

AVALIAÇÃO DA VULNERABILIDADE DE PRAIAS A IMPACTO POR RESSACAS DO MAR NA ORLA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO DO LEME À PRAIA DA MACUMBA

**Flavia Moraes Lins de Barros¹, Pedro Antônio Piacesi², Pedro Torres
Costa³; Hugo Diniz Brandão⁴; Eduardo M. da Costa⁵**

INTRODUÇÃO

As praias arenosas são ambientes de deposição de material sedimentar, que se apresenta de forma desagregada e permeável, sob efeito permanente de agentes geomorfológicos marinhos, continentais, atmosféricos e astronômicos, que, em diferentes medidas, são responsáveis pela sua variação em volume e forma. Do ponto de vista geomorfológico as praias arenosas são ambientes costeiros de acumulação constituídas por sedimentos inconsolidados geralmente formados por areia quartzosa que podem variar de areia muito fina até seixos, ou até matacões, apresentando frequentemente conchas e bioclastos (Bird, 2008). Ainda, pode-se afirmar que as praias arenosas possuem como característica fundamental o fato de serem áreas de dissipação da energia das ondas. Fortes mudanças em suas feições são provocadas por ondas de tempestades e ressacas do mar, eventos de alta energia caracterizados pela sobrelevação do nível do mar de origem astronômica e meteoceanográfica que, somados à ação das ondas, geram efeitos no litoral, podendo resultar em impactos, danos e prejuízos naturais e sociais (Lima, Lins-de-Barros e Cirano, 2021).

Diante disso, é correto considerar a zona costeira e, em especial, as praias arenosas, como ambientes naturalmente instáveis e intrinsecamente vulneráveis (Alexandrakis e Poulos, 2014; Lins-de-Barros, Paula e Sousa, 2020; Lins-de-Barros, 2017). De um lado, a zona costeira

¹ Dra. em Geografia, Docente do Programa de Pós Graduação em Geografia - IGEO / UFRJ, flaviamlb@igeo.ufrj.br

² Geógrafo, Estudante de mestrado do Programa de Pós Graduação em Geografia- IGEO / UFRJ, pedrospiacesi@gmail.com

³ Graduando do curso de geografia do Departamento de Geografia - IGEO / UFRJ, pedrot85@gmail.com

⁴ Graduando do curso de geografia do Departamento de Geografia - IGEO / UFRJ, hugodbo@gmail.com

⁵ Graduando do curso de ciência da computação - IC / UFRJ, eduardomc@dcc.ufrj.br

e as praias apresentam exposição aos fenômenos oceanográficos e meteorológicos que geram ressacas e podem causar erosão costeira e inundações litorâneas. De outro lado, as características geomorfológicas das praias arenosas conferem diferentes graus de resistência e resiliência aos eventos extremos de ressacas do mar e à subida do nível do mar.

O conhecimento da distribuição e incidência das ressacas sobre a linha de costa e da vulnerabilidade das praias a estes eventos, bem como dos fenômenos que a potencializam, como as condições das ondas, marés, sistemas atmosféricos e o processo de ocupação, é relevante para os gestores públicos na elaboração de planos que visam à segurança dos banhistas, na segurança de construções próximas da linha de costa e nas ações de licenciamento para a instalação de obras no litoral, ou seja, trata-se de um conhecimento relevante para o ordenamento territorial (Lima, 2022).

Na cidade do Rio de Janeiro, os eventos de ressaca do mar são registrados desde o início do século XX e, com a forte urbanização da orla da cidade, tal fenômeno vem se tornando cada vez mais motivo de preocupação por parte da população, dos gestores e dos pesquisadores. Nesse sentido, Muehe *et al.* (2018), em uma classificação qualitativa baseada na observação de eventos erosivos e de recuperação, evidencia que grande parte do segmento praiado da cidade do Rio de Janeiro possui tendência à erosão costeira.

O presente trabalho tem como objetivo apresentar uma avaliação da vulnerabilidade das praias oceânicas da cidade do Rio de Janeiro, entre o Leme e o Pontal, ao impacto por ressacas do mar, considerando variáveis oceanográficas, geomorfológicas e a presença da urbanização na orla.

