



DESENVOLVIMENTO DE SERVIÇOS CLIMÁTICOS PARA A ANÁLISE DE TENDÊNCIA NA FREQUÊNCIA DE EVENTOS COMPOSTOS DE EXTREMOS DE VAZÃO E NÍVEL DO MAR NO PORTO DE ITAJAÍ E POSSÍVEIS IMPACTOS DE ALTERAÇÕES CLIMÁTICAS

Relatório 3/3 - Base de Dados com os Valores Máximas do Nível do Mar na Costa de Santa Catarina e Série Específica para a Localização do Porto de Itajaí

Paula Gomes

Elaborado por: **Paula Gomes da Silva** (silvapgomes@gmail.com)

Essa publicação foi realizada por uma equipe formada por consultores independentes sob a coordenação da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio do projeto Ampliação dos Serviços Climáticos para Investimentos em Infraestrutura (CSI).

Este projeto foi pactuado no âmbito da Cooperação Alemã para o Desenvolvimento Sustentável, por meio da parceria entre o Ministério do Meio Ambiente do Brasil e a Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit GmbH (GIZ), no âmbito da Iniciativa Internacional para o Clima (IKI, sigla em alemão), do Ministério Federal do Meio Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU, sigla em alemão).

Participaram desse processo o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), a Empresa Eletrosul/ Eletrobrás e a Defesa Civil de Santa Catarina.

Todas as opiniões aqui expressas são de inteira responsabilidade dos autores, não refletindo necessariamente a posição da GIZ e do MMA. Este documento não foi submetido à revisão editorial.

EQUIPE TÉCNICA – MMA

Hugo do Valle Mendes (coordenação)
Adriana Brito da Silva
Jaqueline Leal Madruga

EQUIPE TÉCNICA – GIZ

Ana Carolina Câmara (coordenação)
Eduarda Silva Rodrigues de Freitas
Pablo Borges de Amorim

EQUIPE TÉCNICA – DEFESA CIVIL/ SANTA CATARINA

Flavio Rene Brea Victoria
Frederico Moraes Rudorff

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

Chou Sin Chen

EQUIPE TÉCNICA – AUTORIDADE PORTUÁRIA DE ITAJAÍ

Heder Cassiano Moritz
Ricardo José Pogakski de Amorim
Médelin Pitrez dos Santos
Amarildo Madeira
Luciano Sens
Guilherme Knoll
Joelcir Zatta

Ministério do Meio Ambiente

Esplanada dos Ministérios, Bloco B, Brasília/DF, CEP
70068-901
Telefone: + 55
61 2028-1206

Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ) GmbH

Sede da GIZ: Bonn e Eschborn
GIZ Agência Brasília
SCN Quadra 01 Bloco C Sala 1501
Ed. Brasília Trade Center - 70.711-902 Brasília/DF
T + 55-61-2101-2170
E giz-brasilien@giz.de
www.giz.de/brasil

A encargo de:

Ministério Federal do Ambiente, Proteção da Natureza e Segurança Nuclear (BMU) da Alemanha

BMU Bonn:
Robert-Schuman-Platz 3
53175 Bonn, Alemanha
T +49 (0) 228 99 305-0

Diretora de Projeto:

Ana Carolina Câmara
T:+55 61 9 99 89 71 71
T +55 61 2101 2098
E ana-carolina.camara@giz.de



Sumário

1. Introdução	2
2. Objetivo	3
3. Dados	3
3.1. Maré meteorológica	3
3.2. Ondas.....	6
4.1. Máximos Anuais	8
4.2. Máximos sazonais	10
5. Conclusões.....	13
6. Referências Bibliográficas	15

1. Introdução

As variações do nível de água na costa podem ser ocasionadas por diferentes fenômenos. Quando se tratam de variações decorrentes de eventos atmosféricos, a sobrelevação do nível do mar está relacionada a duas componentes oceanográficas: i) maré meteorológica, que é a elevação do nível da água devido à ação de gradientes de pressão e ventos que sopram águas oceânicas em direção à costa, e ii) setup de ondas, que é a elevação causada para equilibrar o gradiente de momento quando ocorre a quebra das ondas.

