

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

BRENO SANTOS CABRAL

UTILIZAÇÃO DO ERA5 PARA ESTUDO DE
EVENTOS DE RESSACA NA COSTA DO RIO
DE JANEIRO

RIO DE JANEIRO

2022

BRENO SANTOS CABRAL

UTILIZAÇÃO DO ERA5 PARA ESTUDO DE
EVENTOS DE RESSACA NA COSTA DO RIO
DE JANEIRO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Mauro Cirano, D.Sc.

RIO DE JANEIRO

2022

CIP - Catalogação na Publicação

C117u Cabral, Breno Santos
UTILIZAÇÃO DO ERA5 PARA ESTUDO DE EVENTOS DE
RESSACA NA COSTA DO RIO DE JANEIRO RIO DE JANEIRO
2023 / Breno Santos Cabral. -- Rio de Janeiro, 2022.
53 f.

Orientador: Mauro Cirano.
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto
de Geociências, Bacharel em Meteorologia, 2022.

1. Ondas. 2. Reanálise. 3. Medição in Situ. 4.
Controle de Qualidade. I. Cirano, Mauro, orient.
II. Título.

BRENO SANTOS CABRAL

UTILIZAÇÃO DO ERA5 PARA ESTUDO DE
EVENTOS DE RESSACA NA COSTA DO RIO
DE JANEIRO

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado ao Departamento de Meteorologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro como parte dos requisitos para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Avaliado em _____ de _____ de _____ .

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Mauro Cirano, D.Sc.

Prof. Edilson Marton, D.Sc.

Prof. Ana Cristina Palmeira, D.Sc.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus, por fornecer as condições iniciais e de contorno que fizeram que fosse possível eu chegar onde cheguei.

Presentemente eu posso me considerar um sujeito de sorte, e isso passa principalmente pelos meus pais, Marco e Cláudia, aos quais sou eternamente grato por todo o apoio à mim oferecido durante todo o percurso, não só da minha graduação, mas de toda a minha vida. Junto deles, também agradeço à minha irmã Alícia por todo o carinho.

A minha sorte me levou por um caminho que permitiu com que eu me encontrasse relativamente cedo com meu orientador, Mauro Cirano, a quem eu sou profundamente grato pelo apoio, paciência, risadas, companheirismo e até alguns merecidos puxões de orelha. Também agradeço aos outros professores do departamento de meteorologia, principalmente ao Edilson e à Ana Cristina, que aceitaram compor a banca com um prazo tão curto.

Agradeço também à equipe do LIOC, principalmente à Júlia, Ítalo, Pedro (Engels e Rosa), Léo e Gui pela paciência e ensinamentos ao longo destes anos.

Se eu consegui chegar aqui, foi porque tive grandes companheiros. Gostaria de agradecer primeira (e imensamente) à Anna, que me acompanhou durante toda a graduação, sem ela essa jornada teria sido muito mais difícil. Também agradeço à Catharine, que, entre brigas e abraços, sempre esteve comigo. O Familião e a Verena também são instituições à parte que possuíram grande peso ao me apoiar nesta etapa. Finalmente, gostaria de agradecer à Bárbara, por todo o companheirismo, apoio e carinho através destes anos.

A parte que ignoramos é muito maior
que tudo quanto sabemos.

Platão

RESUMO

As ressacas são eventos onde existe um aumento no nível do mar que excede o previsto pela maré ou por pequenas anomalias e podem oferecer risco tanto à estruturas costeiras quanto à vida dos cidadãos. Este trabalho busca analisar os eventos de ressaca ocorridos no Rio de Janeiro através do parâmetro de Altura Significativa de Onda (Hs).

Para isso, é utilizada a reanálise ERA5 para o período de 1979 até 2021, que é validada pelos dados das boias localizadas na costa do Rio de Janeiro do Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta). Estes dados também são submetidos a um controle de qualidade estabelecido pelo *Integrated Ocean Observing System* (IOOS).

Conclui-se que o ERA5 é capaz de representar as boias do SiMCosta na costa do Rio de Janeiro, e que estas boias possuem dados de boa qualidade para a variável Hs. Através da utilização de toda a série histórica disponível no ERA5, foi possível analisar diversos sistemas de alerta confeccionados pelo Centro de Operações Rio e atestar sua aplicabilidade na cidade do Rio de Janeiro.

Palavras-chave: Ondas. Reanálise. Medição in Situ. Controle de Qualidade.

ABSTRACT

Storm Surges are events in which there is a rise of the sea level that exceeds what was predicted by the tides or low anomalies and can offer risk both to coastal structures and citizen's lives. This work seeks to analyze the events of storm surges that occurred in Rio de Janeiro through the Significant Wave Height (Hs).

To this end, the reanalysis ERA5 for the period of 1979-2021 is applied, once it is validated by the data of buoys located from the Monitoring System of the Brazilian Coast (SiMCosta) at Rio de Janeiro's coast. This data is also submitted to quality control tests established by the Integrated Ocean Observing System (IOOS).

It is noted that the ERA5 is capable of representing SiMCosta's buoys at Rio de Janeiro's coast, and that these buoys can acquire trustable Hs data. Through the historical series available at the ERA5, it was possible to analyze multiple systems of alert made by the Rio's Center of Operations (COR) and attest its applicability at the Rio de Janeiro's city.

Keywords: Waves. Reanalysis. In situ measurements. Quality Control.

LISTA DE FIGURAS

1	Posicionamento das plataformas de coleta de Dados do SiMCosta, adaptado de FRANZ <i>et al.</i> (2021).	2
2	Comparação entre a posição das boias e o ponto de grade da reanálise. . .	6
3	Série temporal de altura significativa de onda (H_s) para a boia RJ1. O ponto azul é um ponto de dado medido da boia; O ponto amarelo considera que ocorreu um salto de um desvio padrão respectivo ao ponto anterior (Jump Flag - “pulo”); O ponto Rosa representa um salto de dois ou mais desvios padrões respectivo ao ponto anterior (Jump Crisis - “crise”) A linha preta é a média da série temporal + 4 desvios padrões. Linha de “Evento Extremo”. A linha de Evento extremo foi feita considerando a série temporal como um todo. A localização geográfica das boias é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.	12
4	Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ2.	13
5	Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ3.	14
6	Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ3 tratando falhas na coleta de dados como quebras na série temporal.	15
7	Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ4.	16
8	Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ4 tratando falhas na coleta de dados como quebras na série temporal.	16
9	Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ1. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.	18
10	Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ2. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.	19
11	Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ3. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.	19
12	Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ4. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.	20
13	Análogo à Figura 9, mas para período de pico de onda (s).	20
14	Análogo à Figura 10, mas para período de pico de onda (s).	21
15	Análogo à Figura 11, mas para período de pico de onda (s).	21

16	Análogo à Figura 12, mas para período de pico de onda (s).	22
17	Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ1.	25
18	Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ2.	25
19	Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ3.	26
20	Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ4.	26
21	Comparação da série temporal entre o ERA5 e as medições das boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4.	27
22	Histograma das ocorrências de acordo com a escala Douglas para o período total do ERA5.	28
23	Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Condição do Mar para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022). . .	29
24	Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Risco para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).	29
25	Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Criticidade para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022). . .	29
26	Evolução temporal da escala Douglas para o período total do ERA 5. . . .	30
27	Evolução temporal da escala de Nível de Condição do Mar para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).	30
28	Evolução temporal da escala de Nível de Risco para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).	31
29	Evolução temporal da escala de Nível de Criticidade para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).	31
30	Histograma das ocorrências de acordo com a escala Douglas para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022).	32
31	Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Condição do mar para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022).	32
32	Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Risco para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022). . .	33
33	Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Criticidade para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022). .	33

LISTA DE TABELAS

1	Coordenadas das boias utilizadas no estudo.	5
2	Escala Douglas do Estado do Mar, adaptado do CHM.	9
3	Critérios para aviso de mau tempo emitido pelo CHM, adaptado do CHM.	9
4	Níveis de criticidade relativos às condições de mar e de risco para o Litoral da Cidade do Rio de Janeiro com base no protocolo do COR (2022).	10
5	Relação de Flags por boia.	17
6	Avaliação comparativa entre as medições feitas pelas boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4 e as saídas da reanálise ERA5 para o ponto apresentado na Figura 2.	23

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BIAS	Viés
CHM	Centro Hidrográfico da Marinha
COR	Centro de Operações Rio
CORR	Correlação
ECMWF	European Centre for Medium Range Forecast
ERA5	European Centre for Medium Range Forecast ReAnalysis 5
Hs	Altura Significativa de Onda
IOOS	Integrated Ocean Observing System
QARTOD	Quality Assurance/Quality Control of Real Time Oceanographic Data
RMSE	Raíz Quadrada do Erro Médio
SI	Índice de espalhamento
SiMCosta	Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira
Tp	Período de Pico de Onda

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	OBJETIVO	4
2	METODOLOGIA	5
2.1	ESCOLHA DAS BOIAS	5
2.2	COMPARAÇÃO COM O ERA5	6
2.3	TESTES QARTOD	7
2.4	ALERTAS DE RESSACA	8
3	RESULTADOS DOS TESTES DO QARTOD	11
3.1	SÉRIES TEMPORAIS	11
3.2	AS FLAGS E A SUA RELEVÂNCIA	17
3.3	ROSAS DE ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA E PERÍODO DE PICO	18
3.4	CONFIABILIDADE DOS DADOS	22
3.5	VALIDAÇÃO DO ERA5	23
4	ESTUDO DE RESSACA	28
4.1	ANÁLISE HISTÓRICA DAS RESSACAS NA COSTA DO RIO DE JANEIRO	28
4.1.1	PERÍODO TOTAL	28
4.1.2	ANÁLISE SAZONAL	32
5	CONCLUSÕES	36
	REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

A medição de dados *in situ* é de fundamental importância para o avanço da ciência, afinal, sem eles, não seria possível averiguar se modelos numéricos se aproximam da realidade, ou até mesmo se dados medidos utilizando sensoriamento remoto são fidedignos. Muitos pesquisadores trabalham validando resultados de modelos, reanálises ou até mesmo produtos de imagens de satélites a partir destes dados *in situ*, como SCHMIDT *et al.* (2006), DUFEEK *et al.* (2008), BIRKEL *et al.* (2022), HISAKI (2021) entre outros. Contudo, nem sempre é possível confiar cegamente em dados medidos, já que muitas vezes o equipamento pode estar mal calibrado, mal posicionado ou até mesmo danificado pela sua ativa interação com o meio que se propõe medir.

O Sistema de Monitoramento da Costa Brasileira (SiMCosta, FRANZ *et al.* (2021)) é uma rede integrada de plataformas flutuantes ou fixas, dotadas de instrumentos e sensores, com funcionamento autônomo e capacidade de coletar regularmente variáveis oceanográficas e meteorológicas. Dele serão retirados dados meteo-oceanográficos de boias localizadas na Baía de Guanabara, na cidade do Rio de Janeiro. Estas boias monitoram as seguintes variáveis: Altura de Onda, Período de Onda, Direção de Onda, Espalhamento de Onda, Salinidade, Temperatura da água, Direção de Corrente, Velocidade de Corrente, Direção do Vento, Intensidade do Vento, Ponto de Orvalho, Pressão, Radiação Incidente, Temperatura e Perfil de Corrente. No presente trabalho, o foco será na variável Altura Significativa de Ondas, que consiste na média do terço superior das ondas observadas.