METODOLOGIA

Para o presente trabalho, é proposta uma avaliação da Vulnerabilidade Física Costeira a impactos por ressacas do mar para as praias entre o Leme e a praia da Macumba na orla da cidade do Rio de Janeiro. Foram avaliados parâmetros geomorfológicos e oceanográficos separados em análise da exposição das praias às ressacas do mar e análise da resistência da praia aos efeitos de ressacas. Assume-se o conceito de vulnerabilidade utilizado por Lins-de-Barros, Paula e Sousa (2020), no qual o termo está relacionado à exposição de uma comunidade ou de um sistema ambiental ao perigo, seu grau de suscetibilidade e resiliência, e os impactos resultantes.

A avaliação das componentes de vulnerabilidade “Exposição” e “Resistência” da orla foi realizada adaptando a metodologia proposta por Lins-de-Barros (2005; 2010). Entende-se que a exposição dita a forma na qual um trecho de segmento costeiro está suscetível à incidência

de ondas. Foram então consideradas as seguintes variáveis: a) Exposição a ondas; b) Altura de ondas necessária para ocorrência de colisão (*collision*); c) Gradiente da face de praia. A resistência, por sua vez, representa a capacidade de resposta do trecho às ondas de ressaca, a partir das seguintes variáveis: d) Granulometria; e) Elevação do pós-praia; f) Feições do pós-praia.

Foram também caracterizados eventos de ressaca por meio modelagem de refração de ondas através do programa SisBaHiA (COPPE/UFRJ) para observar o comportamento das ondas nestes eventos, utilizando-se como dados para entrada do modelo dois eventos de ressacas ocorridos na cidade do Rio de Janeiro com efeitos distintos no litoral. Os dados foram coletados na base de dados do Laboratório de Geografia Marinha, tendo como fontes o Acervo O Globo, a boia RJ4 do projeto SimCosta e os dados maregráficos da Marinha do Brasil.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As praias da cidade do Rio de Janeiro apresentam-se, de modo geral, muito expostas às fortes ondulações do quadrante sul, embora a direção de ondas e algumas ilhas e costões tornem algumas praias mais ou menos expostas em determinadas condições (figuras 1 e 2).

Claramente é possível observar que a mudança na direção das ondas altera de maneira significativa os locais de maior altura de onda junto à costa.

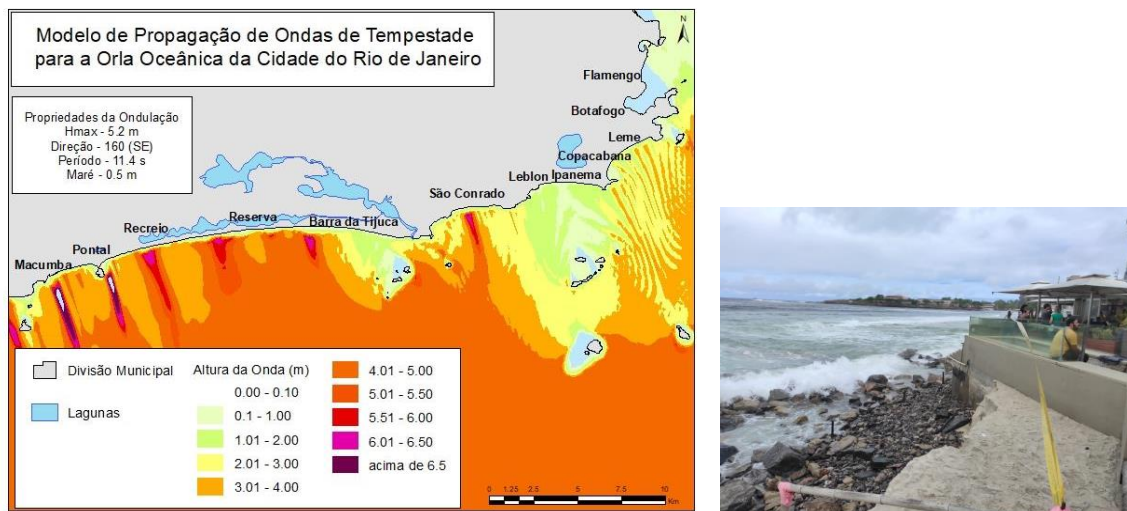


Figura 1 - Modelo de propagação de ondas de tempestade pelo programa SisBaHiA, reproduzindo evento extremo do ano de 1984, um dos eventos de sudeste com maior altura de ondas registrado nas últimas 6 décadas segundo dados do acervo do Laboratório de Geografia Marinha da UFRJ, baseado em dados de reanálise (NOAA). Na foto um quiosque na Praia de Copacabana durante a ressaca de 07/09/2023, quando as condições de mar ficaram semelhantes às do modelo. Fonte: Acervo Pessoal.

