

COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA NO LITORAL SUL DE SÃO JOÃO DA BARRA (RJ): ANÁLISES A PARTIR DA FERRAMENTA DIGITAL SHORELINE ANALYSIS SYSTEM (DSAS)

Mariana Silva Figueiredo ¹
Pablo Sergio Marques Simões ²
Thais Baptista da Rocha ³
Guilherme Borges Fernandez ⁴

INTRODUÇÃO

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC) relativo aos aspectos físicos, químicos e biológicos que envolvem a complexidade do sistema climático e suas principais consequências, a elevação do nível do mar bem como episódios de alagamento, associados ao aumento da frequência e intensidade de tempestades excepcionais, representam vulnerabilidade e, portanto, preocupação para as áreas costeiras (IPCC, 2021).

A Geomorfologia, enquanto campo científico que se dedica ao entendimento dos processos formadores do relevo e categorização das formas resultantes, nos mostra que estes ambientes podem apresentar configurações distintas a depender das escalas espacial e temporal de análise. No caso das áreas costeiras, tais configurações ocorrem em virtude de diversos fatores, como comportamento tectônico, flutuações do nível do mar e disponibilidade sedimentar, que se somam à dinâmica das correntes aerodinâmicas e hidrodinâmicas – responsáveis pela organização e distribuição dos sedimentos disponíveis (Carter e Woodroffe, 1994).

Assim, áreas costeiras podem ser constituídas tanto pelo predomínio de feições erosivas – como falésias ativas ou pontões rochosos – bem como pelo predomínio de feições sedimentares – como praias e dunas. As diferentes feições, uma vez formadas, estão continuamente sujeitas a serem transformadas. Tal fato significa que, embora seja

¹ Doutora pelo Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF, marianasf@id.uff.br

² Graduando pelo Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF, pablosimoes@id.uff.br

³ Professora do Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF, thaisbaptista@id.uff.br

⁴ Professor do Curso de Geografia da Universidade Federal Fluminense - UFF, guilhermefernandez@id.uff.br

essencial determinar as morfologias existentes e sua morfogênese, é importante também, principalmente no contexto ambiental atual, manter um olhar voltado ao comportamento morfodinâmico de feições de interesse para contribuir com as questões ambientais vigentes.

Isto se justifica, inclusive, pelo fato de as áreas costeiras historicamente apresentarem setores de grande concentração populacional e serem alvo de intervenções antrópicas significativas – como a construção de enrocamentos, molhes, pontes, portos, etc. – tornando-as mais vulneráveis no contexto das mudanças climáticas e suas consequências (Scandurra et al., 2018).

Considerando um prisma praial, processos eólicos, fluviais e marinhos são responsáveis pela entrada e saída de sedimentos nesse sistema, que pode se apresentar em condições de acreção, de estabilidade ou de erosão (Souza et al., 2005). Identificar em qual desses contextos o litoral se enquadra contribui com a gestão da zona costeira, uma vez que pode orientar os usos e atividades mais adequados ou indicar a necessidade de medidas de proteção.

Para tal atribuição, é frequente a realização de análises referentes ao comportamento da linha de costa (LC) uma vez que ela responde diretamente a quaisquer alterações que possam ocorrer no balanço sedimentar (Rocha, Magalhães e Fernandez, 2021). A interseção entre o mar e o continente representa uma definição comum da linha de costa, que pode ser determinada e avaliada de maneiras distintas, a depender dos materiais disponíveis, escala temporal de análise e o indicador escolhido para a LC (Boak e Turner, 2005).

Recentemente, Kannaujiya et al. (2024) fez uso do Digital Shoreline Analysis System (DSAS), utilizado em diversos trabalhos, que calcula taxas de mudança de posição da linha de costa ao longo do tempo a partir de imagens de satélite, oferecendo, então, uma abordagem automatizada e o cálculo de alguns índices que podem ser analisados (ver detalhes em Himmelstoss et al., 2021).

De fato, as Geotecnologias oferecem um valioso suporte a aquisição e análise de dados dentro de diversos segmentos da Geografia Física e para a Geomorfologia Costeira isso também é uma realidade. A disponibilidade de imagens orbitais somada à disponibilidade de ferramentas, como no caso do DSAS, se mostra como uma oportunidade para diversas análises, dentre elas a avaliação do comportamento da linha

de costa de maneira a se identificar quais trechos encontram-se em condições de acreção, estabilidade ou erosão.