Desta forma, o nível total (NT) resultante de condições oceanográficas pode ser calculado da seguinte maneira:

$$NT = MM + \eta \quad [1]$$

onde MM é a maré meteorológica e η é o setup (Figura 1). O setup, por sua vez, é função da altura significativa da onda H_s através da relação:

$$\eta = 0.1 H_s \quad [2]$$

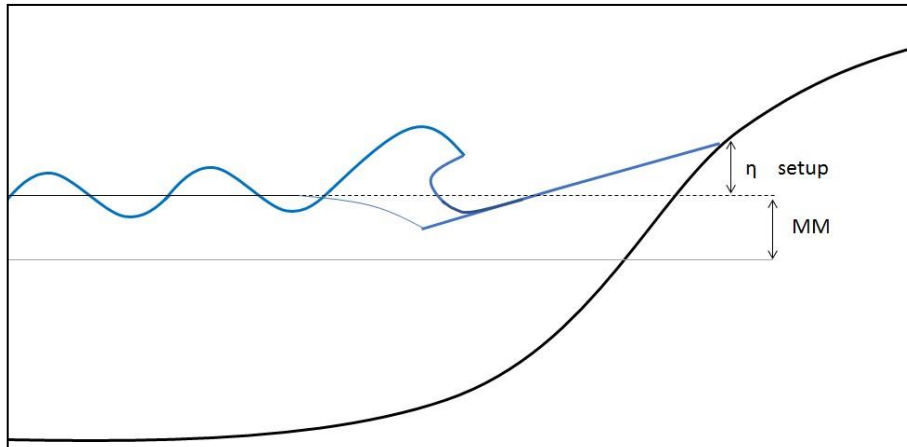


Figura 1: Componentes do nível total do mar (NT) consideradas neste estudo.

Com base nisso, para calcular o nível total (NT) a ser utilizado nas análises de eventos extremos compostos (vazão e nível do mar) afetando o Porto de Itajaí, serão utilizados dados de ondas e maré meteorológica na zona do porto.

Para a análise de eventos extremos são necessárias séries temporais longas (contínuas ao longo de décadas), dados raramente disponíveis na costa

brasileira em termos de maré meteorológica e ondas. Para contornar tal problema, se utilizam dados de reanálises globais e regionais. As reanálises são o resultado de simulações numéricas com modelos de larga escala que geram series de dados em pontos distribuídos homogeneamente ao longo da área analisada. Existe uma gama de bases de dados de reanálise de ondas e nível disponíveis para costa do Brasil e, algumas delas, foram desenvolvidas especificamente pra costa de Santa Catarina. Um exemplo são as bases de dados *Global Ocean Surge and Tide (GOST)* e *Regional Ocean Waves (ROW)*, geradas pelo Instituto de Hidráulica da Universidade da Cantabria (IHCantabria) dentro do contexto do projeto “*Geração e integração de bases de dados climáticos históricos e de projeção de mudanças climáticas para a gestão de riscos costeiros do estado de Santa Catarina, Brasil*”, financiado pela Comissão Econômica para a América Latina e o Caribe (CEPAL – Projeto C3StaCatarina). Estas bases de dados têm como vantagem o fato de que foram desenvolvidas, calibradas e validadas especificamente para a costa Catarinense, permitindo que fenômenos locais de circulação, nível e ondas fossem considerados nas simulações de ondas e maré meteorológica.

2. Objetivo

O presente documento tem por objetivo apresentar as bases de dados de reanálises de maré meteorológica (GOST) e ondas (ROW) utilizadas, bem como os dados de elevação máxima que serão disponibilizados no contexto do projeto. As informações consideradas mais relevantes sobre as bases de dados serão apresentadas neste documento, detalhes adicionais sobre todo o processo de desenvolvimento das mesmas podem ser verificados no relatório final do projeto C3StaCatarina¹ (Losada e Izaguirre, 2016).

3. Dados

3.1. Maré meteorológica

Como mencionado anteriormente, os dados de maré meteorológica

¹ Todos os dados apresentados aqui fazem parte de uma base de dados financiada pela CEPAL e a utilização dos mesmos em relatórios e estudos futuros deve vir referenciada conforme o projeto de tal financiamento: www.cepal.org/es/publicaciones/40642-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-generacion-bases-datos

utilizados aqui são provenientes da base de dados GOST. Esta base de dados apresenta séries temporais de nível (maré meteorológica e maré astronômica) em escala temporal horária, para o período de fevereiro 1979 a dezembro 2010, totalizando 31 anos de em uma série de 279714 dados.

A base de dados de nível foi gerada a partir de simulações com o modelo de circulação ROMS, utilizando batimetria da base *General Bathymetric Chart of the Oceans* (GEBCO) e de cartas náuticas (Diretoria de Hidrografia e Navegação – Marinha do Brasil). O modelo de circulação foi forçado com dados de vento e pressão ao nível do mar (10m acima da superfície) da base *Climate Forecast System Reanalysis* do *National Centers for Environmental Prediction* (CFSR - NCEP) e dados de maré astronômica do modelo TPXO7.2.