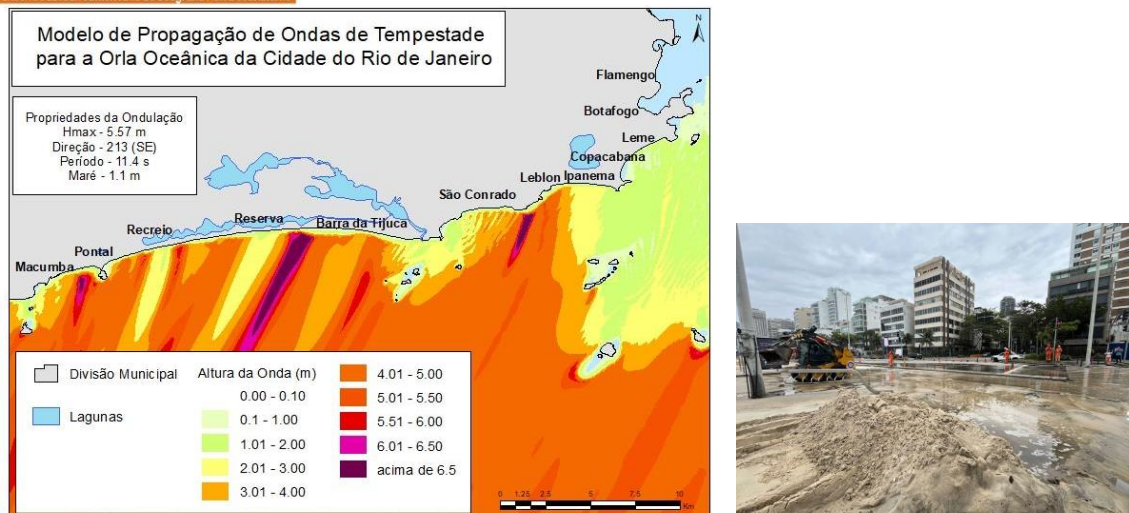


Figura 2 - Modelo de propagação de ondas de tempestade pelo programa SisBaHiA, reproduzindo evento extremo de agosto de 2024. Na foto, a praia do Leblon nesta data indicando transposição de ondas até a avenida litorânea, à retaguarda da praia, levando muita areia para as pistas. Fonte: Acervo Pessoal.

É importante salientar que, apesar do forte impacto nestes eventos de ressaca, as praias apresentam boa resiliência, com recuperação total de seu estoque sedimentar. Interessante observar que apenas a propagação de ondas, no entanto, não explica, necessariamente, a intensidade de efeitos em cada praia. Eventos com condições de mar semelhantes podem ter efeitos distintos em função das condições morfológicas em que a praia se encontra, como declividade, largura e volume da praia. Assim, a análise das outras variáveis de exposição foram capazes de detalhar melhor a caracterização morfológica das praias, apontando para praias mais ou menos íngremes e para o maior ou menor alcance das ondas (*run up*) em cada praia a partir da análise da fórmula de Sallenger (2000).

Em relação à resistência, nota-se diferenças significativas em relação à altitude do pós-praia, que varia de 3 a 4 metros em trechos de Copacabana, Ipanema, Leblon e praia da Macumba e até mais de 6 m nas praias da Barra da Tijuca e Reserva. Tal característica representa uma diferença importante no papel desta barreira natural, representada pela presença de dunas frontais. Outro aspecto fundamental para compreensão dos efeitos das ressacas é a presença ou ausência de ocupação urbana no limite imediato ao final da praia.



Figura 3 - As fotos da esquerda e do meio são da praia da Barra da Tijuca e mostram forte redução da largura da praia, com ameaça à estabilidade do posto de salvamento. Ainda que com a vegetação muito degradada, a presença de dunas frontais ajudou a impedir maiores impactos de ressacas. No Leblon, por outro lado, nota-se total ausência de dunas frontais ou vegetação.

