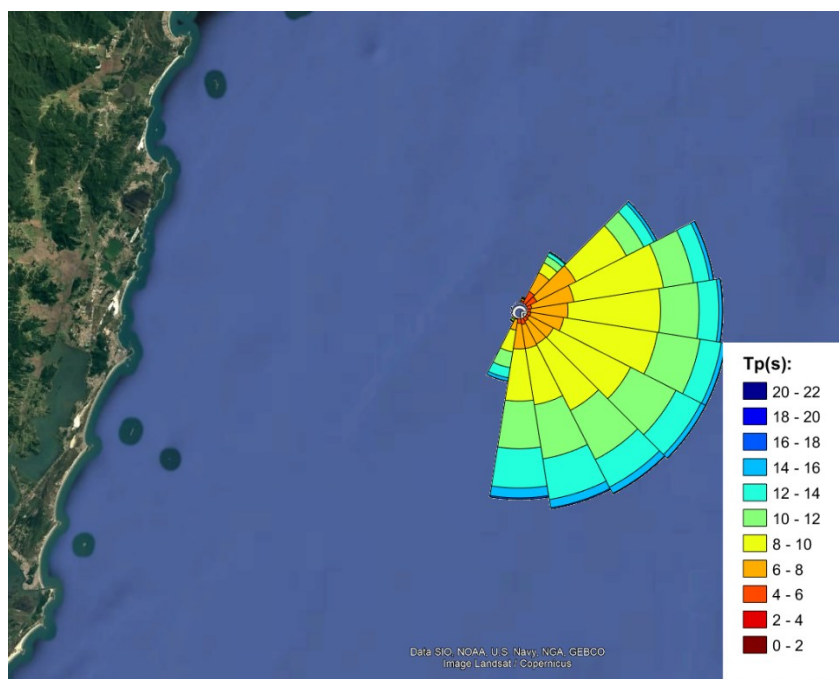


Figura 4 –Rosa de ondas de período de pico e direção.

3.2. Modelagem Computacional

3.2.1. Configuração do Modelo Matemático

Para a realização do estudo adotou-se como ferramenta os módulos FLOW e WAVE, que compõe o Sistema de Modelagem DELFT 3D.

O módulo hidrodinâmico Delft3D-FLOW resolve um sistema de equações de águas rasas em modo bidimensional (ou integrado na vertical) ou tridimensional. O sistema de equações consiste nas equações horizontais de movimento (conservação da quantidade de movimento), na equação de continuidade, equações de transporte para constituintes conservativos e um modelo de fechamento turbulento. A equação vertical de quantidade de movimento é reduzida à relação da pressão hidrostática e as acelerações verticais são assumidas como sendo muito pequenas em relação à aceleração da gravidade. Isso faz com que o Delft3D-FLOW seja adequado para a predição de fluxos em mares rasos, áreas costeiras, estuários, lagos, rios e lagoas.

Através desse modelo é possível simular o comportamento morfodinâmico de rios, estuários e áreas costeiras, na escala de dias a anos, resolvendo o complexo processo de interação entre ondas, correntes, transporte de sedimentos e batimetria.

Os modelos numéricos de propagação de ondas em zonas costeiras e portuárias tem se apresentado como uma excelente alternativa para a determinação do clima de ondas em regiões carentes de informações. Dependendo da complexidade do modelo numérico, estes podem incluir diferentes fenômenos que afetam a propagação das ondas em zonas costeiras, tais como: a refração, a difração, a reflexão, a arrebentação de ondas, efeitos não lineares e interação onda-corrente.

O módulo WAVE é um modelo de ondas de terceira geração que calcula a propagação espectral da agitação marítima, sendo projetado com a finalidade de obter uma estimativa realista dos parâmetros de agitação marítima em regiões costeiras e estuários. A partir do conhecimento das condições de vento, batimetria e correntes na área de interesse, o modelo resolve a equação de conservação do movimento na forma espectral permitindo calcular a evolução do espectro direcional e respectivos momentos estatísticos. Neste módulo é possível representar na propagação de ondas

os processos de bloqueio e reflexão devido a correntes e obstáculos, e a refração e shoaling devido à variação espacial de correntes e profundidades. Os processos de geração de ondas são representados pelo efeito do vento. Os processos de dissipação são representados por whitecapping, quebra de ondas induzida pelo fundo, fricção com o fundo e interações não lineares triplas e quádruplas.

O domínio do modelo foi discretizado a partir de duas grades numéricas quadráticas aninhadas estruturadas por diferenças finitas. A Figura 5 representa o esquema de grade utilizada.

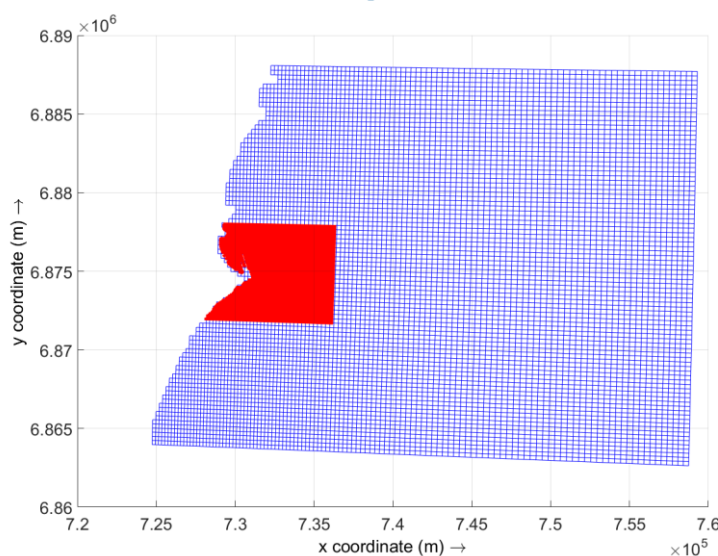


Figura 5 –Domínio do modelo e a grade numérica utilizada.

As informações relacionadas à batimetria foram obtidas a partir de carta náutica obtidas no Centro de Hidrográfica da Marinha (CHM) e do levantamento batimétrico disponibilizado pelo Porto de Imbituba (Figura 6). Dessa maneira foi realizada a digitalização (Figura 6) da carta náutica n° 192101- Porto de Imbituba. Escala 1: 7.500.

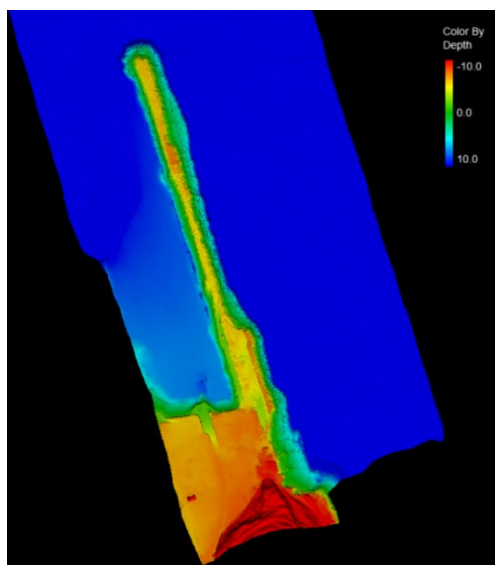


Figura 6 – Topobatimetria da área de interesse.

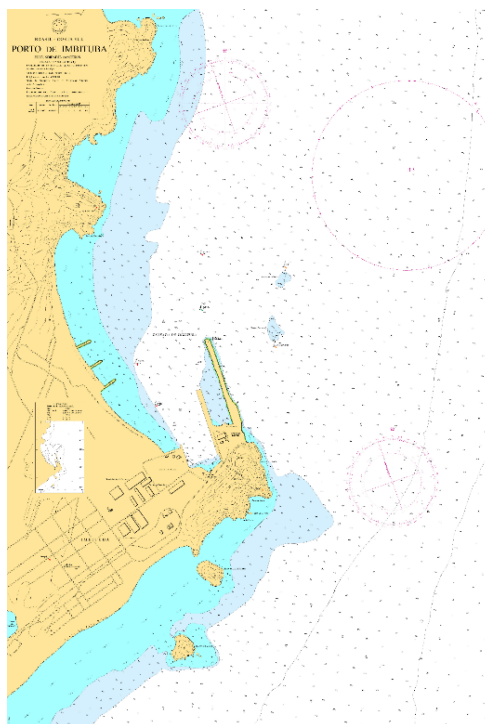


Figura 7 – Carta náutica utilizada na digitalização.

A batimetria gerada pela digitalização foi exportada em forma de tabela contendo latitude, longitude e profundidade para o modelo DELFT 3D, onde foi feita uma interpolação triangular. A Figura 7 mostra a batimetria interpolada para o domínio do modelo.

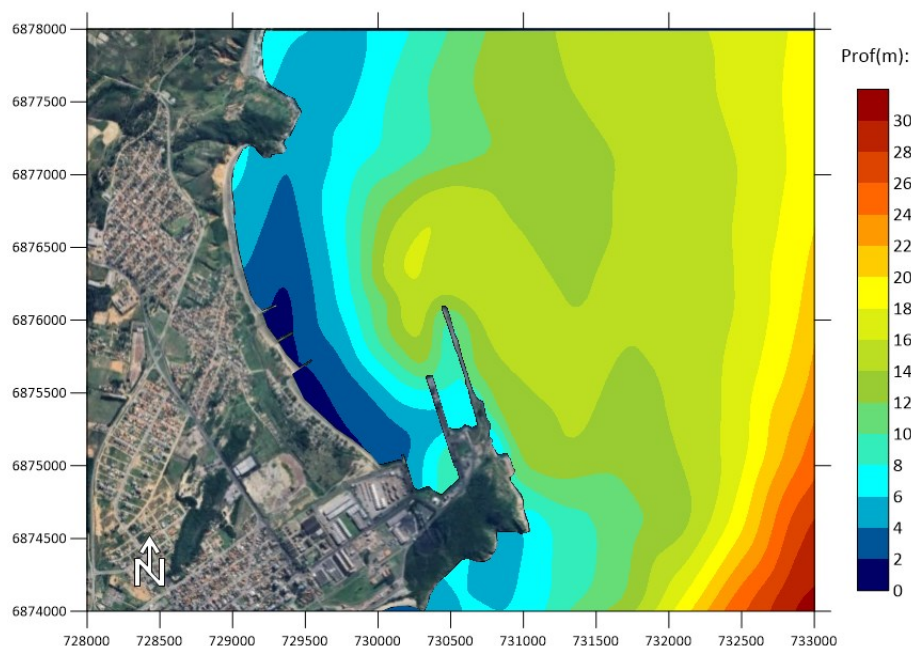


Figura 8 – Batimetria gerada pelo modelo matemático.

Os níveis d'água nos contornos abertos do modelo foram determinados com base nas constantes harmônicas das marés medidas no porto de Imbituba, conforme consta do “Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras”, elaborado pela Fundação de Estudos do Mar - FEMAR. Essas constantes harmônicas estão apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1- Componentes harmônicas.

FEMAR-FUNDAÇÃO DE ESTUDOS DO MAR *Catálogo de Estações Maregráficas Brasileiras*

Nome da Estação :		IMBITUBA (PORTO) – SC			
Localização :		No cais de carvão			
Organ. Responsável :		DHN / IAGS / INPH			
Latitude :		28° 13,8' S	Longitude : 48 ° 39,0' W		
Período Analisado :		01/01/57 a 31/12/57	Nº de Componentes : 60		
Análise Harmônica :		Método Tidal Liverpool Institute			
Classificação :		Maré de Desigualdades Diurnas			
Estabelecimento do Porto: (HWF&C)		I H 45 min	Nível Médio (Zo): 37 cm acima do NR.		
Média das Preamares Superiores (MHHW) :		68 cm acima do NR.	Média das Preamares Inferiores (MLHW) : 52 cm acima do NR.		
Média das Baixa-mares Superiores (MHLW) :		24 cm acima do NR.	Média das Baixa-mares Inferiores (MLLW) : 4 cm acima do NR.		
CONSTANTES HARMÔNICAS SELECIONADAS					
Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)	Componentes	Semi-amplitude (H) cm	Fase (g) graus (°)
Sa	4,0	031	MU ₂	1,1	094
Ssa	7,4	287	N ₂	3,8	156
Mm	2,8	185	NU ₂	0,5	190
Mf	3,1	126	M ₂	13,2	063
MTM	-	-	L ₂	2,3	295
Msf	3,1	088	T ₂	-	-
Q ₁	3,3	048	S ₂	10,0	056
O ₁	11,2	072	K ₂	3,4	045
M ₁	0,7	103	MO ₂	-	-
P ₁	1,9	118	M ₃	1,4	155
K ₁	6,7	131	MK ₃	0,7	012
J ₁	0,3	170	MN ₄	0,4	344
OO ₁	-	-	M ₄	3,1	355
MNS ₂	-	-	SN ₄	-	-
2N ₂	0,9	130	MS ₄	1,2	078
Referências de Nível: RN-1 localizada junto à casa de força na entrada do porto.					
Obs: Outros Períodos: 25/08/48 a 25/08/49; 10/10/54 a 11/11/54; 01/01/55 a 01/02/55					
Consta das Tábuas das Marés.					

Código BND0: 60250

- 268 -

3.2.2. Calibração do Modelo Matemático

As simulações foram conduzidas com o propósito de avaliar a eficácia do modelo na reprodução dos fenômenos, proporcionando uma compreensão da circulação hidrodinâmica e do regime de ondas na região de estudo.

Para a calibração do modelo de ondas foram utilizados os dados medidos pelo ADCP fundeado nas coordenadas 730489.00 m E e 6877069.00 m S, no intervalo entre julho de 2021 a março de 2022.

As comparações de altura significativa, período de pico, e direção, entre as ondas medidas e simuladas, são apresentadas nas figuras 9, 10 e 11.

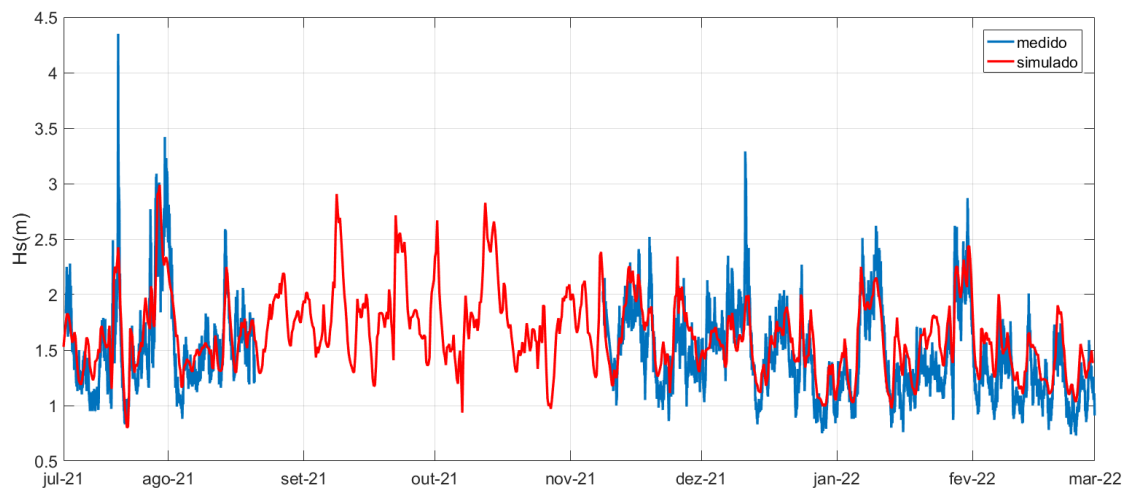


Figura 9 –Comparação entre altura significativa medida e modelada.

