

Avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e danos associados entre os anos de 1979 e 2013 no litoral do estado do Rio de Janeiro (Brasil)

Historical evaluation of marine storm occurrence and associated damage between 1979 and 2013 in the coast of the state of Rio de Janeiro (Brazil)

Flavia Moraes Lins-de-Barros¹, Leonardo Klumb-Oliveira², Rafael de França Lima³

¹ Laboratório de Geografia Marinha - Departamento de Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro. Email: flaviamb@gmail.com

² NEIM/UFRB (Núcleo de estudos de impacto da mineração/ Universidade Federal do Recôncavo da Bahia).

³ Estudante de Mestrado do Programa de Pós Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro.

RESUMO: O presente trabalho apresenta uma avaliação histórica da ocorrência de ressacas marinhas e dos danos associados no litoral sul-sudeste do estado do Rio de Janeiro entre os anos de 1979 e 2013. As características das ondas associadas a cada evento foram analisadas visando caracterizar as condições de mar que levam à danos e prejuízos nas praias. Dois estudos de caso, incluindo os municípios de Maricá e Saquarema, no primeiro, e Macaé, no segundo, destacam os impactos na orla urbanizada. Os dados de ondas para o período entre 1979 e 2013 para o litoral do Rio de Janeiro foram obtidos através da reanálise de ventos em escala global disponibilizado pela NOAA. O inventário do registro de danos associados aos eventos extremos de condições do mar no litoral do Rio de Janeiro foi realizado através da análise do acervo do Jornal O Globo. Foram encontrados, entre 1979 e 2013, 120 dias com notícias de ressaca em praias do estado do Rio de Janeiro. O maior número de eventos ocorreu entre abril e setembro, quando se observa a maior frequência de frentes frias no estado. Na maioria destes eventos foram registrados danos em avenidas, quiosques, calçadões e casas construídas próximas à linha de costa. Apesar do alinhamento litorâneo mais exposto a ondas provenientes de sul, isto é, do Rio de Janeiro a Cabo Frio, ter apresentado valores de incidência de ondas mais elevados do que o alinhamento ao norte de Cabo Frio, ambos os setores apresentaram registros de danos nas estruturas da orla. A análise das características das ondas relacionadas com os registros de danos na orla mostrou um intervalo variado de alturas de ondas, de menos de 1 m até mais de 4 m, com direções de proveniência

de SE a SW. Este resultado levou à discussão sobre as características das ondas capazes de gerar impactos e danos na orla. Os estudos de caso analisados revelaram importantes danos e prejuízos relacionados com as ressacas estudadas, apontando a importância de se conhecer melhor o comportamento e os efeitos desses eventos, visando uma melhor gestão da orla costeira.

Palavras-chave: ressacas marinhas; danos costeiros; gestão costeira.

ABSTRACT: The paper presents a historical assessment of the occurrence of marine storms and associated damages in the coast of the state of Rio de Janeiro between 1979 and 2013. The wave characteristics associated to each event were analyzed to characterize the storm conditions that lead to damages on the beaches. Two case studies, one including the municipalities of Maricá and Saquarema, and the other at Macaé, were used to highlight the impacts of storms on urbanized beaches. Wave data between 1979 and 2013 for the coast of Rio de Janeiro were obtained through the wind reanalysis available from NOAA. The inventory record of damages associated with extreme sea conditions events on the coast of Rio de Janeiro was obtained from the database of the newspaper O Globo. The results showed 120 days between 1979 and 2013, with the occurrence of storm damages on beaches. The major number of storms occurred between May and September, when cold fronts are more frequent. Most data reported was associated to damage on streets, bars, boardwalks and houses built close to the coastline. Despite the more exposed coastal alignment to S wave energy, from Rio de Janeiro to Cabo Frio, the coastal sector located north of Cabo Frio is also associated to news of damage to structures on the coastal border. The analysis of wave height records relating to damage on the beaches showed an extensive range of heights, since less than 1 m to more than 4 m, from SE to SW directions. This result raises issues concerning the establishment of a wave height threshold “harm-inducing”. The case studies results revealed significant damages and losses related to the studied storms, pointing the importance of better understanding the behavior and the effects of these events regarding to a better management and planning of coastal areas.

Keywords: coastal storms; coastline damage; coastal management.

1. INTRODUÇÃO

As praias arenosas constituem um dos ambientes mais dinâmicos da zona costeira podendo ser definidas como depósitos de material sedimentar desagregado e permeável em contato direto com o mar, funcionando como área de dissipação de energia das ondas. A morfodinâmica das praias está em constante ajuste com as condições oceanográficas de determinado litoral. Ou seja, o perfil de uma praia sofre modificações associadas ao transporte dos sedimentos para o mar ou para a costa na zona de arrebatamento e para além dessa zona em condições climáticas e oceanográficas diferentes.

À medida que as zonas costeiras foram sendo cada vez mais urbanizadas e valorizadas para atividades de lazer e turismo, as praias passaram a sofrer modificações nesta dinâmica, ocasionando, em muitos casos, um desequilíbrio do seu perfil, levando à danos nas construções durante eventos de tempestade. Ainda no século XIX uma das maiores preocupações dos engenheiros costeiros era elaborar intervenções, como muros, espigões, molhes e outros, para conter a energia das ondas e estabilizar a linha de costa, permitindo assim uma ocupação mais segura. No entanto, sabe-se que muitas destas obras não obtiveram sucesso gerando, em alguns casos, alterações no balanço sedimentar das praias. É importante destacar, como ressalta Muehe

(2006), que a urbanização em si não provoca erosão, no entanto, a construção de edificações dentro da faixa de resposta dinâmica da praia às tempestades tende à retomada pelo mar da área construída. Evidentemente, a erosão também pode estar relacionada com processos naturais de déficit de balanço sedimentar, podendo estar associada a diversos fatores, tais como esgotamento do aporte natural, transporte lateral dos sedimentos por correntes costeiras, por retenção de sedimentos nos rios, por perda na formação de dunas, entre outros (Komar, 1998; Bird, 2008).

O prejuízo anual decorrente de danos causados em praias nos EUA foi estimado, na década de 1970, entre US\$ 24 e US\$ 150 milhões (Mitchell, 1974). Este valor máximo (US\$ 150 milhões) é o mesmo que foi referido mais recentemente num relatório da NOAA como sendo o custo anual para alimentação artificial de praias nos EUA (NOAA, 2013). Em Portugal estima-se um investimento anual em obras de defesa costeira em zonas baixas entre 1995-2014 de 167 milhões de euros (Santos *et al.*, 2017) Na Região dos Lagos, no Rio de Janeiro, diversos eventos de tempestade causaram danos em avenidas e edificações tendo sido calculado o prejuízo de aproximadamente R\$ 1.5 milhões para um único episódio no município de Maricá (Lins-de-Barros, 2005). Na cidade do Rio de Janeiro, nos anos de 2016 e 2017 destacam-se três

ressacas que provocaram a queda de parte da ciclovia da Niemeyer em São Conrado, matando duas pessoas; a destruição do recém inaugurado quiosque do “Orla Rio” no Leblon; e a erosão da praia da Macumba, na zona oeste, que está atualmente avançando sobre o calçadão e a avenida beira-mar, construídos no ano de 2005. Além destes impactos, Lins-de-Barros e Parente-Ribeiro (2018) apontam para os prejuízos na economia diretamente relacionada com a praia (quiosques, vendedores ambulantes e tendas) causados pela diminuição da faixa de areia durante ressacas, tomando como exemplo a praia de Ipanema.

Assim, tendo em vista, de um lado, a frequente ocorrência de eventos de ressaca com danos e prejuízos no litoral do estado do Rio de Janeiro e, de outro lado, a falta de dados de ondas observados e medidos para o litoral do Rio de Janeiro, acredita-se que o presente trabalho contribua para uma melhor compreensão das características das ondas associadas a eventos de ressaca no litoral em questão.

Como ressaltam Candella e Candella (2010), as ondas são consideradas um parâmetro importante em engenharia costeira, já que os projetos de estruturas se baseiam em condições extremas que poderão ser enfrentadas, considerando em geral a altura de onda significativa (H_s) como parâmetro principal. Assim, espera-se também que o conhecimento das características das ondas associadas a eventos de ressaca possa contribuir para ações de prevenção, mitigação e planejamento da orla.

2. OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo identificar as características das ondas associadas às ressacas de mar que atingiram as regiões sudeste, leste e norte do litoral do estado do Rio de Janeiro no período entre os anos de 1979 e 2013. Com isso pretende-se compreender melhor as condições de mar que têm potencial para gerar danos no litoral em questão. Serão apresentados dois estudos de caso de praias na Região dos Lagos e Macaé, no litoral leste e norte do estado, respectivamente, associando a monitoramentos de praias que vem sendo realizados pelo Laboratório de Geografia Marinha da UFRJ desde a década de 1990.

3. ÁREA DE ESTUDO

A zona costeira do estado do Rio de Janeiro abrange uma área de aproximadamente 19.000 km² e envolve 33 municípios litorâneos. O litoral estende-se por aproximadamente 1.160 km, onde vive aproximadamente 83% da população fluminense (11 milhões de pessoas), com uma densidade demográfica de 585 hab/km² (INEA, 2015).

O inventário das ressacas e danos associados no período entre 1979 e 2013 considerou os registros encontrados para todo o estado do Rio de Janeiro. A análise das características das ondas, por sua vez, foi restrita às áreas de influência de dois pontos de saída dos dados do modelo de ondas NWW3 (*National Oceanic Atmospheric Administration – NOAA*), localizados na zona frontal das praias de Saquarema e Macaé (figura 1). Para análise detalhada dos impactos na orla foram selecionados os municípios de Maricá, Saquarema e Macaé.

