

# ASPECTOS DAS ONDAS OCEÂNICAS EM ÁREAS DE EROSIÃO COSTEIRA: LITORAL DO ESPÍRITO SANTO, BRASIL

LUANA APARECIDA CASTRO FIRMINO<sup>1</sup>

EDUARDO MANUEL ROSA BULHÕES<sup>2</sup>

**RESUMO** – O objetivo deste artigo é caracterizar o padrão das ondulações incidentes e o comportamento das ondas de maior energia que atingem o litoral do Espírito Santo (ES), Brasil. Dados medidos por bóia oceânica e simulações para águas rasas foram utilizados para identificar este padrão. Encontrou-se que as ondas de maior energia ocorrem devido à aproximação de sistemas ciclônicos que geram, sobre o oceano, condições tempestuosas de sudoeste. No entanto, o litoral é praticamente todo protegido destas ondulações. A ligeira inflexão dos marulhos para sul ou para sudeste expõe diferentes segmentos do litoral frente às tempestades. Adicionalmente, as condições identificadas como estáveis associadas à ação do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul geram a maior energia para a linha de costa quando os ventos são fortes (Beaufort 7). Por fim, conclui-se que as maiores ondulações captadas pelos modelos regionais e por bóias oceânicas ocorrem do quadrante sudoeste no entanto, a análise de ondas junto à linha de costa revela que são as condições severas de ventos de nordeste que direcionam a maior energia de ondas e que apenas análises particularizadas junto à linha de costa podem contribuir, de fato, aos projetos de defesa ou proteção do litoral.

**Palavras-chave:** Atlântico sudoeste; litoral leste brasileiro; ondas de tempestade.

**ABSTRACT** – ASPECTS OF OCEAN WAVES IN COASTAL EROSION SITES. ESPIRITO SANTO COAST, BRAZIL. The objective of this paper is to characterize the pattern and behavior of incident highest energy waves that reach the coast of Espírito Santo (ES), Brazil. Buoy data and shallow water wave simulations were used to identify this pattern. It was found that the waves of greater energy occur due to the approach of cyclonic systems that generate stormy conditions from the southwest. However, the coastline is almost entirely protected from these waves. The slight inflection of the swell waves to the south or

---

Recebido: dezembro 2018. Aceite: dezembro 2019.

<sup>1</sup> Bacharel em Geografia, Laboratório de Geografia Física, Universidade Federal Fluminense, Rua José do Patrocínio, nº 71, Centro, Campos dos Goytacazes (RJ), CEP 28010-385, Campos dos Goytacazes, Brasil. E-mail: [luanacastro@id.uff.br](mailto:luanacastro@id.uff.br)

<sup>2</sup> Doutor em Geologia e Geofísica Marinha, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal Fluminense, Campos dos Goytacazes, Brasil. E-mail: [eduardobulhoes@id.uff.br](mailto:eduardobulhoes@id.uff.br)

southeast exposes different segments of the coast in the face of storms. In addition, the stable conditions associated with the action of the South Atlantic Subtropical Anticyclone generate the greatest energy for the coastline when the winds reach near gale (Beaufort 7). Finally, it is concluded that the greatest swell captured by reanalysis models or oceanic buoys occur from the southeast to the southwest quadrant (bad weather). However, the analysis of waves in the near shore zone reveals that the high wind conditions of “good weather” are the ones that direct the highest wave energy to the beach stations. Coastal defense projects should consider specific beach site wave information in order to succeed.

**Keywords:** Southwest Atlantic; Brazilian eastern coast; storm waves.

**RÉSUMÉ – ASPECTS DES VAGUES DE L’OCÉAN DANS LES ZONES D’ÉROSION CÔTIÈRE. CÔTE D’ESPIRITO SANTO, BRÉSIL.** Cet article a pour objectif caractériser les ondulations incidentes et le comportement des vagues de plus grande énergie dans le littoral de la région d’Espírito Santo (ES), au Brésil. Pour les identifier nous avons prélevé des données mesurées par des bouées océaniques et des simulations d’eaux peu profondes. Ceci nous a permis de constater que les vagues d’énergie plus élevées se forment en raison de l’approximation de systèmes cycloniques produisant des conditions orageuses de sud-ouest. Cependant, le littoral est quasi-entièrement protégé de ce type d’ondulations. L’inflexion légère des houles vers le sud ou vers le sud-est expose différents segments côtiers face aux tempêtes. En plus, les conditions stables associées à l’action anticyclone subtropicale sud-atlantique génèrent la plus grande énergie en direction du littoral lorsque les vents sont plus forts (Beaufort 7). Enfin, nous avons conclu que les ondulations les plus importantes captées par les modèles régionaux et par les bouées océaniques proviennent du quadrant sud-ouest (mauvais temps). Cependant, l’analyse des vagues auprès de la ligne de côte révèle que ce sont les conditions sévères de « beau temps » qui guident la plus grande énergie des vagues. Pour cette raison, seules des analyses particularisées auprès de la ligne de côte peuvent effectivement contribuer à des projets de défense du littoral.

**Mots clés:** Atlantique sud-ouest; côte est brésilienne; vagues de tempête.

**RESUMEN – ASPECTOS DE LAS ONDAS DEL OCÉANO EN SITIOS DE EROSIÓN COSTERA: COSTA ESPÍRITO SANTO, BRASIL.** El objetivo de este trabajo es caracterizar el patrón y el comportamiento de las ondas de energía más altas incidentes que alcanzan la costa de Espírito Santo (ES), Brasil. Se utilizaron datos de boya y simulaciones de ondas de aguas poco profundas para identificar este patrón. Se descubrió que las ondas de mayor energía ocurren debido al acercamiento de los sistemas ciclónicos que generan condiciones tormentosas desde el suroeste. Sin embargo, la costa está casi completamente protegida de estas olas. La leve inflexión de las olas del sur o sureste expone diferentes segmentos de la costa frente a las tormentas. Además, las condiciones estables asociadas con la acción del anticiclón subtropical del Atlántico sur generan la mayor energía para la costa cuando los vientos alcanzan cerca de vendaval (Beaufort 7). Finalmente, se concluye que el mayor oleaje capturado por los modelos de reanálisis o las boyas oceánicas se produce del cuadrante sureste a suroeste (mal tiempo), sin embargo, el análisis de las olas en la zona cercana a la costa revela que las condiciones de viento fuerte del “buen clima” son los que dirigen la mayor energía de las olas a las estaciones de playa. Los proyectos de defensa costera deben considerar información específica sobre olas en el sitio de la playa para tener éxito.

**Palabras clave:** Atlántico sudoccidental; costa oriental brasileña; olas de tormenta.

## I. INTRODUÇÃO

O estudo no campo de ondas oceânicas vem cada vez mais despertando interesse entre os pesquisadores brasileiros devido à sua importância na determinação de processos dinâmicos na linha de costa e plataforma continental. Exemplos podem ser vistos nos trabalhos de Candella (1997), Pinho (2003), Branco (2005), Piumbini (2009), Campos (2009), Alves, Ribeiro, Matheson, Lima, e Ribeiro (2009), Pianca, Mazzini, e Siegle (2010), Pereira e Klumb-Oliveira (2015), dentre outros.

É amplamente reconhecido que as alterações na morfologia do litoral são determinadas principalmente em função da energia das ondas incidentes (Johnson, 1919; Komar, 1976; Hallermeier, 1981; Dean & Dalrymple, 2002), oscilando de acordo com as condições de estabilidade e instabilidade atmosférica gerando ondas de baixa e alta energia, esta última com características potencialmente erosivas na linha de costa (Muehe, 1996). De acordo com Bulhões, Fernandez, Oliveira, Pereira, e Rocha (2014) e Fernandez *et al.* (2015), as modificações morfológicas nos ambientes costeiros são induzidas inicialmente pela magnitude com que as variáveis meteorológicas e oceanográficas atingem a linha de costa e, posteriormente, pela sua capacidade em absorver tal energia. No entanto, a resposta a esses eventos depende do padrão ondulatório, do grau de exposição, e das características geológicas e geomorfológicas do segmento costeiro (Muehe, 2001).

É importante salientar que a energia da agitação oceânica é ditada pela ação do vento sobre o oceano desde águas profundas, e a sua distribuição ao longo do litoral ocorre a partir do momento em que as ondulações interagem com o fundo em águas intermediárias e se modificam segundo interações como a difração e o empolamento de ondas, dentre outras, em águas rasas. A formação dessas ondas depende sobretudo da velocidade, direção e duração dos ventos e da extensão da superfície oceânica sobre a qual atuam (Komar, 1976). Sendo assim, as ondulações de maior energia que chegam à costa são provenientes de áreas distantes e, ao adentrar ao litoral, sofrem interferência da morfologia submarina, sobretudo pelas formas do fundo e pela presença de obstáculos naturais ou artificiais como ilhas, lajes rochosas, recifes de corais, baixios, obras costeiras dentre outros.

A zona costeira do estado do Espírito Santo (ES) (fig. 1) está localizada na faixa climática tropical úmida brasileira, sob temperaturas médias anuais de 22°C. A dinâmica da circulação atmosférica no Atlântico Sul reflete diretamente no padrão atmosférico do sudeste brasileiro, sendo influenciada pelos principais centros de ação tropicais. Devido à sua localização, esse litoral é constantemente influenciado pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) determinando assim o padrão das variáveis meteorológicas na área, com rajadas de ventos de Leste (E) e Nordeste (NE). Tal sistema atmosférico oscila entre as latitudes 28° S no verão e 23° S no inverno (Nimer, 1989; Piumbini, 2009). Todavia, as ondas de maior energia são geradas por sistemas ciclônicos frontais cuja trajetória se aproxima do sudeste brasileiro sobretudo entre os meses de abril e setembro sendo este período denominado por Bulhões *et al.*, (2014) como a temporada de ondas de tempestade. Estes eventos são associados à movimentação da Massa Polar Atlântica, que influi na direção dominante do vento, passando a ser proeminentes as rajadas de sudeste (SE) (Pinho, 2003).