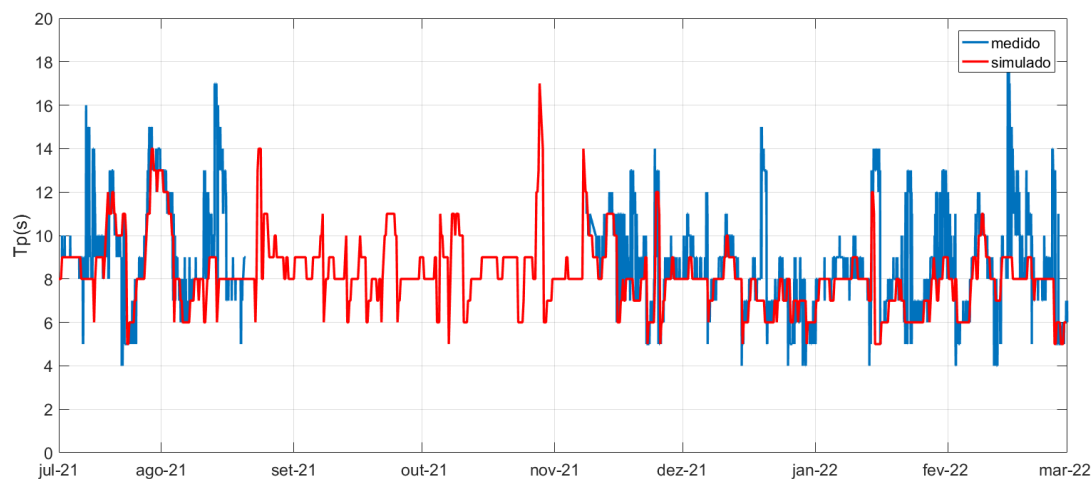


Figura 10 –Comparação entre período de pico medido e modelado.

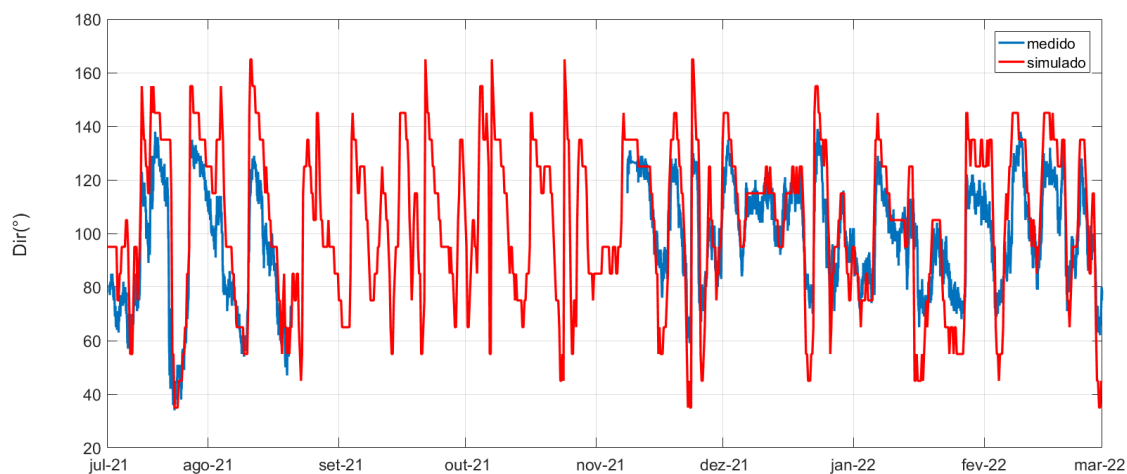


Figura 11 –Comparação entre direção medida e modelada.

Para o modelo hidrodinâmico foi utilizado o período de 1 mês (1/07/2020 a 31/07/2020 para a calibração de nível e corrente.

As comparações de níveis e correntes, modelada e medida, são apresentadas a seguir.

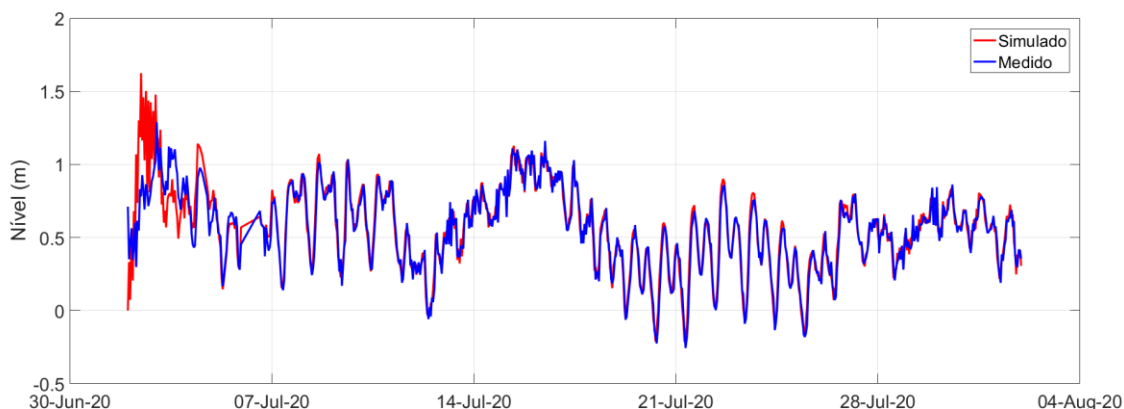


Figura 12 –Comparação entre o nível medido e modelado.

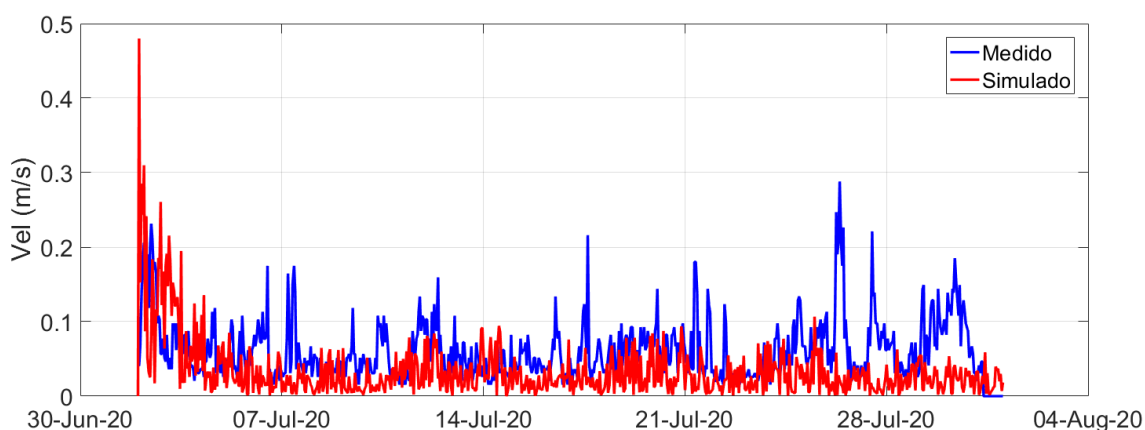


Figura 13 –Comparação entre a magnitude da corrente medida e modelada.

A análise comparativa mostra uma eficiência do modelo numérico na representação dos processos físicos que atuam sobre a região além da confiabilidade no uso dos dados de reanálise utilizado como forçantes do sistema, fornecendo resultados condizentes com a realidade.

3.3. Resultados

A simulação foi conduzida com o propósito de reproduzir os fenômenos físicos, possibilitando a compreensão do regime hidrodinâmico e de ondas na região de estudo.

Os resultados da modelagem computacional estão apresentados em formas de mapas de altura e direção de ondas, intensidade e direção de correntes e gráficos.

3.3.1. Análise dos Dados Medidos

Os dados medidos a partir de dois ADCPs fundeados nas coordenadas 730360.04 m E, 6874871.01 m S (parte interna do porto de Imbituba) e 730489.19 m E, 6877069.87 m S (parte externa adjacente ao porto), foram analisados estatisticamente nesse estudo.

O ADCP interno realizou medições de ondas e corrente entre 01/8/2019 e 16/04/2021. Já o ADCP externo, entre 8/7/2021 e 30/08/2024.

A Figura 14 apresenta a rosa de ondas de altura significativa e direção dos períodos observados para os pontos analisados.

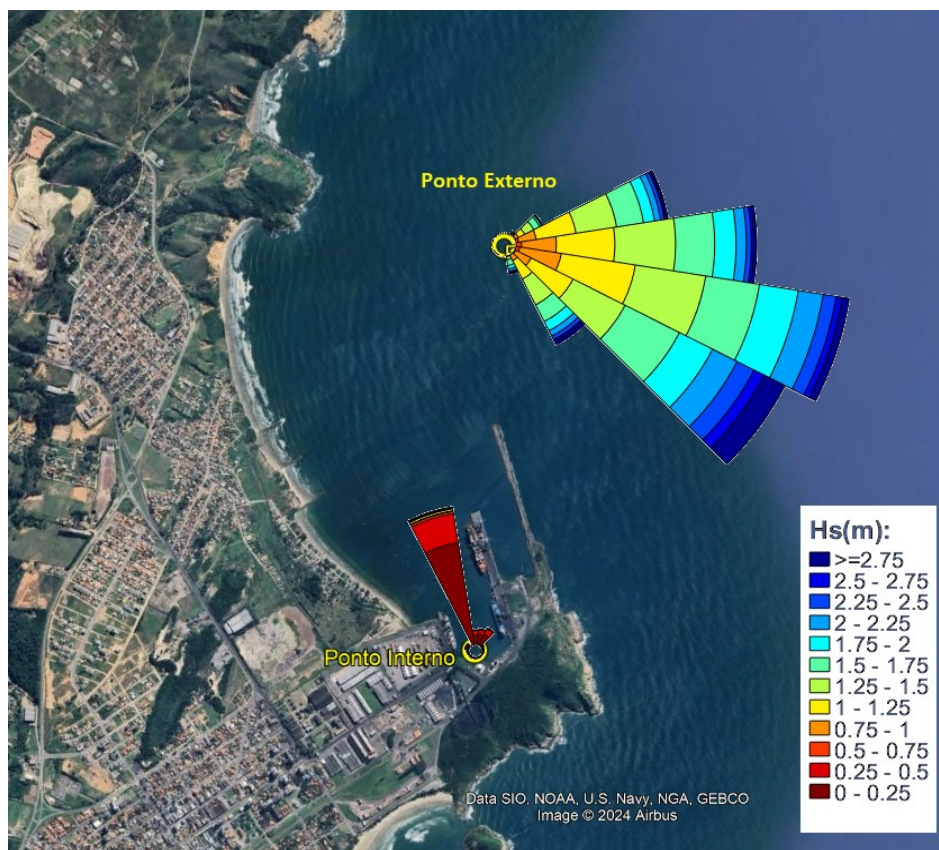


Figura 14 –Rosa de ondas de Hs e direção dos pontos de medição.

De posse aos dados, foi possível detalhar de maneira estatística, a frequência de ocorrência conjunta de Hs x Dir, Tp x Dir e Hs x Tp dos pontos externo e interno. A seguir são apresentados esses resultados.

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir Med (°)
0,00 - 0,50					1												1	0,01%	87
0,50 - 0,60					24	6											30	0,16%	94
0,60 - 0,70				15	38	28	4										85	0,45%	95
0,70 - 0,80			4	55	169	117	18	1									364	1,93%	95
0,80 - 0,90			5	99	257	240	69	1									671	3,56%	99
0,90 - 1,00			9	122	383	393	185	6									1098	5,83%	103
1,00 - 1,20			35	463	905	1156	557	34									3150	16,72%	103
1,20 - 1,40			55	500	1065	1102	682	104									3508	18,62%	104
1,40 - 1,60			62	460	806	996	675	148									3147	16,70%	106
1,60 - 1,80			36	244	516	872	544	160			1						2373	12,59%	110
1,80 - 2,00			5	112	306	638	337	62				1			1		1462	7,76%	111
2,00 - 2,25			5	81	209	512	344	66					1				1217	6,46%	114
2,25 - 2,50			2	47	105	292	234	37			1						718	3,81%	115
2,50 - 2,75			3	20	53	163	125	19									383	2,03%	116
2,75 - 3,00		1	1	17	32	74	87	8									220	1,17%	115
3,00 - 5,00				11	27	167	190	20									415	2,20%	121
Total		1	222	2246	4896	6756	4051	666			2	1		1			18842	100%	
Percent.		0,01%	1,18%	11,92%	25,98%	35,86%	21,50%	3,53%			0,01%	0,01%		0,01%					
H Min	0,00	2,81	0,74	0,63	0,50	0,59	0,63	0,79	0,00	0,00	1,80	1,85	0,00	1,83	0,00	0,00			
H Med	0,00	2,81	1,42	1,40	1,39	1,57	1,70	1,75	0,00	0,00	2,08	1,85	0,00	1,83	0,00	0,00			
H Max	0,00	2,81	2,79	4,14	4,51	4,98	5,72	4,72	0,00	0,00	2,36	1,85	0,00	1,83	0,00	0,00			

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir Med (°)
0 - 4			1	17	18	7											43	0,23%	82
4 - 6			114	508	556	199	35	2									1414	7,51%	83
6 - 8			85	857	1595	1434	493	55									4519	24,01%	98
8 - 10		1	10	679	1590	2086	1228	227			1						5822	30,94%	108
10 - 11			2	59	351	752	694	165			1	1		1			2026	10,77%	119
11 - 12			2	80	373	915	623	98									2091	11,11%	116
12 - 13			6	31	253	647	502	57									1496	7,95%	117
13 - 14			2	7	96	364	291	41									801	4,26%	119
14 - 15				6	32	245	128	15									426	2,26%	119
15 - 20				2	30	91	52	6									181	0,96%	117
Total		1	222	2246	4894	6740	4046	666			2	1		1			18819	100%	
Porcent.		0,01%	1,18%	11,93%	26,01%	35,81%	21,50%	3,54%			0,01%	0,01%		0,01%					
T Min	0,00	9,60	3,60	3,50	3,60	3,40	4,80	5,70	0,00	0,00	8,70	10,60	0,00	10,10	0,00	0,00			
T Med	0,00	9,60	6,42	7,54	8,60	9,92	10,49	10,43	0,00	0,00	9,50	10,60	0,00	10,10	0,00	0,00			
T Max	0,00	9,60	13,50	16,20	17,30	18,10	18,00	15,90	0,00	0,00	10,30	10,60	0,00	10,10	0,00	0,00			