A base de dados GOST contém quatro parâmetros de nível do mar e correntes em todos os pontos do domínio, incluindo:

- i) componente zonal da corrente oceânica promediada na vertical;
- ii) componente meridional da corrente oceânica promediada na vertical;
- iii) nível do mar (maré astronômica + maré meteorológica);
- iv) componente astronômica do nível do mar (MA).

Os valores de MM podem ser obtidos então, subtraindo a MA dos valores de nível do mar. Os dados GOST estão disponíveis para toda a costa de Santa Catarina em pontos de uma grade com resolução espacial de 1 Km. A área de cobertura da base de dados e o ponto utilizado nas análises (Lon: -48,55°, Lat: -26,94°) estão apresentados na Figura 2, já os dados de maré meteorológica do ponto em questão estão apresentados na Figura 3.

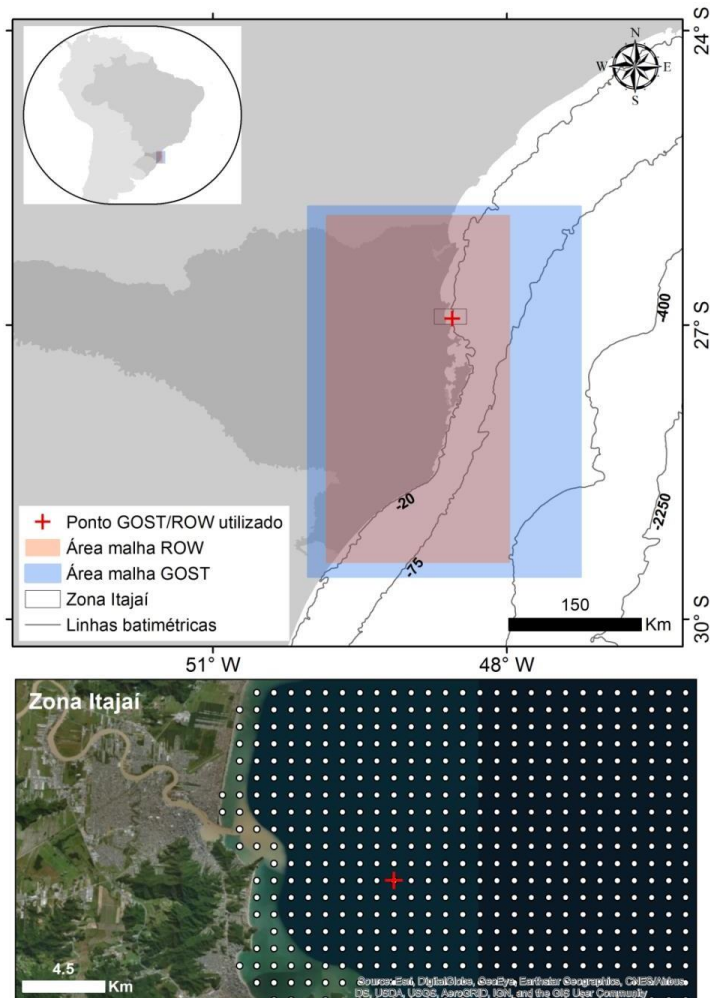


Figure 2: Localização da zona de interesse; área de abrangência dos dados GOST (retângulo azul) e ROW (retângulo vermelho) e ponto selecionado dentro da malha de dados (cruz vermelha).

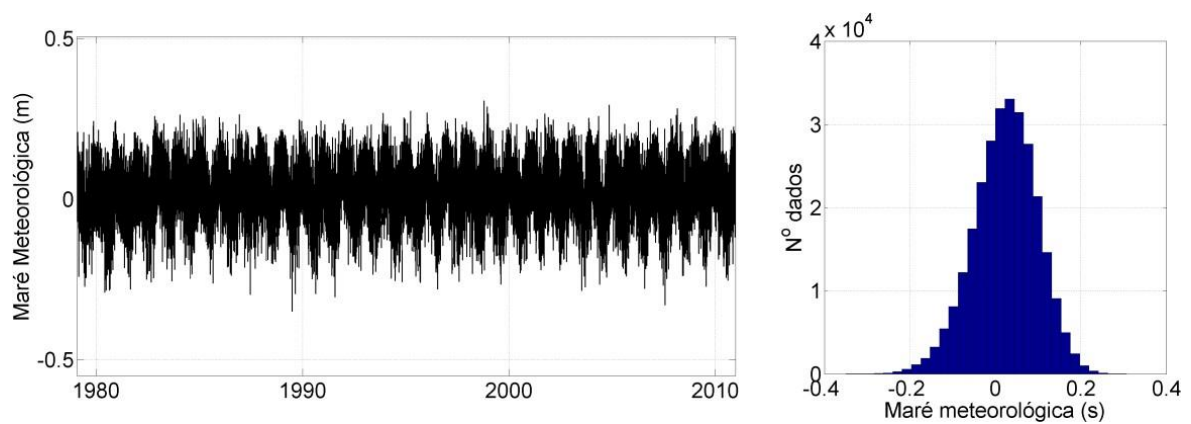


Figura 3: Dados de maré meteorológica obtidos no ponto em frente à desembocadura do rio Itajaí: série temporal (esquerda) e histograma de ocorrência (direita).