Trabalhos realizados sobre o clima de ondas para a costa sudeste do Brasil e Bacia de Campos (Parente, 1999; Violante-Carvalho, 1998; Candella *et al.*, 1999), apontam para um clima de ondas prevalecente de tempo bom, com ondas de menor altura e períodos provenientes do quadrante NE (1 – 2 m; 2 – 6 s), sob influência do Anticiclone semi-permanente do Atlântico Sul, predominantemente nos meses de verão (JFM) e exposto a eventos mais energéticos provenientes dos quadrantes SO e SE, associados aos ciclones, frentes frias e altas migratórias, com ondas acima de 2 m e frequentemente períodos acima de 10 s, correspondentes aos meses de inverno (MJJ). Klumb-Oliveira *et al.* (2015) identificaram ondas acima de 4 m em episódios esporádicos em frente ao alinhamento Maricá-Cabo Frio em análise multidecadal do clima de ondas, sobretudo nos meses de maio, julho e setembro. De acordo com a Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN), esta região da costa brasileira é caracterizada pelo regime de micromaré, com amplitudes de sizígia de até 1,5 m.

4. MÉTODOS

Os dados de ondas para o período entre 1979 e 2013 para o litoral sudeste do Rio de Janeiro foram obtidos através do modelo Reanálise de ondas (conjunto de dados globais referentes ao estado da atmosfera terrestre do passado através de compilação de informações de medições ao redor do mundo, agrupados em uma grade com espaçamento regular) disponibilizado pela NOAA, o qual foi simulado no modelo computacional WAVEWATCH III (WW3), utilizando como dados de entrada a reanálise de ventos do *Forecast System Reanalysis Reforecast da National Oceanic Atmospheric Administration (CFSRR/NCEP)* (Chawla *et al.*, 2012). Os dados foram tratados estatisticamente permitindo a obtenção da altura de onda (H_s , m), direção de pico (D_p°) e período de pico (T_p , s) em escala temporal diária para todo o intervalo considerado. Os dados apresentavam resolução temporal de 3 h e espacial de 0,5°, sendo reduzidos a médias diárias para uma melhor facilidade de seu tratamento estatístico. Como se trata de uma Reanálise em escala global, a resolução da

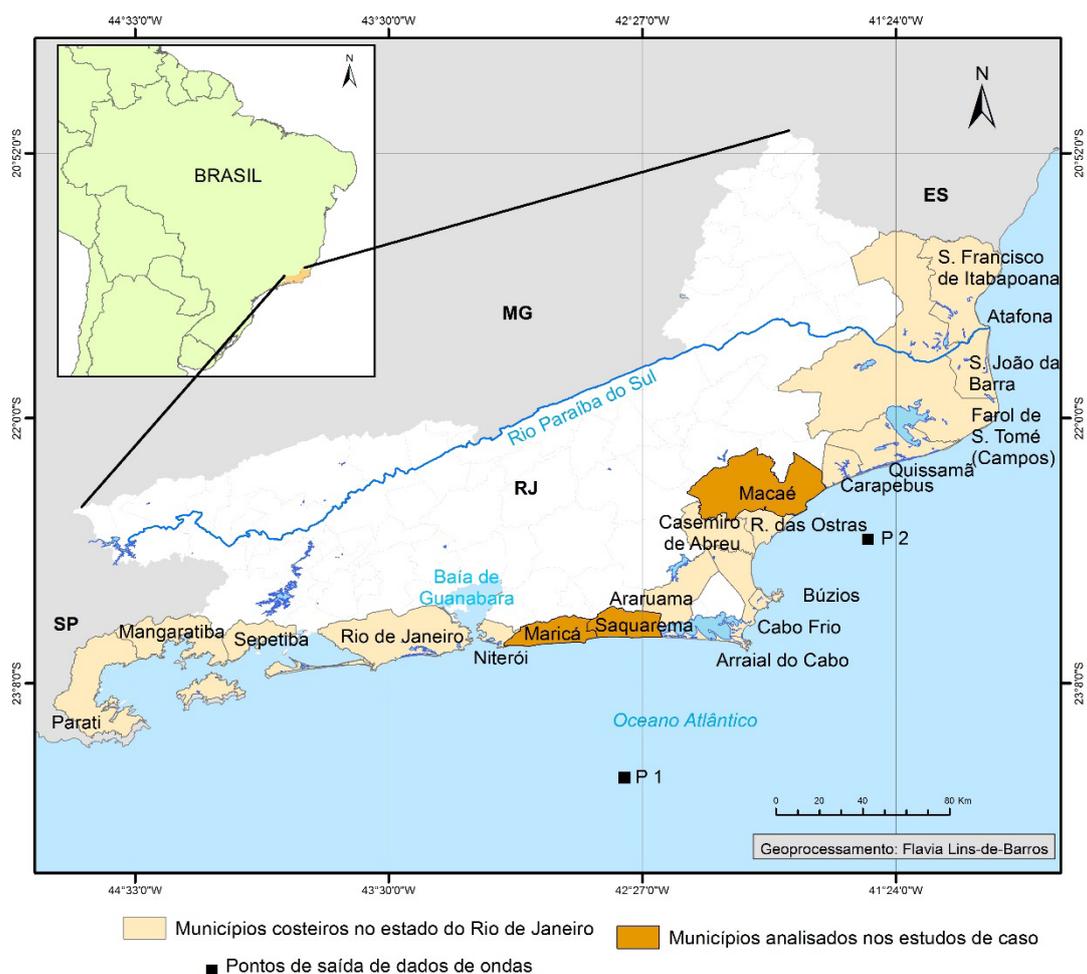


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo, indicando os municípios que foram abordados nos estudos de caso e os pontos de saída dos dados de ondas do modelo NWW3.

Figure 1 - Map of location of the study area, indicating the cities that were approached in the case studies and the output points wave data of the NWW3 model.

malha do modelo é adequada a uma interpretação do comportamento de ondas em águas profundas, geradas por diferentes sistemas atmosféricos na escala sinótica em questão. Foram escolhidos dois pontos de saída de dados do modelo (*outputs*) para obtenção dos dados de onda, denominados P1 (23,5° S, 43,5° W) e P2 (22,5° S, 42,5° W) (Figura 1). A validação destes dados foi realizada por Klumb-Oliveira *et al.*, (2015) a partir da comparação com dados da boia oceanográfica ancorada nas proximidades da cidade de Arraial do Cabo, tendo obtido correlações de $r = 0,76$ para altura significativa de onda e $0,62$ para o período de pico de onda. Os autores encontraram superestimação dos dados do modelo em relação aos dados de campo.

O inventário do registro de danos associados aos eventos extremos de condições do mar no litoral do Rio de Janeiro foi realizado através da análise de artigos científicos e

do Acervo do Jornal O Globo, através de uma pesquisa de todas as notícias que continham as palavras-chave “ressaca” e “mar”. A partir dos resultados encontrados com a aplicação deste filtro foi possível encontrar notícias que relatam algum tipo de consequência gerada por ressacas do mar nas praias fluminenses. Informações como o nome das praias que aparecem nas notícias, características gerais da ondulação e a descrição dos danos e prejuízos causados foram colocadas em uma tabela. Foram então acrescentados os parâmetros de ondas obtidos pelo modelo acima descrito (H_s , T_p e D_p) para as datas correspondentes ao evento de ressaca noticiada. Dados e informações encontrados em artigos científicos sobre o tema foram também utilizados para enriquecer tal inventário.

Vale ressaltar que um evento de ressaca do mar só é noticiado quando algum tipo de impacto fica evidente

e se torna de interesse para a sociedade. Assim, podem ocorrer casos de eventos extremos que não geraram impacto significativo nas praias e, portanto, não foram noticiados pelo jornal. Assim, o cruzamento das informações de parâmetros de ondas geradas pelo modelo com as notícias de ressaca permitiu conhecer as características das ondulações que geram algum tipo de impacto na orla costeira.

Finalmente, foram selecionados dois estudos de caso nas regiões leste e norte do litoral do estado do Rio de Janeiro onde foram registrados fortes danos causados por ressacas do mar, de forma a analisar as condições oceanográficas associadas a tais consequências. O primeiro estudo de caso destaca os efeitos nos municípios de Maricá e Saquarema onde a tempestade de 2001 causou a destruição da avenida litorânea, de diversas residências e quiosques (Lins-de-Barros *et al.*, 2003, Lins-de-Barros, 2005). O segundo estudo de caso trata da orla do município de Macaé onde diferentes eventos de ressaca levaram à necessidade de se construir obras de contenção. Através de pesquisas em jornais locais, internet e prefeituras locais destes dois casos específicos, foram analisados também de forma mais aprofundada os dados de danos e prejuízos gerados e as respostas governamentais e da população.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A pesquisa no acervo do Jornal O Globo para o período estudado, ou seja, entre 1979 e 2013, resultou em 120 dias com notícias de ressaca em praias do estado do Rio de Janeiro. Tal número representa uma média de quase 3,5 notícias por ano.