T (s)	0 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 20	Total	%	T Med (s)
0,00 - 0,50	22061						1				22062	117,09%	13
0,50 - 0,60			5	10	3	9	3				30	0,16%	10
0,60 - 0,70			15	32	19	7	9		1	2	85	0,45%	8
0,70 - 0,80			49	144	106	38	15	4	1	3	364	1,93%	8
0,80 - 0,90		7	81	247	200	54	38	24	9	8	670	3,56%	8
0,90 - 1,00		11	136	365	335	87	76	44	15	21	1097	5,82%	9
1,00 - 1,20		21	364	933	945	293	297	155	72	43	3149	16,71%	9
1,20 - 1,40		2	356	995	1051	372	331	237	97	29	3506	18,61%	9
1,40 - 1,60		2	242	772	965	396	368	260	81	32	3145	16,69%	9
1,60 - 1,80			128	499	783	311	290	211	98	42	2371	12,58%	10
1,80 - 2,00			31	232	516	191	198	154	84	36	1455	7,72%	10
2,00 - 2,25			11	161	444	108	193	127	109	54	1217	6,46%	10
2,25 - 2,50			1	71	227	77	132	79	66	43	715	3,79%	11
2,50 - 2,75				28	110	37	57	64	52	30	382	2,03%	11
2,75 - 3,00				20	44	16	26	45	32	30	217	1,15%	12
3,00 - 5,00				15	67	36	52	88	82	55	414	2,20%	12
Total	22104	1414	4519	5822	2026	2091	1496	801	425	181	40879	217%	
Porcent.	54,07%	3,46%	11,05%	14,24%	4,96%	5,12%	3,66%	1,96%	1,04%	0,44%			
H Min	0,00	0,65	0,58	0,55	0,56	0,54	0,50	0,75	0,68	0,67			
H Med	1,04	1,26	1,36	1,53	1,55	1,65	1,77	1,97	2,06	1,78			
H Max	1,60	2,29	3,92	4,72	4,04	4,68	4,58	4,98	5,72	4,45			

Figura 15 –Tabelas de resultado de cálculo para o ponto de medição externo. Acima tem-se a tabela de ocorrência conjunta de altura significativa - Hs (m) e direção (°), seguida pela tabela de ocorrência conjunta de período (s) e direção (°) e abaixo a tabela de ocorrência conjunta de Hs (m) e período (s).

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir Med (°)
0,00 - 0,10	12	19	18	3	1	1		1	2	3		3	8	5	1	217	294	2,36%	285
0,10 - 0,15	142	171	110	30	14	16	8	14	16	16	20	32	33	63	19	1832	2536	20,36%	284
0,15 - 0,20	308	330	233	59	45	36	26	23	32	20	37	26	55	101	40	2389	3760	30,19%	265
0,20 - 0,25	258	291	180	29	31	13	14	20	11	17	17	16	20	69	25	1550	2561	20,58%	255
0,25 - 0,30	141	151	124	9	11	7	5	11	8	8	6	14	16	33	14	774	1332	10,69%	250
0,30 - 0,35	77	87	59	5	8	9	5	5	3	5	2	5	6	12	8	342	638	5,12%	239
0,35 - 0,40	42	43	26	4	2	2	2			5	2	1	3	14	2	128	278	2,23%	227
0,40 - 0,45	19	21	16	1	1	1	3	1	4	2	1	2	2	3	1	73	151	1,21%	230
0,45 - 0,50	10	12	7	6				3	4	1	2	1	3	4		47	100	0,80%	233
0,50 - 0,65	19	25	17	5	1	1	3	1	4	1		3	3	8		80	171	1,37%	219
0,65 - 0,70	4	5	6		3					1		1	1	2	1	17	41	0,33%	227
0,70 - 0,80	6	7	7	4	2	2	2	1		2	3	1	3	2	1	23	66	0,53%	205
0,80 - 0,90	5	7	6	1	1										1	19	40	0,32%	220
0,90 - 1,00		3	4	2		3			1	1	2	1	2	3		17	39	0,31%	231
1,00 - 1,50	19	26	20	11	11	8	11	3	8	8	8	5	14	15	5	148	320	2,57%	240
1,50 - 5,00	5	8	3	1	3	4	1	4	3	8	1	2		6	1	79	129	1,04%	265
Total	1067	1206	836	170	134	103	80	89	96	98	101	113	169	340	119	7735	12456	100%	
Porcent.	8,57%	9,68%	6,71%	1,36%	1,08%	0,83%	0,64%	0,71%	0,77%	0,79%	0,81%	0,91%	1,36%	#####	#####	#####			
H Min	0,07	0,07	0,07	0,09	0,10	0,08	0,11	0,07	0,08	0,08	0,11	0,07	0,08	0,08	0,09	0,07			
H Med	0,26	0,27	0,28	0,32	0,35	0,38	0,40	0,34	0,37	0,47	0,33	0,30	0,31	0,31	0,28	0,25			
H Max	2,05	2,42	2,32	1,56	1,91	2,17	2,04	2,12	2,15	2,13	1,91	1,87	1,46	2,38	2,11	2,56			

Dir	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir Med (°)
0 - 4	504	619	409	48	29	24	22	15	25	34	23	32	70	189	66	5259	7368	59,42%	281
4 - 6	99	122	87	32	26	24	18	23	25	19	29	25	29	32	16	2038	2644	21,32%	294
6 - 7	94	74	61	11	20	13	11	11	11	13	13	15	18	26	8	205	604	4,87%	211
7 - 8	317	298	227	54	28	24	13	19	13	9	19	21	29	68	21	187	1347	10,86%	149
8 - 9	32	45	26	9	10	8	3	7	4	6	6	7	7	14	3	31	218	1,76%	162
9 - 10	15	21	8	8	2	3	3	4	5	6	2	4	6	2	1	12	102	0,82%	160
10 - 11	1	2	3			1			2	3	1		1	1			19	0,15%	148
11 - 12		1		1	1		2	2		2	4			1			14	0,11%	171
12 - 13																			0
13 - 20	3	12	5	4	6	4	7	6	7	5	1	5	8	5	4	2	84	0,68%	161
Total	1065	1194	826	167	125	101	79	88	92	97	98	109	168	338	119	7734	12400	100%	
Percent.	8,59%	9,63%	6,66%	1,35%	1,01%	0,81%	0,64%	0,71%	0,74%	0,78%	0,79%	0,88%	1,35%	#####	#####	#####			
T Min	1,90	1,80	1,80	1,80	2,00	1,80	1,90	2,00	1,80	1,90	1,90	2,00	1,90	1,80	1,90	1,80			
T Med	5,10	5,12	5,18	6,27	7,49	6,48	6,63	6,98	6,98	6,21	6,53	6,40	5,70	4,83	4,79	3,69			
T Max	25,00	27,00	27,00	26,00	27,00	26,00	24,00	17,00	25,00	18,00	24,00	21,00	25,00	18,00	16,00	25,00			

T (s)	0 - 4	4 - 6	6 - 7	7 - 8	8 - 9	9 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 20	Total	%	T Med (s)
0,00 - 0,10	28639	93	3	6		1					28742	230,75%	4
0,10 - 0,15	1507	692	111	177	38	11					2536	20,36%	4
0,15 - 0,20	2025	1001	210	434	69	16	3				3758	30,17%	4
0,20 - 0,25	1431	571	147	341	40	24	2	2		1	2559	20,54%	4
0,25 - 0,30	820	215	72	176	26	12	3	2		3	1329	10,67%	4
0,30 - 0,35	420	56	23	86	16	18	5	2		10	636	5,11%	4
0,35 - 0,40	176	13	14	45	7	7	3	1		11	277	2,22%	5
0,40 - 0,45	101		7	22	4	4		2		11	151	1,21%	5
0,45 - 0,50	60		4	13	4	2	1	1		8	93	0,75%	6
0,50 - 0,65	109		11	27	5	1	1			12	166	1,33%	6
0,65 - 0,70	29			5		1				3	38	0,31%	6
0,70 - 0,80	35	2		11	3	3		2		6	62	0,50%	7
0,80 - 0,90	24			2	3					4	33	0,26%	8
0,90 - 1,00	31			1		1				1	34	0,27%	6
1,00 - 1,50	287	1	1	1	3	1	1	1		11	307	2,46%	4
1,50 - 5,00	122		1					1		3	127	1,02%	3
Total	35816	2644	604	1347	218	102	19	14		84	40848	328%	
Percent.	87,68%	6,47%	1,48%	3,30%	0,53%	0,25%	0,05%	0,03%		0,21%			
H Min	0,00	0,07	0,07	0,07	0,11	0,07	0,17	0,21	0,00	0,22			
H Med	0,29	0,19	0,22	0,24	0,26	0,30	0,36	0,55	0,00	0,63			
H Max	2,56	1,46	1,56	1,40	1,43	1,39	1,24	1,53	0,00	1,66			

Figura 16 –tabela de Tabelas de resultado de cálculo para o ponto de medição interno. Acima tem-se a tabela de ocorrência conjunta de altura significativa - Hs (m) e direção (°), seguida pela tabela de ocorrência conjunta de período (s) e direção (°) e abaixo a tabela de ocorrência conjunta de Hs (m) e período (s).

No geral, no ponto externo observa-se um domínio de ondas provenientes do quadrante Nordeste-Sudeste, com alturas significativas predominantes entre 1 e 2m, ultrapassando os 3m de altura em aproximadamente 4% do período analisado. Em relação ao período de pico, nota-se o predomínio de ondas entre 8 e 12s, e uma fração inferior a 7% do período analisado de ondas com período superior a 14s.

O quebra mar do porto de Imbituba cria uma zona de sombra nos berços de atracação, atenuando as ondas vindas do quadrante Leste-Sudeste. Sendo assim, observa-se no ponto interno o domínio da incidência de ondas de norte-nordeste com predomínio de alturas significativas inferiores a 0.4 m (70% do período analisado), e

em poucos momentos ultrapassando a altura de 1m. Nesta área nota-se o predomínio de ondas de período curto, caracterizados como ondas geradas pelo vento local.

3.3.2. Cenários de Modelagem de Ondas

A partir da análise estatística foram definidas 4 condições de ondas para as simulações considerando as seguintes premissas:

- Onda proveniente de sul com altura significativa de 3m;
- Onda proveniente de sudeste com altura significativa de 3 m;
- Onda proveniente de leste com altura significativa de 3m;
- Onda proveniente de norte-nordeste com altura significativa de 3m.

As figuras a seguir ilustram o comportamento do campo de ondas provenientes para cada condição.

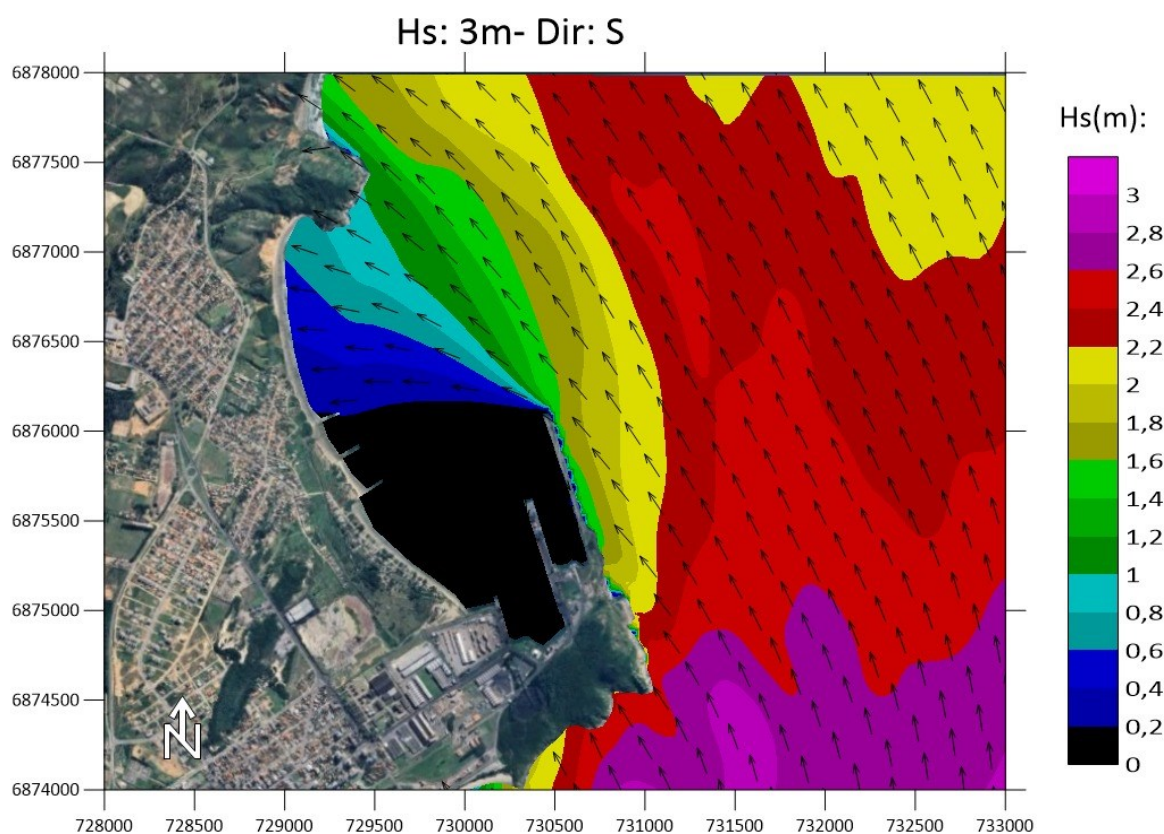


Figura 17 – Campo de ondas simulado para ondas de vindas de Sul.