A série de dados indica oscilações de nível variando de -0,35 m a 0,30 m, valores que estão de acordo com a literatura local que indica variações por maré meteorológica de 0.5 m até 1 m (Truccolo et al., 2006). Os dados de nível da base GOST foram validados com dados de nível medidos no porto de Imbituba, atestando a sua validade para a costa catarinense (Figura 4).

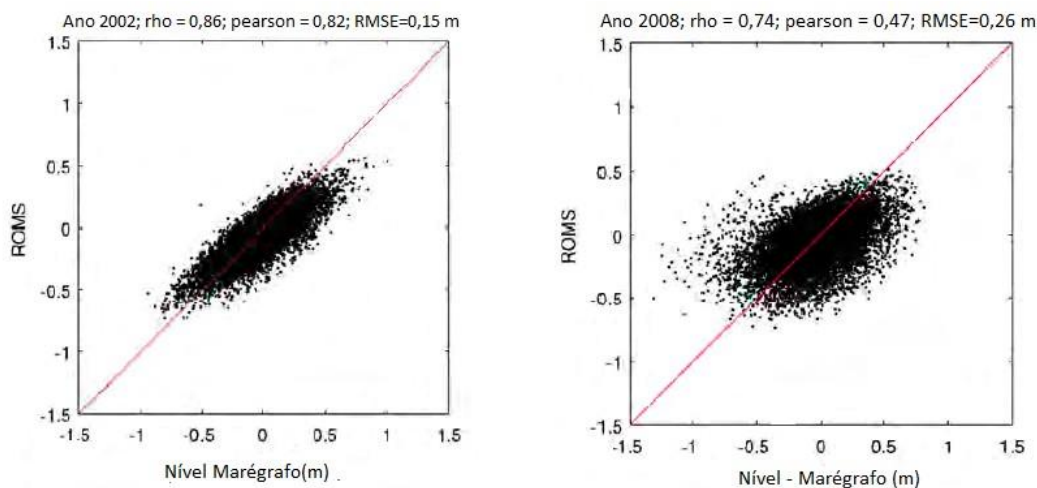


Figura 4: Gráficos de dispersão comparando a distribuição de dados medidos e dados da base GOST (resultado do modelo ROMS). À esquerda apresentam-se os resultados para o período de calibração (ano de 2002), à direita os resultados para o período utilizado para validação (ano de 2008) (Fonte: Projeto C3StaCatarina – Losada e Izaguirre, 2016).

3.2. Ondas

Os dados de altura significativa de onda (H_s), utilizados para o cálculo do setup, foram obtidos da base de dados ROW. Assim como a base de dados GOST, a base ROW foi gerada pelo IHCantabria com financiamento da CEPAL (Losada e Izaguirre, 2016).

A ROW consiste em dados horários de altura significativa (H_s), período médio (T_m), período de pico (T_p), direção de pico (θ_p), direção média (θ_m), dispersão direcional e espectros de energia para o período de 1979 a 2010. Assim, dados de onda em alta resolução espacial (desde 200 m a 1 Km) estão disponíveis para toda a costa de Santa Catarina (dados disponíveis através de solicitação ao Laboratório de Oceanografia Costeira - UFSC).

O desenvolvimento da base ROW teve como base a metodologia proposta por Camus et al. (2013), que foi adaptada para suprir as necessidades de informação na costa de Santa Catarina. Inicialmente dados de vento da reanálise CFSR (NCEP) foram utilizados como forçante no modelo

global de ondas WaveWatchIII (<https://polar.ncep.noaa.gov/waves/wavewatch/>). A seguir, os dados globais de ondas e também os ventos locais da base SeaWinds (dados disponíveis através de solicitação ao Laboratório de Oceanografia Costeira - UFSC) foram utilizados como entrada no modelo regional de propagação de ondas *Simulating Waves Nearshore* - SWAN (<http://swanmodel.sourceforge.net/>). Com relação às demais bases de dados de ondas disponíveis, a base ROW tem como principal vantagem o fato de considerar o efeito dos ventos locais na propagação das ondas, já que a base de dados de vento SeaWinds, utilizada nas simulações, foi gerada especialmente para aumentar a resolução espacial dos dados de vento na costa do estado e representar, assim, os fenômenos locais de circulação atmosférica e oceânica. Ao considerar o efeito do vento local, foram corrigidas algumas limitações das bases de dados anteriores, verificadas por Gomes da Silva et al. (2015).