O objetivo geral deste trabalho é caracterizar o comportamento das ondas de maior energia que atingem o litoral do ES, utilizando como base dados de bóias oceânicas e simulações numéricas para águas rasas tendo em vista avaliar a participação das mesmas nas áreas identificadas com maior vulnerabilidade à erosão costeira.

## II. ÁREA DE ESTUDO

O litoral do ES está situado na Região Sudeste do Brasil, entre os litorais dos estados do Rio de Janeiro ao sul ( $21^{\circ} 30' S$  e  $40^{\circ} 96' W$ ) e da Bahia ao norte ( $18^{\circ} 20' S$  e  $22^{\circ} 56' W$ ). Apresenta-se pouco recortado com orientação preferencial de NE para sudoeste (SW) (Paterlini, 2009), seguindo a mesma direção da linha de costa do litoral oriental do Brasil (Muehe, 2011). A faixa litorânea compreende os municípios desde Conceição da Barra-ES ao norte (N) até Presidente Kennedy-ES ao sul (S) (fig. 1).



Fig. 1 – Área de estudo, posição da bóia oceânica e distribuição das posições das praias em erosão. Figura a cores disponível online.

*Fig. 1 – Study site, buoy position and distribution of beach stations. Colour figure available online.*

Fonte: IBGE. Projeção Universal Transverso de Mercator. Fuso 24S Datum SIRGAS (2000). Profundidade em metros (ajustadas ao NR)

Os ventos de maior frequência e intensidade provêm das direções NE, leste-nordeste (ENE) e SE. Os dois primeiros relacionados aos ventos alísios, que sopram durante a maior parte do ano, enquanto os de SE ocorrem durante a passagem de sistemas ciclônicos associados às frentes frias que chegam periodicamente ao litoral do ES (Albino, 1999). O padrão do vento dominante gera ondas provenientes das direções entre NE e E e entre as direções SE e E, com predominância das primeiras a maior parte do ano (Albino, Paiva, & Machado, 2001), atingindo alturas significativas menores que 1,5 m e período de pico médio de 7s (Branco, 2005).

Pianca *et al.* (2010) num esforço de regionalização do ambiente de ondas do litoral brasileiro chegaram para a posição W3 (19°S, 36.25°W), ao largo do litoral do ES, nos seguintes valores para a estação verão: média da altura significativa ( $H_s$ ) 1,6m; altura máxima ( $H_{max.}$ ) 4,3m; período médio ( $T_p$ ) 8,2s; direção média de ondas ( $MWD$ ) 120° (SE); e para a estação inverno: altura significativa média ( $H_s$ ) 2,2m; altura máxima ( $H_{max.}$ ) 4,3m; período médio ( $T_p$ ) 9,4s; direção média de ondas ( $MWD$ ) 130° (SE).

A paisagem costeira é composta por três unidades geomorfológicas, sendo estas: Afloramentos Cristalinos Pré-Cambrianos, Tabuleiros Terciários da Formação Barreiras e Planícies Costeiras Quaternárias (Martin, Suguio, Dominguez, & Flexor, 1996). A distribuição dessas unidades geomorfológicas (fig. 2) possibilitou a divisão da costa do ES em três setores: ao Norte destacam-se a presença de depósitos quaternários limitados pelas falésias (tabuleiros) do Grupo Barreiras, na região central o embasamento cristalino aparece disposto com as planícies quaternárias, e ao Sul as falésias voltam a aflorar com a presença dos depósitos quaternários pouco desenvolvidos (Martin *et al.* 1996).

Os processos evolutivos dessas feições estão associados às flutuações do nível relativo do mar, resultantes das elevações eustáticas, e das modificações do nível dos continentes, relacionados aos processos tectônicos e isostáticos (Suguio *et al.*, 1985). Sendo assim, a configuração e evolução geológica na costa do ES, deriva em um primeiro momento, da deposição dos sedimentos terciários do Barreiras entre o Mioceno-Plioceno, quando o nível do mar se encontrava bem abaixo do atual (Martin, Suguio, Dominguez, & Azevedo, 1984). Posteriormente, a elevação do nível do mar e ação das ondas no Holoceno antigo, resultaram nas falésias e nos terraços de abrasão que recobrem os setores recentes da plataforma continental interna (Albino *et al.* 2001). Já no Holoceno a morfologia costeira é influenciada pela estabilização do nível do mar (Tessler & Goya, 2005).

De modo geral, considera-se que a configuração morfológica e a orientação relativa da linha de costa frente à entrada de ondas são responsáveis pela sua vulnerabilidade frente a eventos de alta energia. O estoque sedimentar disposto no litoral na forma de praias arenosas, falésias ativas, e dunas frontais são as feições mais dinâmicas e sujeitas às alterações na morfologia. Soma-se a isto os processos de ocupação recente dos terrenos junto à linha de costa, de uma forma geral pouco criteriosos e preocupados com avaliações de impacto ambiental. Este padrão de ocupação vem sendo identificado de forma generalizada no litoral brasileiro e notadamente em áreas vulneráveis à erosão costeira.

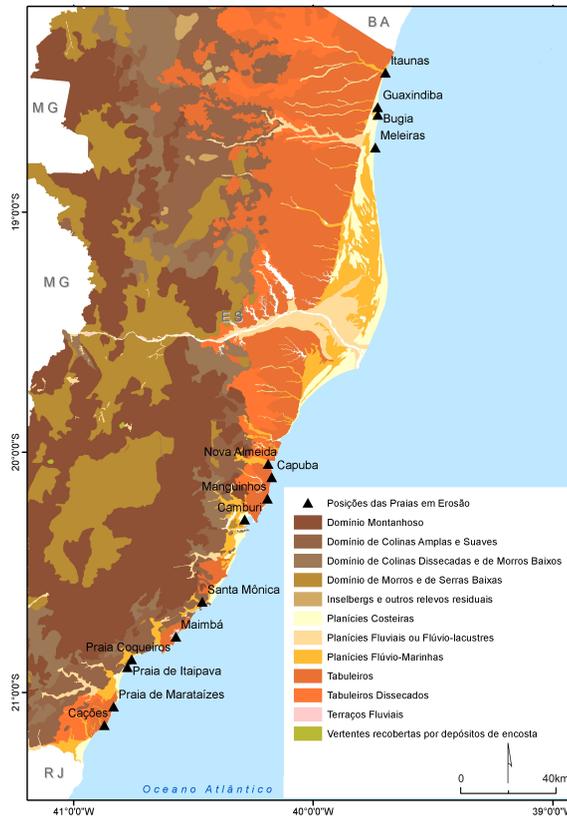


Fig. 2 – Unidades geomorfológicas ao longo da zona costeira do Espírito Santo. Figura a cores disponível online.

*Fig. 2 – Geomorphological units along Espírito Santo's coast. Colour figure available online.*

### III. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais usados neste trabalho partiram da coleta de informações sobre linha de costa, ilhas e batimetria extraídas das cartas náuticas: CN 1400 – Rio Doce ao Cabo de São Tomé; CN 22700 – Da Ponta Cumuruxatiba a Conceição da Barra; CN 22800 – De Conceição da Barra a Vitória, disponibilizadas pela Marinha do Brasil. As informações ajustam-se à escala 1:300 000, posicionadas ao Datum Vertical WGS 84, na projeção de Mercator. Desse material foram extraídas informações sobre o contorno da linha de costa (1 191,93km), a ocorrência de 39 ilhas e lajes rochosas e 5596 pontos de profundidade para compor a malha de modelagem (*mesh*) das simulações de propagação de ondas para águas rasas.

Tal malha de modelagem foi construída utilizando o módulo *Mike Zero* do modelo *MIKE 21 FM SW* versão 2017 do DHI (*Danish Hydraulic Institute*). Nessa etapa de pré-simulação o modelo gera a malha flexível de forma automática, no entanto pode-se configurar e editar para atender aos interesses da pesquisa e houve o interesse de ampliar o

número de elementos triangulares junto à costa. No total foram gerados 21 994 pontos, 46 253 nós, 70 412 elementos triangulares e 22 357 segmentos (fig. 3). Tal estratégia de aumento do detalhamento das áreas próximas à linha de costa e diminuição do detalhamento em direção à águas profundas induz precisão à modelagem na porção costeira com ligeira redução dos custos computacionais.

Os dados de ondas e ventos foram obtidos através do Programa Nacional de Boias (PNBOIA-GOOS Brasil) e o intervalo de tempo cobriu o período entre 14/11/2015 e 05/04/2017 para a posição Boia Vitória (fig. 1) localizada nas coordenadas 19,93°S 39,71°W. O programa GOOS Brasil faz parte de uma rede internacional de observação dos oceanos. PNBOIA é parte integrante desse programa e tem suporte da Marinha Brasileira, da empresa Petrobrás S.A., do Ministério de Ciência e Tecnologia e das principais universidades e instituições de pesquisa em ciências do mar do país. Os dados coletados pelas bóias são obtidos através de medições de ondas e ventos durante 20 minutos (*Hs*) e 10 minutos (*U10*) a cada hora (padrão norte-americano) e são recebidos via satélite através do sistema Argos, administrado pelo NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) e CNES (Centre National d'Études Spatiales). Os dados são capturados no Brasil através dos satélites SCD 1 e 2 e CBERS (Site GOOS Brasil<sup>1</sup>) e disponibilizados na internet.