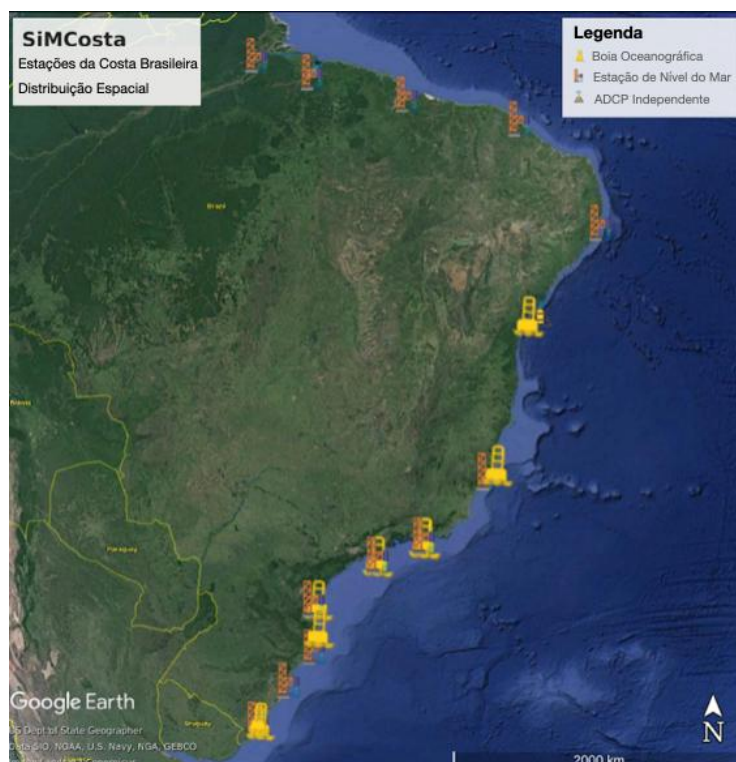


Figura 1: Posicionamento das plataformas de coleta de Dados do SiMCosta, adaptado de FRANZ *et al.* (2021).

Existem testes para determinar se um dado possui ou não qualidade, isto é, se é possível confiar de fato no que se está medindo. Estes testes são amplamente utilizados, como mostrado por PEREIRA (2015), que visava fazer extensa análise do controle de qualidade das boias meteo-oceanográficas dispostas ao longo da costa brasileira.

O European Centre for Medium Range Forecast (ECMWF) começou a produzir, no início de 2016, sua mais recente reanálise, a European Centre for Medium Range Forecast ReAnalysis 5 (ERA5, HERSBACH *et al.* (2020)). Possui hoje resultados horários que vêm desde 1979 até o presente disponibilizados no Climate Data Storage (CDS, RAOULT *et al.* (2017)). A reanálise possui resolução horizontal de $0,25^\circ$, conta com um esquema de assimilação 4D-Var (ocorrendo a cada 12 horas), 137 níveis verticais que vão desde 1000 até 1 hPa e considera tanto interações oceano-atmosfera quanto interações atmosfera-continente. A reanálise ERA5 produz diversos produtos de saída, incluindo dados de onda (Altura Significativa (H_s), Período de Pico(T_p), Direção Média, entre outros). É uma reanálise muito utilizada

nos dias atuais, com diversos trabalhos visando averiguar seu desempenho no Brasil, como PEREIRA DE ARAUJO *et al.* (2022), ROLLE *et al.* (2022), DO CARMO *et al.* (2022).

Uma possível definição de ressaca é dada por LIMA *et al.* (2021): "fenômenos de sobrelevação do nível do mar de origem astronômica e meteoceanográfica que, somados à ação das ondas, geram efeitos e impactos no litoral, podendo resultar em danos e prejuízos". No presente estudo, foca-se na parcela da ressaca que corresponde à Altura Significativa das Ondas.

Existem alguns trabalhos ao redor do mundo que buscam avaliar a previsão ou método de classificação das ressacas.

LEE *et al.* (2009) utilizaram-se de medidas observadas do nível do mar para calcular a ressaca através do cálculo da maré e comparação com constantes harmônicas.

DANIEL *et al.* (2009) fizeram uma revisão da previsão operacional de ressacas na Meteo-France e enfatizam a importância das ondas na variação do nível d'água na linha de costa, ressaltando também que um acoplamento entre diferentes modelos resultaria em um avanço na previsão das ressacas.

HATZIKYRIAKOU e LIN (2017) utilizaram-se de modelagem numérica para simular o alagamento e o comportamento das ondas durante uma ressaca, e descobriu que ambos os modelos hidrodinâmicos utilizados apresentaram boa concordância com os dados observados. Neste artigo, foi caracterizado o impacto em estruturas costeiras através de três parâmetros principais:

- Efeitos hidrostáticos devido à água parada contra a estrutura;
- Ação da onda devido à sua quebra;
- Efeitos hidrodinâmicos devido ao fluxo intenso d'água ao redor da estrutura.

LI e NIE (2017) se propuseram a estudar o estado da arte na previsão de eventos de ressaca, concluindo que ainda existem diversos desafios nesse assunto. Também enfatizou que uma pesquisa relacionando o deslocamento de ciclones com as ondas

oceânicas traria grande benefício no estudo destes fenômenos.

YANPING *et al.* (2019) fizeram um estudo calculando os extremos de Hs em períodos de ressaca com dados de 1985 a 2014, considerando 32 eventos, e descobriram que as tendências de Hs na presença de ciclones extratropicais é notavelmente diferente da tendência de Hs na presença de ciclones tropicais. Os valores extremos de Hs obtidos no estudo possuem grande utilidade para a navegação, prevenção de desastres e construção de estruturas costeiras.

LIMA *et al.* (2021) analisaram as condições meteoceanográficas em eventos de ressaca do mar, também no litoral do estado do Rio de Janeiro, considerando o período de 1948 a 2008. Tendo sido realizada neste trabalho uma abordagem que leva em consideração também os efeitos destes eventos sobre a população geral, caracterizados através de matérias de jornais antigos.

Finalmente, LIMA (2022) realizou um trabalho onde foi feito uma extensa revisão bibliográfica sobre o tema ressaca, seus causadores e impactos, focando no litoral do estado do Rio de Janeiro. Estes fenômenos possuem consequências severas sobre a linha de costa (como inundações) e são causados principalmente por frentes frias e ciclones extratropicais. Também foi estudada a relação destes eventos com os fenômenos El Niño e La Niña.

1.1 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é realizar a comparação entre dados das boias do projeto SiMCosta na costa do Rio de Janeiro (boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4) e a reanálise ERA5, buscando por fim caracterizar os eventos de ressaca através da Hs. Também busca atestar confiabilidade dos dados de onda contidos nas boias do projeto SiMCosta na costa do Rio de Janeiro (boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4) ao aplicar o manual para controle de qualidade de dados para ondas de superfície, criado pelo braço do programa estadunidense Integrated Ocean Observing System (IOOS), Quality Assurance/Quality Control of Real Time Oceanographic Data (QARTOD) IOOS (2019).

2 METODOLOGIA

Foram utilizados os parâmetros para alerta de ressaca estabelecidos pelo Centro de Operações Rio (COR) para analisar o comportamento sazonal das ressacas, bem como comparar a frequência dos eventos passados de ressaca com a frequência que ocorre no presente. Para esta análise, foi utilizada a reanálise ERA5 (HERSBACH *et al.* (2020)). Para comprovar que esta reanálise poderia ser utilizada neste caso, ela foi validada em conjunto com boias do projeto SiMCosta (FRANZ *et al.* (2021)) localizadas na costa do Rio de Janeiro. Estas boias tiveram sua confiabilidade testada através do manual do QARTOD (IOOS (2019)).

2.1 ESCOLHA DAS BOIAS

As boias selecionadas para este estudo foram as seguintes: RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4, com seu posicionamento sendo o destacado na Figura 2. As coordenadas das boias podem ser conferidas na Tabela 1. Os dados foram baixados diretamente do portal do SIMCOSTA (<https://simcosta.furg.br/home>).

Boia	Latitude	Longitude
RJ1	22°57'42"S	043°7'29"W
RJ2	22°55'55"S	043°8'52"W
RJ3	22°58'59"S	043°10'28"W
RJ4	22°58'18"S	043°9'1"W

Tabela 1: Coordenadas das boias utilizadas no estudo.

O período selecionado para o estudo de cada boia foi desde o início de sua operação até dezembro de 2021 (inclusive), contudo, algumas boias tiveram o seu período de coleta de dados descontinuado antes do prazo final estipulado. Para estas, foi selecionado todo o período de medição da boia.

2.2 COMPARAÇÃO COM O ERA5

Com relação ao controle de qualidade de dados, foi elaborado um *script* na linguagem Python, com código aberto e acessível. O *script* foi escrito em forma de classe, com seus diversos testes descritos como métodos de uma classe instanciável, utilizando os paradigmas da programação orientada a objetos (POO). O script foi utilizado para executar esse controle de qualidade nas boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4 do SimCosta. O script pode ser acessado através do seguinte endereço: <https://github.com/BrenoSCabral/TCC>.

Os dados da reanálise ERA5 foram baixados através do CDS e analisados utilizando também a linguagem Python. O ponto da reanálise escolhido foi estrategicamente selecionado para que o mesmo pudesse estar o mais próximo possível das boias (estando posicionado, portanto, em 23°S e 043°W, considerando que os dados da reanálise possuem resolução espacial de 0,5°). A posição relativa das boias e do ponto de grade do ERA5 selecionado podem ser observados na Figura 2.

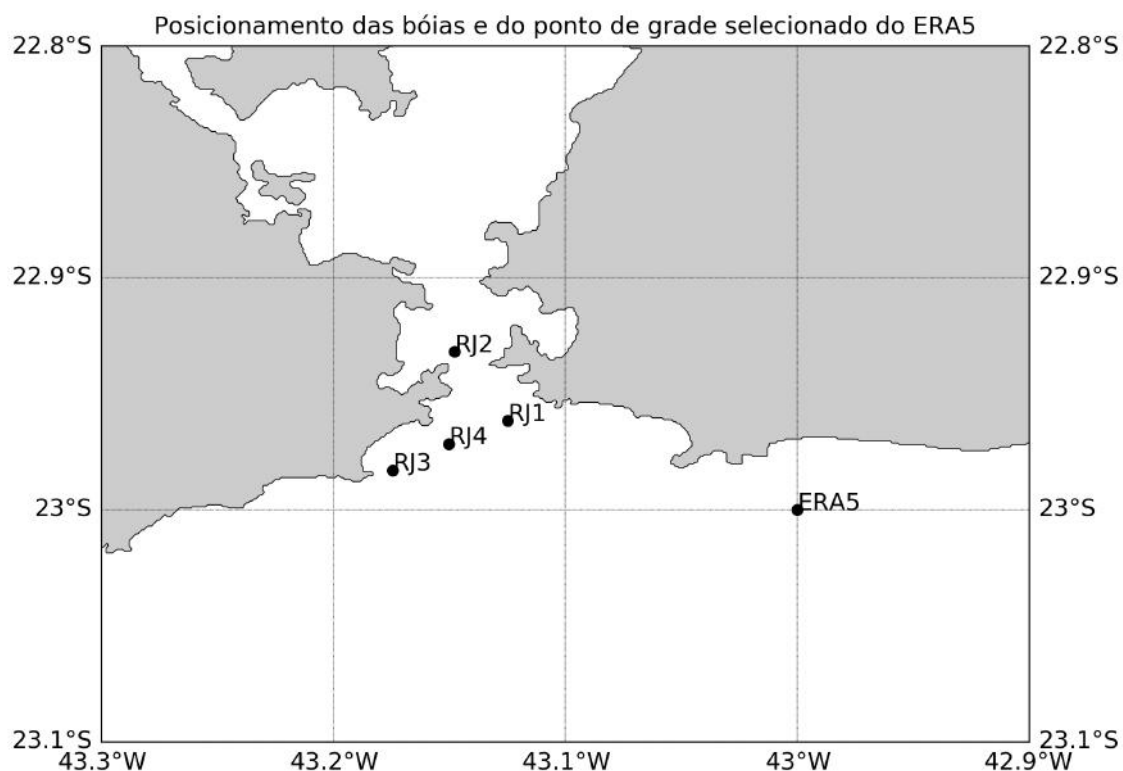


Figura 2: Comparação entre a posição das boias e o ponto de grade da reanálise.