A base ROW foi calibrada e validada pelo IHCantabria (Losada e Izaguirre, 2016) utilizando dados de ondas de satélite e dados medidos por uma bóia em frente à Ilha de Santa Catarina (Bóia projeto PIC – LaHiMar UFSC) (Florianópolis). A Figura 5 apresenta os resultados da comparação entre dados medidos e dados simulados. Os resultados mostram que o modelo representa bem a variação dos dados de altura significativa, período e direção de onda, confirmando a validade dos dados modelados para serem utilizados em análises na costa Catarinense.

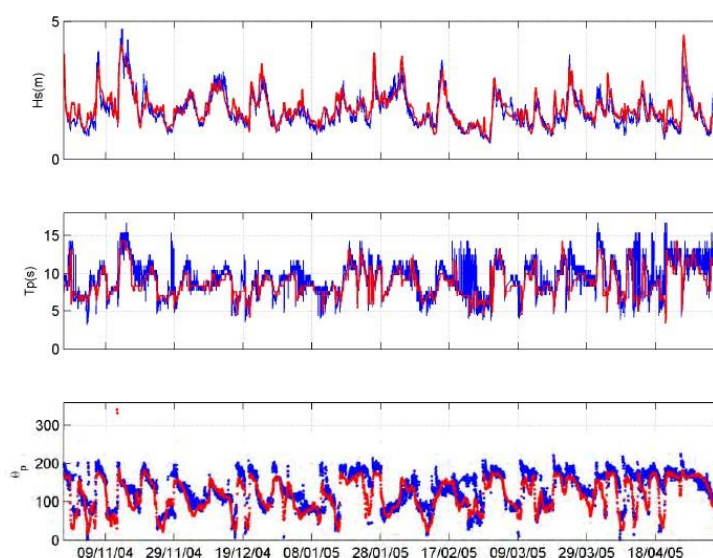


Figure 5: Comparação entre dados medidos (em azul) e dados simulados (em vermelho) de altura significativa de onda (H_s), período de pico (T_p) e direção de pico (θ_p), para um ponto localizado a 80 m de profundidade em frente à ilha de Santa Catarina (Fonte: Losada e Izaguirre, 2016).

A área da malha de dados ROW está representada na Figura 2, assim como o ponto selecionado para obtenção dos dados da série de ondas (ponto correspondente ao ponto GOST). A Figura 6 apresenta a distribuição dos dados de altura significativa da série obtida no ponto selecionado. Valores de altura chegam a alcançar 4,5 m, com a média da série posicionada em torno dos 1,4 m. Os trens de onda chegam principalmente de SE e E, sendo os maiores valores de altura predominantemente provenientes de NE-E (Figura 6).

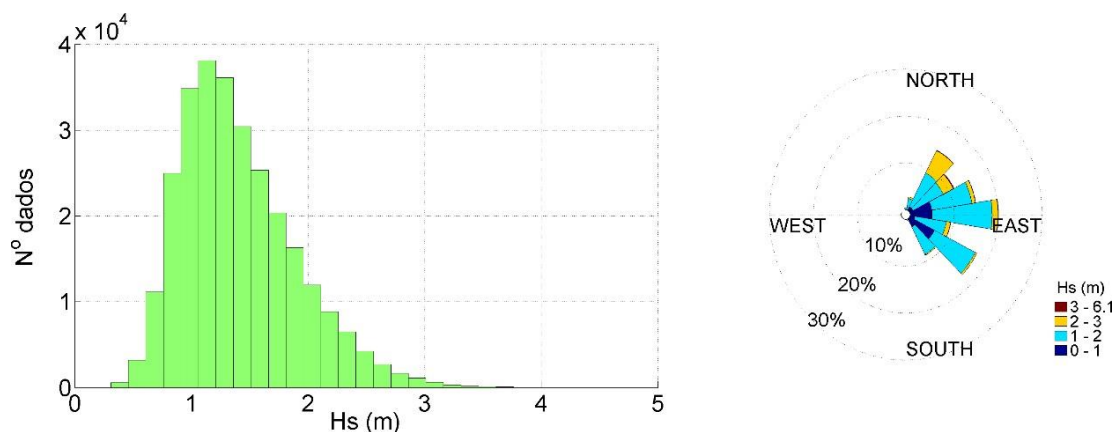


Figura 6: Estatística dos dados de altura significativa de onda (Hs) no ponto selecionado: histograma (esquerda) e rosa direcional (direita).