Do total de notícias, 100 se referem à cidade do Rio de Janeiro, exclusivamente. Esta forte predominância da cidade do Rio de Janeiro é certamente influenciada pela importância desta cidade, capital do estado, e onde estão localizadas as praias mais densamente ocupadas e mais conhecidas de todo o estado, resultando em maior destaque nas notícias de jornal. Enquanto isso, apenas 7 notícias do total se referem ao litoral norte do estado, tendo sido mencionadas praias do município de Macaé e da localidade de Atafona, esta última conhecida por severa erosão costeira. Praias da Região dos Lagos também apareceram nos textos das notícias do jornal em dezessete dias, sendo um dos mais fortes eventos o que ocorreu em maio de 2001. A cidade de Niterói foi mencionada em 5 notícias, das quais se destaca o evento de 1 de junho de 1997, quando as alturas de ondas no ponto 1 foram estimadas em 4,15 m. Nesta data em função da direção da ondulação SSE (157°), as praias com maiores efeitos foram as que se localizam na entrada da Baía de Guanabara, como as praias do

Flamengo, Marina da Glória e Copacabana, no Rio de Janeiro e Charitas, Gragoatá e Icaraí, em Niterói. Santos *et al.* (2004), em pesquisa sobre ressacas nas praias do litoral de Niterói, também realizaram um inventário a partir de notícias publicadas em diversos jornais para o período entre os anos de 1892 e 1999, tendo encontrado 13 notícias relevantes com menção a praias localizadas na cidade de Niterói.

A figura 2 apresenta o número de vezes em que cada praia ou localidade é citada nas notícias, revelando a distribuição espacial dos eventos. Em muitas notícias cita-se mais de uma localidade atingida pela ressaca. Assim, apesar de serem 100 notícias referentes à cidade do Rio de Janeiro, por exemplo, o número de praias atingidas é maior (185). Na maioria das situações registraram-se danos em avenidas, quiosques, calçadões e casas construídas próximas à linha de costa. Em algumas ocasiões foram registrados danos em embarcações e nas instalações da Marina da Glória e do Iate Clube. No entanto, casos mais graves foram também citados, com registro de algumas mortes por afogamento. Nas praias que compreendem a Zona Sul da cidade do Rio de Janeiro, como Ipanema, Leblon e Copacabana, muitos dos danos referem-se ao avanço do mar com a consequente migração de sedimentos para as principais ruas da orla, como, por exemplo, a Avenida Delfim Moreira, no Leblon. Além disso, noticiou-se também a destruição da ciclovia do Flamengo e na Zona Oeste foram noticiadas a quebra de um muro no canal da Joatinga, bem como a destruição de um poste no quebra-mar da praia da Barra da Tijuca.

Nas praias localizadas em Niterói, Região dos Lagos, e no Norte Fluminense, também há registros de danos nas construções próximas à linha de costa. Em Niterói, a praia de Piratininga é mencionada em função da retirada de areia da praia, exposição do antigo calçadão e queda de muro; em Maricá, foram noticiados os severos efeitos com destruição das casas e da avenida beira-mar; e em Saquarema, foi registrado o avanço do mar na rua principal do município. Já em Atafona, foi noticiada a destruição de casas pelo avanço do mar.

As principais consequências dos danos recaem na mobilidade das principais vias litorâneas que passam na orla. O avanço da areia e do mar obriga o poder público a fazer a limpeza das vias, dificultando assim o acesso às mesmas, tanto pelos transportes de passeio e coletivo, como pelos pedestres. Além disso, somam-se prejuízos aos proprietários dos imóveis que foram destruídos por estes eventos.

A figura 3 representa o número de ressacas por ano noticiadas pelo jornal. Os anos de 1988, 1990, 1999 e 2007 foram os que tiveram o maior número de eventos noticiados. É interessante notar que tal padrão se repetiu

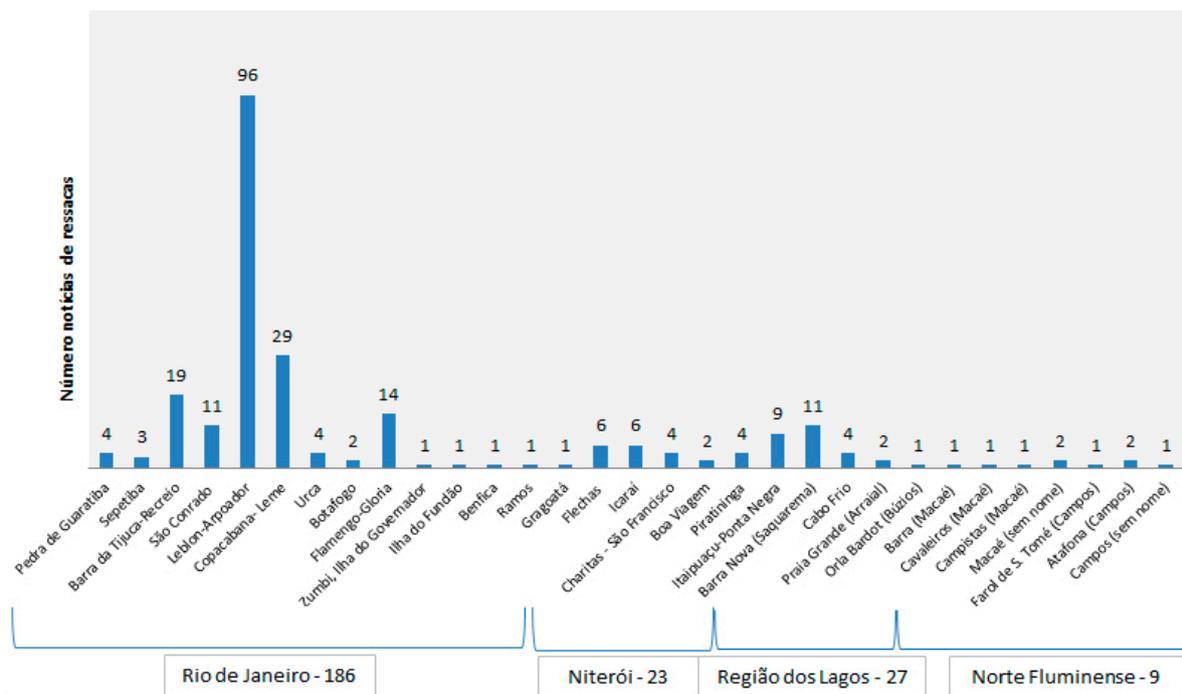


Figura 2 - Número de vezes em que cada praia ou localidade é citada nas notícias de ressacas segundo pesquisa no acervo do jornal o Globo entre 1979 e 2013.

Figure 2 - Number of times each beach or locality is cited in the storm news as per the survey of the newspaper O Globo between 1979 and 2013.

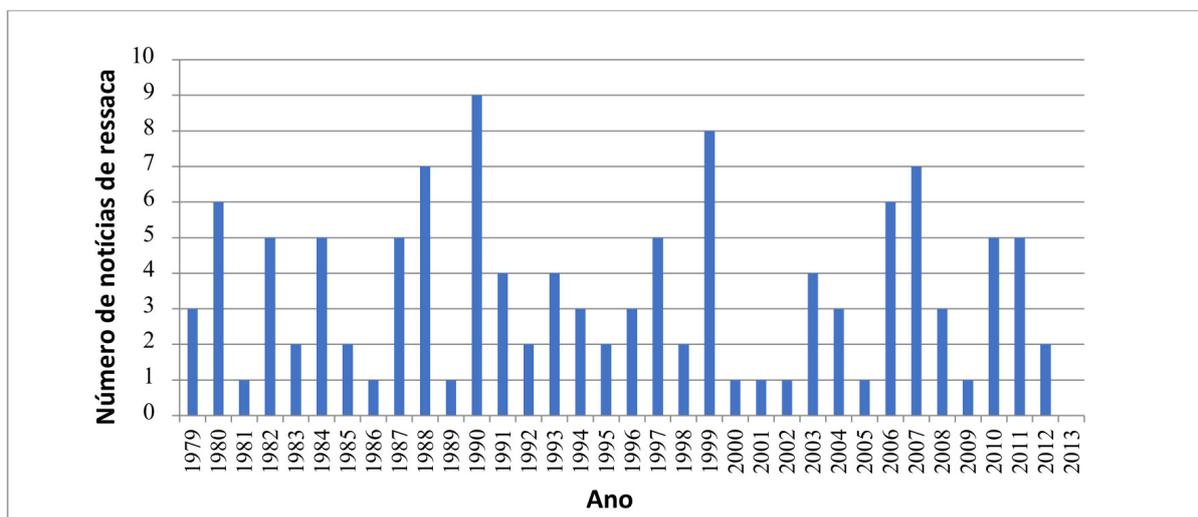


Figura 3 - Número de notícias sobre ressacas por ano no estado do Rio de Janeiro segundo pesquisa no Acervo do jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 3 - Number of storm news per year in the state of Rio de Janeiro as per the survey of the newspaper o Globo between 1979 and 2013.

aproximadamente de 9 em 9 anos. Seria necessário, no entanto, um histórico mais longo para se iniciar uma discussão sobre a recorrência de anos com mais eventos de ressaca. Alguns anos apresentaram, por outro lado, apenas um evento de ressaca noticiado, ficando abaixo da média. O ano de 2013 não teve nenhuma notícia de ressaca no jornal.