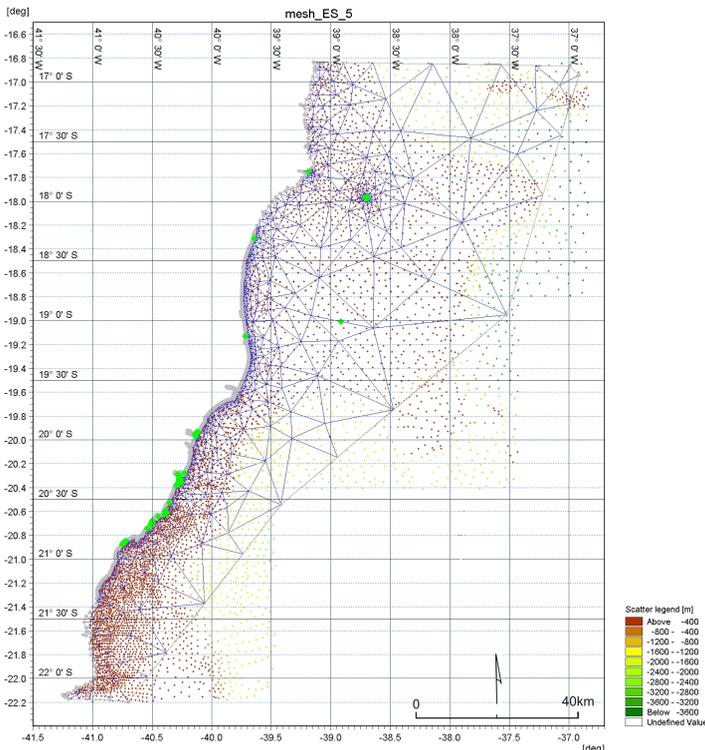


Fig. 3 – Malha flexível e domínio de modelagem. Figura a cores disponível online.

Fig. 3 – Flexible mesh and model domain. Colour figure available online.

As simulações de ondas em águas rasas foram realizadas através do módulo *SW* (*Spectral Waves*) do pacote de modelagem *MIKE 21* versão 2017 da DHI. Esse é um modelo oceânico de terceira geração baseado em malhas irregulares. Simula o crescimento, o decaimento e a transformação de ondas do tipo vagas e do tipo marulhos tanto para áreas costeiras e lagunares quanto para alto mar e resolve a equação da conservação de energia de ondas formuladas tanto no plano de coordenadas cartesianas quanto no plano esférico. Em cada elemento da malha o campo de ondas é representado em duas dimensões. O diferencial é a integração no tempo que é resolvida baseando-se fracionalmente em passos no tempo (*time steps*), onde a cada “passo” definido no tempo pelo usuário é utilizado para resolver as equações governantes de propagação do espectro de ondas (DHI, 2009). A aplicação mais comum do módulo *SW* é para simular clima de ondas em áreas oceânicas e costeiras, tanto para prognósticos quanto para diagnósticos. Torna-se interessante pois pode modelar simultaneamente na escala regional e na local, gerando saídas para pontos específicos, para uma linha ou para uma área definida geograficamente.

A definição dos dados de saída do modelo usou a setorização do litoral do ES elaborada por Albino, Girardi, e Nascimento (2006) que subdividiram em cinco setores as unidades costeiras e identificaram a tendência erosiva em 14 posições específicas conforme assinaladas na figura 1. Para cada uma das 14 posições, os dados de saída foram extraídos de pontos representativos da cota batimétrica de 5m, a saber, do norte para o sul: Itaúnas; Bugia; Guaxindiba; Meleiras; Nova Almeida; Capuba; Manguinhos; Camburi; Santa Mônica; Maimbá; Coqueiros; Itaipava; Marataízes; Cações.

#### IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os quadros I e II apresentam a estatística básica das condições médias do clima de ondas e ventos ao longo da costa do Espírito Santo. As figuras 4 e 5 sintetizam as informações dos respectivos quadros, apontando os espectros direcionais e a intensidade, respectivamente, das ondas e dos ventos para a posição da bóia.

Para as condições médias de ondas os resultados mostram  $H_s = 1,60\text{m}$  e  $T_p = 8,6\text{s}$ , predominantes das direções entre NE e SW. A direção média das ondas é de  $130^\circ$  (SE) com desvio padrão de  $59^\circ$  afirmando a amplitude direcional das ondas. Ondas com  $H_s$  menores que 2m representaram 80% do conjunto dos dados. Para  $T_p$  há dois padrões: ondas com  $T_p$  abaixo de 10s representaram um total de 75% das ocorrências; e  $T_p$  acima de 10s, 25% (Quadro I). Os primeiros são aqui considerados ondas do tipo vagas (*wind seas*) enquanto que os segundos são considerados marulhos (*swell*). Esses resultados corroboram com o alcançado por Branco (2005), Piumbini (2009), Ribeiro (2014) e Nogueira (2014) no que tange o clima de ondas para o ES. Soares e Chacaltana (2003) apontam para a baía do Espírito Santo que a direção média das ondas provenientes dos setores E e SE são concordantes com os resultados aqui descritos, no entanto, os dados de período e altura significativa não, uma vez que os autores apontam uma estimativa não estatística para os mesmos.

Quadro I – Estatística básica das condições médias do clima de ondas no litoral do ES.

Table I – Basic Statistics of the mean wave climate conditions on ES coast.

| Dados de Ondas                     |                |   |                |
|------------------------------------|----------------|---|----------------|
| Altura Significativa (m)           |                | Altura Máxima (m)                       |                |
| Intervalo (m)                      | Percentual (%) | Intervalo (m/s)                         | Percentual (%) |
| 0 <x<=1                            | 7,10           | 0 <x<=5                                 | 98,32          |
| 1 <x<=2                            | 72,32          | 5 <x<=10                                | 1,31           |
| 2 <x<=3                            | 18,95          | 10 <x                                   | 0,36           |
| 3 <x<=4                            | 1,15           | Período de Pico                         |                |
| 4 <x                               | 0,46           | Intervalo (s)                           | Percentual (%) |
| Direção Média                      |                | 0 <x<=5                                 | 4,24           |
| Intervalo (°N)                     | Percentual (%) | 5 <x<=10                                | 70,81          |
| x=0                                | 0,03           | 10 <x<=15                               | 22,17          |
| 0 <x<=50                           | 2,10           | 15 <x<=20                               | 2,60           |
| 50 <x<=100                         | 38,30          | 20 <x<=25                               | 0,16           |
| 100 <x<=150                        | 22,44          | 25 <x<=30                               | 0,03           |
| 150 <x<=200                        | 19,25          | Estatística Básica Altura Significativa |                |
| 200 <x<=250                        | 17,63          | máxima                                  | 7,90           |
| 250 <x<=300                        | 0,13           | média                                   | 1,60           |
| 300 <x<=350                        | 0,03           | mínima                                  | 0,19           |
| 350 <x<=400                        | 0,06           | desvio padrão                           | 0,55           |
| Estatística Básica Período de Pico |                | Estatística Básica Direção Média        |                |
| máxima                             | 25,3           | máxima                                  | 357,00         |
| média                              | 8,6            | média                                   | 130,83         |
| mínima                             | 2,2            | mínima                                  | 0,00           |
| desvio padrão                      | 2,7            | desvio padrão                           | 58,18          |

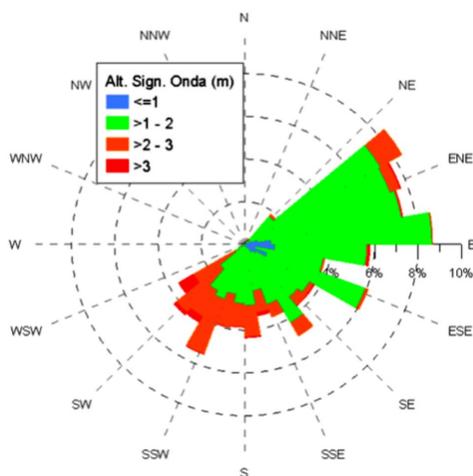


Fig. 4 – Histograma Direcional de Altura Significativa de Ondas ( $H_s$ ) entre novembro 2015 e abril 2017. Figura a cores disponível online.

Fig. 4 – Directional Histogram of Significant Wave Height ( $H_s$ ) between November 2015 and April 2017. Colour figure available online.

Nota-se ainda no quadro I dois picos principais de ocorrência, o dominante está associado a ondas com  $H_s$  entre 1 e 2m provenientes entre NE e SSE, correspondendo a 63% do

total de ocorrências. Essa classe modal (1 – 2m) está associada ao  $Tp$  (5 – 10s), sendo característico do estado de mar local (vagas) gerado pela circulação atmosférica da Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), tendo forte influência neste litoral conforme já identificado em ZEE-ES (2010) e Nogueira (2014). A segunda classe modal é indicada por ondas com  $Hs$  entre 2 e 3m e  $Tp$  entre 10 e 20s das direções entre SSE e SW representando 37% no total dos dados, responsáveis pela maior agitação oceânica ao sul deste segmento do litoral. Os resultados corroboram as informações apontadas por Souza (1988) no que se refere à bimodalidade do mar local, apontando entradas de ondulações provenientes de NNE geradas pelo ASAS e ondulações de SW geradas pela passagem de ciclones extratropicais e frentes frias sinóticas.

O quadro II e a figura 5 tratam dos ventos costeiros medidos também pela bóia oceânica posicionada conforme a figura 1. É verificado que a direção média dos ventos é de 135° (SE) e o desvio padrão de 98° abrange direções de entrada entre NE e WSW com velocidades médias de 7 m/s.