O resultado da análise final de vulnerabilidade costeira indicou trechos de alta vulnerabilidade nas praias da Macumba, Leblon e Arpoador. Apenas pequeno trecho no leste da Barra da Tijuca foi considerado de baixa vulnerabilidade, o que pode se alterar quando incorpora-se na avaliação a densidade populacional, como apresentado por Carvalho e Guerra (2024), que encontraram elevada vulnerabilidade neste mesmo trecho da Barra da Tijuca, em função da elevada ocupação urbana. Além de maior exposição da população, recentes alterações na ocupação da orla nas praias da Barra da Tijuca e da Macumba têm gerado alterações das barreiras naturais, com a destruição das dunas frontais e vegetação de restinga, diminuindo a altitude do pós praia e alterando a declividade da praia. Todos os outros trechos do litoral apresentam vulnerabilidade média.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A avaliação da vulnerabilidade costeira das praias foi capaz de indicar áreas mais vulneráveis fisicamente na cidade do Rio de Janeiro quanto à sua exposição e resistência a eventos de ressaca do mar. Tais condições podem ser consideradas como características intrínsecas das praias e apontam para os locais de maior atenção em caso de alerta de ressacas. Os resultados colaboram para apontar áreas críticas que necessitam de atenção por parte dos gestores e da sociedade, podendo tornarem-se áreas de impactos e prejuízos em caso de novas ressacas e, principalmente, em caso de destruição das barreiras naturais nos trechos que ainda se apresentam menos vulneráveis. A presença de dunas frontais vegetadas e pós-praia elevado são aspectos muito relevantes na diminuição da vulnerabilidade.

A pesquisa também aponta a necessidade de avançar nos estudos sobre as condições geomorfológicas precedentes aos eventos de ressaca, tais como estoque de sedimentos e declividade da antepraia que influenciam na dissipação da energia de ondas e no alcance das

ondas em direção ao pós-praia. É preciso também considerar a importância da duração de um evento de ressaca, aspecto já ressaltado por Dolan e Davis (1992) para determinação de um índice de intensidade da ressaca (Storm Power Index - SPI), analisado preliminarmente por Carvalho *et al.* (2021) para o Rio de Janeiro. Outro aspecto importante a ser considerado em trabalhos futuros é a importância da ocorrência sequencial de mais de uma ressaca no aumento da vulnerabilidade da praia. Além disso, deve-se avançar no estudo da resiliência das praias para compreender sua capacidade de recuperação após eventos extremos. Acredita-se que o avanço desta pesquisa possa contribuir para a formulação de um índice de vulnerabilidade das praias à impactos por ressacas e colaborar com a gestão destas praias fornecendo orientação de medidas que visem diminuir a vulnerabilidade das praias assim como o desenvolvimento de um Sistema de Alerta a Impacto por Ressacas (SAIR) que auxilie na criação de protocolos para a cidade do Rio de Janeiro.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos à FAPERJ pela concessão de recursos financeiros através do edital APQ 1 (E-26 211.555/ 2021), à CAPES pela concessão de bolsa de mestrado, ao PIBIC/UFRJ entre 2020 e 2022 e ao PIBIC/CNPq, entre 2022 e 2024, pela concessão de bolsas de iniciação científica.

REFERÊNCIAS

ALEXANDRAKIS, G.; POULOS, S. E. An holistic approach to beach erosion vulnerability assessment. **Scientific Reports**, v. 4, n. 6078, 2014. Disponível em: <https://www.nature.com/articles/srep06078>. Acesso em: 10 jun. 2022.

BIRD, E. **Coastal Geomorphology: An Introduction**. Chichester: John Wiley & Sons, Ltd., 2008.

CARVALHO, B. C. *et al.* Morphological Variability of Sandy Beaches due to Variable Oceanographic Conditions: a study case of oceanic beaches of Rio de Janeiro city (Brazil). **Journal of Coastal Conservation**, v. 25, 2021. <<https://doi.org/10.1007/s11852-021-00821-8>>.