As métricas estatísticas utilizadas para o desenvolvimento da comparação foram a raiz quadrada do erro médio (RMSE), a correlação (CORR), o viés (BIAS) e índice de espalhamento (SI). Estas métricas estão definidas matematicamente nas equações abaixo, onde as variáveis em questão são x e y , representativas dos dados das boias e resultados da reanálise, respectivamente; x_i e y_i são os valores de índice i das variáveis em estudo; N é o número total de índices das variáveis de estudo; \bar{x} e \bar{y} são as médias das variáveis x e y , respectivamente.

$$CORR = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}}$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

$$BIAS = \frac{\sum_{i=1}^n (y_i - x_i)}{n}$$

$$SI = \frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [(y_i - \bar{y}) - (x_i - \bar{x})]^2}{\bar{x}}$$

O coeficiente de correlação é utilizado para medir a correlação entre duas variáveis. O RMSE foi aplicado visando avaliar a magnitude do erro. O BIAS representa o desvio médio entre os resultados da reanálise e os dados de boia. Finalmente, o SI indica o erro percentual em função dos valores médios. Todas as métricas estatísticas realizadas consideraram a comparação da reanálise em função do dado medido. Por exemplo: um BIAS positivo indica que a reanálise superestima o dado medido, e não o contrário.

2.3 TESTES QARTOD

Dentro do manual de ondas do QARTOD (IOOS (2019)), existem mais de 20 testes, divididos em 3 classes de importância: Necessário, Fortemente Recomendado e Sugerido. Foram selecionados 4 testes para o presente estudo, levando em consi-

deração a sua aplicabilidade considerando a frequência de medição e as variáveis a serem analisadas. Os testes selecionados estão listados abaixo, bem como uma breve descrição de sua aplicação. Para a aplicação deste controle de qualidade dos dados, foi desenvolvido um script na linguagem de programação Python em sua versão 3.7.6 através da distribuição ANACONDA (2020).

- **Teste 9:** Fortemente Recomendado - Determina se ,em determinado período, a falta de aquisição de dados na série temporal é muito longa;
- **Teste 10:** Fortemente Recomendado - Identifica picos na série temporal (definido neste estudo através do padrão da OMM de 4 vezes o Desvio Padrão);
- **Teste 11:** Fortemente Recomendado - Verifica se valores da série temporal estão dentro dos limites definidos pelo operador;
- **Teste 16:** Necessário - Verifica se a série temporal produziu n observações de mesmo valor consecutivas (onde n é um número arbitrário definido pelo operador).

Uma vez que os dados das boias tenham sido tratados, a comparação com a reanálise ERA5 será feita, buscando averiguar o desempenho da reanálise em representar os dados de onda coletados nas plataformas de coleta de dados. Para tal, serão feitas análises de parâmetros estatísticos relevantes.

2.4 ALERTAS DE RESSACA

Uma das principais formas de se classificar ondas pelo seu H_s é através da escala Douglas, utilizada pelo Centro de Hidrografia da da Marinha (CHM). É possível observar através da Tabela 2 que ela possui dez graus de severidade, indo desde mar calmo, sem ondas, até mares muito agitados, com alturas significativas maiores que 14 m.

O CHM possui os critérios indicados na Tabela 3 para gerar um aviso de mau tempo. Neste aviso, há um critério que caracteriza a ressaca para esta instituição.

Código	Hs (m)	Descrição
0	0	Calmo (Sem Ondas)
1	0-0,1	Encrespado
2	0,1-0,5	Suave
3	0,5-1,25	Fraco
4	1,25-2,5	Moderado
5	2,5-4	Grosso
6	4-6	Muito Grosso
7	6-9	Alto
8	9-14	Muito Alto
9	>14	Fenomenal

Tabela 2: Escala Douglas do Estado do Mar, adaptado do CHM.

Aviso de vento forte	Ventos acima da força 7 na escala Beaufort (28 nós)
Aviso de mar grosso	Ondas com altura maior ou igual a 3 metros
Aviso de baixa visibilidade	Visibilidade horizontal menor que 1 km
Aviso de ressaca	Ondas arrebatando na costa com altura acima de 2,5 metros

Tabela 3: Critérios para aviso de mau tempo emitido pelo CHM, adaptado do CHM.

A partir da Escala Douglas de Estado do Mar, e baseado em uma análise de probabilidade de ocorrência de alto risco quanto à altura significativa de ondas, o COR determinou os níveis de Risco (risco de ondas atingirem a orla e infraestruturas e risco de morte) e de criticidade (relativos aos estágios da cidade do Rio de Janeiro), como se segue na tabela 4, retirada de COR (2022). É importante ressaltar que cada um dos itens desta tabela possui 4 níveis de severidade, o que auxilia em sua praticidade e aplicabilidade.

Hs (m)	Condição do Mar (Agitação)	Risco	Níveis de Criticidade
0	Calmo	-	Normalidade
0,5 - 1,5	Fraco	-	Normalidade
1,5 - 2,0	Moderado	Baixo	Normalidade
2,0 - 2,5	Moderado	Moderado	Mobilização
2,5 - 3,0	Forte	Alto	Atenção
3,0 - 3,5	Forte	Alto	Atenção
3,5 - 4,0	Forte	Alto	Alerta
$\geq 4,0$	Forte	Alto	Alerta

Tabela 4: Níveis de criticidade relativos às condições de mar e de risco para o Litoral da Cidade do Rio de Janeiro com base no protocolo do COR (2022).

Como todos os estudos presentes no Capítulo 1 focam-se na parte de previsão de ressacas, fica evidente que os índices confeccionados apresentados acima são de grande utilidade na operacionalização das medidas a serem tomadas pelos órgãos competentes quando se observa um evento que possa trazer risco à população geral. Um índice universal não possuiria tanta utilidade, já que os padrões de ondas diferem de região para região, sendo assim necessária a confecção de índices para cada local.

3 RESULTADOS DOS TESTES DO QARTOD

3.1 SÉRIES TEMPORAIS

Os resultados estão apresentados através de gráficos das séries temporais, onde é possível ter uma noção geral da influência dos testes do QARTOD sobre os dados.

Analisando primeiramente os resultados para a boia RJ1, é possível reparar que somente existem cinco registros de dados ultrapassando a linha de evento extremo, o primeiro ocorrendo em setembro de 2015, com um dado marcado como suspeito, e o subsequente ocorrendo em junho de 2016, com diversos dados marcados como suspeitos e alguns como “crise”, ou seja, altamente não confiáveis. Ao total, 49 dados foram marcados como “pulo” (dados suspeitos), correspondendo a um percentual de 0,25% do total, e 5 dados foram marcados como “crise”, o que corresponde a um percentual de 0,03% do total de dados coletados.

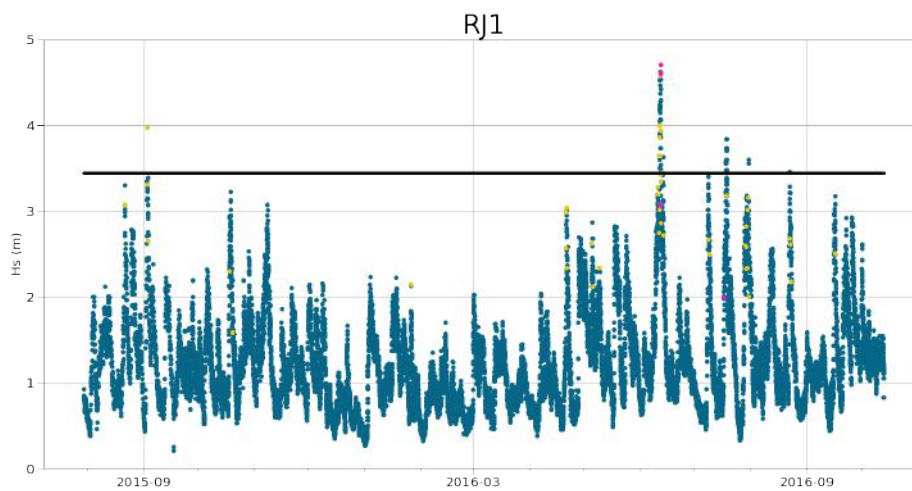


Figura 3: Série temporal de altura significativa de onda (H_s) para a boia RJ1. O ponto azul é um ponto de dado medido da boia; O ponto amarelo considera que ocorreu um salto de um desvio padrão respectivo ao ponto anterior (Jump Flag - “pulo”); O ponto Rosa representa um salto de dois ou mais desvios padrões respectivo ao ponto anterior (Jump Crisis - “crise”) A linha preta é a média da série temporal + 4 desvios padrões. Linha de “Evento Extremo”. A linha de Evento extremo foi feita considerando a série temporal como um todo. A localização geográfica das boias é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.

Na boia RJ2, a linha de eventos extremos é ultrapassada mais vezes, contudo com somente 5 eventos registrando Hs superior a 1,5 m. É possível reparar que existe uma concentração muito alta de dados marcados como “pulo” no fim do mês de setembro de 2016, o que gera uma maior desconfiança desses registros. É possível reparar que, no geral, os registros de Hs são menores, o que é devido ao fato do posicionamento geográfico da boia ser atrás de uma lage, que age por atenuar a altura das ondas que chegam no medidor. Como resultado, foi registrada somente uma ocorrência de dado sendo marcado como “crise”, correspondendo a 0,004% do total; Os dados registrados como “pulo”, contudo, apresentam percentual de 0,59%, somando ao todo 134 ocorrências.

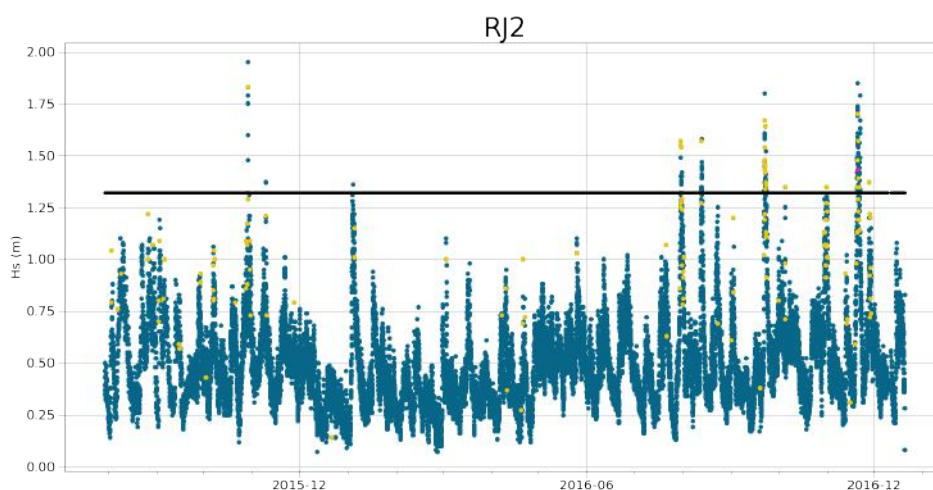


Figura 4: Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ2.

Na boia RJ3, nota-se que existem períodos muito grandes quando não houve obtenção de dados, o que justifica a escolha de fazer uma separação das séries temporais quando o tempo sem obtenção de dados superasse um limite definido pelo operador (no presente caso, tal limite foi definido como sendo 7 dias). Percebe-se que a linha de eventos extremos adequa-se muito melhor à distribuição dos dados quando as séries temporais são separadas (vide figura 6), o que faz com que o uso desta técnica seja fortemente recomendado. Mesmo com a separação, contudo, foi possível observar dados ultrapassando o limiar definido para eventos extremos em quase todas as sub-séries temporais, o fato somente não ocorreu na última subsérie (coincidentalmente, a com menor período de coleta). É interessante também ressaltar o evento ocorrido por volta de maio de 2021, quando ocorreu uma Hs de mais de 4 m, sem marcação de dado como suspeito. Na análise, 164 dados foram marcados como “pulo”, correspondendo a 0,36% do total; 7 dados foram marcados como “crise”, correspondendo a 0,02% do total.