Quadro II – Estatística Básica das Condições Médias de Ventos ao Longo da Área de Estudo.

Table II – Basic Statistics of the mean wind conditions on ES coast.

| Dados de Ventos             |                |                                     |                |
|-----------------------------|----------------|-------------------------------------|----------------|
| Velocidade Média (m/s)      |                | Velocidade Rajada (m/s)             |                |
| Intervalo (m/s)             | Percentual (%) | Intervalo (m/s)                     | Percentual (%) |
| 0 <x<=5                     | 26,55          | 0 <x<=10                            | 67,48          |
| 5 <x<=10                    | 58,40          | 10 <x<=20                           | 32,32          |
| 10 <x<=15                   | 14,74          | 20 <x<=30                           | 0,13           |
| 15 <x<=20                   | 0,29           | 30 <x<=40                           | 0,00           |
| Direção Média do Vento (°N) |                | 40 <x<=50                           | 0,03           |
| Intervalo (°N)              | Percentual (%) | 50 <x<=60                           | 0,03           |
| x=0                         | 0,36           | Estatística Básica Velocidade Média |                |
| 0 <x<=50                    | 20,26          | máxima                              | 17,10          |
| 50 <x<=100                  | 30,24          | média                               | 7,00           |
| 100 <x<=150                 | 10,66          | mínima                              | 0,20           |
| 150 <x<=200                 | 7,47           | desvio padrão                       | 2,81           |
| 200 <x<=250                 | 18,46          | Estatística Básica Direção Média    |                |
| 250 <x<=300                 | 5,49           | máxima                              | 360,00         |
| 300 <x<=350                 | 3,68           | média                               | 134,83         |
| 350 <x<=400                 | 3,35           | mínima                              | 0,00           |
|                             |                | desvio padrão                       | 97,76          |

Os ventos de maior intensidade e periodicidade estão relacionados às direções NE e ENE com velocidades médias maioritariamente entre 8 e 12m/s (fig. 5) ocorrendo durante 50% do intervalo considerado. Albino *et al.* (2001) apontam para este litoral ventos provenientes dos quadrantes ENE e SE, estando os primeiros associados ao ASAS, enquanto os de SE relacionados à passagem de sistemas frontais com maior frequência no litoral sudeste brasileiro (Cavalcanti, Ferreira, & Dias, 2009).

Os ventos predominantes são das direções NE e E, e de menor expressividade do quadrante S e SE, resultados coerentes com Monteiro (1968) e Homsí (1978).

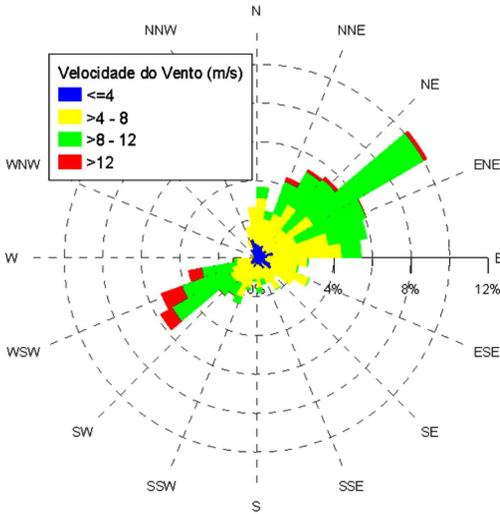


Fig. 5 – Histograma Direcional de Ventos entre novembro 2015 e abril 2017. Figura a cores disponível online.

Fig. 5 – Directional Histogram of Winds between November 2015 and April 2017. Colour figure available online.

A série temporal dos dados da bóia oceânica é apresentada na figura 6 em termos de direção e altura significativa de ondas (setas e linhas em azul) e direção e velocidade média dos ventos (setas e linhas em vermelho) entre novembro de 2015 e abril de 2017.

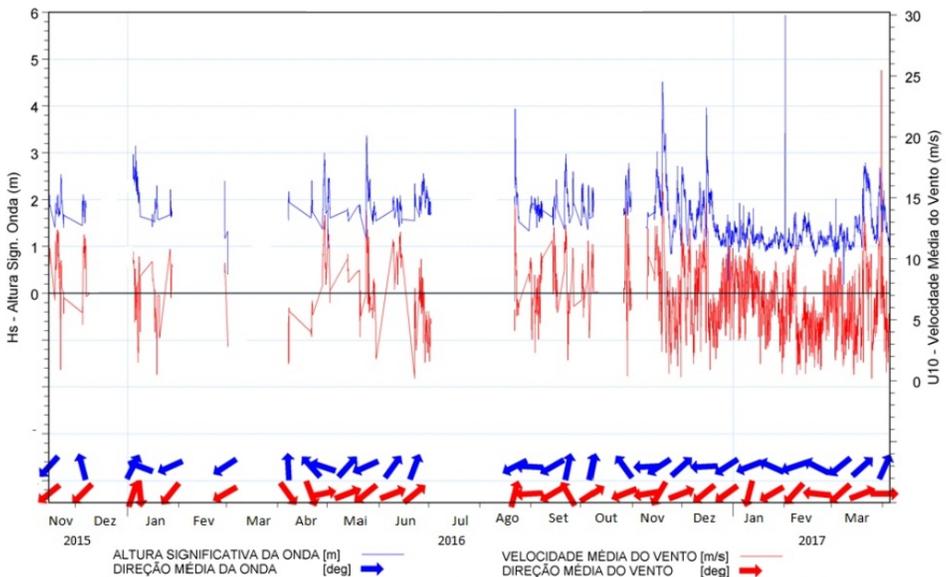


Fig. 6 – Série temporal de ondas e ventos em águas profundas para a posição “bóia vitória” entre novembro 2015 e abril 2017. Figura a cores disponível online.

Fig. 6 – Time series of waves and winds from “Vitória” buoy from November 2015 to April 2017. Colour figure available online.

Para caracterizar as condições de tempestade foram selecionados nessa série temporal os eventos em que  $H_s$  ou  $H_{max}$  ultrapassou o limiar de 3m por mais de 12hs. Este método de classificação foi utilizado para o litoral do Rio de Janeiro por Bulhões *et al.* (2014), Souza, Bulhões, e Amorim (2015) e Pereira e Klumb-Oliveira (2015) seguindo critérios propostos por You e Lord (2008) e Rangel-Buitrago e Anfuso (2011).

Quadro III – Estatística básica durante a passagem de eventos de tempestade.

Table III – Basic Statistics of the mean storm conditions on ES coast.

| <b>Evento 4 a 8 de janeiro de 2016 – Ondas de SSE, Duração 104 horas</b>   |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
|--|---------------------------|-------------------------------|-------------------------|-----------------------------------|----------------------------|---------------------|-----------------------------|
| Características do Clima de Ondas e Ventos                                 | Velocidade do Vento (nós) | Direção Média dos Ventos (°N) | Velocidade Rajada (m/s) | Altura Significativa de Ondas (m) | Altura Máxima de Ondas (m) | Período de Pico (s) | Direção Média de Ondas (°N) |
| Máxima   | 10,60                     | 354,00                        | 12,70                   | 3,15                              | 4,80                       | 22,80               | 207,00                      |
| Média  | 7,03                      | 187,63                        | 8,71                    | 2,40                              | 3,71                       | 10,65               | 164,84                      |
| Mínima   | 1,50                      | 0,00                          | 2,40                    | 1,64                              | 2,43                       | 9,10                | 105,00                      |
| Desvio Padrão  | 2,35                      | 73,33                         | 2,56                    | 0,34                              | 0,54                       | 1,78                | 26,89                       |
| <b>Evento 23 a 26 de maio de 2016 – Ondas de SSW, Duração 71 horas</b>     |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
| Máxima   | 14,00                     | 252,00                        | 17,50                   | 3,37                              | 6,70                       | 11,10               | 237,00                      |
| Média  | 9,61                      | 223,14                        | 11,96                   | 2,38                              | 3,89                       | 8,27                | 211,50                      |
| Mínima   | 5,60                      | 51,00                         | 7,00                    | 1,19                              | 2,50                       | 5,90                | 66,00                       |
| Desvio Padrão  | 2,79                      | 33,06                         | 3,29                    | 0,47                              | 0,88                       | 1,66                | 30,47                       |
| <b>Evento 22 a 24 de agosto de 2016 – Ondas de S, Duração 66 horas</b>     |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
| Máxima   | 14,40                     | 243,00                        | 17,60                   | 3,94                              | 7,12                       | 12,50               | 234,00                      |
| Média  | 8,53                      | 209,81                        | 10,73                   | 2,17                              | 3,55                       | 9,07                | 191,16                      |
| Mínima   | 4,10                      | 12,00                         | 5,00                    | 1,53                              | 2,28                       | 5,40                | 63,00                       |
| Desvio Padrão  | 3,12                      | 40,66                         | 3,80                    | 0,58                              | 1,13                       | 1,96                | 41,14                       |
| <b>Evento 7 a 8 de setembro de 2016 – Ondas de E, Duração 25 horas</b>     |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
| Máxima   | 10,50                     | 87,00                         | 13,00                   | 1,97                              | 3,34                       | 9,50                | 102,00                      |
| Média  | 9,71                      | 52,80                         | 11,62                   | 1,80                              | 3,01                       | 8,57                | 80,40                       |
| Mínima   | 8,30                      | 27,00                         | 9,70                    | 1,60                              | 2,50                       | 6,30                | 72,00                       |
| Desvio Padrão  | 0,61                      | 15,20                         | 0,95                    | 0,15                              | 0,27                       | 0,91                | 10,53                       |
| <b>Evento 14 a 21 de novembro de 2016 – Ondas de SE, Duração 171 horas</b> |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
| Máxima   | 17,10                     | 357,00                        | 20,70                   | 4,62                              | 7,79                       | 14,30               | 297,00                      |
| Média  | 10,16                     | 132,40                        | 12,58                   | 2,78                              | 4,54                       | 9,23                | 142,59                      |
| Mínima   | 3,10                      | 12,00                         | 4,30                    | 1,57                              | 2,71                       | 5,30                | 57,00                       |
| Desvio Padrão  | 3,53                      | 102,86                        | 4,27                    | 0,83                              | 1,31                       | 2,22                | 80,76                       |
| <b>Evento 15 e 16 de dezembro de 2016 – Ondas de SW, Duração 35 horas</b>  |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
| Máxima   | 16,40                     | 264,00                        | 21,30                   | 3,97                              | 5,81                       | 9,10                | 252,00                      |
| Média  | 13,82                     | 254,00                        | 17,32                   | 3,02                              | 4,70                       | 7,93                | 240,50                      |
| Mínima   | 12,50                     | 249,00                        | 14,50                   | 1,92                              | 3,43                       | 6,10                | 231,00                      |
| Desvio Padrão  | 1,51                      | 5,59                          | 2,54                    | 0,77                              | 0,92                       | 1,25                | 8,78                        |
| <b>Condições Médias de Todos os Eventos</b>                                |                           |                               |                         |                                   |                            |                     |                             |
| Máxima   | 17,10                     | 357,00                        | 21,30                   | 4,62                              | 7,79                       | 22,80               | 297,00                      |
| Média  | 9,11                      | 167,61                        | 11,30                   | 2,44                              | 3,93                       | 9,22                | 162,05                      |
| Mínima   | 1,50                      | 0,00                          | 2,40                    | 1,19                              | 2,28                       | 5,30                | 36,00                       |
| Desvio Padrão  | 3,17                      | 88,96                         | 3,82                    | 0,65                              | 1,08                       | 2,07                | 65,42                       |