CARVALHO, B. C.; GUERRA, J. V. Estudo das Mudanças na Linha de Costa e Vulnerabilidade Costeira Associada no Litoral Sul do Rio de Janeiro (SE Brasil). **Revista**

Cartografica, Cidade do México, n. 107, p. 11-34, Dez. 2023. Disponível em: <http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2663-39812023000200011&lng=es&nrm=iso>. Acesso em 24 ago. 2024.

CARVALHO, B. C. **Variabilidade da resposta da linha de costa aos condicionantes hidrodinâmicos e às oscilações do nível do mar no litoral sul fluminense**. 2019. 192 f. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

DOLAN, R.; DAVIS, R. E. An Intensity Scale for Atlantic Coast Northeast Storms. **Journal of Coastal Research**, 8, p. 840-853, Jan. 1992.

GORNITZ, V. Global coastal hazards from future sea level rise. **Global and Planetary Change**, v. 3, n. 4, p. 379-398, 1991.

LIMA, R. F. **Ressacas do mar e seus efeitos no litoral do estado do Rio de Janeiro**. 2022. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Rio de Janeiro.

LIMA, R. F.; LINS-DE-BARROS, F. M.; CIRANO, M. Análise das Condições Meteoceanográficas em Eventos de Ressaca do Mar no Litoral do Estado do Rio de Janeiro, Brasil, no Período de 1948 a 2008. **Anuário do Instituto de Geociências**, Rio de Janeiro, v. 44: 41726, 2021. <https://doi.org/10.11137/1982-3908_2021_44_41726>.

LINHARES, P. S.; LINS-DE-BARROS, F. M. A alimentação artificial da Praia de Copacabana (RJ) após 51 anos: Transformações geomorfológicas e dinâmica atual. Terra Brasilis (Nova Série): **Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica**, s/l, v. 16, p. 1-26, 2021. 2316-7793. DOI: <https://doi.org/10.4000/terrabilis.9980>. Disponível em: <https://journals.openedition.org/terrabilis/9980>. Acesso em: 16 nov. 2022.

LINS-DE-BARROS, F. M. **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, 2010.

LINS-DE-BARROS, F. M. Integrated coastal vulnerability assessment: A methodology for coastal cities management integrating socioeconomic, physical and environmental dimensions

- Case study of Região dos Lagos, Rio de Janeiro, Brazil. **Ocean & Coastal Management**, v. 149, p. 1-11, 2017. <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.09.007>>.

LINS-DE-BARROS, F. M., MUEHE, D. The Smartline Approach to Coastal Vulnerability and Social Risk Assessment Applied to a Segment of the East Coast of Rio de Janeiro State, Brazil. **Journal of Coastal Conservation**, n. 17, p 211–223, Jun. 2013. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11852-011-0175-y>>. Acesso em 15 de Março de 2021.

LINS-DE-BARROS, F. M.; KLUMB-OLIVEIRA, L.; LIMA, R. F. 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). **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 18, n. 2, p. 85-102, 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/328845363_Avaliacao_historica_da_ocorrendia_d_e_ressacas_marinhas_e_danos_associados_entre_os_anos_de_1979_e_2013_no_litoral_do_estado_do_Rio_de_Janeiro_Brasil>.

LINS-DE-BARROS, F. M.; PAULA, D. P.; SOUSA, P. H. G. O. Vulnerabilidade costeira: conceitos, abordagens e aplicações. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 631-654. ISBN 978-65-992571-0-0

LINS DE BARROS, F. M. **Risco e Vulnerabilidade à Erosão Costeira no Município de Maricá, Rio de Janeiro**. Orientador: Dieter Carl Ernst Heino Muehe. Rio de Janeiro: UFRJ / PPGG, 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia). Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2005.

MUEHE, D. *et al.* Rio de Janeiro. In: MUEHE, D. (org.). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Brasília: MMA, 2018.

PENA, J. N. **Dinâmica Geomorfológica das Praias Oceânicas Urbanas da Cidade do Rio de Janeiro e Impactos Associados a Ressacas do Mar: Uma Contribuição à Gestão Costeira**. 2017. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Programa de Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2017.

SALLENGER, A. H., Jr. Storm Impact Scale for Barrier Islands. **Journal of Coastal Research**, West Palm Beach (Florida), v. 16, n. 3, p. 890-895, 2000.