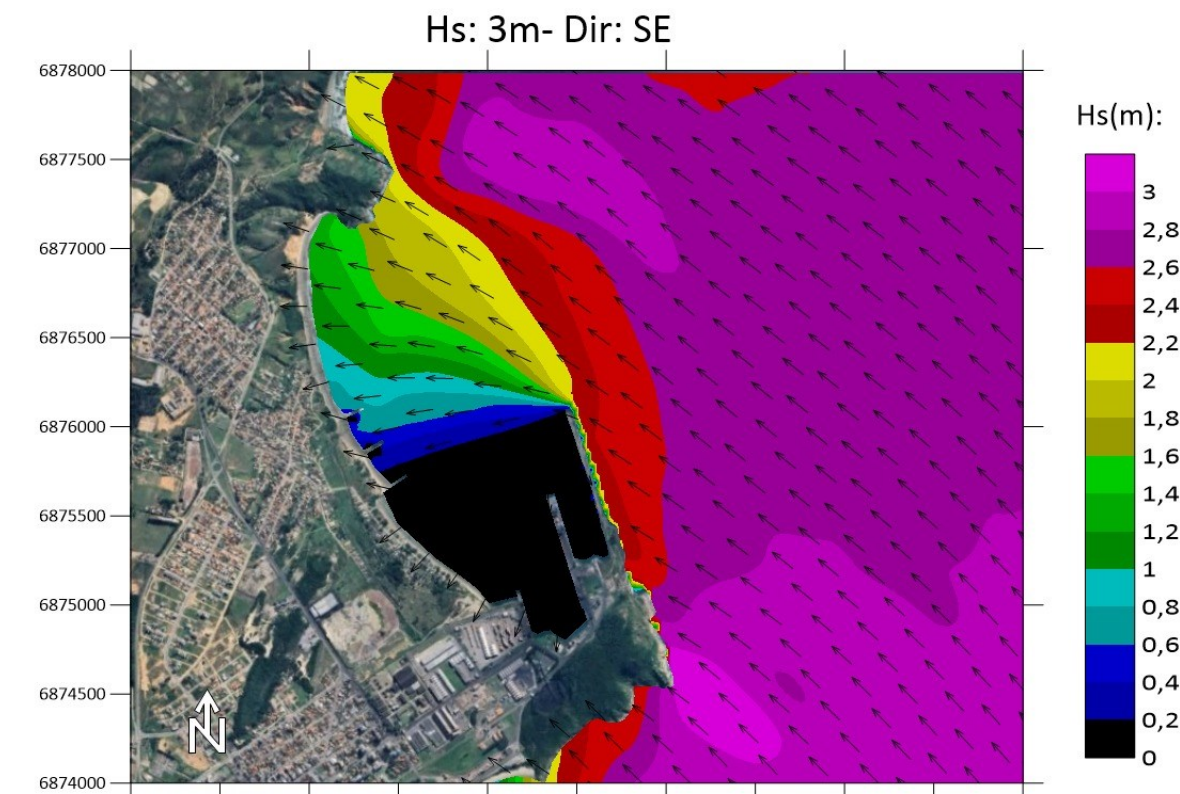


Figura 18 – Campo de ondas simulado para ondas de vindas de Sudeste.

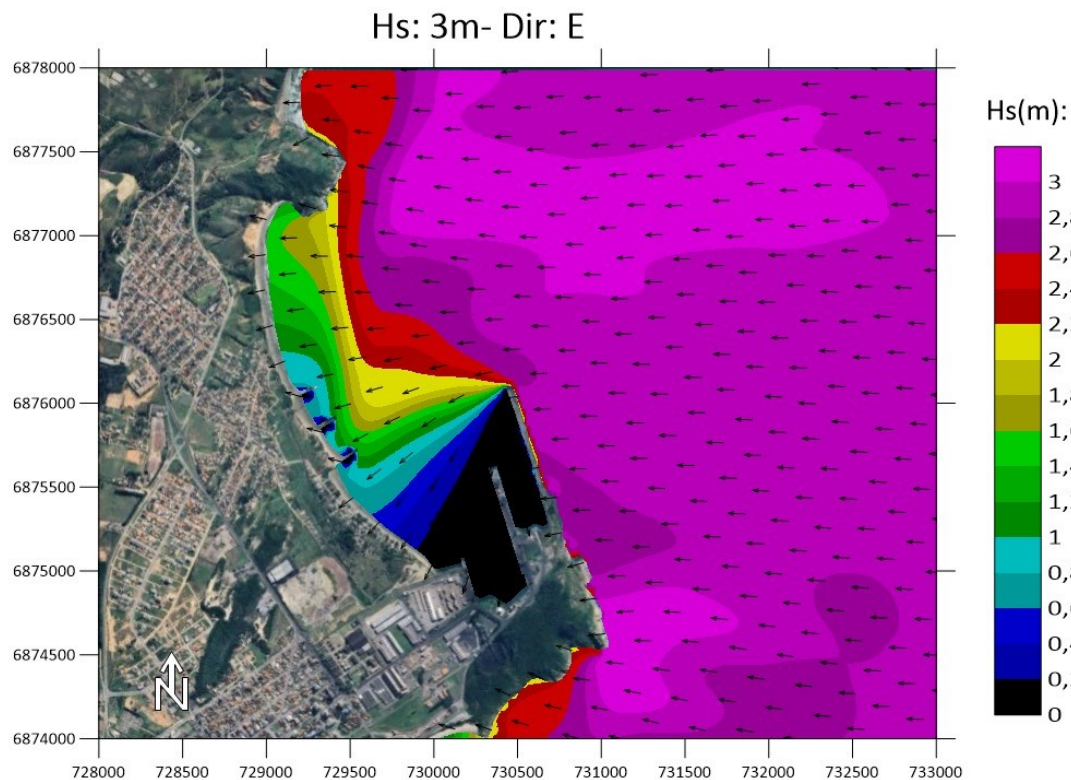


Figura 19 – Campo de ondas simulado para ondas de vindas de leste.

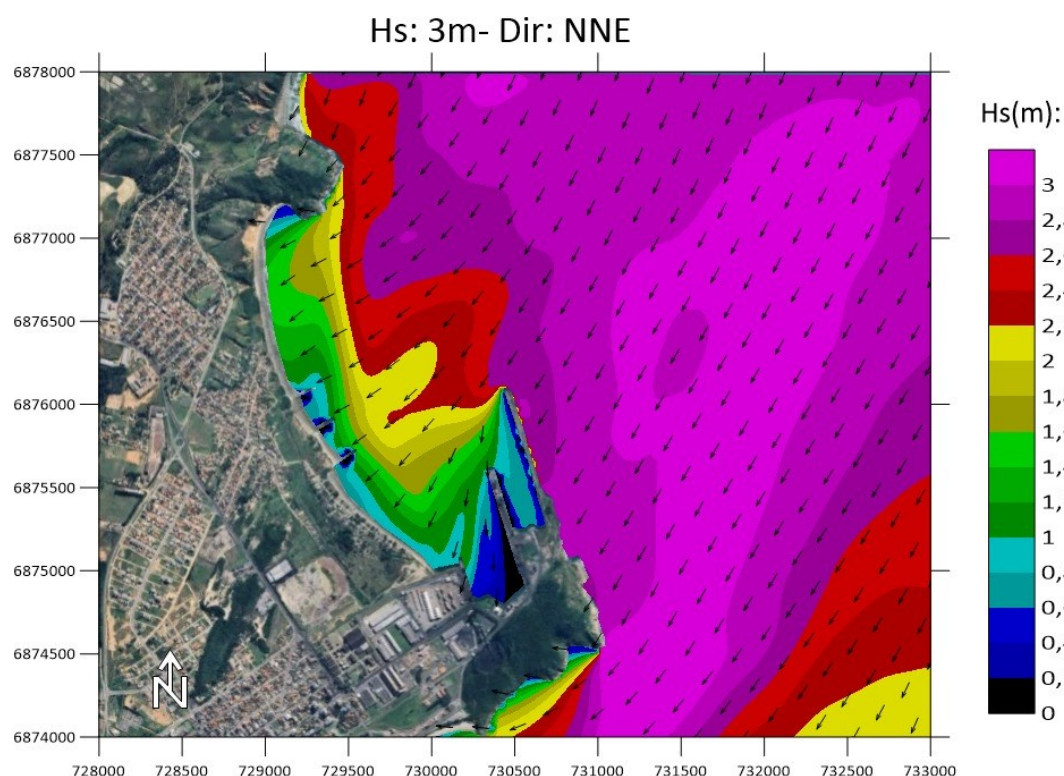


Figura 20 – Campo de ondas simulado para ondas de vindas de Norte-Nordeste.

Os resultados dos cenários corroboram com os análise dos dados observados. Apesar da baixa frequência de ocorrência, nota-se que as ondas de Norte-Nordeste penetram a área abrigada do porto, apresentando alturas significativas que podem chegar a 1m. A presença do quebra-mar é muito eficiente para as condições de ondas de sul, sudeste e leste. Nota-se que a sombra gerada pela proteção do quebra-mar é maior nas condições de Sul e Sudeste, e que há um alinhamento com os espigões existem na região, para cada uma das condições.

Diversos estudos mostram que as variações temporais nas condições de ondas são importantes na elaboração de projetos. Para ilustrar tais variações no tempo foram calculados alguns parâmetros representativos de onda para cada mês ao longo do período de cobertura dos dados. O período representativo de altura e direção foram, deste modo, calculados como valores médios ponderados.

As Figuras de 21 a 23 mostram a média mensal dentre o período (43 anos) analisado de altura significativa, período de pico e direção, respectivamente, para os dados extraídos no ponto de calibração.

As alturas médias das ondas variam entre 1.5 e 1.90m, ao longo do ano. As ondas apresentam períodos médios de pico entre 8s e 10s. Em relação a direção média de ondas, nota-se o domínio da direção Sudeste e Sul-Sudeste. Os meses de inverno são mais energéticos, enquanto o período de verão apresenta-se menos energético.

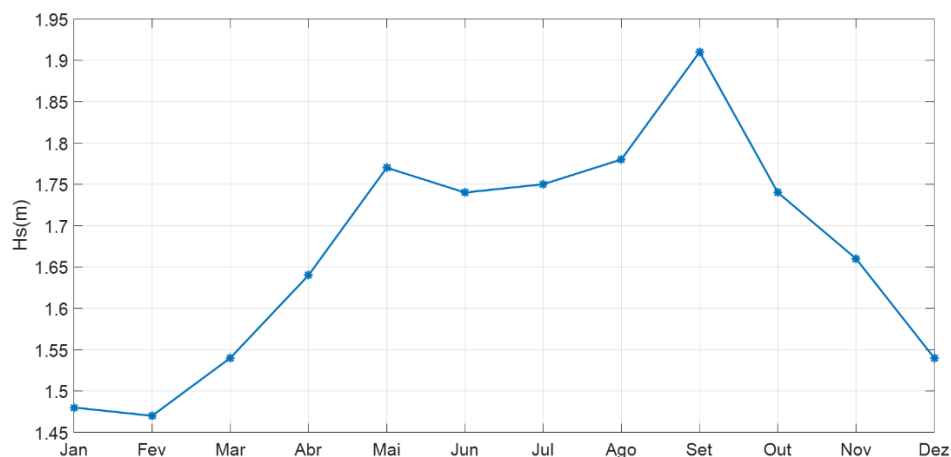


Figura 21 – Média mensal de altura significativa entre os anos de 1980 e 2023.

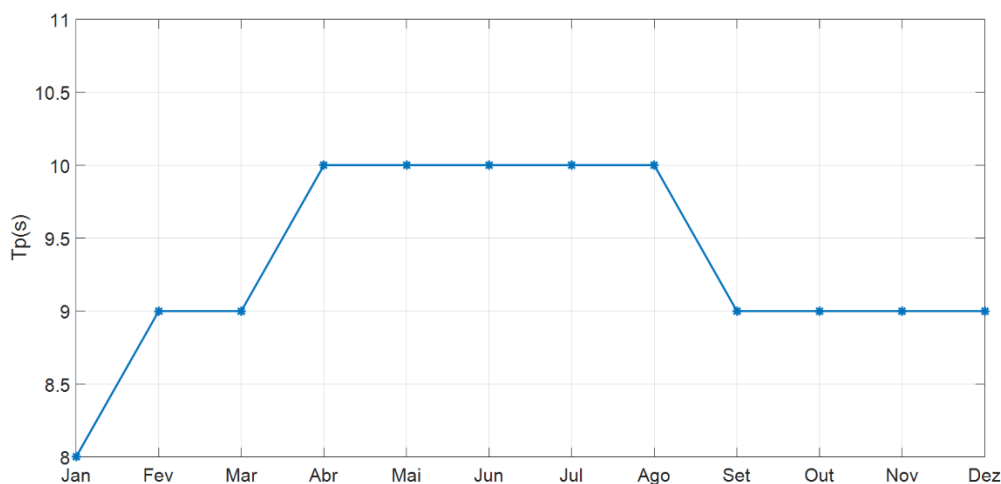


Figura 22 – Média mensal do período de pico entre os anos de 1980 e 2023.

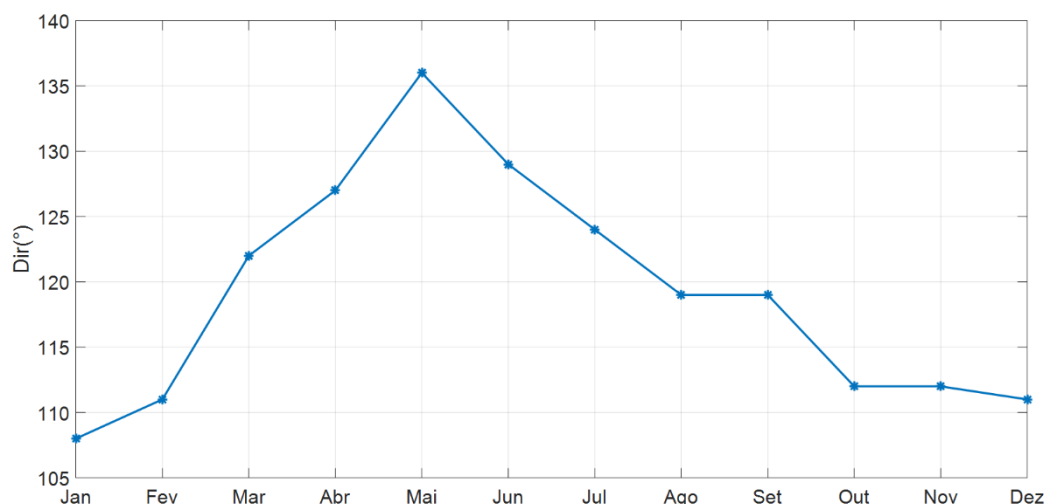


Figura 23 – Média mensal da direção de ondas entre os anos de 1980 e 2023.

3.4. Modelagem Hidrodinâmica

No modelo hidrodinâmico, os dados de marés foram incluídos na borda oceânica se propagando em direção à costa. Na região onde se encontra o porto é notório o padrão da circulação hidrodinâmica, sendo característicos os períodos de enchente e vazante. Dessa forma, serão apresentadas as figuras representativas dos períodos de enchente e vazante, ambas em uma situação de maré de sizígia onde acontecem as maiores velocidades no local do projeto.

As figuras 24 e 25 apresentam os resultados obtidos através das simulações realizadas para a hidrodinâmica local. Foram avaliados os campos de correntes para as situações de meia maré de enchente e vazante, que são os momentos mais propícios as maiores velocidades.

O padrão de circulação na área do porto para a situação de meia maré enchente, mostra que as maiores velocidades se concentram na parte externa do porto.