Foram identificados seis eventos no período entre novembro de 2015 e abril de 2017. O Quadro III apresenta a estatística básica para cada um dos eventos. Os resultados combinados dos eventos de tempestade, ao final do quadro, mostram ondas com a média de

$H_s = 2,44\text{m}$  e máxima de  $H_s = 4,62\text{m}$ . A direção média de entrada de ondas de tempestade é de SSE com desvio padrão de  $65^\circ$  e o  $T_p = 9\text{s}$ . Quanto aos ventos os mesmos sopram em média de SSE com velocidades médias de  $9,1\text{ m/s}$  e rajadas de  $11\text{ m/s}$ , atingindo o máximo de  $21\text{m/s}$  (quadro III). As situações de ondas de tempestade analisadas por Nogueira (2014) para a costa do Espírito Santo tendem a ser concordantes com as condições das tempestades aqui destacadas. Outras correlações foram encontradas com os resultados de Pinho (2003) para a Baía de Campos (ao sul) e identificados no ZEE-ES (2010) que aponta ondas com  $H_s$  próximas a  $2,5\text{m}$  provenientes de marulhos de SW estando associadas a ciclones extratropicais e a alta migratória pós-frontal.

Os resultados de  $H_{max}$  são concordantes com o indicado por Pianca *et al.* (2010). Os autores encontraram para o clima de ondas ao longo da costa brasileira, apontando para o setor Central, posição W3 ( $19^\circ\text{S}$ ,  $36,25^\circ\text{W}$ ) ondas com  $H_{max}$ . de  $4,3\text{m}$  (verão),  $4,4\text{m}$  (outono),  $4,9\text{m}$  (inverno) e  $4\text{m}$  (primavera). Dias da Silva (2013) aponta que os eventos extremos de ventos e ondas ocorrem com maior frequência entre o outono e no inverno austral (março a agosto), análogo ao que ocorre na região do Espírito Santo. O mesmo é observado com os eventos extremos na Baía de Campos, ao sul da área de estudo (Campos, 2009).

Os resultados apresentados no Quadro III também corroboram com o observado por Piumbini (2009) para o padrão extremo da altura significativa das ondas ao longo da região marítima adjacente ao Espírito Santo, com ondas entre  $2,2\text{m}$  e  $5,3\text{m}$ , sendo mais preponderantes as de  $2,9\text{m}$ . Ainda evidencia uma forte correlação das  $H_s$  extremas às direções de SW com  $33,7\%$  das ocorrências, seguida das direções SE e S.

A figura 7 apresenta a roseta direcional para as condições médias de tempestade. As maiores alturas significativas de ondas estão associadas às tempestades de direção SW. No entanto, há ocorrência de tempestades das direções SSW, S, SE e ESE.

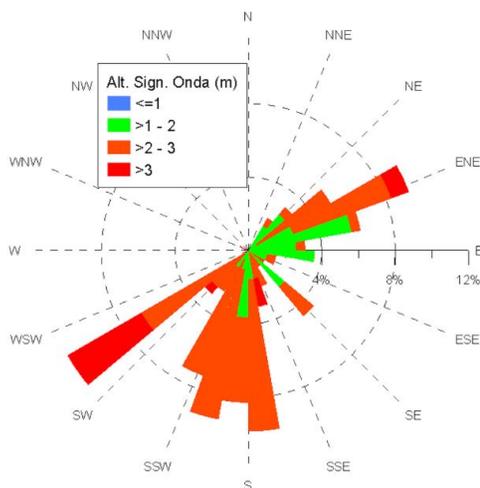


Fig. 7 - Histograma Direcional de Altura Significativa de Ondas ( $H_s$ ) durante as tempestades identificadas. Figura a cores disponível online.

*Fig. 7 - Directional Histogram of Significant Wave Height ( $H_s$ ) during the identified storms. Colour figure available online.*

A figura 8 apresenta, respectivamente, os resultados para  $H_s$  (azul claro) e  $H_{max}$  (azul escuro) de acordo com os dados de saída resultantes das simulações para águas rasas realizadas com o modelo *Mike 21 SW*. As simulações foram feitas para todo o período de cobertura dos dados (entre novembro de 2015 e abril de 2017). Os dados de saída são representativos da cota batimétrica de 5m referentes a cada uma das 14 posições de interesse no litoral do ES, já indicadas na figura 1. De uma forma geral, as posições Manguinhos e Capuba apresentaram os maiores valores para  $H_s$  e  $H_{max}$ . ao longo do período. Já as posições Santa Mônica e Coqueiros as menores.

A figura 8 indica ainda que ao longo do período analisado as ondas só ultrapassaram o limiar de  $H_s > 2,5\text{m}$  junto às praias de Manguinhos, Capuba e Maimbá, notadamente em novembro de 2016 sob condições de ondas de ventos alísios provenientes de ENE.

Nos resultados da figura 8 para  $H_{max}$ . o limite superior a 3m foi ultrapassado basicamente em todos os meses do intervalo (excetuando março, abril e maio de 2016) notadamente nas posições Manguinhos, Meleiras, Capuba e Maimbá. Neste sentido, uma análise mais detalhada indica que nas quatro posições destacadas, para  $H_{max}$ . superiores a 3m as direções de onda correspondentes são notadamente do quadrante ENE o que indica que as condições severas associadas aos ventos alísios gerados pelo ASAS viabilizam vagas capazes de atingir a linha de costa com alturas máximas superiores aos 3m, conforme já mostrado por Pinho (2003).

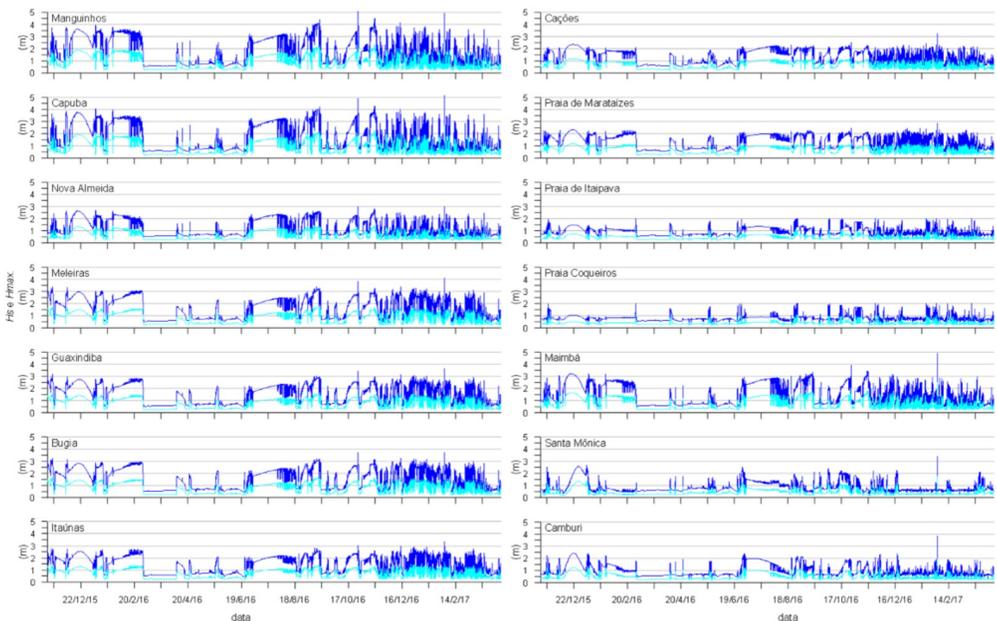


Fig. 8 – Série temporal de  $H_s$  e  $H_{max}$ . para as posições de interesse no ES.

Figura a cores disponível online.