4. Resultados: Valores Máximos de Nível Total do mar (NT)

Uma vez que foram selecionadas as bases de dados a serem utilizadas nas análises, o seguinte passo foi calcular o nível total (NT) com base na eq. 1, e encontrar os valores extremos da série final. Os extremos foram identificados em termos de valores máximos anuais e valores máximos sazonais.

4.1. Máximos Anuais

A Figura 7 mostra as séries de dados de setup e maré meteorológica utilizadas para calcular o nível total. Os máximos anuais estão indicados pela cruz vermelha na série de NT. 31 valores foram identificados (1 por ano) para serem utilizados na análise. A Tabela 1 mostra a data dos eventos e os valores verificados.

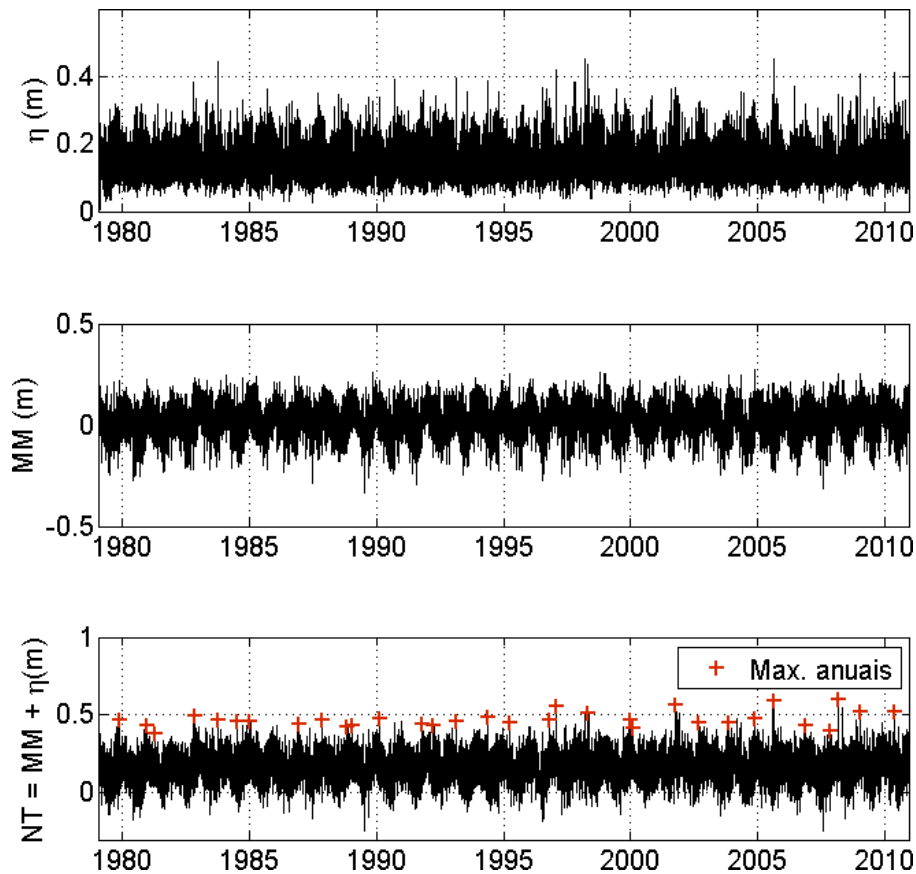


Figura 7: Séries de setup (painel superior), maré meteorológica (painel central) e nível total (painel inferior) com os máximos anuais.

Tabela 1: Eventos máximos anuais identificados na série de nível total (NT).

Ano	Mês	Dia	Hora	NT (m)
1979	11	10	1	0,47
1980	12	2	22	0,43
1981	3	29	20	0,38
1982	11	1	21	0,50
1983	9	23	9	0,47
1984	7	3	21	0,46
1985	1	5	18	0,46
1986	12	13	20	0,44
1987	11	4	20	0,47
1988	10	29	17	0,43
1989	1	6	21	0,43
1990	2	12	22	0,48
1991	10	13	20	0,44
1992	3	23	20	0,44
1993	2	16	6	0,46
1994	5	12	4	0,48
1995	3	30	20	0,45
1996	10	10	22	0,47
1997	1	25	22	0,55
1998	4	28	6	0,51
1999	12	13	19	0,47
2000	2	1	14	0,42

2001	10	1	3	0,56
2002	9	6	0	0,45
2003	11	12	6	0,45
2004	11	10	18	0,48
2005	8	10	0	0,59
2006	11	5	19	0,43
2007	11	9	19	0,40
2008	3	1	20	0,60
2009	1	3	20	0,52
2010	5	12	5	0,52

4.2. Máximos sazonais

Da mesma forma, foram identificados os valores máximos observados em cada estação dos anos da série de NT. A figura 8 mostra a série de NT e os máximos sazonais verificados ao longo do período analisado. Os eventos de máximos verificados em cada estação estão apresentados na Tabela 2 (dezembro, janeiro e fevereiro – DJF), Tabela 3 (março, abril e maio – MAM), Tabela 4 (junho, julho e agosto – JJA) e Tabela 5 (setembro, outubro e novembro – SON).