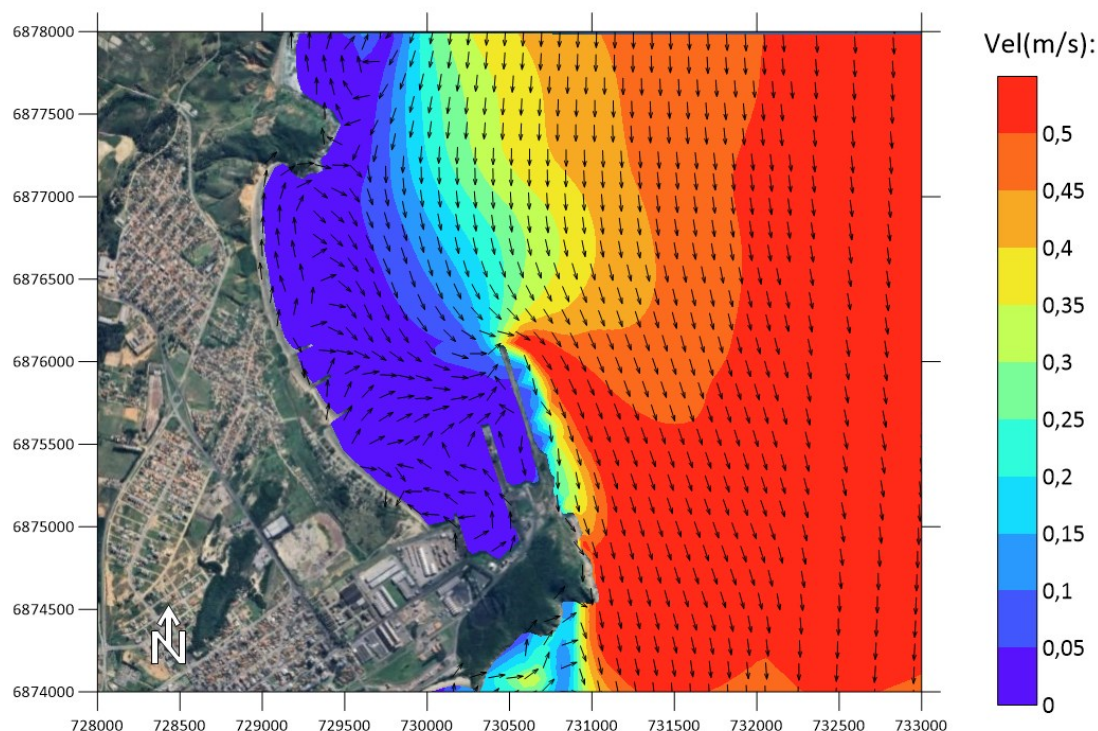


Figura 24 – Campo de corrente num instante de meia maré de enchente no período de sizígia.

Na meia maré de vazante o padrão de circulação na área interna mante-se com baixa intensidade, sendo observado a presença de um vórtice próximo ao quebra mar. Tanto na enchente quanto na vazante, as velocidades médias se concentram entre 0.1 e 0.5m/s.

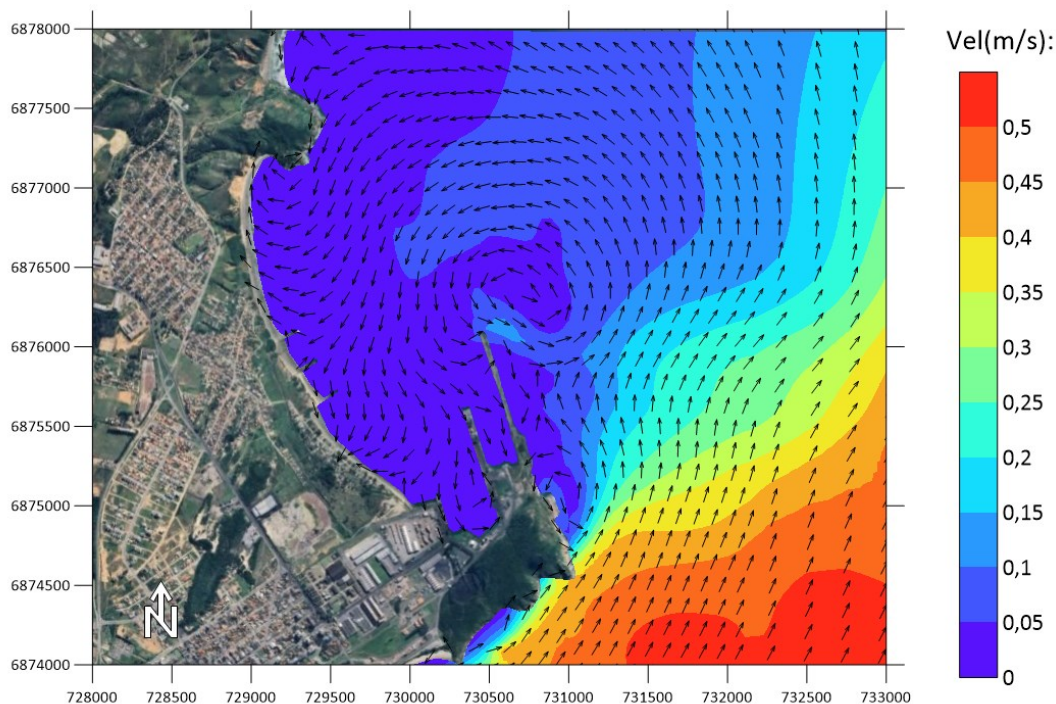


Figura 25 –Campo de corrente num instante de meia maré de vazante no período de sizígia.

3.5. Onda De Projeto

As condições das ondas ao longo da área de interesse foram obtidas através do estabelecimento do modelo de transformação de ondas.

A análise estatística de 43 anos foi realizada sobre os dados extraídos no ponto de calibração, na profundidade de aproximadamente 12m. Foram observados os coeficientes de correlação e o desvio de cada distribuição (Tabela 2), obtendo-se o valor de H_s de 6.18 metros para um período de recorrência de 100 anos.

Tabela 2- Período de recorrência de ondas

PERÍODO DE RETORNO	CORRELAÇÃO	ALTURA SIGNIFICATIVA (m)						
		D. PADRAO (m)	1 MES	1 ANO	10 ANOS	30 ANOS	50 ANOS	100 ANOS
GUMBEL	.998	.066	3.52	4.45	5.32	5.73	5.92	6.18
EXPONENCIAL	.976	.260	3.43	4.50	5.48	5.95	6.17	6.47
WEIBULL (K=1.59)	.991	.161	3.69	4.49	5.16	5.45	5.59	5.77
WEIBULL (K=.90)	.964	.320	3.35	4.49	5.57	6.10	6.34	6.68
WEIBULL (K=1.10)	.984	.212	3.49	4.50	5.41	5.83	6.03	6.30
WEIBULL (K=1.20)	.989	.176	3.55	4.50	5.34	5.73	5.91	6.16
WEIBULL (K=1.30)	.991	.154	3.59	4.50	5.29	5.65	5.81	6.03
WEIBULL (K=1.40)	.992	.145	3.63	4.50	5.24	5.57	5.72	5.93
WEIBULL (K=1.50)	.992	.150	3.66	4.49	5.19	5.50	5.65	5.84
WEIBULL (K=1.60)	.990	.163	3.69	4.49	5.15	5.44	5.58	5.76
WEIBULL (K=1.70)	.988	.182	3.72	4.49	5.11	5.39	5.52	5.69
WEIBULL (K=1.80)	.985	.204	3.74	4.48	5.08	5.34	5.46	5.62
WEIBULL (K=1.90)	.982	.228	3.76	4.47	5.05	5.30	5.41	5.57
LOGNORMAL	.995	.516	10.27	15.13	20.50	23.32	24.80	26.79
EXP. QUADRATICA	.986	.420	3.76	4.55	5.17	5.44	5.56	5.73

A seguir são apresentados a tabelas de frequência de ocorrência conjunta de Hs x Dir, Tp x Dir e Hs x Tp para o ponto analisado.

Dir H (m)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir Med (°)
0,00 - 0,50																	6	0,01%	0
0,50 - 0,60					1	1			3	1							37	0,09%	142
0,60 - 0,70			2	6	10	5	3	2	9								227	0,58%	116
0,70 - 0,80		1	9	63	59	57	24	6	8								610	1,49%	99
0,80 - 0,90		2	27	129	195	141	76	36	4								1272	3,11%	100
0,90 - 1,00		5	64	264	360	306	177	83	13								4944	12,09%	102
1,00 - 1,20	3	49	447	964	1135	942	768	498	136	1	1						7418	18,14%	105
1,20 - 1,40	100	791	1332	1371	1284	1209	956	363	11						1		7650	18,71%	112
1,40 - 1,60	2	117	768	1144	1132	1194	1290	696	14	1		2					6064	14,83%	119
1,60 - 1,80	2	63	576	752	757	855	975	1137	898	47	1				1		4492	10,98%	130
1,80 - 2,00	1	30	251	464	508	540	727	861	1019	87	3	1					3568	8,72%	140
2,00 - 2,25		24	145	287	317	422	487	640	1077	164	5						1935	4,73%	149
2,25 - 2,50		6	48	135	136	190	249	294	676	199	2						1103	2,70%	157
2,50 - 2,75		1	21	52	81	87	121	154	378	203	5						655	1,60%	161
2,75 - 3,00		1	17	21	39	57	71	79	174	193	3						915	2,24%	177
3,00 - 5,00		1	7	21	27	37	70	84	211	438	19						40896	100%	
Total	8	400	3173	5634	6128	6118	6247	6123	5663	1357	40	1	2			2			
Porcent.	0,02%	0,98%	7,76%	13,77%	14,98%	14,96%	15,28%	14,97%	13,85%	3,32%	0,10%	0,00%	0,00%			0,00%			
H Min	1,13	0,77	0,69	0,61	0,60	0,59	0,67	0,57	0,58	1,19	1,02	1,88	1,47	0,00	0,00	1,38			
H Med	1,47	1,51	1,50	1,47	1,46	1,52	1,60	1,70	1,99	2,74	2,97	1,88	1,48	0,00	0,00	1,57			
H Max	1,97	3,14	3,37	3,64	3,79	3,98	5,11	4,46	5,57	5,71	4,73	1,88	1,50	0,00	0,00	1,77			

Dir T (s)	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE	S	SSW	SW	WSW	W	WNW	NW	NNW	Total	%	Dir Med (°)
0 - 4																	3925	9,60%	75
4 - 6	4	305	1591	915	292	135	139	216	265	61	1	1					24059	58,82%	112
6 - 8	4	95	1575	4474	4871	4174	3425	2466	2158	789	24		2			2	11094	27,12%	144
8 - 10			7	245	952	1731	2498	2992	2229	425	15						1356	3,32%	167
10 - 11					13	62	149	343	719	70							365	0,89%	169
11 - 12						16	30	91	215	13							99	0,24%	176
12 - 13							6	15	76	2							6	0,01%	173
13 - 14								1	5										0
14 - 15																			0
15 - 20																			0
Total	8	400	3173	5634	6128	6118	6248	6123	5667	1360	40	1	2			2	40904	100%	
Porcent.	0,02%	0,98%	7,76%	13,77%	14,98%	14,96%	15,27%	14,97%	13,85%	3,32%	0,10%	0,00%	0,00%			0,00%			
T Min	5,04	4,55	4,50	4,72	4,93	5,07	4,90	4,85	4,72	4,81	5,05	5,77	6,39	0,00	0,00	6,21			
T Med	5,97	5,69	6,06	6,72	7,24	7,60	7,90	8,19	8,43	7,79	7,75	5,77	6,68	0,00	0,00	6,25			
T Max	7,18	7,60	8,31	9,63	10,90	11,71	13,09	12,96	13,15	12,25	9,83	5,77	6,97	0,00	0,00	6,29			

T (s) \ H (m)	0 - 4	4 - 6	6 - 8	8 - 10	10 - 11	11 - 12	12 - 13	13 - 14	14 - 15	15 - 20	Total	%	T Med (s)
0,00 - 0,50													0
0,50 - 0,60			6								6	0,01%	7
0,60 - 0,70		6	30	1							37	0,09%	7
0,70 - 0,80		57	166	4							227	0,56%	6
0,80 - 0,90		130	451	29							610	1,49%	7
0,90 - 1,00		226	984	62							1272	3,11%	7
1,00 - 1,20		925	3553	463	3						4944	12,09%	7
1,20 - 1,40		1169	4955	1272	20	2					7418	18,14%	7
1,40 - 1,60		805	4678	2114	52	1					7650	18,71%	7
1,60 - 1,80		400	3392	2102	149	19	2				6064	14,83%	8
1,80 - 2,00		141	2294	1774	252	26	4	1			4492	10,98%	8
2,00 - 2,25		54	1640	1435	361	69	8	1			3568	8,72%	8
2,25 - 2,50		12	911	700	218	83	11				1935	4,73%	8
2,50 - 2,75			457	399	126	83	35	3			1103	2,70%	9
2,75 - 3,00			257	271	63	37	27				655	1,60%	9
3,00 - 5,00			285	462	110	45	12	1			915	2,24%	9
Total		3925	24059	11088	1354	365	99	6			40896	100%	
Porcent.		9,60%	58,83%	27,11%	3,31%	0,89%	0,24%	0,01%					
H Min	0,00	0,65	0,57	0,64	1,05	1,35	1,73	1,83	0,00	0,00			
H Med	0,00	1,33	1,56	1,85	2,23	2,47	2,65	2,63	0,00	0,00			
H Max	0,00	2,46	4,53	5,71	5,13	3,93	3,52	3,69	0,00	0,00			

Figura 26 – Tabelas de resultado de cálculo para o ponto de simulado. Acima tem-se a tabela de ocorrência conjunta de altura significativa - Hs (m) e direção (°), seguida pela tabela de ocorrência conjunta de período (s) e direção (°) e abaixo a tabela de ocorrência conjunta de Hs (m) e período (s).

Os resultados obtidos da simulação consolidam a análise dos dados medidos no ponto externo. Nota-se um padrão de distribuição homogêneo e dominante do período analisado das ondas provenientes entre as direções de nordeste até sul, com altura significativa média entre 1m e 1.80m, e período entre 6s e 8s.

Em 4% do período analisado, nota-se a ocorrência de ondas de sul com alturas significativas superiores a 3m, e períodos que podem ultrapassar 14s.

As ondas de norte-nordeste ocorrem apenas em 2% do período analisado, e apresentam alturas significativas que podem chegar a 3m, com período entre 4s e 8s, caracterizados com ondas de mar local.

3.6. Considerações Finais

No geral, o trabalho buscou detalhar, de maneira estatística, a probabilidade de ocorrência de ondas em diversas direções e períodos, subsidiando a implementação de futuras obras de engenharia na região. Dessa forma, foi caracterizada a hidrodinâmica local e o clima de ondas nas proximidades do porto de Imbituba-SC.

O modelo de transformação de ondas foi configurado para simular as condições

de ondas na área de estudo geradas pelo efeito combinado dos ventos e das ondas ao largo.

O período de 43 anos de simulação forneceu as condições de ondas para diferentes condições sazonais, que foram analisadas para a determinação de parâmetros estatísticos básicos relevantes na elaboração de um projeto de engenharia.

A presença de dados de ondas coletados na área de estudo, possibilitou a calibração e validação do modelo de ondas.

O ponto analisado, está localizado na parte externa do porto de Imbituba, apresenta uma distribuição homogênea da direção de ondas entre o quadrante nordeste e sudeste, com variação média entre 1m e 1.8m de altura significativa.

As ondas oceânicas, ou seja, as geradas ao largo da costa, apesar de sofrerem um amortecimento pela presença do quebra mar do porto de Imbituba, penetram a parte interna do porto quando são provenientes da direção norte-nordeste. Assim sendo, em pouquíssimos momentos do período analisado, são observadas pequenas ondulações de curto período na parte interna do porto.