Em relação aos meses com eventos de ressaca noticiados, o resultado seguiu o esperado, ou seja, o maior número de eventos ocorreu entre abril e setembro (Figura 4), ou seja, no outono, inverno e início da primavera, quando se observa a maior frequência de frentes frias no estado do Rio de Janeiro. Este mesmo resultado foi encontrado por Bulhões *et al.* (2014) que denominaram tal período de “temporada de ondas de tempestade”, e por Klumb-Oliveira *et al.* (2015) que sugerem a temporada de alta energia entre os meses de abril a novembro para a região de Macaé, verificando-se perda de volume de praia associada à dinâmica das ondas. Este padrão está relacionado com a frequência e magnitude dos ventos no litoral do Rio de Janeiro, como apontado por Parente *et al.* (2014), que mostraram que os ventos mais frequentes durante o ano são oriundos dos quadrantes NE e E, que ocorrem entre Setembro e Fevereiro, e as maiores intensidades médias são apresentadas pelo vento oriundos do quadrante SW, entre Março e Agosto.

Os resultados demonstraram ainda que a maior parte das notícias corresponde a dias em que as ondas atingiram alturas entre 2 e 3 m no ponto 1 (Figura 5). Do total de

120 notícias, 43 foram em dias em que a altura de onda prevista pelo modelo de reanálise de ondas da NOAA era superior a 3,0 m neste ponto, e aproximadamente 62% das notícias correspondem a dias com ondas acima de 2,5 m.

Em relação ao ponto 2 (figura 6), a maioria das notícias (67%) corresponde a dias com alturas entre 2 e 3 m. Apenas oito dos dias noticiados tiveram ondas acima de 3 m neste ponto de observação. Nestes oito eventos mais fortes a direção da ondulação variou entre 141° e 173°, ou seja, ondulações de SSE. Tal resultado, ou seja, valores mais baixos de altura de ondas e direção SSE neste ponto, era esperado, uma vez que este ponto de saída de dados está localizado numa região do estado do Rio de Janeiro mais abrigada às ondulações com origem nos quadrantes SSW.

É interessante ressaltar que Klumb-Oliveira (2015) ao analisar as alturas de ondas de toda a série de dados do modelo de reanálise para o mesmo período detectou 228 eventos de tempestades com ondas acima de 3 m no ponto 1. Deste total de eventos considerados pelo autor como extremos, apenas 43 resultaram em algum tipo de dano na orla noticiado no jornal segundo a presente pesquisa. Souza *et al.* (2015), por sua vez, encontraram 75 dias com ondas acima de 3 m no litoral Norte Fluminense (próximo ao P2) apenas para o período entre 2003 e 2014 a partir de dados diários do modelo WW3. Tais constatações estimulam a reflexão sobre a diferença entre os conceitos de ressaca do mar, tempestade marítima e

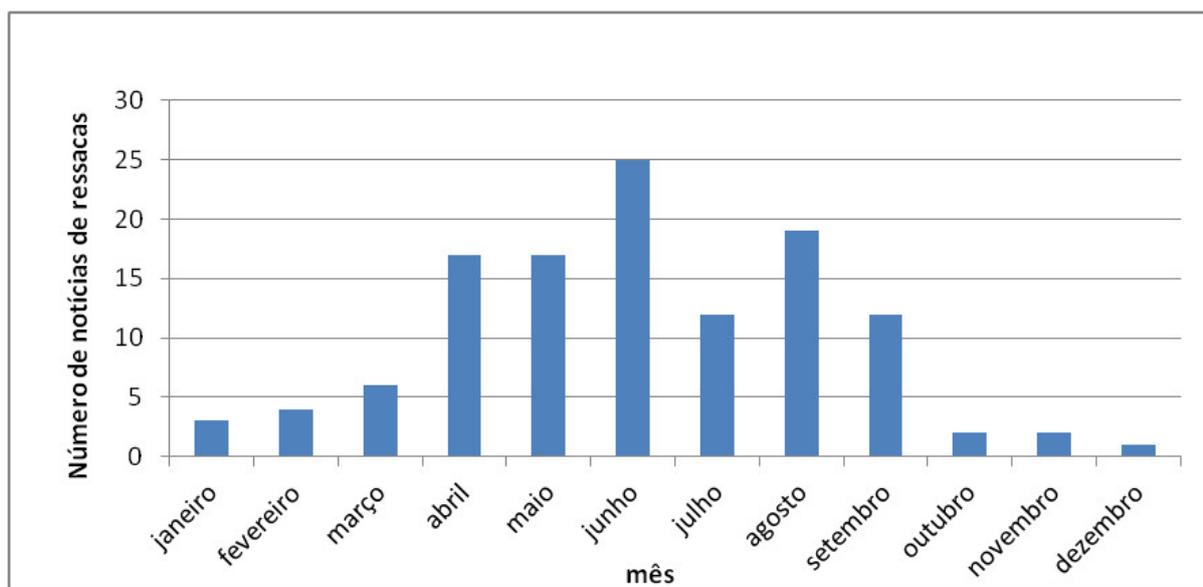


Figura 4 - Número de notícias de ressaca por mês no estado do Rio de Janeiro segundo pesquisa no Acervo do jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 4 - Number of storm news per month in the state of Rio de Janeiro as per the survey of the newspaper O Globo between 1979 and 2013.

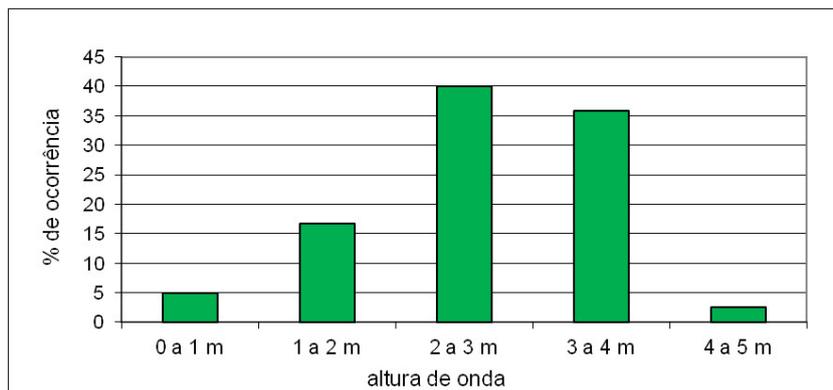


Figura 5 - Frequência da ocorrência das alturas de onda no ponto P1 considerando apenas os registros associados à eventos de ressacas noticiadas no Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 5 - Frequency of occurrence of wave heights recorded (m) at point P1 considering only the records associated with the storms events reported in the O Globo Journal between 1979 and 2013.

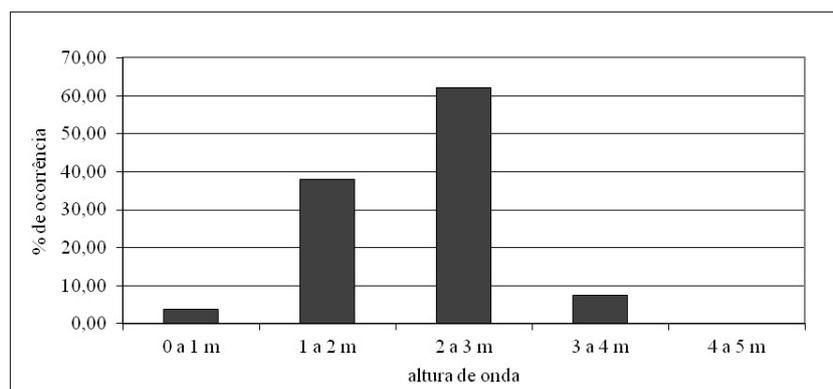


Figura 6 - Frequência da ocorrência das alturas de onda no ponto P2 considerando apenas os registros associados à eventos de ressacas noticiadas no Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 6 - Frequency of occurrence of wave heights (m) at point P2 considering only the records associated with the storm events reported in the O Globo Journal between 1979 and 2013.

evento extremo associado à ondulação. Este último vem sendo associado a eventos em que ocorrem ondas de altura extrema, ou seja, ondas cujas alturas significativas ultrapassam as alturas significativas associadas ao período de retorno de 20, 50 ou 100 anos (onda centenária) (Sterl e Caires, 2005). Candella e Candella (2010), por sua vez, definem o conceito de ondas anormais como aquelas que excedem a altura máxima prevista estatisticamente. Já o conceito de tempestade marítima (*storm*) está associado à ocorrência de ondulações de marulho que alcançam a costa geralmente acompanhadas de fortes ventos e chuvas. Podem ou não ter a presença de ondas extremas, se tornando assim um evento extremo. Já as ressacas são entendidas no presente trabalho como um fenômeno

associado à ação de ondas que gera algum tipo de efeito negativo na costa, ou seja, o termo ressaca é função da ocorrência de danos ou outros efeitos sentidos no litoral. Estas podem ocorrer mesmo em situações de ausência de tempestades, associadas, por exemplo, à acumulação de água na costa gerada por maré meteorológica. Por outro lado, podem acontecer tempestades sem necessariamente ocorrer ressacas. Assim, apesar de terem ocorrido muitas tempestades na proximidade do litoral do Rio de Janeiro no período analisado, apenas uma parte causou efeitos negativos na costa. Por outro lado, os dados analisados revelaram também a ocorrência de ressacas noticiadas em dias com ondas abaixo de 2 m de altura em ambos os pontos. Mais especificamente, foram encontradas

notícias em 17 dias cujas alturas de onda eram inferiores a 1,5 m em ambos os pontos, e 6 notícias com alturas de onda abaixo de 1 m. Assim, a ocorrência de tempestades não pode ser assumida como fator determinante da ocorrência de ressacas. Tal fato revela a dificuldade em se estabelecer uma altura de onda relacionada com eventos que atingem a orla, pois mesmo em condições de alturas de onda relativamente baixas pode ocorrer algum tipo de efeito nas praias. As alturas de onda estimadas pelo modelo de reanálise da NOAA e a redução dos dados para médias diárias no tratamento estatístico deste trabalho podem ter mascarado eventos mais discretos potencialmente erosivos. Outro ponto que é evidente nesta discussão é o uso do banco de dados da reanálise. Tais dados representam valores probabilísticos, em uma malha de resolução espacial global, adequada à interpretação de ondas de águas profundas, podendo não representar de maneira satisfatória o comportamento destas ondas de águas rasas, onde a influência do fundo se faz sentir.