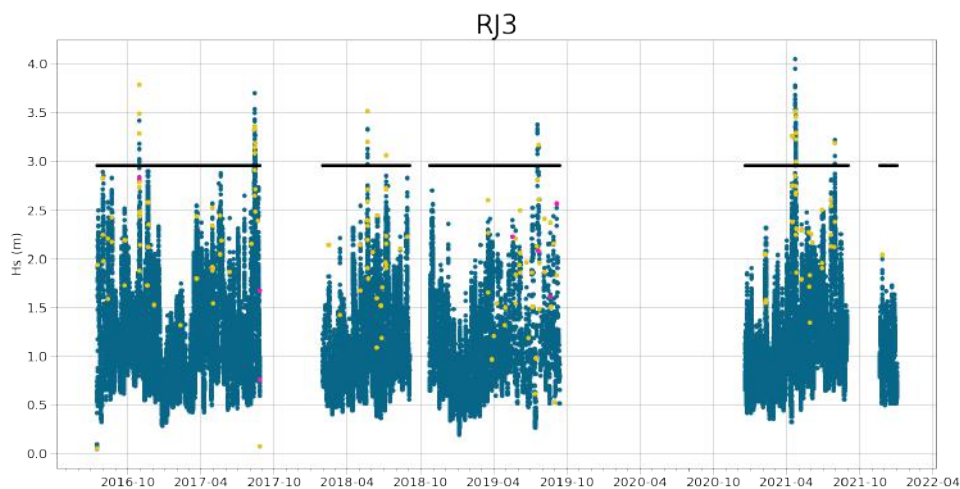


Figura 5: Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ3.

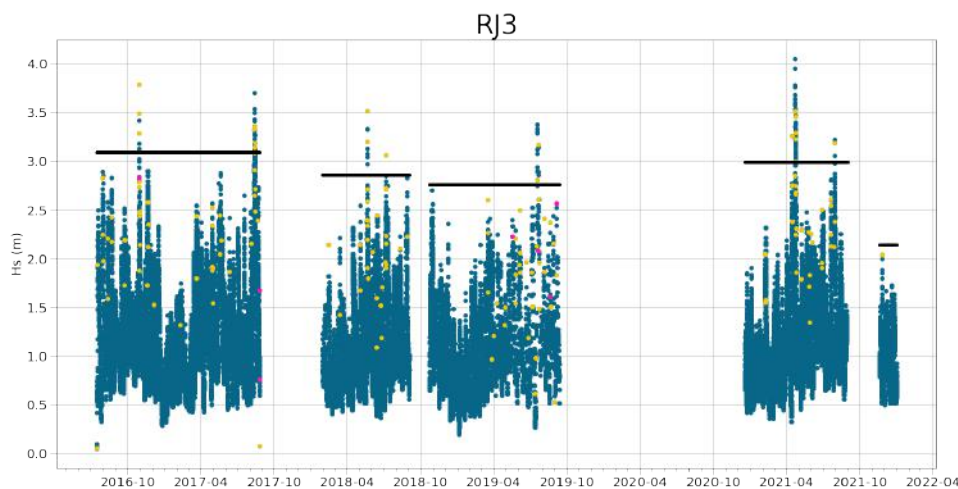


Figura 6: Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ3 tratando falhas na coleta de dados como quebras na série temporal.

Finalmente, na boia RJ4, observa-se o mesmo problema de quebra de séries temporais observado na RJ3, e foi feita a mesma técnica de separação das séries em sub-séries (vide fig 8). As novas linhas de evento extremo mostram-se muito diferentes das produzidas anteriormente pela série quando considerada como um todo. Diferentemente da RJ3, mesmo com a separação, ocorreram dados ultrapassando o limite de evento extremo de H_s em todas as séries, com dados diversas vezes ultrapassando a marca de 3,5 m. Utilizando-se da análise do “pulo”, 171 dados foram marcados desta forma, correspondendo a um percentual de 0,32%; Já na análise dos dados de “crise”, 4 foram marcados como tal, correspondendo a um percentual de 0,01%.

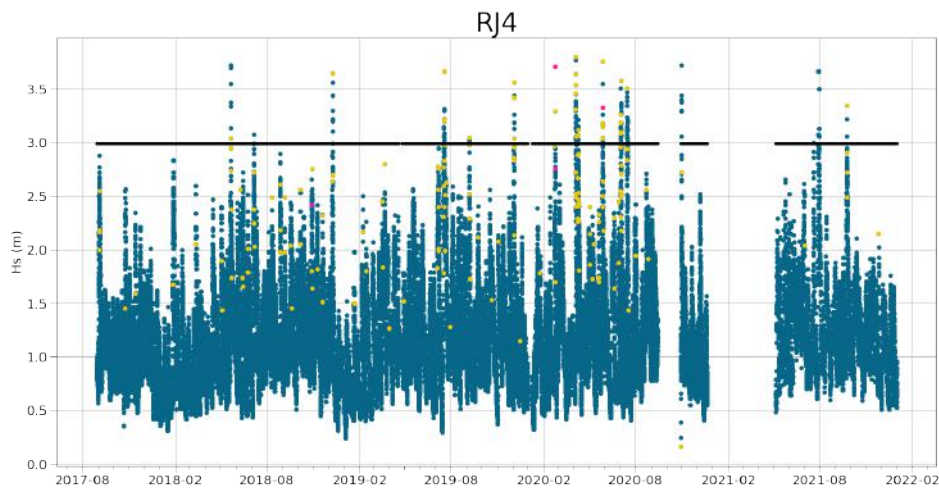


Figura 7: Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ4.

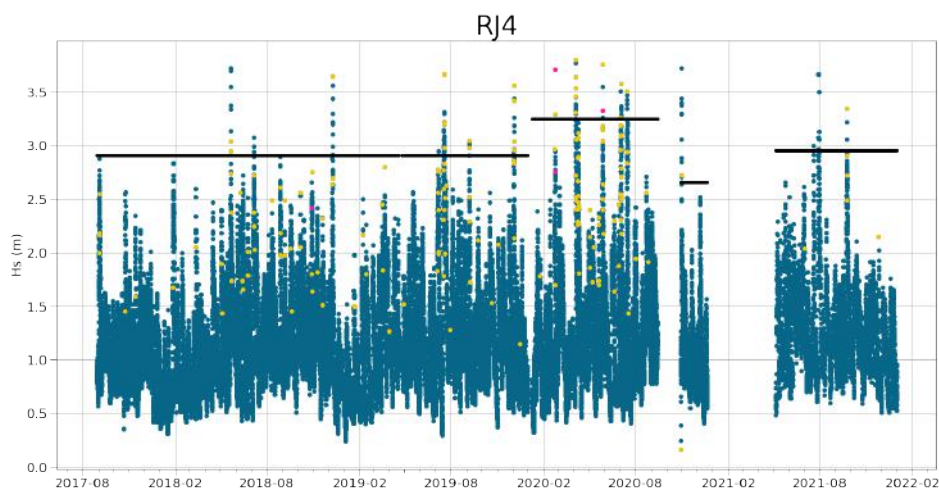


Figura 8: Análogo à Figura 3, mas para a boia RJ4 tratando falhas na coleta de dados como quebras na série temporal.

3.2 AS FLAGS E A SUA RELEVÂNCIA

O estudo das Flags mostram que os dados da boia RJ1 tendem a ser mais confiáveis, apesar da boia RJ4 também apresentar resultados bons, com somente 0,01% de flag de crise. A boia RJ2 apresenta a maior porcentagem de flags de pulo ao mesmo tempo que apresenta a menor porcentagem de flags de crise, provavelmente devido à sua posição geográfica, como já citado anteriormente.

A Flag de Pulo representa um dado que deve ser marcado como suspeito, isto é, que deve ter sua confiabilidade posta em cheque. A Flag de Crise representa um dado que deve ser marcado como muito suspeito, ou seja, trata-se de um dado não confiável. Estas situações podem ocorrer devido ao mal funcionamento de determinados sensores ou até mesmo devido à interação do meio marinho com a boia. Os dados são marcados como suspeitos ao invés de descartados pois não pode-se afirmar que aquele dado é de fato espúrio considerando apenas a métrica aplicada, é necessário sempre avaliar o contexto geral das medições.

Através da Tabela 5 é possível ver que menos de 0,6% dos dados são marcados como suspeitos, ou seja, a probabilidade de um dado selecionado aleatoriamente possuir alta confiabilidade é maior que 99,54% para cada boia. Este fato é um indicativo da alta qualidade das medições de Hs das boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4.

boia	Flags de Pulo (%)	Flags de Crise (%)
RJ1	0,25	0,03
RJ2	0,59	0,004
RJ3	0,36	0,02
RJ4	0,32	0,01

Tabela 5: Relação de Flags por boia.

3.3 ROSAS DE ALTURA SIGNIFICATIVA DE ONDA E PERÍODO DE PICO

A partir da análise das rosas de H_s (Figuras 10 -13), é possível chegar à mesma conclusão da análise das séries temporais, observando valores de H_s muito inferiores na boia RJ2 quando comparada às demais boias. Uma maior maior variação é observada na boia RJ3, o que já era esperado, já que ela é, junto com a RJ4, a boia com menos terra circundante. Em todas as boias o quadrante Sudeste foi o com o maior número de observações registradas, o que fornece uma noção básica da climatologia da direção de ondas nesta região.

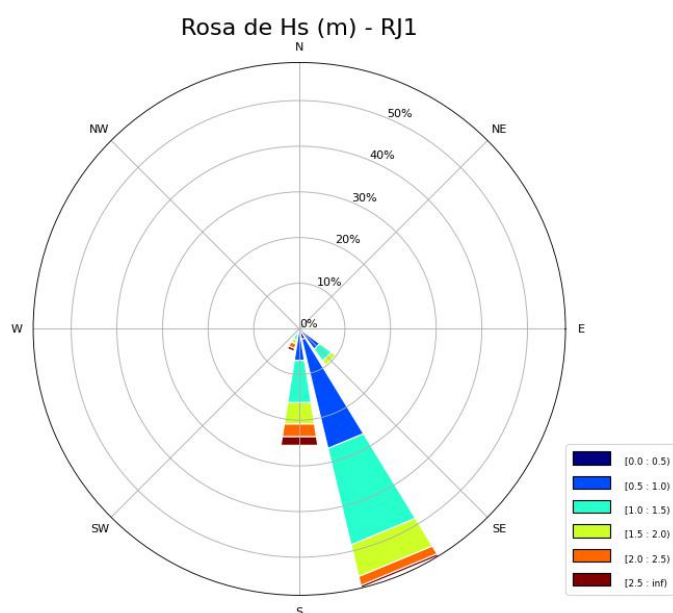


Figura 9: Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ1. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.

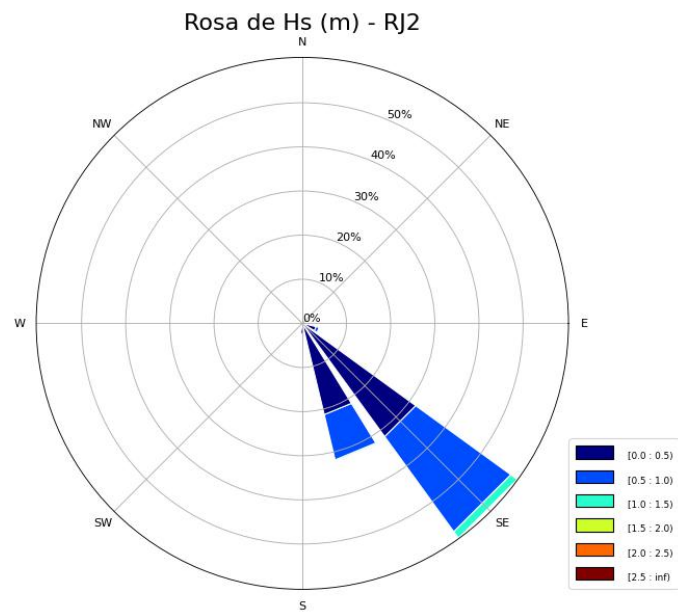


Figura 10: Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ2. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.