A média anual dos 43 anos analisado mostrou que os meses de inverno são mais energéticos. A parti dessa simulação foi possível determinar que a altura significativa é de 6.18m, para um período de recorrência de 100 anos.

O padrão de circulação na área do porto, mostra que as maiores velocidades se concentram na parte externa do porto. Tanto na enchente quanto na vazante, as velocidades médias se concentram entre 0.1 e 0.5m/s.

4. PROJETO DA SEÇÃO TRANSVERSAL DO MOLHE - TRECHO RETO E CABEÇO

Da análise dos levantamentos das seções transversais do molhe e das fotos existentes evidencia-se que a maior parte da extensão total do molhe encontra-se estruturalmente avariada em maior ou menor grau. De fato, pode-se dividir o molhe longitudinalmente em 3(trechos) trechos que se diferenciam, comparativamente, pelos graus de avaria. Com o tempo parte dos blocos de rocha desse trecho foram deslocados pela ação das ondas e estão atualmente espalhados sobre o talude

rochoso. As seções transversais nos trechos mais avariados apresentam taludes bastante suaves variando de 1:4 a 1:7,5. Nos trechos de avaria moderada os taludes variam de 1:1,5 a 1:2.

Abaixo são evidenciados os graus de avarias decorrentes da análise das seções transversais levantadas.

- 1º trecho: da seção 1 a 8- moderada
- 2º trecho: da seção 8 a 27- grande
- 3º trecho: da seção 27 a 66 - muito grande

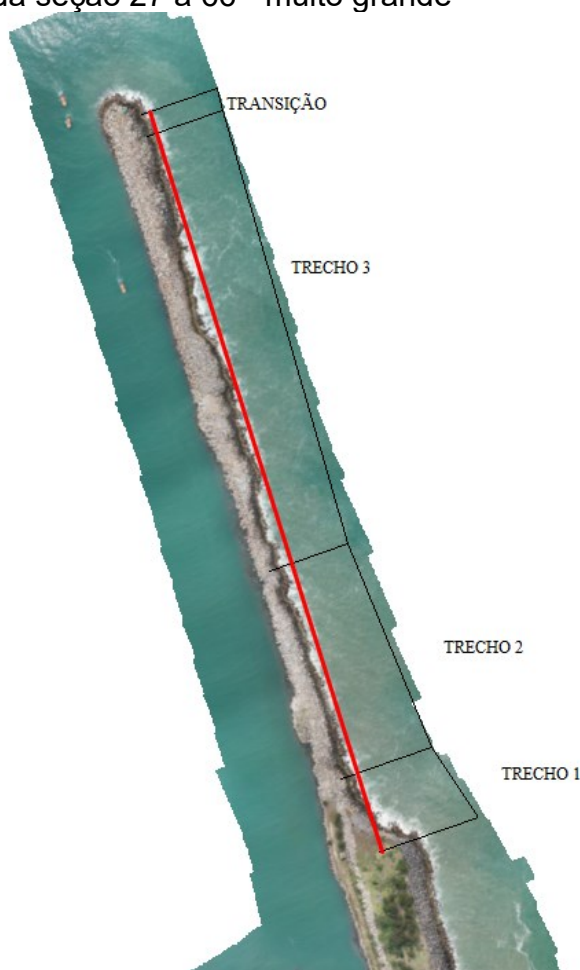


Figura 27 – Avarias de grande monta ao longo do molhe. Risco de rompimento.

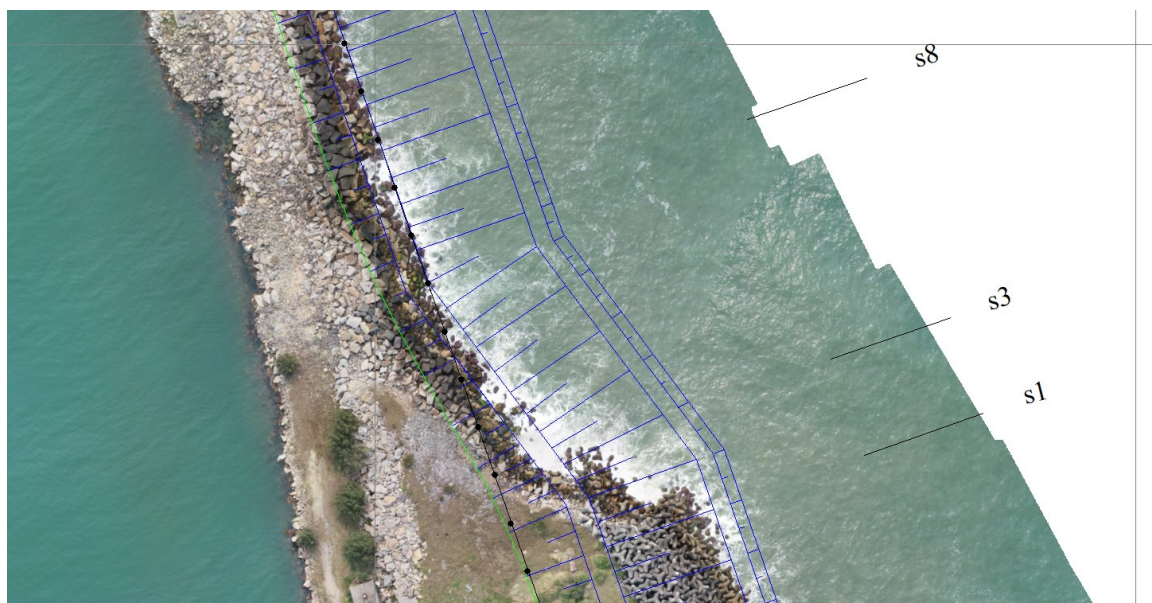


Figura 28 – Avarias de grande monta entre a seção 1 a 8.

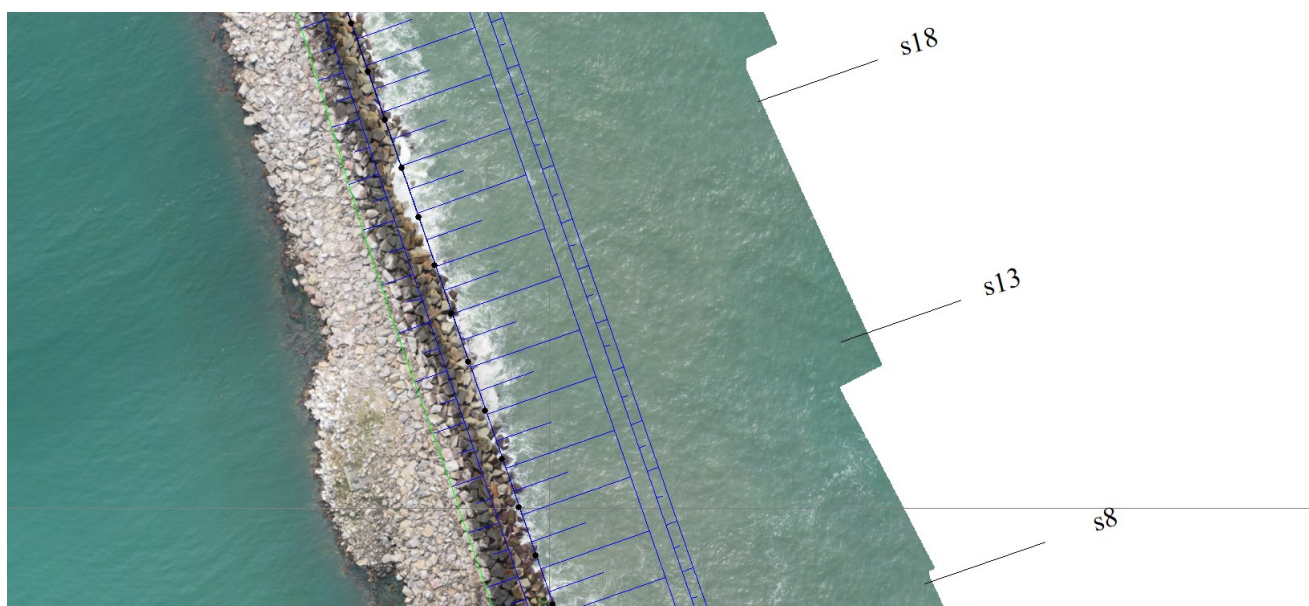


Figura 29 – Avarias de grande monta entre a seção 8 a 18.

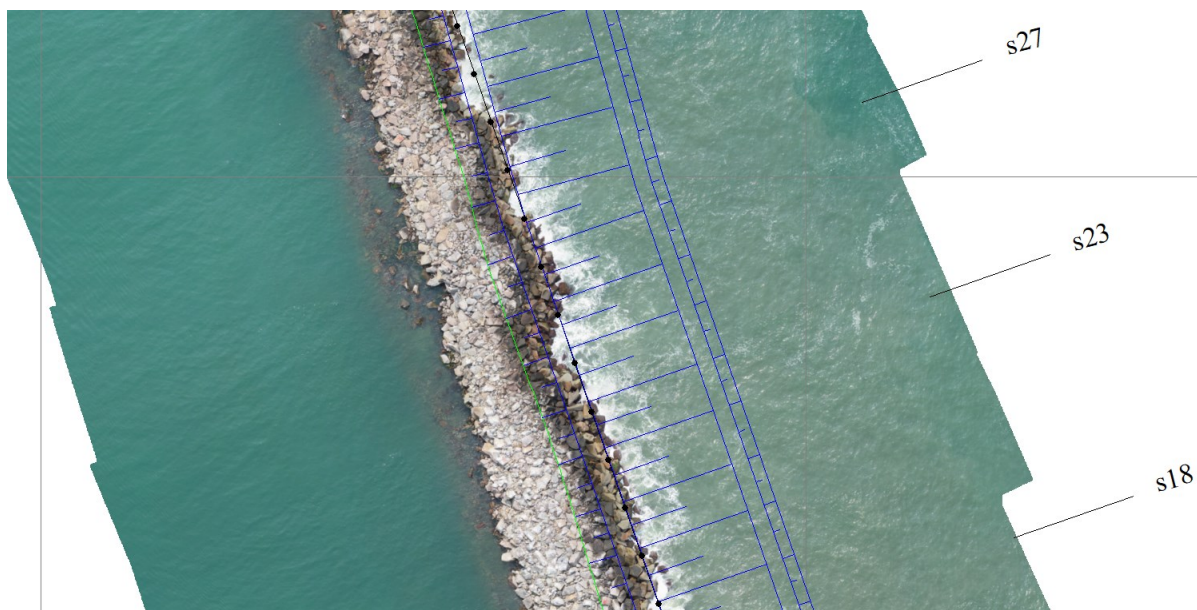


Figura 30 – Avarias de grande monta entre a seção 18 a 27.

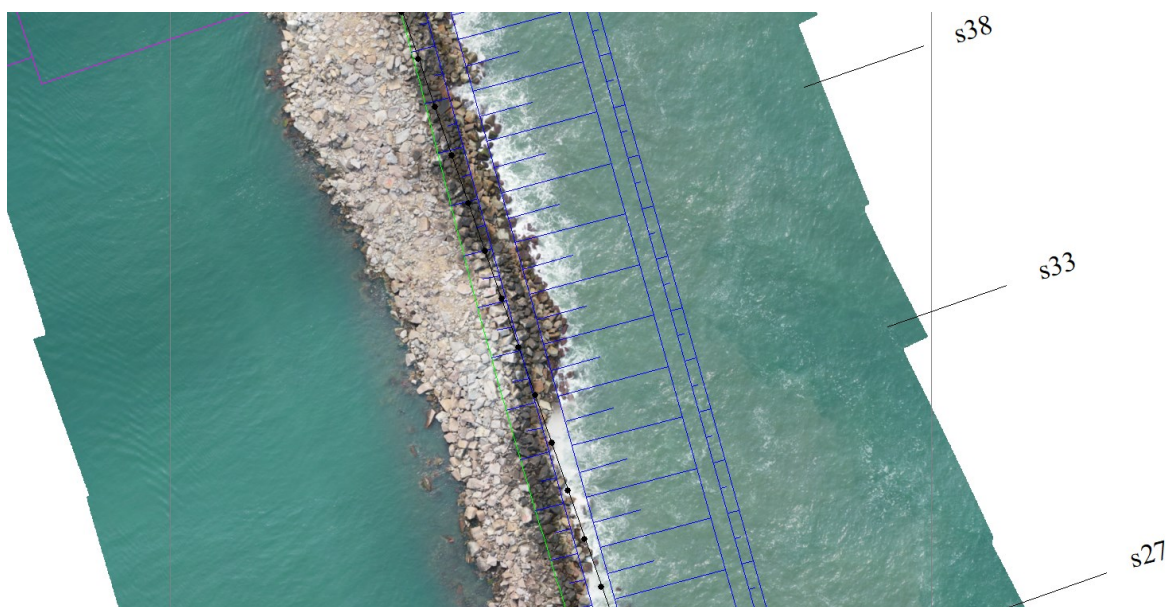


Figura 31 – Avarias de grande monta entre a seção 27 a 38.



Figura 32 – Avarias de grande monta entre a seção 38 a 48.

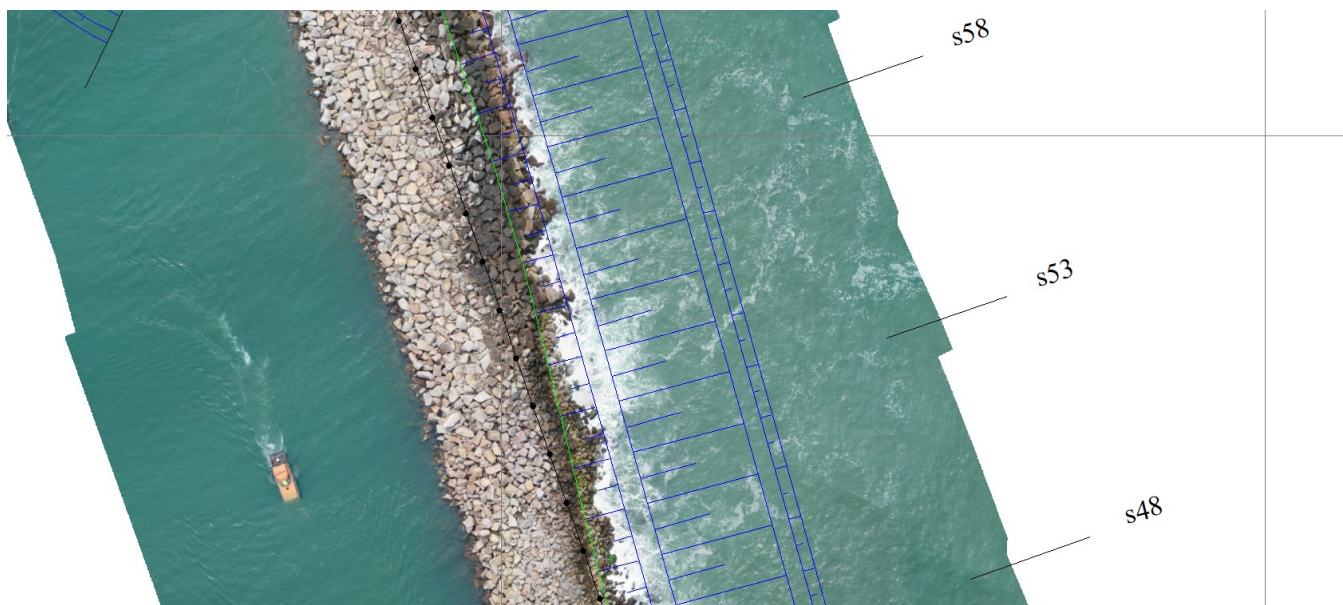


Figura 33 – Avarias de grande monta entre a seção 48 a 58.