Os danos registrados na costa devem-se a um conjunto de fatores, que incluem amplitude da maré no momento de pico da tempestade, magnitude do acúmulo de água na costa, do estado morfodinâmico prévio das praias e ainda, à direção predominante das ondas e da persistência da tempestade. Nota-se que pouco mais da metade dos eventos de ressacas com ondas de altura inferior à 1,5 m ocorreram durante ondulações com origem no quadrante leste ou sudeste atingindo regiões do estado que são mais abrigadas às ondas vindas de sul. Deste modo, a altura de onda e, conseqüentemente sua energia, não deve ser considerada isoladamente para a análise do padrão de ondulações associadas à eventos de ressaca.

Em relação ao período das ondas (figura 7), nota-se uma forte predominância de períodos acima de 10 s, representativos de ondas de marulho, consequência dos sistemas meteorológicos geradores, como frentes frias, ciclones extratropicais e altas pressões polares migratórias, que predominam no outono e no inverno no litoral do RJ. Tais sistemas associam-se a ondulações de longo período e alta energia, provenientes de Sudoeste, Sul e Sudeste.

Considerando as datas com notícias de ressaca, verifica-se que as direções de ondas predominantes foram sudoeste e sul no ponto 1 e ondulações com origem no quadrante sul no Ponto 2 (figuras 10 e 11). A direção das ondas nos dias com alturas acima de 3 m variou de 144° a 205°, tendo sido observados 19 dias com ondulações de Sudoeste, 21 dias com ondulações de Sul e apenas 5 dias com ondulações de Sul/Sudeste. No entanto, três destes dias (12/08/1988, 01/06/1997 e 26/09/1999) com ondulações de SSE registraram ondas de 4 m de altura ou mais. Os outros dois dias com ondas acima de 4 m no Ponto 1 corresponderam à ondulações de Sul. No Ponto 2 apenas dois dias tiveram ondas acima de 3,5 m e os dois correspondem aos mesmos dias citados acima (01/06/1997 e 26/09/1999).

5.1. Condições oceanográficas relacionadas à ocorrência ressacas do mar

Como esperado, a análise dos parâmetros de ondas durante eventos de ressaca demonstrou que o alinhamento litorâneo mais exposto, isto é, do Rio de Janeiro ao Cabo Frio, apresentou valores de altura de onda mais elevados do que o alinhamento ao norte de

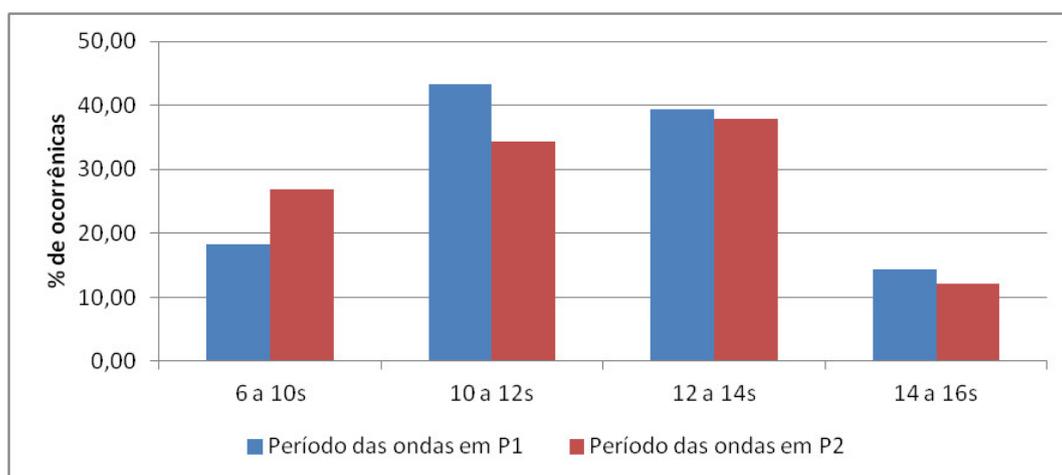


Figura 7 - Período(s) das ondas nos pontos 1 e 2 segundo dados de reanálise do modelo WW3 nos eventos de ressacas noticiadas pelo jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 7 - Wave period(s) in points 1 and 2 according to reanalysis data of the NWW3 model in the storm events reported by the newspaper O Globo between 1979 and 2013.

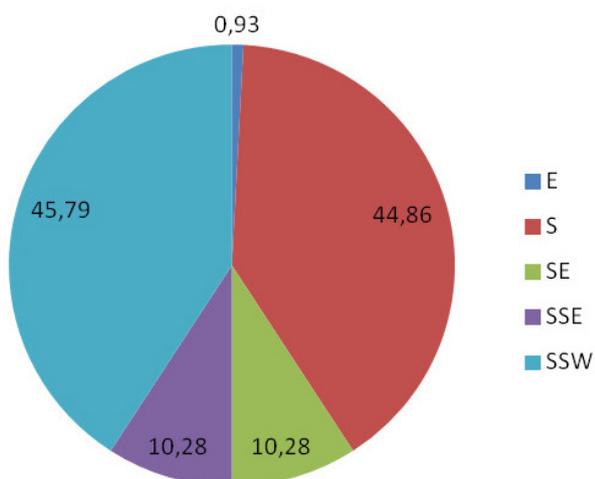


Figura 8 - Frequência (%) de ondas segundo a direção em graus no Ponto 1 com registro de ressacas noticiadas pelo Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 8 - Frequency (%) of waves according to direction in degrees in Point 1 with record of storms reported by O Globo newspaper between 1979 and 2013.

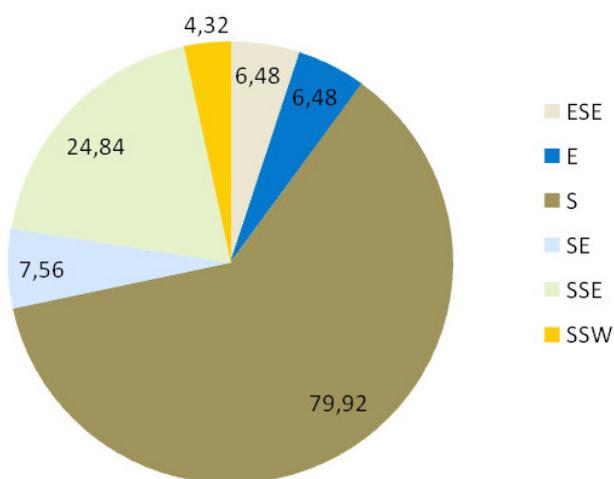


Figura 9 - Frequência (%) de ondas segundo a direção em graus no Ponto 2 com registro de ressacas noticiadas pelo Jornal O Globo entre 1979 e 2013.

Figure 9 - Frequency (%) of waves according to direction in degrees in Point 1 with record of storms reported by O Globo newspaper between 1979 and 2013.

Cabo Frio. Esta diferença do grau de exposição ao clima de ondas é considerado um parâmetro fundamental para a compreensão da magnitude e dinâmica da resposta morfológica das praias da região à eventos de ressaca, conforme já sugerido para outras partes do mundo por Shepard (1950) e Komar (1976), entre outros.

Conforme já vem sendo discutido na literatura por diversos autores, a ocorrência de danos nas praias

associados à ação de ondas depende de muitas variáveis intrínsecas à praia que determinam a sua vulnerabilidade e resiliência. Assim, além dos parâmetros oceanográficos como altura, direção, período da onda e altura da maré, as condições geomorfológicas de cada praia são elementos fundamentais para a compreensão da ocorrência destes eventos. Os parâmetros texturais dos sedimentos, o estado modal das praias, a geometria do arco praiial, a altitude do pós-praia e as condições morfodinâmicas anteriores aos eventos registrados são alguns dos parâmetros mais citados na construção de índices de vulnerabilidade ou suscetibilidade das praias.

No litoral do estado do Rio de Janeiro trabalhos anteriores contribuíram com a análise da vulnerabilidade e resiliência das praias à erosão costeira (Lins-de-Barros, 2011; Lins-de-Barros, 2010; Lins-de-Barros e Muehe, 2010; Muehe *et al.*, 2011; Bulhões *et al.*, 2014; Souza *et al.*, 2015). No entanto, tais análises não avaliaram em que condições e com que frequência ocorrem os eventos que potencialmente podem gerar danos. Assim, o presente trabalho tem como contribuição apresentar novos elementos para se compreender as condições oceanográficas que têm potencial de gerar danos às praias, embora se saiba que cada uma delas irá apresentar suscetibilidade e resiliências distintas.