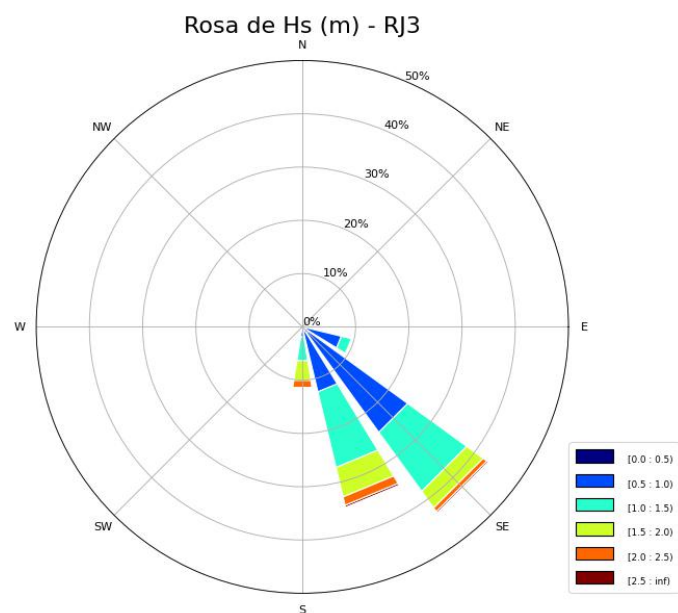


Figura 11: Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ3. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.

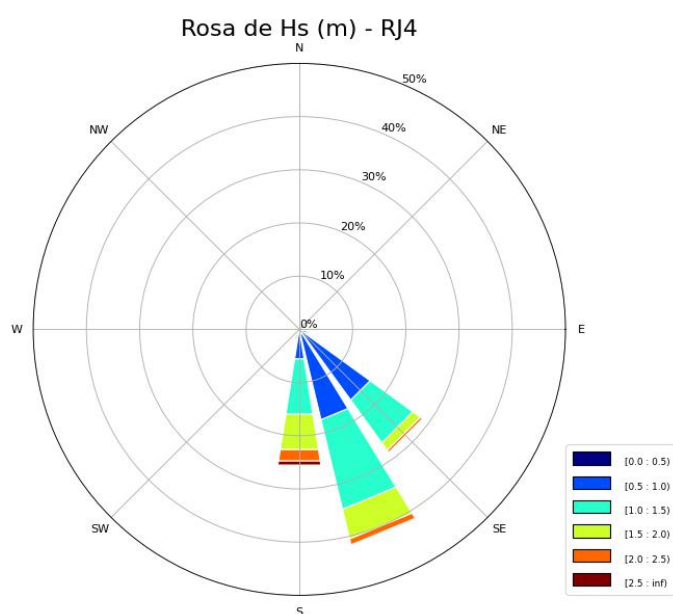


Figura 12: Rosa de Altura Significativa de onda (m) para a boia RJ4. A localização geográfica desta boia é apresentada na Figura 2 e Tabela 1.

As rosas de T_p (Figuras 14-17) fornecem um resultado um pouco diferente, já que ocorre aproximadamente a mesma distribuição em todas as boias, com os T_p s máximos sendo de 14 a 16 s. Este resultado também já era esperado, já que, apesar da lage na frente da boia RJ2 ser capaz de atenuar a altura da onda, ela não é capaz de afetar o período do trem de ondas.

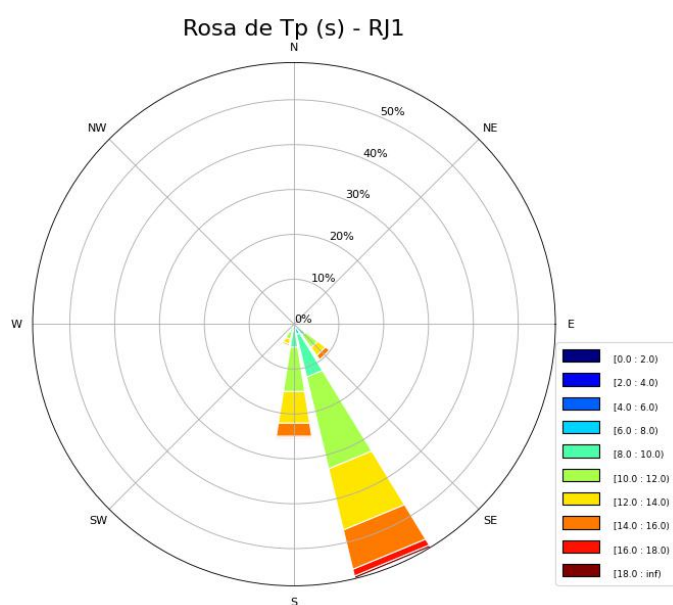


Figura 13: Análogo à Figura 9, mas para período de pico de onda (s).

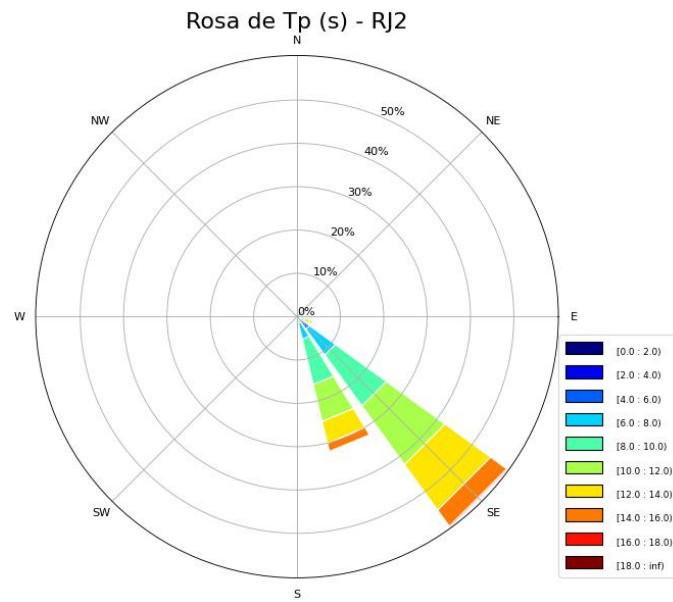


Figura 14: Análogo à Figura 10, mas para período de pico de onda (s).

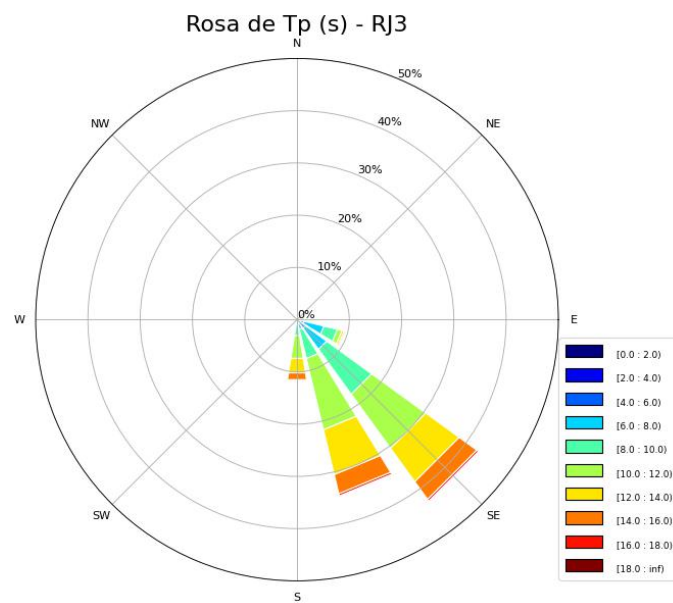


Figura 15: Análogo à Figura 11, mas para período de pico de onda (s).

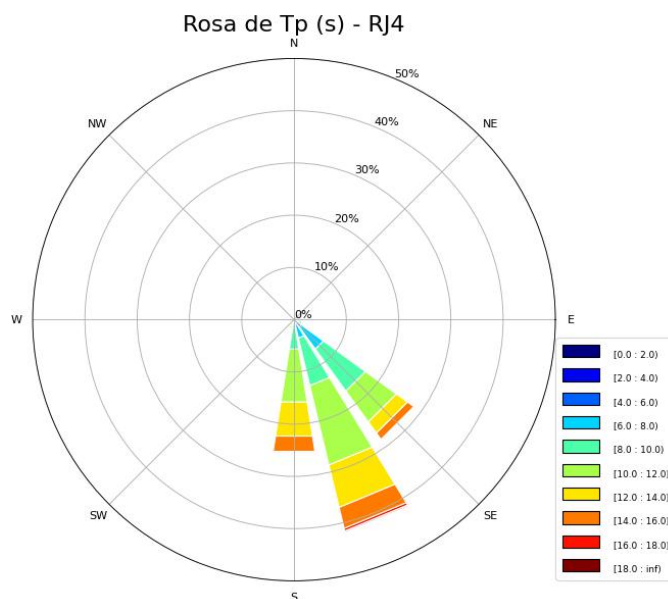


Figura 16: Análogo à Figura 12, mas para período de pico de onda (s).

3.4 CONFIABILIDADE DOS DADOS

Através do estudo realizado, é possível possuir alta confiabilidade nos dados fornecidos pelas boias cariocas do SiMCosta. O estudo das flags, sumarizado através da Tabela 5 mostrou-se muito satisfatório.

O maior problema encontrado foram as quebras nas séries temporais das boias, que podem ser resolvidas utilizando-se da técnica de seccionamento das séries temporais. Apesar de apenas serem visíveis nos gráficos gerados as falhas muito grandes nas séries temporais, é necessário ressaltar que existiram diversos períodos de ausência de coleta de dados em todas as boias estudadas. Esta situação atrapalha a continuidade do monitoramento das variáveis, mas não representa uma situação que deslegitimiza os dados.

A boia RJ1 apresenta uma relativa baixa cobertura temporal, de pouco mais de um ano, como é possível observar na Figura 3. Apesar disso, possui a menor quantidade percentual de Flags de Pulo e, paradoxalmente, a maior quantidade percentual de Flags de Crise, conforme indica a Tabela 5.

A boia RJ2, além da baixa cobertura temporal de pouco mais de um ano, também

apresenta valores não representativos da região devido ao seu posicionamento. Seus resultados são utilizados para intercomparação com a reanálise ERA5, mas com certa cautela.

A boia RJ3 apresenta algumas falhas significativas na série temporal, contudo apresenta grande cobertura temporal e resultados também positivos nos testes de flags. Pode também ser utilizada, portanto, para a validação da reanálise na região de interesse.

A boia RJ4, como pode-se verificar através da Figura 7 possui uma alta cobertura temporal, com poucas falhas substanciais na coleta dos dados. Conforme a Tabela 5, também é possível concluir que a mesma apresenta resultados muito satisfatórios quanto às flags.

Desta formas, as boias RJ1, RJ2, RJ3, e RJ4 são classificadas como confiáveis para representação da situação real das ondas. A comparação com a reanálise ERA5 portanto mostra-se proveitosa para averiguar se a reanálise é capaz também de boa representação da região em questão.

3.5 VALIDAÇÃO DO ERA5

Através do estudo da Tabela 6 é possível traçar algumas conclusões sobre a capacidade da reanálise de representar a região da costa do Rio de Janeiro.

Boia	CORR	RMSE (m)	SI	BIAS (m)	Nº de Obs.
RJ1	0,94	0,04	3%	0,15	10460
RJ2	0,69	0,17	35%	0,89	12082
RJ3	0,93	0,07	6%	0,20	25893
RJ4	0,92	0,07	6%	0,16	31705

Tabela 6: Avaliação comparativa entre as medições feitas pelas boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4 e as saídas da reanálise ERA5 para o ponto apresentado na Figura 2.