Fig. 8 – Time series of  $H_s$  and  $H_{max}$ . for beach stations on the coast of ES.

Colour figure available online.

Considerando a participação dos ventos na determinação das ondas para o litoral do ES, os gráficos das figuras 9 e 10 apontam respectivamente as curvas de ajuste para Velocidade do vento vs  $H_s$  e Direção do vento vs  $H_s$ .

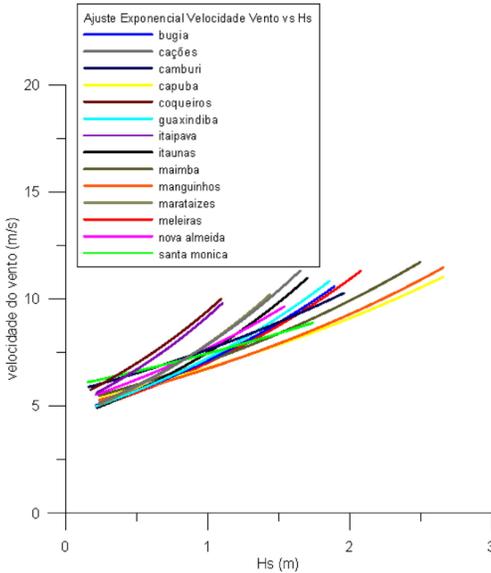


Fig. 9 – Velocidade do Vento vs Altura Significativa de Ondas. Figura a cores disponível online.

Fig. 9 – Wind Speed vs. Significant Wave Height. Colour figure available online.

Não é surpresa que maiores velocidades de ventos geram ondas (vagas ou marulhos) com maiores alturas. Pinho (2003) e Campos (2009) já apontam esta correlação sobretudo durante a ação do centro de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS). A figura 9 mostra que as praias de Manguinhos e Capuba tendem a apresentar o maior desenvolvimento de alturas de  $H_s$  em função da velocidade dos ventos.

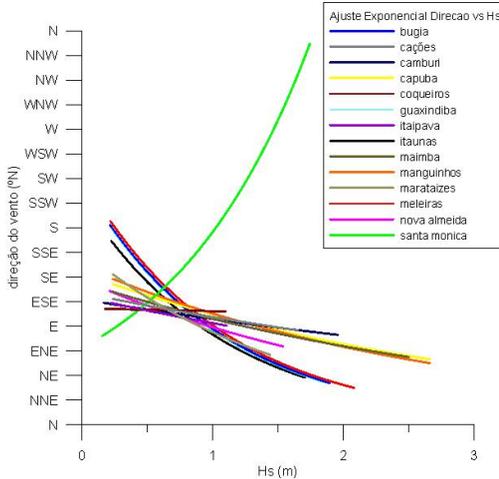


Fig. 10 – Direção do Vento vs. Altura Significativa das Ondas. Figura a cores disponível online.

Fig. 10 – Wind Direction vs. Significant Wave Height. Colour figure available online.

Em relação ao ajuste de  $H_s$  com a direção dos ventos costeiros, a figura 10 indica que as maiores alturas significativas de ondas estão ajustadas às direções entre SE e NE, notadamente nas posições Manguinhos, Capuba e Maimbá enquanto há uma tendência geral de os ventos entre S e SW promoverem as menores alturas significativas nas posições Bugia, Meleiras e Itaúnas. Na posição Santa Mônica a inversão do padrão indica que as menores  $H_s$  estão associadas às direções de ventos do quadrante E aumentando a energia conforme o vento se movimentava para S. Tal fato é uma resposta da orientação específica dessa localidade no litoral que a deixa protegida de ondas e ventos de E e exposta às ondas e ventos do quadrante S.

A participação das ondas de maior energia e as direções de entrada de ondas que potencialmente contribuem para os efeitos de erosão nas posições específicas da área de estudo foram individualizadas. Para tal foram extraídas dos resultados do modelo seis ondas com maiores alturas máximas representativas de diferentes direções durante o período de análise (fig. 11). Já a figura 12 expõe o momento ápice de incidência das ondas neste litoral.

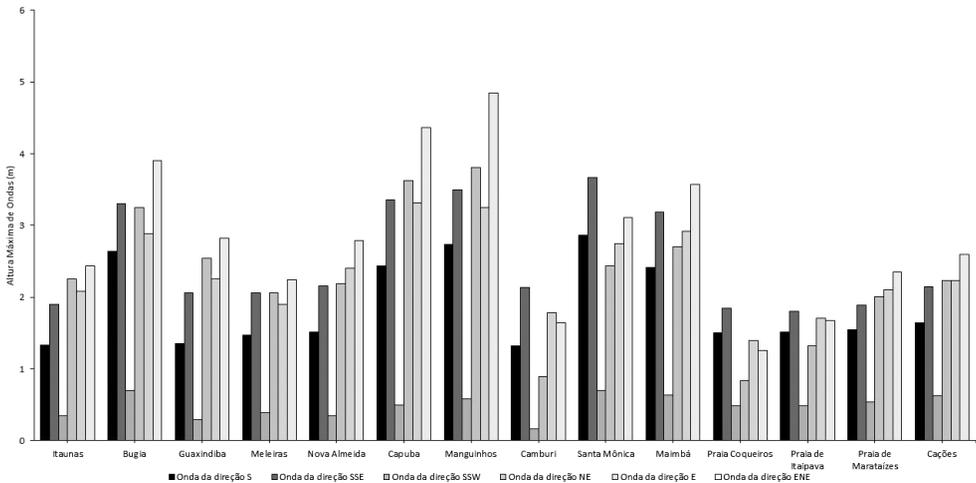


Fig. 11 – Ápice de  $H_{max}$  nas simulações multidirecionais para águas rasas para as 14 posições de interesse.

*Fig. 11 – Apex of  $H_{max}$  in the multidirectional simulations for shallow water on the ES coast.*

Na costa, as ondulações de maior energia são predominantes de ENE, NE e E, e a de menor intensidade é proveniente do setor SW. Estes resultados são concordantes com Piumbini (2009) e Albino *et al.* (2001), no que diz respeito às direções de maior representatividade, para qual 26,63% do total de ocorrências são provenientes do setor NE, e de menor relevância destaca-se as ondas provenientes do quadrante SW.

As figuras 11 e 12 indicam novamente que as ondas de maior energia são provenientes do quadrante ENE, NE e E, onde há nítida exposição da maioria (Itaúnas, Bugia, Guaxindiba, Meleiras, Nova Almeida, Capuba, Manguinhos, Marataízes (fig. 13), Maimbá (fig. 14) e Cações) das praias em erosão neste litoral. As praias de Camburi, Santa Mônica, Coqueiros e Itaipava, no entanto, apresentam exposição majoritária às tempestades de SSE.

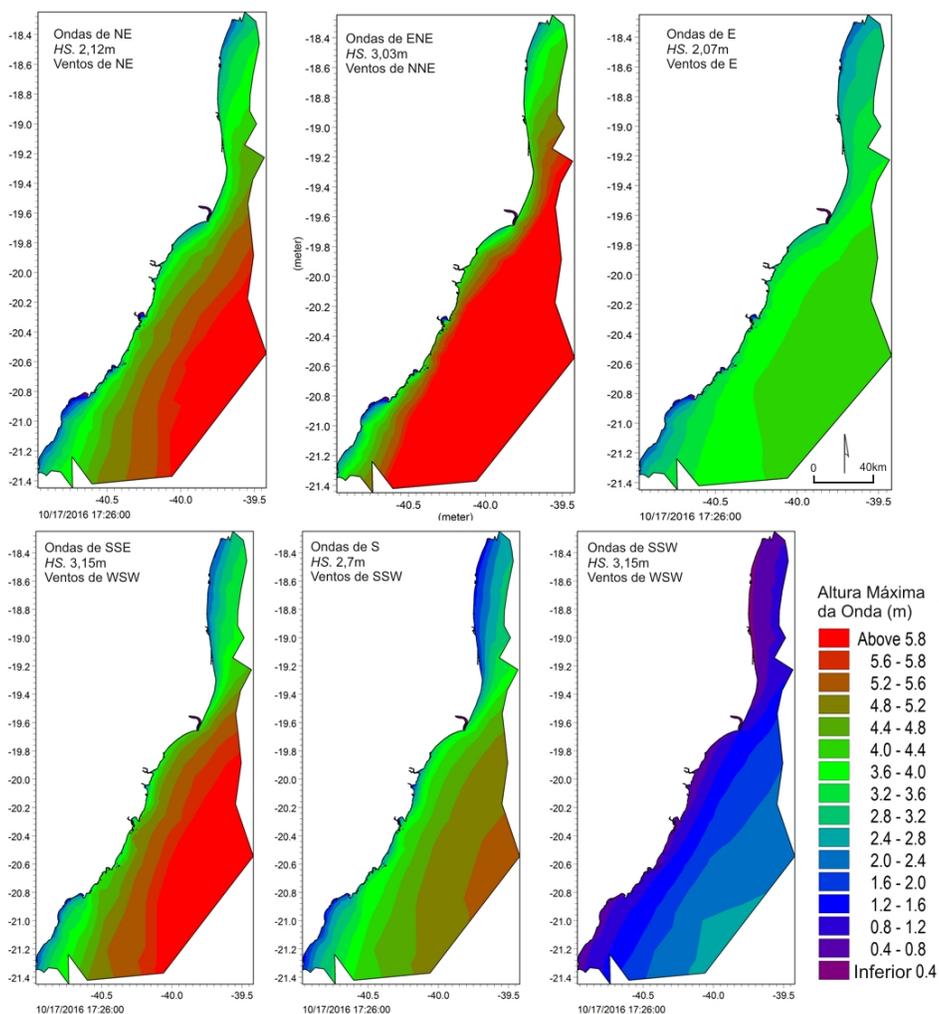


Fig. 12 – Alturas máximas de ondas simuladas para cada uma das 14 posições ao longo do litoral do ES por espectro direcional. Figura a cores disponível online.