No presente trabalho, a análise das alturas de onda relacionadas com os registros de danos na orla mostrou um intervalo variado de alturas, de menos de 1 m até pouco mais de 4 m, embora a maioria dos eventos esteja relacionado com as ondas maiores que 2,5 m. Além disso, não apenas o litoral sul mais exposto, mas também o litoral leste mais abrigado ao norte de Cabo Frio apresentaram registros de danos nas estruturas na orla. No litoral leste, ondas provenientes predominantemente de Sul/Sudeste, as quais incidem ortogonalmente à linha de praia representam as situações em que se registraram efeitos erosivos nas praias, mesmo apresentando ondas de alturas significativas mais baixas. Tal aspecto levanta a hipótese de que as características oceanográficas relacionadas à eventos de ressaca são relativas e não absolutas, ou seja, elas variam de acordo com o clima de ondas, com a exposição do litoral, tempo de duração da tempestade e com a topografia das praias. Ou seja, num litoral mais abrigado, por exemplo, as praias estão ajustadas às condições do mar de menor energia (em consequência da refração/difração das ondas) e ao serem ultrapassadas estas condições tal ajuste poderá ser afetado, mesmo que não se trate de eventos com alturas de ondas elevadas.

A análise de série temporal de 34 anos de dados de onda realizado por Pereira e Klumb-Oliveira (2015) permitiu inferir que o valor médio das alturas de onda

para a plataforma sudeste do RJ é de $1,8 \pm 0,51$ m, com períodos médios de $9,8 \pm 2,2$ s. Deste modo, é possível inferir que ondas acima de 2,31 m já representam valores acima do desvio padrão sobre o qual a costa está exposta sazonalmente, o que representa, em certa medida, um valor crítico para análise. De fato, aproximadamente 68% dos registros de ressacas obtidos pelo jornal O Globo apresentavam valores de alturas de onda superiores a 2,3 m. Possivelmente o valor de altura onda significativa de 2,3 m no banco de dados da Reanálise utilizada neste trabalho pode ser um bom indicativo de eventos hidrodinâmicos mais severos na costa sudeste do Rio de Janeiro, e da mesma forma, um bom critério para modelagem computacional e critérios de gestão. Outros fatores como o período de pico e o tempo de permanência das ondas acima de um determinado valor são, do mesmo modo, de grande influência sobre a geração de danos na costa. Acrescenta-se ainda a importância da maré astronômica e meteorológica no acúmulo de água junto à costa. Tal parâmetro deverá ser incluído em análises futuras.

Outro aspecto pertinente à análise é o tempo de duração do evento de tempestade. Neste sentido, You e Lord (2008) sugerem o tempo mínimo de ondas incidindo acima do valor crítico de 1 h. Já Rangel-Buitrago e Anfuso (2011) sugerem 12 h constantes de incidência de ondas para caracterizar um evento de tempestade, com base nos ciclos de maré. No presente artigo não foram investigados os tempos de duração de cada evento encontrado, de maneira que não é possível mensurar os danos a partir de tal parâmetro.

Soma-se a estes fatores o padrão de urbanização que muitas vezes desrespeita a faixa dinâmica das praias, invadindo a berma da praia em diversos segmentos

do litoral, aumentando assim a sua vulnerabilidade e, conseqüentemente, os seus efeitos.

De acordo com a análise da severidade da tempestade a partir da metodologia *Storm Power Index* proposta por Dolan e Davis (1992), Klumb-Oliveira (2015) identificaram seis eventos considerados como severos: setembro de 1983, agosto de 1988, maio 1997, maio de 2001, abril de 2010 e agosto de 2011 (figura 10). Tais eventos foram bem reconhecidos ao longo da costa brasileira, quando apareceram em estudos de caso nos trabalhos de Innocentini e Caetano Neto (1996), Innocentini *et al.* (2003), Santos *et al.* (2004), Lins-de-Barros (2005), Muehe (2011) e Fernandez *et al.* (2011). Nas notícias de jornais estes eventos também aparecem com destaque conforme se observa nas descrições das reportagens (ver a tabela 1 nas informações complementares).

5.2. Estudo de Caso 1 - Orlas de Maricá e Saquarema - ressaca de maio de 2001

Em maio de 2001 o sudeste do Brasil foi atingido por uma forte tempestade, considerada por Muehe (2001) e por outros autores como sendo o segundo evento meteorológico mais forte entre os anos 2000 e 2004, ficando atrás apenas do Ciclone Catarina ocorrido em fevereiro de 2004. Ao atingir o litoral do Rio de Janeiro, tal tempestade gerou forte ressaca no mar o que, em combinação com os fortes ventos e, principalmente, com a ocorrência de uma maré de sizígia, teve grande impacto na orla.

A análise das condições hidrodinâmicas da costa em relação ao evento revela um comportamento das ondas significativamente acima dos padrões médios, apresentando um pico de altura de aproximadamente 4 m,

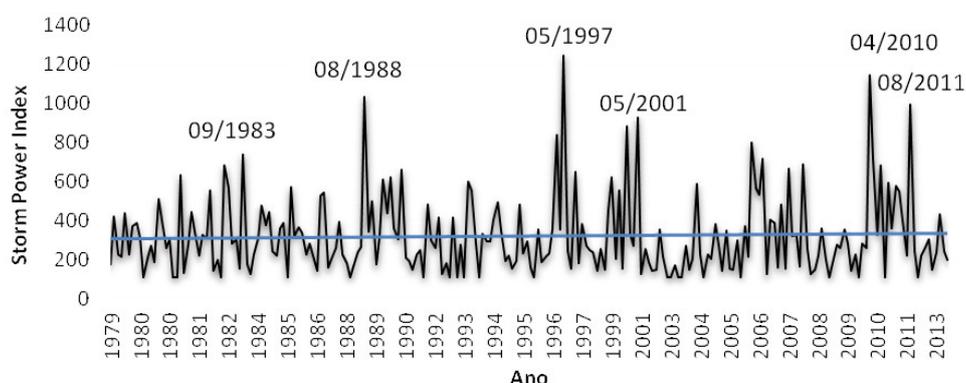


Figura 10 - Série de eventos de tempestades detectados entre 1979-2013, a partir do Storm Power Index (Dolan & Davis (1992), Klumb-Oliveira (2015)).

Figure 10 - Series of storm events detected between 1979 and 2013, from the Storm Power Index (Dolan & Davis, 1992), Klumb-Oliveira (2015).

no dia 7 de maio, com período de pico de 14 s e direção de pico que alternou de SW para SE, com ápice em 190° (Figura 9). A incidência de condições de agitação originada por ciclogênese extratropical é comum na costa sudeste do Brasil, sobretudo nos meses de outono e primavera austral. No entanto, um aspecto particular deste evento de ressaca é que a região já apresentava condição hidrodinâmica de agitação marítima formada por ventos fortes ao largo do litoral de São Paulo, antes da incidência de ondas originadas pelo ciclone extratropical nas imediações do Uruguai (Innocentini *et al.*, 2003), fato

que contribuiu para um acúmulo de energia junto à costa, adicionado a uma amplitude de maré alta de sizígia.

Os efeitos no litoral do município de Maricá, um dos mais atingidos em todo o estado do Rio de Janeiro, foram estudados por Lins-de-Barros *et al.* (2003), e Lins-de-Barros (2005). Os danos no trecho compreendido entre as praias da Barra de Maricá e Ponta Negra foram os mais elevados deste litoral, apresentando a destruição de grande parte da avenida litorânea, de diversas casas e de quiosques (Figuras 12, 13).

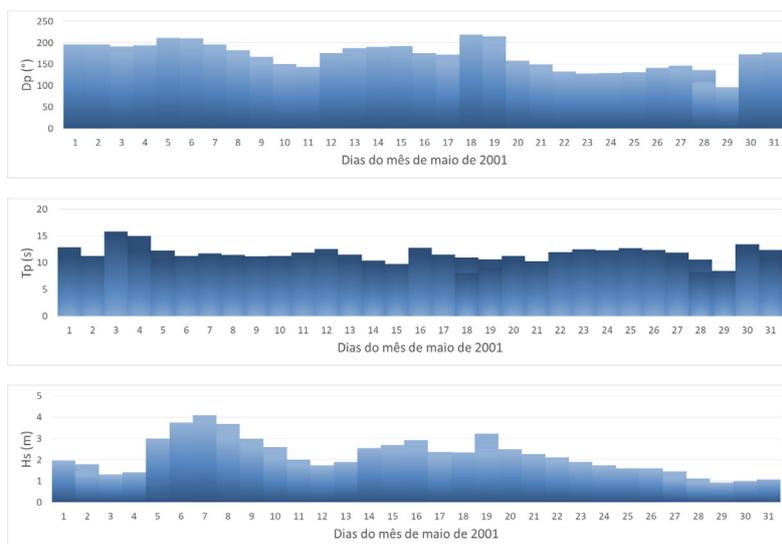


Figura 11 - Características das ondas em águas profundas para o período da tempestade ocorrida em maio de 2001. No eixo horizontal, dias do mês de maio de 2001 (compilação de dados NOAA - WW3).

Figure 11 - Characteristics of deep-water waves for the period of the storm that occurred in May 2001. On the horizontal axis, days of May 2001 (NWW3 data compilation).



Figura 12 - Praia da Barra de Maricá após a ressaca de maio de 2001, mostrando a destruição total da Avenida Litorânea e de casas. (Foto: Dieter Muehe).

Figure 12 - Praia de Barra de Maricá after the storm in May 2001 showing the total destruction of Avenida Litorânea and houses. (Photo: Dieter Muehe).



Figura 13 - Praia de Ponta Negra após a ressaca de maio de 2001 mostrando a destruição total da Avenida Litorânea e do muro de uma casa. (Foto: Flavia Lins de Barros).

Figure 13 - Beach of Ponta Negra after the storm of May of 2001 showing the total destruction of the Coastal Avenue and the wall of a house. (Photo: Flavia Lins de Barros).