Para as boias RJ1, RJ3, e RJ4, verifica-se alta correlação, indicativo de que a reanálise acompanha muito bem a tendência geral do comportamento dos dados

medidos in situ. O baixo RMSE indica pouca diferença entre os dados medidos e os simulados pela reanálise. O baixo SI indica que existe pouco erro percentual quanto aos valores médios. O BIAS baixo indica que a reanálise não possui tendência inerente de superestimar nem subestimar os dados, mas sim de seguir a sua tendência. A única boia que foge um pouco desta tendência é a RJ2, que, como já comentado anteriormente, possui um posicionamento que desfavorece sua capacidade de bem representar as características da região. A diferença mais notória entre a boia RJ2 e as demais é o alto SI e a relativa baixa correlação.

As Figuras 17 - 20 mostram uma comparação entre os resultados da reanálise e os dados medidos para cada boia considerando o período de atividade da boia, incluindo os parâmetros estatísticos calculados para cada boia. A Figura 21 mostra um comparativo geral, considerando todas as boias e a reanálise simultaneamente.

É importante ressaltar também que a reanálise possui um BIAS positivo do Hs em relação a todas as boias, o que pode causar um pouco de estranhamento, uma vez que a tendência geral dos modelos e reanálises é de subestimar eventos. Contudo, é necessário lembrar que o ponto da reanálise localiza-se em uma região de oceano mais aberto, conforme indicado pela Figura 2.

O ERA5 foi capaz de bem representar as boias RJ1, RJ3 e RJ4, contudo com capacidade de representatividade da boia RJ2 mais baixa. Como julga-se que o posicionamento das boias bem representadas pela reanálise proporcionam melhor caracterização da região de interesse, a comparação com a boia RJ2 não põe em cheque a qualidade do ERA5 de representar a costa do Rio de Janeiro.

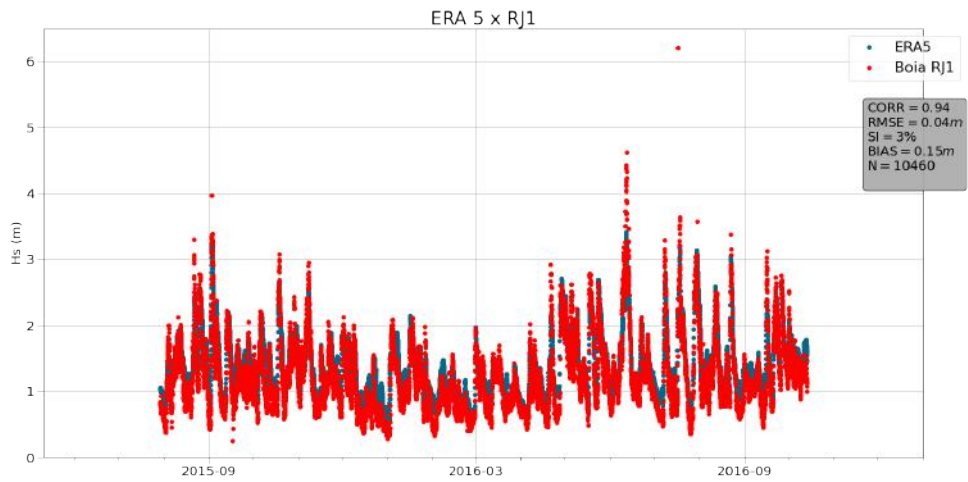


Figura 17: Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ1.

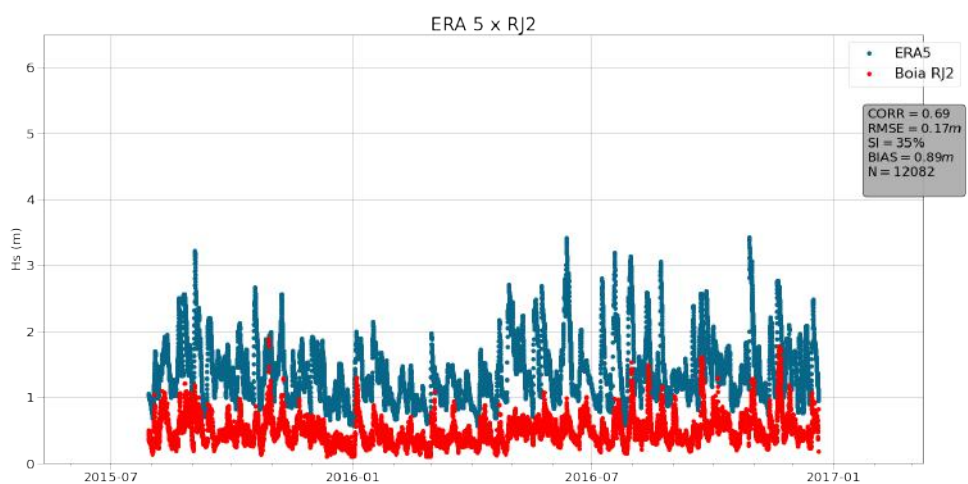


Figura 18: Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ2.

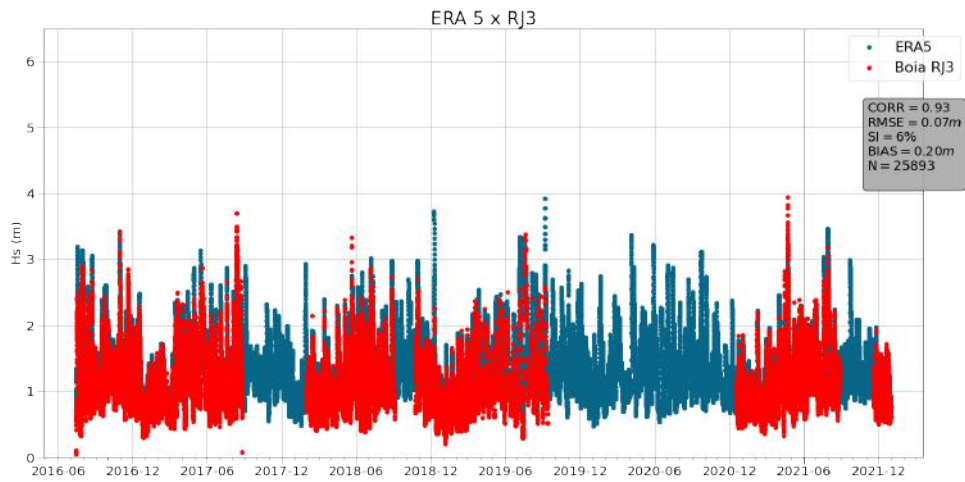


Figura 19: Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ3.

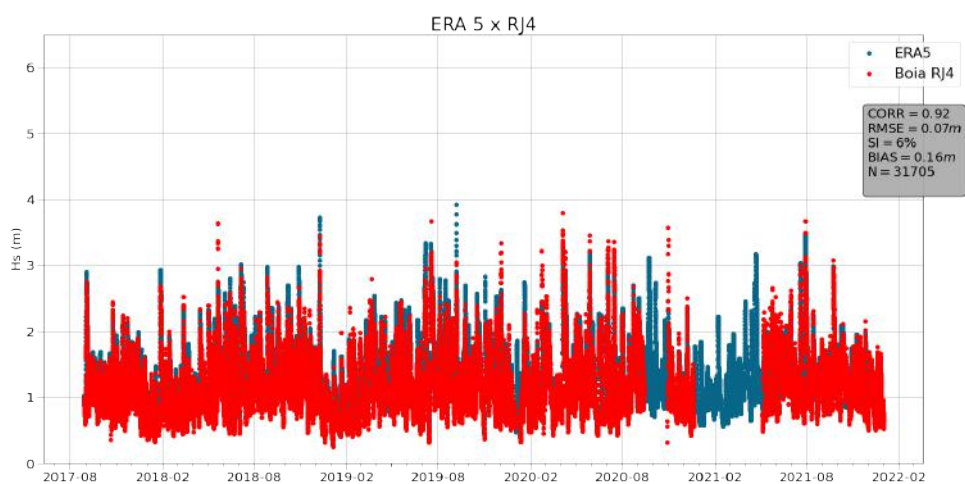


Figura 20: Comparação da série temporal do ERA5 com a RJ4.

Na Figura 21 é possível observar a série temporal da diferença entre o resultado do ERA5 e as boias. Através desta figura fica evidente a tendência de superestimação da reanálise para as boias (principalmente na boia RJ2, onde é possível observar valores maiores da diferença do que nas demais boias).

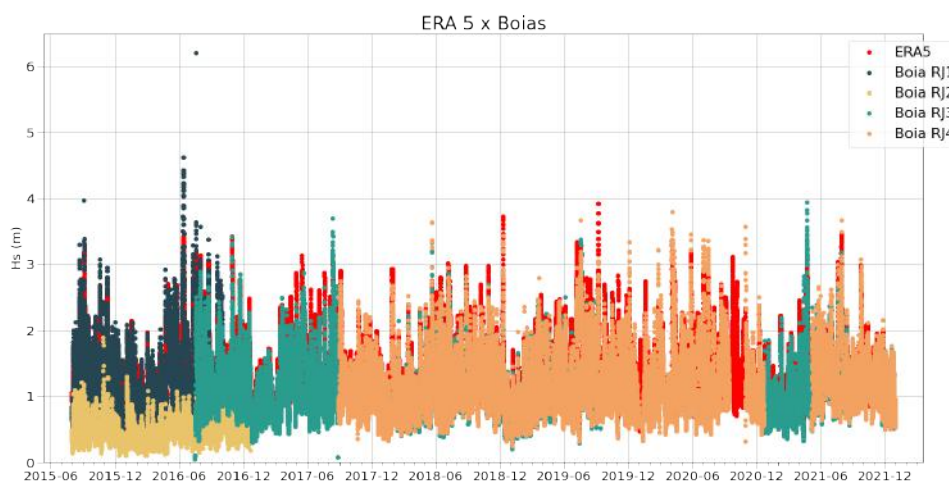


Figura 21: Comparação da série temporal entre o ERA5 e as medições das boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4.

4 ESTUDO DE RESSACA

4.1 ANÁLISE HISTÓRICA DAS RESSACAS NA COSTA DO RIO DE JANEIRO

4.1.1 PERÍODO TOTAL

Utilizando-se dos resultados do ERA5, foi possível fazer um estudo do histórico das ressacas considerando o Hs, através dos parâmetros apresentados na Tabela 4. Primeiramente, são apresentados os histogramas relativos para cada classificação através das Figuras 22-25.

É possível ver através dos histogramas que a subdivisão sugerida pelo COR com somente 4 classes se adequa muito melhor à realidade da região. O comportamento seguido nos histogramas de risco e de criticidade são os esperados, com a ocorrência decrescendo quando a severidade aumenta. Na condição do mar, contudo, as ocorrências se concentram nos eventos de mar Fraco e Moderado, com o mar calmo possuindo pouco mais de 5% das ocorrências em todo o período da reanálise analisado (1979 até 2021). Quanto à escala Douglas, pode-se verificar que não existem ocorrências de mar calmo ou encrespado nem em mar alto, muito alto ou fenomenal, com as concentrações maiores sendo em mar fraco e moderado (concentrando mais de 95% das ocorrências).