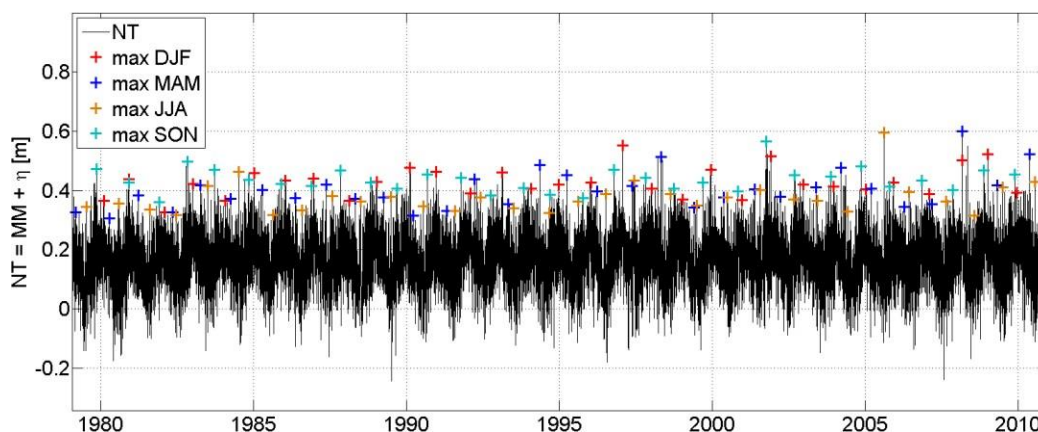


Figura 8: Série de nível total e máximos sazonais.

Tabela 2: Eventos máximos sazonais identificados na série de nível total (NT): período dezembro, janeiro e fevereiro (DJF).

Ano	Mês	DJF		NT (m)
		Dia	Hora	
1980	2	10	20	0,36
1980	12	2	22	0,44
1982	1	31	23	0,33
1983	1	5	20	0,42
1984	1	25	19	0,36
1985	1	5	18	0,46
1986	1	16	20	0,43

1986	12	13	20	0,44
1988	2	14	20	0,36
1989	1	6	21	0,43
1990	2	12	22	0,48
1990	12	18	19	0,46
1992	2	5	0	0,39
1993	2	16	6	0,46
1994	1	23	20	0,41
1994	12	20	22	0,42
1996	1	15	18	0,43
1997	1	25	22	0,55
1998	1	3	20	0,40
1999	1	12	23	0,37
1999	12	13	19	0,47
2000	12	15	1	0,37
2001	12	1	1	0,51
2002	12	23	21	0,42
2003	12	21	10	0,41
2005	1	4	18	0,40
2005	12	4	19	0,43
2007	2	5	19	0,39
2008	2	29	18	0,50
2009	1	3	20	0,52
2009	12	12	8	0,39

Tabela 3: Eventos máximos sazonais identificados na série de nível total (NT): período março, abril e maio (MAM).

Ano	Mês	MAM		NT (m)
		Dia	Hora	
1979	3	12	20	0,33
1980	4	10	19	0,31
1981	3	29	20	0,38
1982	5	8	21	0,33
1983	4	4	1	0,42
1984	4	2	7	0,37
1985	4	14	2	0,40
1986	5	16	10	0,37
1987	5	18	23	0,42
1988	4	25	4	0,37
1989	4	1	13	0,38
1990	3	23	2	0,32
1991	4	24	1	0,33
1992	3	23	20	0,44
1993	5	2	1	0,35
1994	5	12	4	0,48
1995	3	30	20	0,45
1996	3	22	19	0,40
1997	5	20	1	0,42
1998	4	28	6	0,51
1999	5	29	9	0,34

2000	5	16	12	0,38
2001	5	17	8	0,40
2002	3	22	0	0,38
2003	5	22	21	0,41
2004	3	14	17	0,48
2005	3	14	2	0,41
2006	4	9	18	0,34
2007	3	8	20	0,35
2008	3	1	20	0,60
2009	4	23	4	0,42
2010	5	12	5	0,52

Tabela 4: Eventos máximos sazonais identificados na série de nível total (NT): período junho, julho e agosto (JJA).