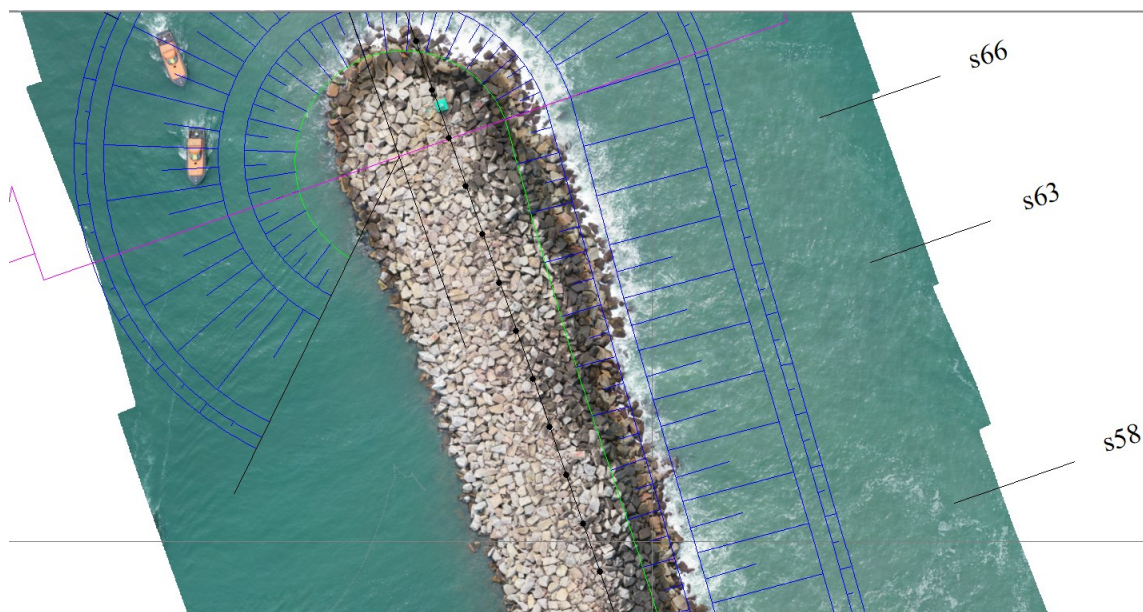


Figura 34 – Avarias de grande monta entre a seção 58 a 66.

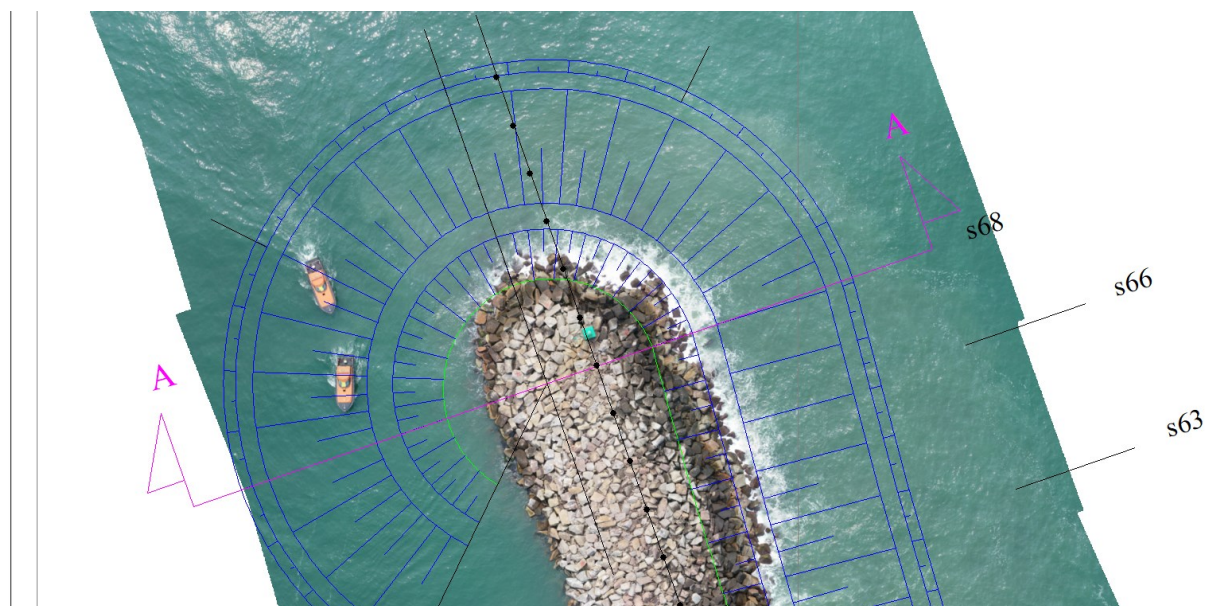


Figura 35 – Avarias de grande monta entre a seção 66 a 68.

A distribuição das energias de ondas ao longo do alinhamento do molhe, demonstrada nos estudos de propagação de ondas em modelos matemáticos, comprova a variação de avarias acima exposta, principalmente no trecho inicial. Os trechos mais danificados são atingidos por ondas de maiores amplitudes.

Um projeto de restauração de molhes expostos às ações de ondas marítimas deve ser elaborado tendo- se em conta que não se trata apenas de uma recomposição meramente estética, é muito mais que isso. No caso de Imbituba, deve-

37

se cuidar, de fato, da sua restauração estrutural, visto que o molhe já existe há mais de três décadas. Um simples rearranjo dos blocos de rocha ou a colocação de uma nova camada de carapaça sobre trechos danificados não restituirão as condições de segurança de quando se tinha uma obra recém implantada ou ainda nos estágios iniciais de sua vida útil.

Portanto, nesse processo de restauração deve-se objetivar a construção de uma estrutura com características estruturais capazes de resistir às ações da natureza como se fosse uma nova estrutura. Seria, obviamente, anti-econômico mobilizar equipamentos, pedreiras, e/ou usina de concreto etc; contratar estudos ambientais, empreiteiras, projetos, fiscalizações, licenças, etc para a execução de apenas um remendo com vida útil incerta e limitada.

Partindo-se desse princípio, considerar-se-á como condição básica no projeto de restauração a inserção, ao longo de toda extensão do molhe existente, de pelo menos uma carapaça e sub-carapaça novas, utilizando-se a obra existente como suporte (base), afim de que possa atender às necessidades de abrigo do terminal a longo prazo. O molhe de restauração deverá, portanto, superpor-se ao atual e, a princípio, sem derogagens importantes.

A obra de restauração com seção plena de carapaça e sub-carapaça deverá ter início a partir da estaca 1. Para o cálculo dos pesos unitários dos blocos de rocha ou de concreto da carapaça é utilizada ordinariamente a fórmula de Hudson, fórmula empírica, resultante de estudos em modelos físicos e observações na natureza. Essa fórmula tem sido usada mundialmente e proporcionado excelentes resultados quanto à estabilidade das estruturas. A utilização de modelagem física propicia a otimização estrutural da seção resultante da citada formulação.

Dada as características hidráulicas locais, vigentes à época, chegou-se a considerar como necessário o uso de blocos de rocha de grandes dimensões e boa qualidade na carapaça, o que atualmente pode ser um fator restritivo devido às condições pouco favoráveis das pedreiras existentes, além das distâncias economicamente inviáveis. Por este motivo, optou-se em adotar carapaça composta por peças de blocos artificiais de concreto, especificamente, o Tetrápode, que já foi utilizado em diversas obras no país e é amplamente utilizado, inclusive a nível mundial.

A seguir são apresentadas as etapas referentes ao cálculo dessas estruturas e suas respectivas dimensões.

4.1. Blocos de Concreto - Tetrápodes

a- Peso unitário dos tetrápodes da carapaça através da fórmula de

$$\text{Hudson (Wc) } Wc = \frac{\gamma_r \cdot Hs^3}{Kd \cdot (Sr - 1)^3 \cdot \cotg \Theta}$$

— **Wc** : Peso das peças da carapaça (t).

γ_r : Peso específico do concreto –

2,4 t/m³

Hs = Altura de onda de projeto (m)

– 4,5 m.

Sr : Relação entre os pesos específicos concreto ($\gamma_r = 2,4 \text{ t/m}^3$) e da água do mar ($\gamma_a = 1,03 \text{ t/m}^3$).

Θ : Ângulo do talude do paramento da seção com a horizontal - arc cotg (1,5/1,0).

Kd : Coeficiente de estabilidade: função da forma dos blocos de carapaça, da rugosidade superficial e do grau de embricamento obtido durante a colocação. Devido às características locais de ondas e batimetria, a obra situa-se numa área que, predominantemente, para vários níveis d'água, é considerada como fora da zona de arrebentação, que implica num Kd igual a 8, para o corpo do molhe e igual a 6, para o cabeço.

Substituindo os valores na fórmula de Hudson temos para o corpo do molhe: **Wc** = 7,74 t $\approx$ 8,0 t. E

Wc (cabeço) = 10,33
t $\approx$ 10,5 t.

Logo, as larguras mínimas dos coroamentos (**Lc**) deverão ser: **4,45m** para os trechos do corpo e

4,90m
para o
cabeço.

b- Peso unitário dos blocos da sub-carapaça (Wsc)

Recomenda-se utilizar para peso médio unitário dos blocos da sub-carapaça do corpo: $W_{sc} = W_c / 10$

= **0,80 t.** Para o cabeço
 $W_{sc} = 1,05 \text{ t}$

Portanto, os pesos dos blocos da sub-carapaça deverão estar entre **0,60 t a 1,00 t**, sendo que 75% dos blocos do volume total da sub-carapaça deverão ter pesos unitários superiores a 0,8 t. Para o cabeço os blocos deverão variar entre **0,80 a 1,30 t**.

c- Espessuras da carapaça (Ec) e da sub-carapaça (Esc)

$$E_c = n \cdot k\Delta \cdot (W_c / \gamma_r)^{1/3}$$

onde: **n** : quantidade de blocos na camada – 2

kΔ : coeficiente da camada – 1,0 (para rocha) – 1,04 (para concreto)

Substituindo os valores na fórmula, obtém-se:

Para o corpo do molhe: **Ec = 3,10 m.** Para a sub-carapaça, **Esc = 1,35 m.**

Para o cabeço: **Ec = 3,40 m.** Para a sub-carapaça, **Esc = 1,47 m.**

d- Cota de coroamento da carapaça (Ccc), da sub-carapaça (Ccs) e do núcleo (Ccn)

A cota de coroamento da molhe com tetrápodes deverá ser a mesma daquela do molhe com enrocamento, ou seja, + **7,50m**. Conseqüentemente, o coroamento da sub-carapaça (Ccs) estará na cota + 4,40 m para o corpo e + 4,10m para o cabeço, e do núcleo (Ccn) na cota +3,05m para o corpo e

+2,63m para o cabeço. A cota do coroamento do núcleo poderá a princípio ser utilizada com cota de trabalho durante a construção. Deverá haver uma boa programação das etapas construtivas para que o trânsito dos caminhões nas etapas iniciais da obra não seja afetado pela ação das ondas.

e- Número de Tetrápodes por Unidade de Área

O número de tetrápodes necessários por unidade de área é calculado através da fórmula:

$$N_r = \frac{A \cdot n \cdot k\Delta \cdot (1 - (P / 100)) \cdot (\gamma_r / W)^{2/3}}{}$$

o
n
d
e
:

N_r - número de tetrápodes por unidade de área

A - área em m^2 ; n - numero de tetrápodes na camada (2)

P - Porosidade do conjunto de tetrápodes.

Os valores de $k\Delta=1,04$ e $P=50(\%)$ são tabelados (determinados experimentalmente).

L
o
g
o
:

$N_r = 0,47$ peças/ m^2 para o tronco e $N_r = 0,39$ peças/ m^2 para o cabeço.

Com esses valores é possível calcular aproximadamente a quantidade de tetrápodes necessários para a composição da carapaça.

4.2. Nível do Pé da Carapaça

Quando a estrutura se encontra a uma profundidade maior que 1,5 Hs (no caso: 6,75m), o enrocamento da carapaça deve atingir, numa primeira aproximação, uma cota no mínimo igual a uma altura de onda de projeto abaixo do nível d'água mínimo. Essa cota é de suma importância para a estabilidade da carapaça, uma vez que o pé da carapaça se apóia sobre uma berma que via de regra é uma extensão da sub-carapaça que tem blocos com peso médio de 1/10 dos blocos da carapaça.

A passagem frequente dos cavados das ondas atingindo o nível do pé da carapaça não é desejável, pois pode ocorrer algum tipo de descalçamento da parte

inferior do talude, o que pode causar uma instabilidade localizada que poderá, em decorrência das condições hidráulicas locais, se alastrar para outros trechos do molhe. Alguns autores sugerem para um maior grau de segurança valores para o nível do pé da carapaça na face externa de 1,5 Hs e até 2 Hs (em casos extremos) abaixo do nível mínimo de maré. Para a face interna mesmo para molhes sujeitos a “pouca ou ultrapassagem nula” o nível da carapaça deverá variar entre 0,5 Hs e 1,0 Hs abaixo da maré mínima. O nível mínimo da maré em Imbituba é de -0,40m. No caso específico do molhe de Imbituba, como já existe uma obra de enrocamento que servirá de apoio (base) para a obra de restauração, não será necessário estender a carapaça interna até níveis inferiores ao da maré mínima.

Essa discussão é de grande importância, pois a carapaça de uma obra desse tipo tem um peso considerável no seu custo total, principalmente por se tratar de uma obra de restauração onde no cômputo geral a carapaça deverá ter na planilha uma maior importância em termos de custos. Uma variação da cota do pé da carapaça de - 4,9m (4,5+0,4) para -7,15m (6,75+0,40) significaria um incremento de quase 20% do preço da carapaça. Para 2H esse incremento chegaria a quase 38%. Assumir-se-á a cota de - 7,5m.

A melhor maneira de se definir essa dimensão é através de estudos em modelos físicos reduzidos de estabilidade com a utilização de trens de ondas irregulares com as características locais.