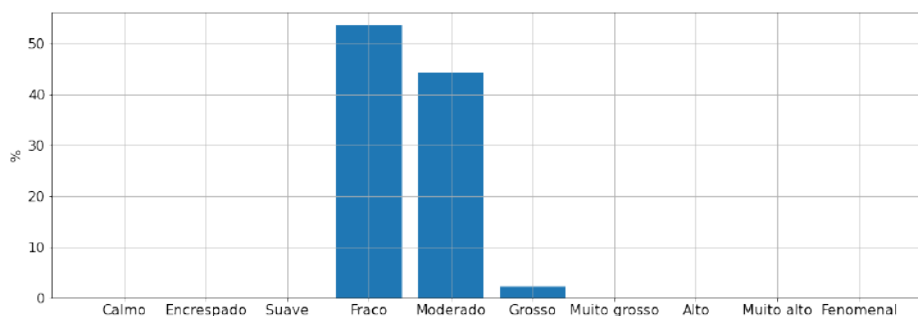


Figura 22: Histograma das ocorrências de acordo com a escala Douglas para o período total do ERA5.

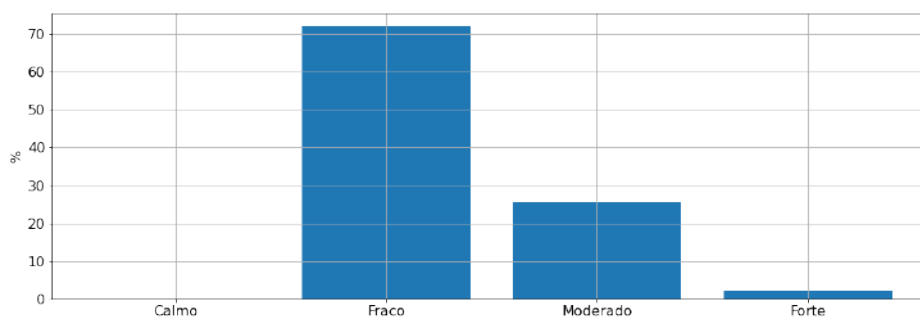


Figura 23: Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Condição do Mar para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).

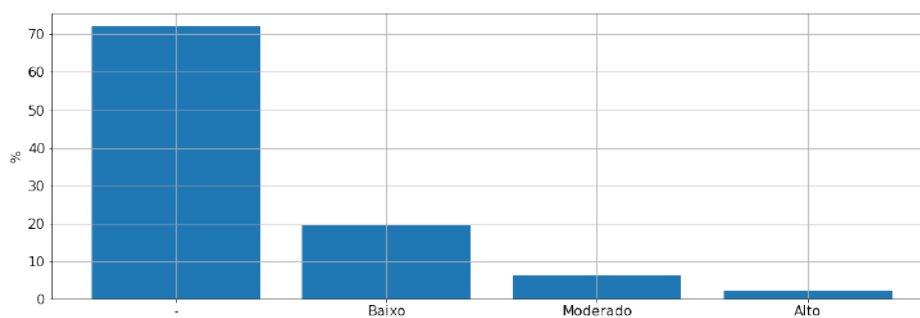


Figura 24: Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Risco para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).

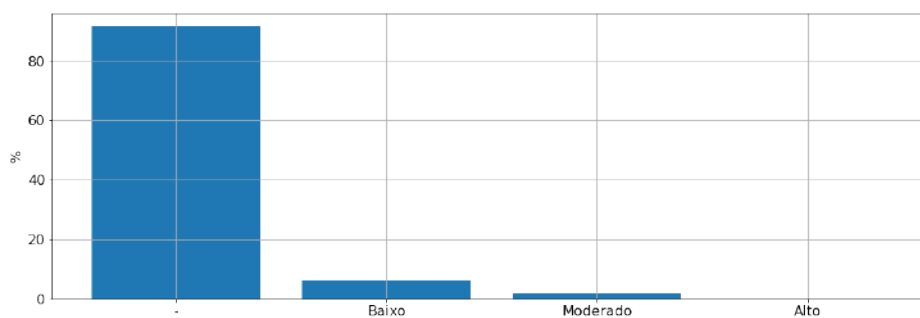


Figura 25: Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Criticidade para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).

Através das Figuras 26 - 29 é possível observar a evolução temporal das diversas escalas empregadas no estudo. Em todos os casos, nota-se pouca variação percentual nos índices. Somente no caso da escala Douglas observa-se uma variação no índice mais frequente (que ocorre em 2008 e entre 1994 e 1999, quando o estado de mar Moderado superou o Grosso).

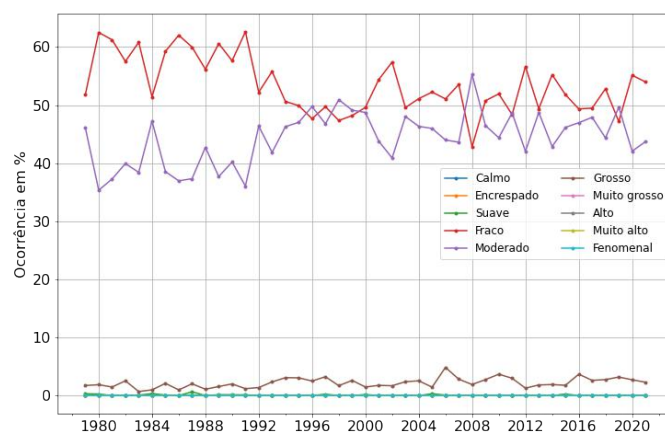


Figura 26: Evolução temporal da escala Douglas para o período total do ERA 5.

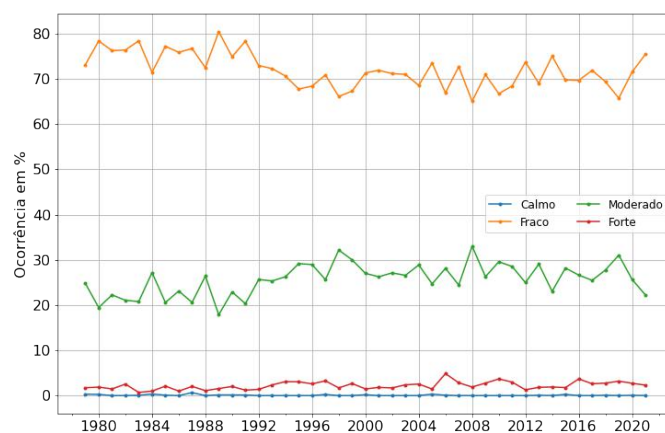


Figura 27: Evolução temporal da escala de Nível de Condição do Mar para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).

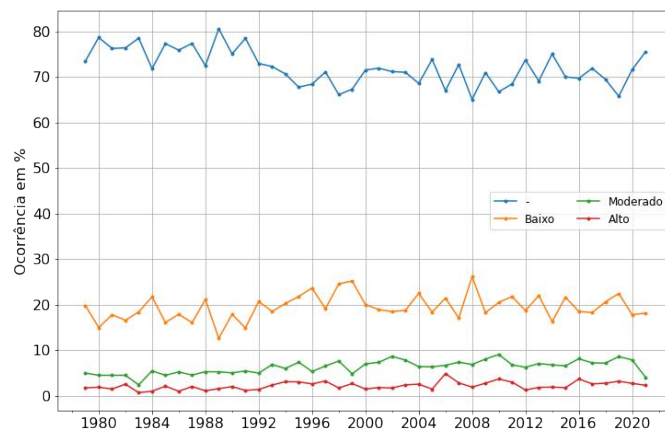


Figura 28: Evolução temporal da escala de Nível de Risco para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).

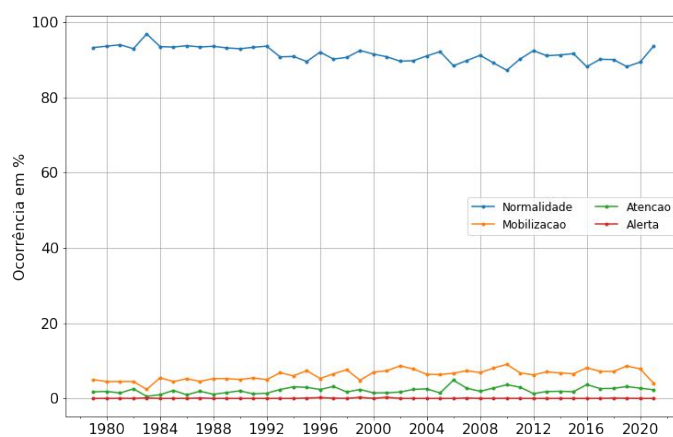


Figura 29: Evolução temporal da escala de Nível de Criticidade para o período total do ERA 5, com base no protocolo do COR (2022).

Para melhor analisar os eventos separadamente, é possível também separá-los sazonalmente.

4.1.2 ANÁLISE SAZONAL

Para a análise sazonal, foi determinado que os meses Janeiro, Fevereiro e Março comporiam o verão; Abril, Maio e Junho comporiam o Outono; Julho, Agosto e Setembro comporiam o Inverno; Outubro, Novembro e Dezembro comporiam a primavera.

Através das Figuras 30 - 33, pode-se realizar uma análise das escalas estabelecidas através da comparação intersazonal entre elas.

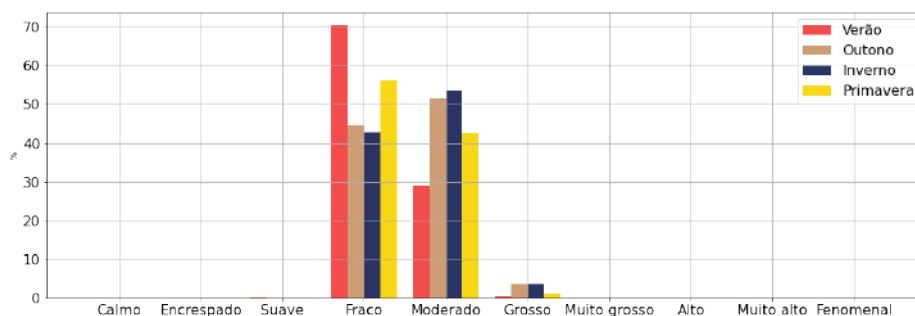


Figura 30: Histograma das ocorrências de acordo com a escala Douglas para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022).

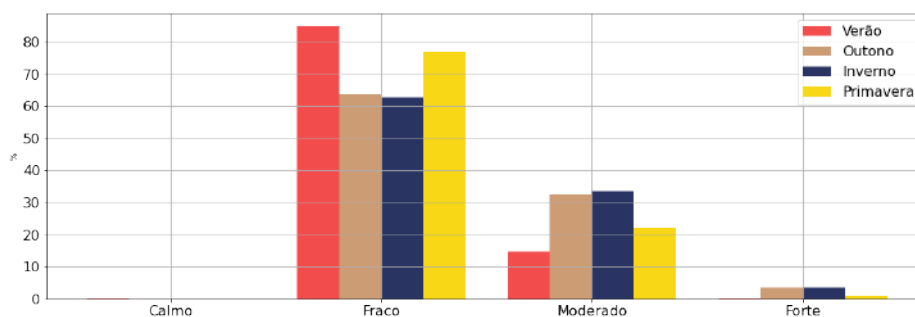


Figura 31: Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Condição do mar para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022).

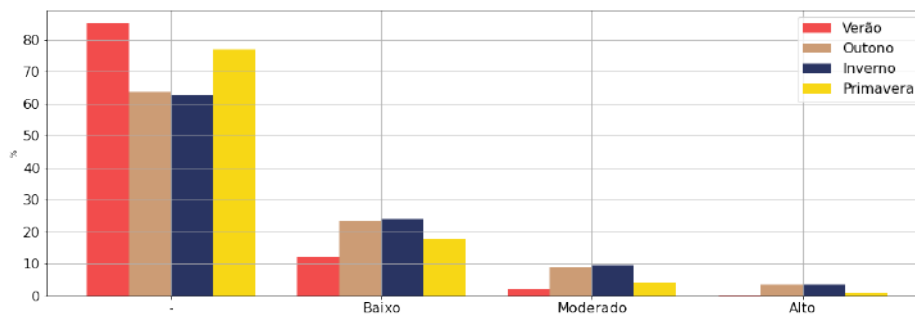


Figura 32: Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Risco para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022).