A partir de entrevistas com moradores, proprietários, funcionários dos quiosques e agentes imobiliários, Lins-de-Barros (2005) estimou um valor aproximado dos prejuízos diretos e os decorrentes das obras de reconstrução e proteção (Tabela 1).

Tabela 1 - Prejuízo Econômico Total (R\$) decorrente da ressaca ocorrida em maio do ano de 2001 entre as praias da Barra de Maricá e Ponta Negra no município de Maricá (RJ). Fonte: Lins-de-Barros (2005).

Table 1 - Total Economic Loss (R\$) due to the storm occurred in May of 2001 between the beaches of Barra de Maricá and Ponta Negra in the city of Maricá (RJ).

<i>Prejuízo Direto</i>	<i>Prejuízo Indireto</i>	<i>Prejuízo Total</i>
<i>Destruição total das casas</i>	<i>Custo total das obras realizadas</i>	
1.560.000,00	534.000,00	2.090.000,00

A autora aponta ainda para uma desvalorização média para o arco praias de aproximadamente R\$ 200.000,00 por km, considerando a perda de 100% do valor em caso de destruição total da residência e de 50% no restante da orla (Lins-de-Barros *et al.*, 2003 e Lins-de-Barros, 2005). Em trabalho mais recente Lins-de-Barros *et al.* (2016) descrevem as diversas medidas adaptativas, incluindo os tipos de obras de recuperação que foram realizadas, de forma particular, pelos moradores ou proprietários de quiosques e casas de veraneio. Discute ainda algumas das propostas apresentadas pelo poder público local, ressaltando que nenhuma medida foi efetivamente realizada, pois predomina a ideia de que o evento de ressaca ocorrido em 2001 foi um caso isolado. Tal percepção persiste embora se tenham registrado outras ressacas importantes, com destaque para aquela ocorrida no ano de 2010, que atingiu o litoral de Maricá com forte impacto, sem, no entanto, causar danos tão severos pois este evento não foi associado à maré de sizígia como o anterior.

O município de Saquarema, localizado a leste de Maricá e separado deste pelo promontório rochoso de Ponta Negra, também sofreu efeitos desta ressaca, sendo a praia de Jaconé a mais atingida. Nesta, a avenida litorânea foi parcialmente destruída, mas como a orla apresenta uma baixa densidade de ocupações urbanas, os danos sentidos foram menores do que em Maricá. Ainda assim, quatro quiosques foram totalmente destruídos e três foram parcialmente impactados, causando prejuízos para os comerciantes. Segundo notícia do Jornal O Globo de 9 de dezembro de 2001 neste município a prefeitura realizou uma obra de recuperação da avenida

litorânea através de aterro com areia. Foram previstas também a colocação de gabiões e enrocamentos com o custo estimado em R\$ 4,5 milhões que seria liberado pelo Fundo de Controle Ambiental (Fecam). Não foram encontradas informações sobre a liberação deste recurso e a efetiva realização destas obras. Na mesma reportagem é mencionado ainda que o então governador do Rio de Janeiro, Anthony Garotinho, anunciou a liberação de R\$16 milhões para recuperar os prejuízos provocados por esta ressaca em todo o estado. Da mesma maneira, não foram encontradas outras informações sobre esta medida e, portanto, não constam dados que confirmem se este investimento foi realizado.

5.3. Estudo de Caso 2 - Orla de Macaé

No litoral norte do estado do Rio de Janeiro, a orla de Macaé é uma das mais mencionadas nas notícias do acervo do jornal O Globo, assim como em jornais locais pesquisados. Após duas ressacas ocorridas em agosto de 2006 (dias 8 e 26), uma série de ações por parte da prefeitura começou a ser tomada de forma a evitar prejuízos e risco para a população em caso de novos eventos. A edição de 30 de março a 5 de abril de 2007 do Jornal Serra Litoral destaca que obras foram realizadas pela prefeitura de Macaé entre os anos de 2006 e 2007 visando a contenção das águas do mar em caso de ressacas. No trecho compreendido entre as praias dos Navegantes e a Fronteira foram colocadas toneladas de rochas retiradas de uma pedreira construindo um muro de 700 m de extensão. Em outra reportagem do dia 5 de julho de 2007, disponível na central de notícias do site da prefeitura de Macaé, é referido que a prefeitura investiu mais de R\$ 2 milhões na construção deste muro. Tais medidas demonstram a preocupação da prefeitura com os efeitos que as ressacas causam neste litoral. Nesta mesma notícia, é mencionado que uma nova ressaca atingiu este litoral. Esta última notícia foi identificada na pesquisa do acervo O Globo no dia 27/06/2007. Um mês depois, em 30/07/2007, um evento ainda mais forte destruiu parte da ciclovia e da calçada na Praia dos Campistas. Em 25 de abril de 2008, quase um ano após esta ressaca o litoral de Macaé é novamente atingido por uma ressaca que danificou a estrutura do muro anteriormente construído e impactou principalmente as praias Campista e Fronteira. No ano de 2009, mais duas ressacas foram registradas, a primeira em 11 de abril e a segunda no dia 25 de julho, deixando em alerta a Defesa Civil e mais uma vez incentivando medidas de contenção por parte da prefeitura.

Entre os anos de 2006 e 2013 foram registrados, portanto, seis eventos de ressaca. Os seis eventos apresentaram ondas com altura superior a 1,5 m no Ponto2 e no Ponto1

apenas os eventos de 10/08/2006 e 16/03/2011 tiveram ondas abaixo de 2,0 m. Estes eventos, por outro lado, apresentaram direção SSE em ambos os pontos, o que indica que ondulações com este tipo de direção podem afetar a orla do litoral norte mesmo quando a altura de onda é muito elevada.

Mais recentemente, em 2014, a orla da praia dos Cavaleiros foi totalmente recuperada com a colocação de um muro de contenção, ampliação do calçadão em cerca de 5,5 m, nova ciclovia e postos salva-vidas. Foi feita ainda a reconstrução do deck de madeira, recuperação do passeio com granito e manutenção da iluminação pública (Gama, 2014). Estas medidas demonstram o valor atribuído à manutenção da praia e sua importância para o município.

6. CONCLUSÕES

O uso do acervo de jornais para estudos de ressaca do mar foi também adotado por outros autores, como Santos *et al.* (2004) e Paula *et al.* (2015), e quando utilizado de forma cuidadosa, se apresenta adequado para o inventário histórico de eventos de ressaca e para a sua caracterização qualitativa. É importante reforçar que os jornais costumam noticiar os eventos de ressaca que “chamam a atenção” da sociedade de alguma maneira. Tal aspecto converge com o conceito de ressaca do mar concebido no presente trabalho, ou seja, um fenômeno natural induzido pelo acúmulo de uma massa d’água junto à costa e por processos oceanográficos e que provoca efeitos perceptíveis nas praias ou no litoral, efeitos estes que variam desde danos severos à construções e infraestruturas, lançamento de areia em ruas e avenidas ou simplesmente a presença de ondas muito grandes que se tornam espetáculo atraindo moradores, turistas e surfistas. Esta constatação é importante, pois delimita o conceito de ressaca e o diferencia do termo tempestade que não estaria necessariamente associado a efeitos sentidos pela sociedade.

Os valores das alturas de onda detectados pela reanálise WW3 associados à data da ocorrência da ressaca noticiada pelo jornal O Globo eram variados, mas com forte predominância de ondas superiores a 2,5 m, o que reforça a validação dos dados do modelo global de reanálise de ondas para análises regionais de impactos costeiros. No entanto, no litoral leste e nordeste do estado, entre Arraial do Cabo e Atafona, as ressacas estão associadas à ondulações de sudeste com ondas de aproximadamente 1 a 2,6 m de altura. Tal constatação aponta para a hipótese de que a ocorrência de ressacas não é condicionada pela ocorrência de tempestades severas e que as condições oceanográficas com potencial de causar danos na orla variam de acordo com o clima de ondas.

No caso do litoral leste e nordeste do Rio de Janeiro, o clima de ondas se caracteriza por apresentar ondas com alturas médias relativamente mais baixas por estar mais abrigado das fortes ondulações de sul e sudoeste. Além disso, em alguns trechos deste litoral já foi observada a presença de efeitos erosivos relacionados com efeitos da refração de ondas que originam convergência das ortogonais destas aumentando a sua altura junto à costa em alguns pontos específicos (Muehe *et al.*, 2011).

Deve-se considerar ainda a falta de ordenamento das urbanizações da orla que, em diversos trechos do litoral, resultou no avanço de construções na faixa dinâmica da praia, invadindo por vezes a berma destas. Tal aspecto aponta para mais uma discussão sobre o amplo espectro de alturas de onda indutoras de danos, uma vez que a vulnerabilidade física da praia pode não ser extrema, mas as condições de uso e ocupação aumentam sobremaneira o seu risco, mesmo para eventos de baixa magnitude.

Acredita-se que análises detalhadas da evolução das tempestades, incluindo a duração e altura máxima alcançada, por exemplo, poderão ajudar a definir melhor as condições oceanográficas que causam efeitos na costa. Ressalta-se ainda a importância de se relacionar os valores de maré astronômica e meteorológica, uma vez que estas podem provocar acumulação (*setup*) de água na costa aumentando muito o poder erosivo das ondas. Outro aspecto importante a ser aprofundado é como as condições morfodinâmicas pretéritas, como tendência erosiva causada por evento tempestivo anterior, podem influenciar a gravidade dos efeitos posteriores. Em relação à classificação da severidade, acredita-se que uma análise qualitativa mais detalhada das notícias de jornais poderá auxiliar na definição de classes, conforme já proposto por Paula *et al.*, (2015).