Fig. 12 – Simulated maximum wave heights for each one of the 14 beach stations along the ES coast by directional spectrum. Colour figure available online.

Os padrões de ventos dominantes geram ondas provenientes de dois setores principais: entre NE e E e entre SE e E, onde as posições selecionadas estão mais expostas às ondulações do primeiro quadrante. De modo geral, segundo Albino *et al.* (2006) as praias de Camburi, Santa Mônica, Maimbá, Coqueiros e Itaipava apresentam-se direcionadas para S-SE, o que confirma a maior exposição das mesmas frente às ondulações provenientes destas direções.



Fig. 13 – Praia de Marataízes. Figura a cores disponível online.

Fig. 13 – *Marataízes Beach*. Colour figure available online.

Fonte: TV Gazeta.



Fig. 14 – Praia Meaípe, nas proximidades da posição Maimbá. Figura a cores disponível online.

Fig. 14 – *Meaípe beach*, nearby the *Maimba station*. Colour figure available online.

Foto: Rafael Barros (CBN Vitória)

## V. CONCLUSÕES

As principais áreas do litoral do ES sujeitas à erosão foram identificadas no trabalho de Albino *et al.* (2006). Albino *et al.* (2001) e Muehe (2011) sustentam que os condicionantes para a erosão costeira no litoral do ES estão mais associados à ocupação das faixas de praia (figs. 13 e 14) e aos usos e intervenções na linha de costa do que propriamente aos forçantes naturais. Estes últimos foram o foco deste trabalho, especificamente no que diz respeito à participação das ondas e ventos na composição do cenário de erosão em 14 posições identificadas ao longo da área de estudo. As condições de ondas de tempestade, também indicadas como *Mau Tempo* por Nogueira (2014), são aquelas onde as maiores alturas significativas de ondas são identificadas tanto nos modelos de ondas oceânicas quanto nos dados observados por bóias. No período de um ano e meio (Nov/2015 a Abril/2017), de forma diferencial e aproveitando a disponibilidade de dados observados no contexto do programa PNBOIA foram identificados seis eventos de tempestade, cinco deles associados à passagem de sistemas ciclônicos frontais. As características médias são de eventos com  $H_{max} = 3,93\text{m}$ ,  $T_p = 9,2\text{s}$  e direção SSE. Os ventos sopram de SSE com velocidades médias de 9 m/s.

A capacidade dos eventos de tempestade (sobretudo com ondas e ventos entre S e SW) em direcionar alta energia para o litoral esbarra na orientação geral e específica das praias em processo erosivo. Neste sentido, as praias de Capuba e Manguinhos tornam-se as mais expostas às condições gerais. No entanto, verificou-se que as condições de ventos alísios de NE e ENE, quando fortes (*Beaufort 7*), direciona elevada energia para a maioria das praias. Esta condição, também identificada por Pinho (2003) para uma região oceânica ao sul da área de estudo, induz a maior parte da energia de ondas para o litoral do ES e aparenta ser a responsável por processos erosivos em áreas já fragilizadas do litoral em questão.

Quando se considera as maiores alturas significativas ( $H_s$ ) que chegam às posições específicas no litoral, as mesmas estão associadas às condições de ventos alísios fortes soprando do quadrante NE gerando vagas de NNE. Tal agitação junto à costa também é gerada sob condições de ondas de SE associadas à condição pós-frontal quando as ondas de tempestade de SW se afastam do litoral e passam a ser flexionadas para E na medida que são mais influenciadas pelo posicionamento de anticiclones extratropicais reorientando a entrada de ondas e de ventos para a direção SE.

Fica claro que a complexidade dos sistemas geradores de ondas para o litoral do Espírito Santo sobretudo, mas não apenas, nas áreas em que ocorre erosão costeira, deve passar obrigatoriamente pelo melhor entendimento sinótico do posicionamento e trajetória dos sistemas de alta e baixa pressão atmosférica no Atlântico Sul e principalmente observando em particular a linha de costa no que tange a altura significativa e os ângulos de incidência das ondas. Propostas de intervenção para a defesa do litoral devem observar as condições particularizadas na costa uma vez que dados de modelos regionais ou de bóias oceânicas em posições fora da área de interesse podem induzir decisões imprecisas.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Albino, J. (1999). *Processos de sedimentação atual e morfodinâmica das praias de Bicanga a Povoação, ES* [Current sedimentation and morphodynamic processes between Bicanga and Povoação beaches – ES]. (Tese de Doutorado). Doi: <https://doi.org/10.11606/T.44.1999.tde-04112015-153554>
- Albino, J., Paiva, D. S., & Machado, G. M. V. (2001). Geomorfologia, Tipologia, Vulnerabilidade Erosiva e Ocupação Urbana das Praias do Litoral do Espírito Santo, Brasil [Geomorphology, typology, erosive vulnerability and urban occupation on beaches of Espírito Santo's coast, Brazil]. *Revista Geografares*, V(2), 63-69. Doi: <https://doi.org/10.7147/GEO2.1141>
- Albino, J., Girardi, G., & Nascimento, K. A. D. (2006). Erosão e progradação do litoral do Espírito Santo [Erosion and progradation of the coast of Espírito Santo]. In D. Muehe (Ed.), *Erosão e Progradação do Litoral do Brasil* [Erosion and Progradation of the Brazilian Coast] (pp. 227-264). Brasília: Ministério do Meio Ambiente.
- Alves, J. H. G. M., Ribeiro, E. O., Matheson, G. S. G., Lima, J. A. M., & Ribeiro, C. E. P. (2009). Reconstituição do clima de ondas no Sul-Sudeste brasileiro entre 1997 e 2005 [Reconstitution of the wave climate in the southern and southeastern coast of Brazil between 1997 and 2005]. *Revista Brasileira de Geofísica*, V(27), 427-445. Doi: <https://doi.org/10.1590/S0102-261X2009000300010>
- Branco, F. V. (2005). *Contribuições de swell gerado em tempestades distantes para o clima de ondas na costa brasileira* [Contributions of swell generated in distant storms to the wave climate of the Brazilian coast]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from [http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select\\_action=&co obra=91042](http://www.dominiopublico.gov.br/pesquisa/DetalheObraForm.do?select_action=&co obra=91042)
- Bulhões, E. (2011). *Exposição de Praias, Clima de Ondas e Processos Físicos em Praias de Enseada: Exemplos e Aplicações em Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brasil* [Beach exposure, wave climate and coastal processes in embayed beaches: Examples and applications in Armação dos Búzios, Rio de Janeiro, Brazil]. (Tese de Doutorado). Retrieved from [https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as\\_sdt=0,5&cluster=7315629925510230867](https://scholar.google.com.br/scholar?hl=pt-BR&as_sdt=0,5&cluster=7315629925510230867)
- Bulhões, E. M. R., Fernandez, G. B., Oliveira, S. R., Pereira, T. G., & Rocha, T.B. (2014). Impactos Costeiros Induzidos por Ondas de Tempestade entre o Cabo Frio e o Cabo Búzios, Rio de Janeiro, Brasil [Coastal impacts induced by storm waves between Cape Frio and Cape Buzios, Rio de Janeiro, Brazil]. *Quaternary and*