Ano	JJA			NT (m)
	Mês	Dia	Hora	
1979	7	19	10	0,35
1980	8	4	19	0,36
1981	8	11	20	0,34
1982	6	18	21	0,32
1983	7	5	15	0,41
1984	7	3	21	0,46
1985	8	25	0	0,32
1986	7	30	0	0,33
1987	7	31	5	0,38
1988	6	28	0	0,36
1989	6	25	21	0,38
1990	7	16	13	0,35
1991	8	5	13	0,33
1992	6	5	19	0,38
1993	7	1	18	0,34
1994	8	30	0	0,32
1995	8	11	18	0,36
1996	7	9	6	0,39
1997	6	14	1	0,43
1998	8	17	20	0,39
1999	6	27	16	0,35
2000	6	28	16	0,38
2001	7	25	10	0,40
2002	8	28	19	0,37
2003	6	10	19	0,36
2004	6	3	9	0,33
2005	8	10	0	0,59
2006	6	4	1	0,40
2007	8	23	20	0,36
2008	7	27	20	0,31
2009	6	29	18	0,41
2010	7	19	18	0,43

Tabela 5: Eventos máximos sazonais identificados na série de nível total (NT): período setembro, outubro e novembro (SON).

Ano	Mês	SON		NT (m)
		Dia	Hora	
1979	11	10	1	0,47
1980	11	29	19	0,43
1981	11	28	13	0,36
1982	11	1	21	0,50
1983	9	23	9	0,47
1984	11	7	21	0,44
1985	11	21	20	0,42
1986	11	25	19	0,42
1987	11	4	20	0,47
1988	10	29	17	0,43
1989	9	11	20	0,41
1990	9	8	8	0,45
1991	10	13	20	0,44
1992	9	30	19	0,38
1993	10	29	20	0,41
1994	9	12	0	0,38
1995	10	5	6	0,37
1996	10	10	22	0,47
1997	10	22	2	0,44
1998	9	25	20	0,41
1999	9	6	4	0,43
2000	11	2	19	0,40
2001	10	1	3	0,57
2002	9	6	0	0,45
2003	11	12	6	0,45
2004	11	10	18	0,48
2005	10	16	23	0,41
2006	11	5	19	0,43
2007	11	9	19	0,40
2008	11	13	18	0,47
2009	11	18	19	0,45
2010	11	17	20	0,41

5. Conclusões

Neste documento foram apresentadas as bases de dados utilizadas para o cálculo do nível total do mar, componente a ser considerada na análise de ocorrência conjunta de eventos de elevação do nível d'água no Porto de Itajaí. As bases de dados de reanálise mostram valores de acordo aos valores observados em campo. É importante ressaltar que ambas as séries

utilizadas neste projeto (MM e Hs) foram testadas pela equipe do IHCantabria e comparadas com dados medidos, e estão sendo utilizadas para análise de climas de ondas e de eventos de inundação costeira. Ainda assim, uma análise mais detalhada e profunda dos dados está em andamento e validação final dos mesmos será disponibilizada ao público em breve.

Também se apresentaram aqui os eventos de máximos anuais e máximos sazonais identificados ao longo da série. Tais eventos serão utilizados como base para as análises das próximas etapas do presente projeto.

6. Referências Bibliográficas

- CAMUS, P.; MÉNDEZ, F.J.; MEDINA, R.; TOMAS, A.; IZAGUIRRE, C. High resolution Downscaled Ocean Waves (DOW) reanalysis in coastal areas. **Coastal Engineering**, v. 72, pp. 56-68, 2013.
- GOMES DA SILVA, P.; KLEIN, A.H.F.; GONZÁLEZ, M.; GUTIÉRREZ, O.; ESPEJO, A. Performance assessment of the database Downscaled Ocean Waves (DOW) on Santa Catarina Coast, South Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 87, n. 2, pp. 623-634, 2015.
- LOSADA, I.J.; IZAGUIRRE, C. Efectos del cambio climático en la costa de América Latina y el Caribe: generación de las bases de datos climáticos para el análisis de riesgo en las costas de Santa Catarina (Brasil), CEPAL, 2016. www.cepal.org/es/publicaciones/40642-efectos-cambio-climatico-la-costa-america-latina-caribe-generacion-bases-datos
- TRUCCOLO, E.C., FRANCO, D.; SCHETTINI, C.A.F. The low frequency sea level oscillations in the northern coast of Santa Catarina, Brazil. **Journal of Coastal Research**, v. 39, pp. 547–552, 2006.