Finalmente, destaca-se a importância dos dois estudos de caso apresentados por representarem claramente as consequências negativas dos eventos de ressaca, apontando danos e prejuízos financeiros, que levam à reflexão sobre a necessidade de urbanização e adaptações mais adequadas nas orlas de cidades expostas a ressacas de mar.

REFERÊNCIAS

- Bird, E. (2008) - Coastal Geomorphology: an introduction. Jon Wiley & Sons.Inc.
- Bulhões, E.M.R.; Fernandez, G.B.; Filho, S.R.O.; 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. *Quaternary and Environmental Geosciences* 05(2), 155-165.
- Candella R.N., Grossmann, G.S; Quental, S.H.A.J. (1999) - Reconstituição de condições de onda no oceano Atlântico Sul com a utilização do modelo de terceira geração. *Revista de Pesquisa Naval*, 12, 123-134.

- Candella, R.N.; Candella, M.A.V. (2010) - Investigações sobre a ocorrência de ondas anormais em Arraial do Cabo. *Revista Brasileira de Geofísica*. Sociedade Brasileira de Geofísica ISSN 0102-261X. 28(4): 551-561. <http://www.scielo.br/rbg>.
- Chawla, A.; Spindler, D.; Tolman, H. (2012) - 30 Year Wave Hindcasts using WAVEWATCH III with CFSR winds - Phase I. *MMAB Contribution*, nº302, 12p, 2012. http://polar.ncep.noaa.gov/mmab/papers/tn302/MMAB_302.pdf.
- Dolan, R.; Davis, R.E.; (1992) - An intensity scale for Atlantic coast northeast storms. *Journal of Coastal Research*. 8(3), 840-853.
- Fernandez, G.B.; Bulhões, E.M.R; Rocha, T.B. Impacts of Severe Storm Occured in April 2010 along Rio de Janeiro Coast, Brazil. *Journal of Coastal Research*. 64(SI):1850-1854
- GAMA, T. (2014) - Revitalização da orla da Praia dos Cavaleiros é inaugurada. Prefeitura Municipal de Macaé. Macaé, Brasil. http://www.aprh.pt/rgci/submartigos_citations-references_eng.html
- Innocentini, V.; Caetano Neto, E. (1996) - A case study of the 9 August 1998 South Atlantic storm: Numerical simulations of the wave activity. *Weather and Forecasting*, 11: 78-88.
- Innocentini, V.; Arantes, F. O.; Prado, S. C. C. (2003) - Modelo de Ondas Aplicado ao Caso 5-8 de maio de 2001. *Revista Brasileira de Meteorologia*, São Paulo, v. 18, n.01, p. 97-104.
- Klumb-Oliveira, L.A.; Pereira, N.E.S.; Leão, R.R. (2015) - Morfodinâmica multitemporal em praia refletiva na costa centro norte do RJ em resposta ao clima de ondas regional. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.16 (1).
- Klumb-Oliveira, L.A. (2015) - *Variabilidade Interanual no Clima de Ondas e Tempestades e seus impactos na costa sudeste do estado do Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado em Geografia, Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Komar, P. (1976) - *Beach processes and sedimentation* (2nd Edn.) New Jersey: Prentice Hall. Inc.
- Lins-de-Barros, F. M. (2005) - Áreas críticas e de risco potencial à erosão costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro. In: Anais do X Congresso da Associação Brasileira do Quaternário – ABEQUA. Congresso da Associação Brasileira do Quaternário – ABEQUA. Guarapari, ES, Brasil, CD-ROM.
- Lins-de-Barros, F.M. (2010). *Contribuição metodológica para análise local da vulnerabilidade costeira e riscos associados: estudo de caso da Região dos Lagos, Rio de Janeiro*. Tese de Doutorado em Geografia. Programa de Pós-Graduação em Geografia – Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil. 289f.
- Lins-de-Barros, F.M. (2011). Análise integrada da vulnerabilidade costeira e riscos associados. In: Anais do VI Congresso Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa. Ilha de boa Vista, Cabo Verde, CD-ROM.
- Lins-de-Barros, F.M., & Muehe, D., (2010) Avaliação local da vulnerabilidade e riscos de inundação na zona costeira da Região dos Lagos, Rio de Janeiro. *Quaternary and Environmental Geosciences*. , v.2, p.55 - 66, 2010.
- Lins-de-Barros, F.M; Muehe, D.; Roso R. H. (2003) - Erosão e Danos na Orla Costeira do Município de Maricá, Rio de Janeiro. In: Anais do II Congresso de Planejamento e Gestão das Zonas Costeiras dos Países de Expressão Portuguesa, Recife, Pernambuco, Brasil, CD-ROM.
- Lins-de-Barros, F.M.; Zeidan, F.; Lima, R (2016) - Adaptações e percepção da população a eventos de ressaca do mar no litoral de Maricá, Rio de Janeiro, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management / Revista de Gestão Costeira Integrada*, 16(2),147-161.
- Lins-de-Barros F., Parente-Ribeiro L. (2018) - How Much Is a Beach Worth: Economic Use and Vulnerability to Coastal Erosion: The Case of Ipanema and Arpoador Beaches, Rio de Janeiro (Brazil). In: Leal Filho W., Esteves de Freitas L. (eds) *Climate Change Adaptation in Latin America*. Climate Change Management. Springer, Cham. Online ISBN978-3-319-56946-8
- Mitchell, J.K. (1974) - *Community Response to Coastal Erosion: Individual and Collective adjustments to Hazard on the Atlantic Shore*. The Department of Geography. The University of Chicago, Chicago, EUA.
- Muehe, D. (2006) - Apresentação. In: Muehe, D. (org.), *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*, Brasília: MMA ISBN:85-7738-028.
- Muehe, D. (2011) - Erosão costeira - Tendência ou eventos extremos? O litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 11(3), 315-325.
- Muehe, D. Fernandes, G.; Bulhões, E.; Azevedo, I. (2011) - Avaliação da Vulnerabilidade Física da Orla Costeira em nível local tomando como exemplo o arco praial entre Rio das Ostras e o cabo Búzios / RJ. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 12 (2), 45-58.
- NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management. Beach Nourishment: A Guide for Local Government Officials. 2013. Acesso em: jan. de 2018. Disponível em: <https://coast.noaa.gov/archived/beachnourishment/html/human/law/index.htm>
- NOAA Office of Ocean and Coastal Resource Management ftp://nopp.ncep.noaa.gov/pub/CFSR_wavehind_ph1/
- Paula, D. P. de; Morais, J.O.; Ferreira, Ó.; Dias, J.A. (2015) - Análise histórica das ressacas do mar no litoral de Fortaleza (Ceará, Brasil): origem, características e impactos. In: Davis Pereira de Paula & J. Alveirinho Dias (orgs.), *Ressacas do Mar / Temporais e Gestão Costeira*, Editora Premium, Fortaleza, CE, Brasil. ISBN: 978-85-7924-440-7, p.173-201.
- Parente, C. E. (1999) - *Uma Nova Técnica Espectral para Análise Direcional de Ondas*. Tese D.Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- Parente, C.E., Nogueira, I.C.M., Martins, R.P. e Ribeiro, E.O. (2014) - *Climatologia de Ondas*. In: Martins, R.P. & Matheson, G.S.G, editores. *Caracterização Ambiental Regional da Bacia de Campos, Atlântico Sudoeste: Meteorologia e Oceanografia*. Rio de Janeiro: Elsevier, in press (Série Habitats).
- 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 / Journal of Integrated Coastal Zone Management*, DOI: 10.5894/rgci570. 2015
- Rangel-Buitragon, N.; Anfuso, G. (2011) - An application of Dolan and Davis (1992) classification to coastal storms in SW Spanish littoral. *Journal of Coastal Research*, SI 64:1891-1895.
- Santos, C.L.; Silva, M.A.M.; Salvador, M.V.S. (2004) - Dinâmica Sazonal e os Efeitos das Ressacas nas Praias de Niterói / RJ *Revista Brasileira de Geociências* 34(3):355-360.

- Santos, F.D.; Lopes, A.M.; Moniz, G.; Ramos, L.; Taborda, R. (2017). Grupo de Trabalho do Litoral: Gestão da Zona Costeira: O desafio da mudança. Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes e António Mota Lopes (Eds). Lisboa (ISBN: 978-989-99962-1-2)
- Souza, T.; Bulhões, E.; Amorim, I.B.S. (2015) - Ondas de Tempestade na Costa Norte Fluminense. *Quaternary and Environmental Geosciences*. 06(2),10-17.
- Shepard, F.P. (1950) - Beach cycles in Southern California. U.S. Army Corps of Engineers. *Beach Erosion Board Technical Memorandum*, 20.
- Short, A.D. (1999) - Handbook of beach and shoreface morphodynamics. London: John Wiley & Sons Ltd. 1999.
- Sterl, A. & Caires, S. (2005) - Climatology, variability and extrema of ocean waves: the web-based Knmi/Era-40 Waves Atlas. *International Journal of Climatology*. 25: 963–977. <http://www.interscience.wiley.com>. DOI: 10.1002/joc.1175
- Violante-Carvalho, N. (1998) - Investigação sobre a evolução do clima de ondas na Bacia de Campos e a correlação com as situações meteorológicas associadas. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE.
- You, Z.J & Lord, D. (2008) - Influence of the El-Niño-Southern Oscillation on NSW coastal storm severity. *Journal of Coastal Research*. 24(2A), 203-207.