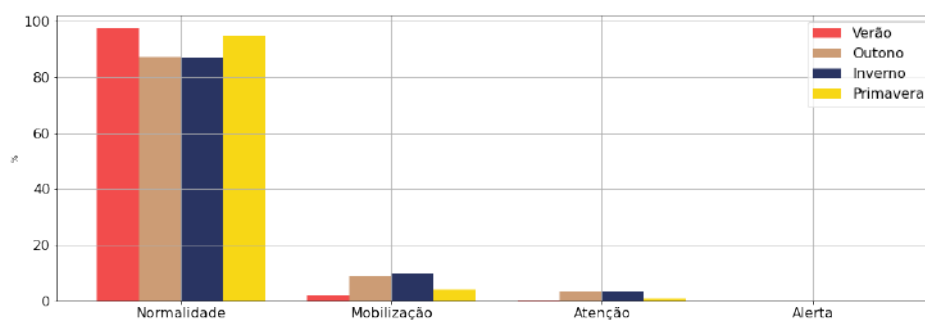


Figura 33: Histograma das ocorrências de acordo com a escala de Nível de Criticidade para uma análise sazonal do ERA5, com base no protocolo do COR (2022).

Primeiramente, considerando a escala Douglas, observa-se uma predominância em ondas suaves no verão quando comparado às outras estações, tal predominância ainda é observada na classe "fraco", contudo com menor disparidade. Já para as classes de mar com alturas significativas maiores, como o mar Moderado, o Grosso, e o Muito Grosso, o verão apresenta os menores valores de ocorrência, não possuindo nenhuma ocorrência na classificação muito grosso. A Primavera apresenta um comportamento semelhante ao do verão, o que é esperado, por se tratar de uma estação de transição, não possui também ocorrências de mar Muito Grosso e ocorre mais vezes que o inverno e o outono nas condições de mar Fraco e Suave. Já o Inverno possui características mais distintas, com menos ocorrências de estados de mar mais baixo e mais ocorrências de estados de mar mais revolto. O outono também possui características muito semelhantes às do inverno, chegando inclusive a superar seu número de ocorrências na classe Muito Grosso.

Quanto aos níveis de condição, a mesma tendência de verão com valores mais concentrados em Hs mais baixo e inverno em Hs mais altos é observada (também com a primavera e o outono servindo como valores intermediários). Como estes níveis de condição são baseados na escala Douglas, não existe uma disparidade significativa, apenas nota-se que agora todas as estações estão presentes em todas as classes determinadas, o que é um indicativo de que esta adaptação é melhor aplicada do que a Escala Douglas.

Para os níveis de risco, a tendência é um pouco diferente, a maior ocorrência de todas as estações é a de risco - (risco nulo). Este comportamento é compreensível, já que a classificação quanto ao risco serve de alerta também para a população, o que permite limites de risco inferiores mais abrangentes.

Finalmente, através da análise da escala de Criticidade, baseada nos limites do COR, observa-se um comportamento parecido com a escala de risco (já que esta também serve para alertar a população em geral). Um ponto interessante é que o ERA5 não detectou nenhuma ocorrência de Hs em estado de Alerta no verão em todo o período estudado, sendo também o verão a estação com menor ocorrência de estágios de Mobilização e Atenção.

O comportamento observado de ondas maiores sendo observadas no inverno e outono também foi observada por PIANCA *et al.* (2010), quando fez uma climatologia das ondas na região offshore do Brasil. Este padrão é observado devido aos ventos associados com sistemas frontais, que são gerados em maior frequência nestas estações do ano.

5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo a investigação de eventos de ressaca utilizando-se da reanálise ERA5. Para isto, primeiro foi realizado um teste de controle de qualidade nas boias do SIMCosta, que então foram utilizados para averiguar se a reanálise possui boa representatividade da costa do Rio de Janeiro. A verificação dos eventos de ressaca, foi feita através da tabela proposta ao COR.

Os testes do QARTOD aplicados indicaram que os dados das boias RJ1, RJ2, RJ3 e RJ4 do projeto SIMCosta possuem boa confiabilidade, apesar da boia RJ2 apresentar medições envezadas devido à sua localização. Considerando o período em que existe tanto medição das boias quanto resultados da reanálise, as métricas estatísticas escolhidas apontam que o ERA5 possui boa capacidade de representar os eventos observados nas boias, contando, por exemplo, com RMSEs baixos e altas Correlações.

A partir desta validação, foi realizado uma comparação entre os resultados do ERA5 desde 1979 até 2021 para verificar as ocorrências de eventos de ressaca, ou eventos extremos, através das tabelas indicadas no capítulo 4. Foi verificado que a sazonalidade possui grande impacto na distribuição dos eventos extremos, com o verão sendo a estação com menor ocorrência de ondas muito altas, e o inverno sendo a estação com a maior tendência a ondas mais altas. Também foi verificado que, segundo o ERA5, nunca existiram eventos com Hs maior que 6m, o que é um resultado aceitável, mas que não pode ser levado como verdade absoluta, uma vez que a reanálise não possui capacidade de resolver com escala acurada o suficiente eventos tão extremos. Este ponto fraco da reanálise reforça a necessidade de projetos de monitoramento da costa, tal qual o SiMCosta, que possui dados confiáveis e de fácil acesso para pesquisadores.

Os resultados obtidos possuem muito valor, uma vez que pode ajudar os órgãos responsáveis a se programar e planejar estratégias de ação a partir da probabilidade de ocorrência desses eventos. A confecção das escalas sugeridas ao COR são de aplicabilidade muito maior que a escala Douglas, pois são capazes de traduzir

objetivamente tanto à população geral quanto aos órgãos responsáveis o estado do mar e as medidas a serem tomadas.

REFERÊNCIAS

- ANACONDA, 2020. “Anaconda Software Distribution”. Disponível em: <<https://docs.anaconda.com/>>.
- BIRKEL, S. D., MAYEWSKI, P. A., PERRY, L. B., et al., 2022, “Evaluation of Reanalysis Temperature and Precipitation for the Andean Altiplano and Adjacent Cordilleras”, *Earth And Space Science*, v. 9, n. 3 (MAR). doi: 10.1029/2021EA001934.
- COR, 2022, p. 14. “Proposta de um Programa de Monitoramento em Tempo Real do Litoral Oceânico da Cidade do Rio de Janeiro. Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade do Rio de Janeiro”. .
- DANIEL, P., HAIE, B., AUBAIL, X., 2009, “Operational Forecasting of Tropical Cyclones Storm Surges at Meteo-France”, *Marine Geodesy*, v. 32, n. 2, pp. 233–242. doi: 10.1080/01490410902869649.
- DO CARMO, L. F. R., PALMEIRA, A. C. P. D. A., DE ANTONIO, C. F. J. L., et al., 2022, “Comparison of wind profile estimation methods for calculating offshore wind potential for the Northeast region of Brazil”, *International Journal of Energy and Environmental Engineering*, v. 13, n. 1 (MAR), pp. 365–375. doi: 10.1007/s40095-021-00428-7.
- DUFEK, A. S., AMBRIZZI, T., DA ROCHA, R. P., 2008, “Are Reanalysis Data Useful for Calculating Climate Indices over South America?” *Annals of the New York Academy of Sciences*, v. 1146, n. 1, pp. 87–104. doi: 10.1196/annals.1446.010.
- FRANZ, G., GARCIA, C. A. E., PEREIRA, J., et al., 2021, “Coastal Ocean Observing and Modeling Systems in Brazil: Initiatives and Future Perspectives”, *Frontiers in Marine Science*, v. 8. doi: 10.3389/fmars.2021.681619.
- HATZIKYRIAKOU, A., LIN, N., 2017, “Simulating storm surge waves for structural vulnerability estimation and flood hazard mapping”, *Natural Hazards*, v. 89, n. 2 (NOV), pp. 939–962. doi: 10.1007/s11069-017-3001-5.

- HERSBACH, H., BELL, B., BERRISFORD, P., et al., 2020, “The ERA5 global reanalysis”, *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 146, n. 730, pp. 1999–2049. doi: <https://doi.org/10.1002/qj.3803>.
- HISAKI, Y., 2021, “Validation of Drifting Buoy Data for Ocean Wave Observation”, *Journal of Marine Science and Engineering*, v. 9, n. 7 (JUL). doi: [10.3390/jmse9070729](https://doi.org/10.3390/jmse9070729).
- IOOS, 2019, “Manual for Real-Time Quality Control of In-Situ Surface Wave Data Version 2.1 : A Guide to Quality Control and Quality Assurance of In-Situ Surface Wave Observations”, p. 69. doi: <https://doi.org/10.25923/7yc5-vs69>.
- LEE, J.-C., PARK, K.-S., KWON, J.-I., et al., 2009, “Storm Surge Calculations Using Sea Level Data”, *Marine Geodesy*, v. 32, n. 2, pp. 108–117. doi: [10.1080/01490410902869193](https://doi.org/10.1080/01490410902869193).
- LI, J., NIE, B., 2017, “Storm surge prediction: present status and future challenges”. In: Liu, H., Dias, F. (Eds.), *Iutam Symposium on Storm Surge Modelling and Forecasting*, v. 25, *Procedia IUTAM*, pp. 3–9. IUTAM. doi: [10.1016/j.piutam.2017.09.002](https://doi.org/10.1016/j.piutam.2017.09.002).
- LIMA, R. F., LINS-DE BARROS, F., CIRANO, M., 2021, “Análise das Condições Meteocranográficas em Eventos de Ressaca do Mar no Litoral do Estado do Rio de Janeiro, Brasil no Período de 1948 e 2008”, *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 44:41726, pp. 12. doi: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_41726.
- LIMA, R. D. F., 2022, *Ressacas do Mar e seus Efeitos no Litoral do Estado do Rio de Janeiro*. MsC dissertation, UFRJ/PPGG, p. 139.
- PEREIRA, H., 2015, *Contribuições para o Controle de Qualidade de Dados de Boias Meteo-Oceanográficas na Costa Brasileira*. MsC dissertation, UFRJ/COPPE, p. 70.
- PEREIRA DE ARAUJO, C. S., CAMPOS E SILVA, I. A., IPPOLITO, M., et al., 2022, “Evaluation of air temperature estimated by ERA5-Land reanalysis using

- surface data in Pernambuco, Brazil”, *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 194, n. 5 (MAY). doi: 10.1007/s10661-022-10047-2.
- PIANCA, C., MAZZINI, P. L., SIEGLE, E., 2010, “Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis”, *Brazilian Journal of Oceanography*, v. 58, n. 1, pp. 53–70. doi: 10.1590/s1679-87592010000100006.
- RAOULT, B., BERGERON, C., ALÓS, A. L., et al., 2017, “Climate service develops user-friendly data store”, pp. 22–27. doi: 10.21957/p3c285.
- ROLLE, M., TAMEA, S., CLAPS, P., 2022, “Climate-driven trends in agricultural water requirement: an ERA5-based assessment at daily scale over 50 years”, *Environmental Research Letters*, v. 17, n. 4 (APR 1). doi: 10.1088/1748-9326/ac57e4.
- SCHMIDT, G. A., RUEDY, R., HANSEN, J. E., et al., 2006, “Present-Day Atmospheric Simulations Using GISS ModelE: Comparison to In Situ, Satellite, and Reanalysis Data”, *Journal of Climate*, v. 19, n. 2, pp. 153 – 192. doi: 10.1175/JCLI3612.1.
- SIMCOSTA. “Website do SiMCosta”. (<https://simcosta.furg.br/home>. Acesso: 14-05-2022.
- YANPING, W., YONGLING, L., XINYAN, M., et al., 2019, “Long-term variation of storm surge-associated waves in the Bohai Sea”, *Journal of Oceanology and Limnology*, v. 37, n. 6, SI (NOV), pp. 1868–1878. doi: 10.1007/s00343-019-8257-z.