- Environmental Geosciences*, V(5), 155-165. Doi: <https://doi.org/10.5380/abequa.v5i2.36460>
- Candella, R. N. (1997). Estudo de casos de ondas no Atlântico Sul através de modelagem numérica [Case studies of waves in the South Atlantic through numerical modeling]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from <http://www.lamma.ufrj.br/sites/spo/atlasul/documentos/pdf/tese-rogerio.pdf>
- Cavalcanti, I. F. A., Ferreira, N. J., & Dias, M. A. F. (2009). *Tempo e Clima no Brasil* [Weather and Climate in Brazil]. São Paulo: Oficina de Textos.
- Campos, R. M. (2009). *Análise dos extremos de onda na Rio de Janeiro Associados a Ciclones Extratropicais no Atlântico Sul* [Analysis of wave extremes in Rio de Janeiro associated with extratropical cyclones in the South Atlantic]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from <http://livros01.livros-gratis.com.br/cp103377.pdf>
- Danish Hydraulic Institute. (DHI). (2009) *MIKE 21 Wave Modelling*. User Guide and Reference Manual, v. 1, 2009, 324 p.
- Dias da Silva, P. E. (2013). *Caracterização do padrão de ondas na costa do Brasil por meio de modelagem numérica* [Wave pattern characterization of brazilian coast using numerical modeling]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from <http://mtc-m16d.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m19/2013/03.12.16.55/doc/publicacao.pdf>
- Fernandez, G. B., Maluf, F., Bulhões, E. M. R., Rocha, T. B., Pereira, T. G., & Oliveira Filho, S. R. (2015). Impactos Morfológicos e Resiliência das Praias do Litoral do Rio de Janeiro: Referência Especial à Morfodinâmica Praial [Morphological impacts and resilience of the coast of Rio de Janeiro: Special Reference to Beach Morphodynamics]. In D. P. Paula & J. A. Dias (Eds.), *Ressacas do Mar/ Temporais e Gestão Costeira* [Surf / Sea Storms and Coastal Management] (pp. 277-329). Fortaleza: Editora Premius.
- Hallermeier, R. J. (1981). A Profile Zonation for Seasonal Sand Beaches from Wave Climate. *Coastal Engineering*, V(4) 253-277. Doi: [https://doi.org/10.1016/0378-3839\(80\)90022-8](https://doi.org/10.1016/0378-3839(80)90022-8)
- Homsí, A. (1978). Wave climate in some zones off the Brazilian coast. *Coastal Engineering Proceedings*, V(16), 114-133. Doi: <https://doi.org/10.9753/icce.v16.%25p>
- Johnson, D. W. (1919). *Shore Processes and Shoreline Development*. London: John Wiley & Sons, Inc.
- Komar, P. D. (1976). *Beach processes and sedimentation*. New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Monteiro, C. A. F. (1968). Clima [*Climate*]. In IBGE (Ed.), *Geografia do Brasil. Grande Região Sul* [Geography of Brazil. Greater South Region]. Rio de Janeiro: Fundação IBGE.
- Martin, L., Suguio, K., Flexor, J. M., Dominguez, J. M. L., & Azevedo, A. E. G. (1984). Evolução da Planície Costeira do Rio Paraíba do Sul (RJ) durante o Quaternário: Influência das Flutuações do Nível do mar [Evolution of the Paraíba do Sul river (RJ) coastal plain during the Quaternary: Influence of sea level fluctuations]. *Anais do XXXIII Congresso Brasileiro de Geologia*, Rio de Janeiro, Brasil. Retrieved from [http://sbg.sitapes-soal.com/anais\\_digitalizados/1984-RIO%20DE%20JANEIRO/CBG.1984.vol.11.pdf](http://sbg.sitapes-soal.com/anais_digitalizados/1984-RIO%20DE%20JANEIRO/CBG.1984.vol.11.pdf)
- Martin, L., Suguio, K., Flexor, J. M., & Archanjo, J. L. (1996). Coastal Quaternary Formations of the Southern Part of the State of Espírito Santo (Brazil). *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, V(68), 389-404.
- Muehe, D. (2011). Erosão costeira: Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil [Coastal erosion: Trend or extreme events? The coastline between Rio de Janeiro and Cabo Frio, Brazil]. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, V(11), 315-325. Doi: <https://doi.org/10.5894/rgci282>
- Muehe, D. (2001). Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento [Morphodynamic criteria for establishing coastal boundary limits for management purposes]. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, V(2), 35-44. Doi: <https://doi.org/10.20502/rbg.v2i1.6>
- Muehe, D. (1996). Geomorfologia Costeira [Coastal Geomorphology]. In S. B. Cunha & A. J. T. Guerra (Eds.), *Geomorfologia: Exercícios, Técnicas e Aplicações* [Geomorphology: Exercises, Techniques and Applications] (pp. 253-308). Rio de Janeiro: Bertrand Brasil.
- Nogueira, I. C. M. (2014). *Caracterização do Clima de Ondas na Baía do Espírito Santo através de Modelagem Numérica* [Wave climate characteristics in the Espírito Santo basin through numerical modeling]. (Dissertação de Mes-

- trado). Retrieved from [http://objdig.ufrr.br/60/teses/coppe\\_m/IzabelChristinaMartinsNo-gueira.pdf](http://objdig.ufrr.br/60/teses/coppe_m/IzabelChristinaMartinsNo-gueira.pdf)
- Nimer, E. (1989). *Climatologia do Brasil* [Climatology of Brazil]. Rio de Janeiro: IBGE.
- Oliveira, L. A. K. (2015). *Variabilidade interanual do clima de ondas e tempestades e seus impactos sobre a morfodinâmica de praias do litoral sudeste do estado do Rio de Janeiro* [Interannual variability of wave and storm climate and their impacts on beach morphodynamics of the southeastern coast of the state of Rio de Janeiro]. (Tese de Doutorado). Retrieved from <http://objdig.ufrr.br/16/teses/831772.pdf>
- Pinho, U. F. (2003). *Caracterização dos estados de mar na Bacia de Campos* [Characterization of sea states in the Campos Basin]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from <https://www.scribd.com/document/159250311/Caracterizacao-do-estado-de-mar-na-bacia-de-Campos-Pinho>
- Piumbini, P. P. (2009). *Clima de Ondas de Gravidade e Estado de Agitação Marítima em Ambientes Marinhos no Espírito Santo* [Wave climate and maritime agitation in marine environments in Espírito Santo, Brazil]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from [http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese\\_3683\\_Disserta%E7%E3o\\_Prussia\\_Pestana\\_AGO2009\\_versao1.pdf](http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_3683_Disserta%E7%E3o_Prussia_Pestana_AGO2009_versao1.pdf)
- Paterlini, A. Z. (2009). *Reconstituição da Agitação Marítima no Litoral do Espírito Santo: Caso de Junho de 2006* [Reconstitution of maritime agitation on the coast of Espírito Santo: Case study in June 2006]. (Monografia de Graduação). Retrieved from <http://www.oceanografia.ufes.br/sites/oceanografia.ufes.br/files/field/anexo/ANDR%C3%89%20ZARDO%20PATERLINI.pdf>
- Pianca, C., Mazzini, P. L. F., & Siegle, E. (2010). Brazilian offshore wave climate based on NWW3 Reanalysis. *Brazilian Journal of Oceanography*, V(58), 53-70. Doi: <https://doi.org/10.1590/S1679-87592010000100006>
- Pereira, N. E. S., & Klumb-Oliveira, L. A. (2015). Analysis of the influence of ENSO phenomena on wave climate on the central coastal zone of Rio de Janeiro (Brazil). *Revista de Gestão Costeira Integrada*, V(15), 353-370. Doi: <https://doi.org/10.5894/rgci570>
- Rangel-Buitrago, N., & Anfusio, G. (2011). An application of Dolan and Davis (1992) classification to coastal storms in SW Spanish littoral. *Journal of Coastal Research*, V(SI64), 1891-1895.
- Dean, R. G., & Dalrymple, R.A. (2002). *Coastal Processes with Engineering Applications*. United Kingdom: Cambridge University Press. Doi: <https://doi.org/10.1017/CBO9780511754500>
- Ribeiro, J. S. (2014). *Vulnerabilidade costeira em praias do norte do Espírito Santo e sul da Bahia* [Coastal vulnerability on beaches of northern Espírito Santo and southern Bahia, Brazil]. (Tese de Doutorado). Retrieved from <http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21136/tde-24032015-160955/pt-br.php>
- Souza, M. H. S. (1988). *Clima de Ondas ao Norte do Estado do Rio de Janeiro* [Wave climate in Rio de Janeiro's north shore]. (Dissertação de Mestrado). Retrieved from [https://books.google.com.br/books/about/Clima\\_de\\_ondas\\_ao\\_norte\\_do\\_estado\\_do\\_Rio.html?id=Fw9PHAAACA&redir\\_esc=y](https://books.google.com.br/books/about/Clima_de_ondas_ao_norte_do_estado_do_Rio.html?id=Fw9PHAAACA&redir_esc=y)
- Souza, T. A., Bulhões, E. M. R., & Amorim, I. B. S. (2015). Ondas de tempestade na costa Norte Fluminense [Storm waves on Rio de Janeiro's north shore]. *Quaternary and Environmental Geosciences*, V(6), 10-17. Doi: <https://doi.org/10.5380/abequa.v6i2.41139>
- Soares, S. B., & Chacaltana, J. T. A. (2003). Refração e difração de ondas em regiões costeiras [Refraction and diffraction of waves in coastal regions]. *IX Congresso da Associação Brasileira de Estudos Quaternários. II Congresso do Quaternário de Países de Língua Ibérica e II Congresso sobre Planejamento e Gestão da Zona Costeira dos Países de Expressão Portuguesa*. Recife, BR. Retrieved from [http://www.abequa.org.br/trabalhos/dinamica\\_costeira\\_322.pdf](http://www.abequa.org.br/trabalhos/dinamica_costeira_322.pdf)
- Suguio, K., Martin, L., Bittencourt, A. C. S. P., Dominguez, J. M. L. Flexor, J. M., & Azevedo, A. E. G. (1985). Flutuações do nível relativo do mar durante o Quaternário superior ao longo do litoral brasileiro e suas implicações na sedimentação costeira [Fluctuations in the relative sea level during the upper Quaternary along the Brazilian coast and its implications for coastal sedimentation]. *Revista Brasileira de Geociências*, V(15), 273-286.
- Tessler, M. G., & Goya, S. C. Y. (2005). Processos Costeiros Condicionantes do Litoral Brasileiro [Coastal processes of the Brazilian Coast]. *Revista do Departamento de Geografia da USP*, V(17), 11-23. Doi: <https://doi.org/10.7154/RDG.2005.0017.0001>

You, Z. J., & Lord, D. (2008). Influence of the El-Niño-Southern Oscillation on NSW Coastal Storm Severity. *Journal of Coastal Research*, V(24), 203-207. Doi: <https://doi.org/10.2112/06-0690.1>

Zoneamento Ecológico Econômico do Estado Do Espírito Santo. (ZEE-ES). (2010). *Relatório III – Diagnóstico Geo-Biofísico e Carta Temática de Vulnerabilidade Natural* [Ecological and

economic zoning of the state of Espírito Santo. Report III – Geo-biophysical diagnosis and thematic mapping of natural vulnerability]. Espírito Santo: Instituto Estadual de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Espírito Santo (IEMA). Retrieved from [https://observatoriodoturismo.es.gov.br/Media/observatorio/Publicacoes/Outras/Planos/Sumario\\_Executivo\\_ZEE.pdf](https://observatoriodoturismo.es.gov.br/Media/observatorio/Publicacoes/Outras/Planos/Sumario_Executivo_ZEE.pdf)

---

<sup>i</sup> <http://www.goosbrasil.org/>