4.3. Pé do Talude

A ação das forças geradas pelas ondas sobre uma estrutura de blocos soltos provocará erosão no fundo e na fundação de estruturas situadas a profundidades que, usualmente, são consideradas com pouca probabilidade de serem atacadas por tais forças. Uma estrutura desse tipo poderá ser protegida contra recalques excessivos, resultantes do solapamento ou da erosão, pelo uso de uma camada de fundo ou filtro de cobertura.

A experiência indica ser aconselhável o uso de uma camada de fundo ou de um filtro de cobertura, para proteger as fundações de estruturas de pedras de solapamento, exceto onde:

- a) As profundidades de água são maiores do que o dobro da máxima amplitude da onda;
- b) As velocidades de correntes estimadas são menores do que aquelas necessárias para mover o tamanho do material de fundação;
- c) A fundação é constituída de material resistente e duro tal qual um leito de rocha firme.

4.4. Núcleo

O material mais usado na constituição do núcleo é o chamado “enrocamento de todo tamanho” ou “tout venant”. A escolha da granulometria é regida por aspectos econômicos e pelo grau de permeabilidade desejado. Ordinariamente os pesos blocos que compõem o núcleo têm uma gradação que não pode exceder a 1/200 do peso médio dos blocos da carapaça.

4.5. Otimização do Projeto das Obras de Enrocamento

A otimização das dimensões das seções transversais das obras de blocos artificiais e dos respectivos pesos dos blocos individuais para as diversas camadas poderá ser obtida a partir de estudos em modelos físicos reduzidos de estabilidade. Estudos em modelos reduzidos são ainda a ferramenta mais segura e eficaz na otimização de um projeto desse tipo. Os custos aduzidos para um estudo detalhado são irrisórios, dada a envergadura da obra, sua importância e à necessidade de ajustes em função do incremento da energia das ondas, através das mudanças climáticas vigentes.

5. ALINHAMENTOS DA OBRA DE RESTAURAÇÃO

Como a premissa básica do projeto, como já explicitado neste relatório, determina a construção de uma obra sobre a existente a fim de proporcionar um molhe capaz de resistir às intempéries por diversas décadas, torna-se imperioso a definição de um eixo (ou mais de um) que determine o alinhamento da obra de restauração da forma mais econômica.

As condições básicas essenciais englobam:

- a cota de coroamento da carapaça
- a cota do pé da carapaça
- a construção de uma carapaça e, na medida do possível, também uma sub-carapaça.
- a ausência de derrocagens importantes.

Para tal, a partir das formas geométricas das seções transversais definidas nos dimensionamentos constantes do item 4, para o tronco e cabeça e para blocos artificiais (tetrápodes), procurou-se definir os posicionamentos dessas seções sobre os perfis resultantes do levantamento executado, utilizando-se a superposição de imagens no Auto Cad.

Inicialmente foi plotado sobre a planta do levantamento um alinhamento denominado “conceitual”, resultante da aplicação das condições básicas essenciais pré-estabelecidas. Esse alinhamento serviu apenas para definir uma base de análise objetivando definir um que atendesse aos objetivos da restauração (quanto à eficiência estrutural e ao aspecto de custos). Dada a sua “sinuosidade” a sua implantação não seria na prática factível.

Após diversas tentativas de definição de posicionamentos de eixos sobre a obra existente da maneira mais econômica possível, chegou-se à definição de 3 (três) segmentos, listados abaixo. Daqui por diante, o eixo arbitrado para a realização do levantamento das seções transversais será denominado de “eixo de referência”.

- da estaca 1 a 8 (Trecho 1):

trecho reto inclinado partindo da estaca 33 até encontrar o eixo de referência na estaca 40. Trecho com 70m de extensão. A deflexão é de cerca de 12,9 graus ($\text{arc tg } (16/70)$).

- da estaca 8 a 27 (Trecho 2):

trecho reto sobre o eixo de referência. Trecho com 190m de extensão.

- da estaca 27 a 66 (Trecho 3):

trecho reto inclinado partindo da estaca 27 até à estaca 66 onde o afastamento deverá ser de 25m do eixo de referência. Trecho com 390m de extensão. A deflexão é de cerca de 3,67 graus ($\text{arc tg } (25/390)$).

As deflexões dos trechos retos deverão ser suavizadas por arcos de círculo.

O início do cabeço deverá ser na estaca 68. Da estaca 66 a 68 será considerado um trecho de transição com 20m de extensão entre o tronco do molhe e o cabeço. A Planta HDT-1061-24-143-PB apresenta esquematicamente os alinhamentos conforme descrito.

Os 3 (três) segmentos de molhe (Trechos de 1 a 3) da forma apresentada visam a implantação de uma estrutura construída de conformidade com os padrões mínimos de estabilidade buscando-se os menores custos. Poder-se-ia, por exemplo, na busca de um segmento único paralelo ao molhe atual, optar por um eixo afastado, por exemplo, em torno de 16m do “eixo de referência”, com ajustes localizados, até aproximadamente a estaca 58. Dessa estaca em diante até o início do cabeço haveria uma transição até o eixo afastar-se 25m. Nesse caso o volume de enrocamento de núcleo aumentaria acentuadamente. Trata-se então de se comparar os prós e contras de uma opção e outra, sob os aspectos funcionais (a influência das inflexões, apesar de suaves, na estabilidade; a análise de métodos construtivos, etc) e econômico.

As Plantas HDT-1061-24-001A-MOLHE a HDT HDT-1061-24-003A-MOLHE apresentam as seções transversais mais representativas e a cada 50m da obra proposta, para a carapaça em tetrápodes. Nas Plantas HDT-1061-24-001B-MOLHE a HDT HDT-1061-24-003B-MOLHE constam as vistas superiores das estruturas em tetrápodes.

Os custos para a construção da obra de restauração com a colocação de pelo menos 2 (duas) camadas de tetrápodes de carapaça sobre o talude atual da obra (que varia de 1/7,5, nos trechos mais avariados, passando por 1:4, para avaria moderada e 1:2, nos trechos de menores avarias), acompanhando o seu alinhamento, até atingir pelo menos a cota – 7,5m, seriam superiores comparativamente à solução proposta, além de não se ter a garantia de sua eficiência quanto ao galgamento e ultrapassagens das ondas e nem quanto ao aspecto estrutural.

6. ESTIMATIVA DE QUANTIDADES

Os volumes apresentados nos quadros abaixo referem-se aos volumes aparentes dos sólidos formados pelas configurações geométricas das seções teóricas de projeto, baseados nos cálculos efetivados a partir das seções transversais espaçadas de 10m. Nesses quadros não estão consideradas perdas e/ou tolerâncias.

O Quadro 1 apresenta um resumo dos quantitativos de volumes para a execução do Projeto de restauração do molhe com carapaça constituída por tetrápodes.

Quadro 1

MOLHE IMBITUBA -LEVANTAMENTO HIDROGRÁFICO HIDROTOPO SETEMBRO-2024 - LH 30/08 A 03/09/2024						
TETRÁPODES						
	TRECHO 1	TRECHO 2	TRECHO 3	TRANSIÇÃO CABEÇO	CABEÇO	Número peças
	70m	190m	390m	20m (w=8,0t)	w=13,0t r=35,5m	
CARAPAÇA	1,035	2,815	5,775	295	2,267	12,187
ROCHA (m3)						Volume(m3)
SUB-CARAPAÇA	1,239.84	3,962.62	7,771.23	636.84	8,508.65	22,119.18
NÚCLEO	618.65	1,128.70	7,237.95	912.89	19,945.79	29,843.98
						TOTAL
TOTAL	1,858.49	5,091.32	15,009.18	1,549.73	28,454.44	51,963.16

As rochas a serem utilizadas no núcleo e sub-carapaça devem ser obtidas a partir de pedraira, preferencialmente constituída de rocha granítica e sã. O peso específico da rocha deverá ser de 2,65t/m³, com tolerância de $\pm 15\%$.

Assumiu-se o concreto para a confecção dos tetrápodes com peso específico igual a 2,4t/m³ e resistência à compressão (Feature Compression Know - Fck) compatível com obras marítimas, igual ou superior 40 Mpa.

Para efeito de cronograma físico e planilha de custos, que deverão constar do Edital de Licitação, serão arbitrados para a obra com tetrápodes um fator de perda de 10 % (dez por cento) para a carapaça e de 20% (vinte por cento), no caso de utilização de blocos de rocha para as outras camadas. Esses valores variam, para

mais ou para menos, em decorrência dos métodos de construção e capacitação da empresa executora.

Portanto, os quantitativos finais da obra constam do Quadro 2, já consideradas as perdas e tolerâncias, em volume real (m³) e em peso (t), no caso das camadas em rocha, e o volume real de concreto e a quantidade de peças de tetrápodes, no caso dos blocos artificiais.

Quadro 2

TETRÁPODES				
	VOL. REAL (m3)		PESO (t)	
	tronco(8t)	cabeço(10,5t)	tronco(8t)	cabeço(10,5t)
carapaça	9,920+10%=10,912	2,267+10%=2,494	87,296.00	26,184.00
TOTAL 1 (t)	10,912	2,494	113,480	
ROCHA				
sub-carapaça	13,610+20%=16,332	8,508+20%=10,210	24,783	17,046
núcleo	9,898+20%=11,878	19,945+20%=23,934	19,830	39,959
total parc..(t)	28,210	34,144	44,613	57,005
TOTAL 2 (t)	62,354		101,618	

Admitiu-se se um índice de vazios (porosidade) do enrocamento igual a 37% e dos tetrápodes de 50%.

No Anexo 1 é apresentado o “Quadro de Quantidades Detalhado”.

7. ASPECTOS CONSTRUTIVOS

Cabe ressaltar que para se obter maior eficiência do projeto é recomendado a implantação de todas as obras propostas de conformidade com as normas vigentes e a boa prática da engenharia.

Da mesma forma, os pesos dos blocos de rocha que comporão as camadas das estruturas (sub- carapaça e núcleo) constam dessas mesmas plantas.

A rocha a ser empregada na construção do enrocamento deverá ser de boa qualidade, sã e não saturada, inalterável à ação dos agentes atmosféricos, ao ataque químico pela água do mar e às alternâncias de imersão e emersão.

O material deverá ser isento de substâncias vegetais, de argilas e terras, bem como de capas de jazidas ou outros materiais estranhos à rocha.

Os blocos não deverão apresentar ocos, fissuras ou superfícies de fratura, nem outras imperfeições ou defeitos que possam contribuir para a sua fratura nas

operações de transporte e colocação na obra ou durante a sua extração às intempéries.

No caso de ocorrência de veios de rocha com alteração ou suspeita, e, portanto, não aceitável para o enrocamento, a remoção dos trechos de rocha alterada deverá ser realizada de modo a não atrapalhar a exploração da rocha sã.

O índice de absorção de água deverá ser inferior a 4%.

A rocha a ser utilizada deverá ter uma tensão de ruptura por compressão simples normal ao leito estrato superior a 0,51 t/cm².

O material a ser empregado na execução do molhe deverá ser selecionado na praça da pedreira.

A empresa responsável pela construção deverá manter perto do local do embarque e próximo à balança, um mostruário dos diversos tipos de pedra a serem empregados na execução do núcleo e da sub-carapaça.

O material destinado a compor o núcleo do enrocamento deverá ser misturado na proporção estabelecida pelo projeto ainda na praça da pedreira, previamente ao seu embarque nos caminhões que executarão o transporte entre a pedreira e a obra.

As pedras que compõem o núcleo, quando transportadas por caminhão, deverão ser basculadas diretamente e, quando necessário, empurradas por trator ou pá carregadeira até o local programado.

Os tetrápodes da carapaça de proteção não serão basculados diretamente dos caminhões no talude, nem empurrados por trator ou pá carregadeira. Os blocos deverão ser posicionados de forma a se obter a melhor compactação e imbricamento possíveis.

Esses tetrápodes deverão ser levados à posição e colocados com a utilização de guindastes com capacidade e alcance suficientes para permitir o posicionamento adequado.

Sob hipótese alguma a seção completa da carapaça estará a mais de 20 metros da frente de trabalho de construção do núcleo.

As cotas e níveis mencionados no presente documento estão referidos ao Nível de Redução adotado no levantamento batimétrico.

Os serviços de enrocamento deverão ser realizados de forma a permitir o rápido avanço do aterro hidráulico, executando-se as estruturas, duas a duas.

7.1. Equipamentos

As principais etapas das obras de enrocamento e blocos artificiais de concreto são:

1. execução do núcleo, por basculamento das pedras;
2. execução da carapaça de proteção, por guindaste(s), dos blocos de concreto (tetrápodes). Devido às características destas obras, os equipamentos recomendados incluem:

- caminhões, para a realização do transporte dos blocos de rocha entre a pedreira e o molhe e para transporte dos tetrápodes entre a usina de concreto e o molhe. Quando for material da sub- carapaça ou núcleo o enrocamento será basculado diretamente no corpo do maciço;
- guindaste(s) com pinça, lança e capacidade de içamento adequados, para colocação dos blocos de concreto que compõem a carapaça de proteção;
- pá(s) carregadeira(s) e/ou trator(es) de lâmina para apoio às operações realizadas pelos caminhões e guindaste(s).

8. CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

Em 2008 foi realizado para a Secretaria Especial de Portos – SEP, o “Estudo de Estabilidade Bidimensional da Seção Transversal-Tipo do Molhe de Abrigo do Porto de Imbituba – SC”, no Relatório INPH nº 034/2008, no qual foi concluído:

“A estabilidade da seção transversal do tronco do molhe de Imbituba foi examinada em estudo bidimensional. Nele, a seção foi submetida a ensaios de longa duração, que representam condições contínuas de tempestades.

Em todas as ocasiões, a seção transversal manteve-se estável, sendo as acomodações/deformações observadas na berma, em resposta ao ataque das ondas a ela imposta, compatíveis e dentro dos limites esperados nesse tipo de estrutura.

Nos ensaios realizados com nível d'água máximo e ondas extremamente severas, a crista e o talude interno da seção transversal não apresentaram danos estruturais."

Entretanto, objetivando "garantir a estabilidade da estrutura durante ressacas intensas, provocadas por ciclones extra- tropicais que vêm ocorrendo devido ao aquecimento global", recomenda o detalhamento dos estudos no talude interno do molhe, com vistas a determinar a necessidade do seu reforço, em função do eventual galgamento das ondas.

9. ANEXOS

- Anexo 1 - Quadro de Quantidades Detalhado;
- Anexo 2 - Levantamento Plano-Altimétrico do Molhe;
- Anexo 3 - Controle de Qualidade do Concreto, Cimento e Agregados na Fabricação de Tetrápodes;
- Anexo 4 – Planta de Seções;
- Anexo 5 – Planta Baixa.

Eng. Augusto Dantas Sampaio
Diretor

ANEXO 1 - QUADRO DE QUANTIDADES DETALHADO

ANEXO 2 - LEVANTAMENTO PLANO-ALTIMÉTRICO DO MOLHE

ANEXO 3 - CONTROLE DE QUALIDADE DO CONCRETO, CIMENTO E AGREGADOS NA FABRICAÇÃO DE TETRÁPODES

ANEXO 4 - PLANTA DE SEÇÕES

ANEXO 5 - PLANTA BAIXA