Assim, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise do comportamento da linha de costa com base nos índices gerados pelo Digital Shoreline Analysis System (DSAS) em um trecho do litoral sul do município de São João da Barra, localizado no litoral norte do estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

De acordo com o relatório do Painel Intergovernamental para as Mudanças Climáticas (IPCC) relativo aos aspectos físicos, químicos e biológicos que envolvem a complexidade do sistema climático e suas principais consequências, a elevação do nível do mar bem como episódios de alagamento, associados ao aumento da frequência e intensidade de tempestades excepcionais, representam vulnerabilidade e, portanto, preocupação para as áreas costeiras (IPCC, 2021).

A Geomorfologia, enquanto campo científico que se dedica ao entendimento dos processos formadores do relevo e categorização das formas resultantes, nos mostra que estes ambientes podem apresentar configurações distintas a depender das escalas espacial e temporal de análise. No caso das áreas costeiras, tais configurações ocorrem em virtude de diversos fatores, como comportamento tectônico, flutuações do nível do mar e disponibilidade sedimentar, que se somam à dinâmica das correntes aerodinâmicas e hidrodinâmicas – responsáveis pela organização e distribuição dos sedimentos disponíveis (Carter e Woodroffe, 1994).

Assim, áreas costeiras podem ser constituídas tanto pelo predomínio de feições erosivas – como falésias ativas ou pontões rochosos – bem como pelo predomínio de feições sedimentares – como praias e dunas. As diferentes feições, uma vez formadas, estão continuamente sujeitas a serem transformadas. Tal fato significa que, embora seja essencial determinar as morfologias existentes e sua morfogênese, é importante também, principalmente no contexto ambiental atual, manter um olhar voltado ao comportamento morfodinâmico de feições de interesse para contribuir com as questões ambientais vigentes.

Isto se justifica, inclusive, pelo fato de as áreas costeiras historicamente apresentarem setores de grande concentração populacional e serem alvo de intervenções antrópicas significativas – como a construção de enrocamentos, molhes, pontes, portos, etc. – tornando-as mais vulneráveis no contexto das mudanças climáticas e suas consequências (Scandurra *et al.*, 2018).

Considerando um prisma praial, processos eólicos, fluviais e marinhos são responsáveis pela entrada e saída de sedimentos nesse sistema, que pode se apresentar em condições de acreção, de estabilidade ou de erosão (Souza et al., 2005). Identificar em qual desses contextos o litoral se enquadra contribui com a gestão da zona costeira, uma vez que pode orientar os usos e atividades mais adequados ou indicar a necessidade de medidas de proteção.

Para tal atribuição, é frequente a realização de análises referentes ao comportamento da linha de costa (LC) uma vez que ela responde diretamente a quaisquer alterações que possam ocorrer no balanço sedimentar (Rocha, Magalhães e Fernandez, 2021). A interseção entre o mar e o continente representa uma definição comum da linha de costa, que pode ser determinada e avaliada de maneiras distintas, a depender dos materiais disponíveis, escala temporal de análise e o indicador escolhido para a LC (Boak e Turner, 2005).

Recentemente, Kannaujiya et al. (2024) fez uso do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), utilizado em diversos trabalhos, que calcula taxas de mudança de posição da linha de costa ao longo do tempo a partir de imagens de satélite, oferecendo, então, uma abordagem automatizada e o cálculo de alguns índices que podem ser analisados (ver detalhes em Himmelstoss *et al.*, 2021).

De fato, as Geotecnologias oferecem um valioso suporte a aquisição e análise de dados dentro de diversos segmentos da Geografia Física e para a Geomorfologia Costeira isso também é uma realidade. A disponibilidade de imagens orbitais somada à disponibilidade de ferramentas, como no caso do DSAS, se mostra como uma oportunidade para diversas análises, dentre elas a avaliação do comportamento da linha de costa de maneira a se identificar quais trechos encontram-se em condições de acreção, estabilidade ou erosão.

Assim, o objetivo do presente trabalho é realizar uma análise do comportamento da linha de costa com base nos índices gerados pelo *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) em um trecho do litoral sul do município de São João da Barra, localizado no litoral norte do estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

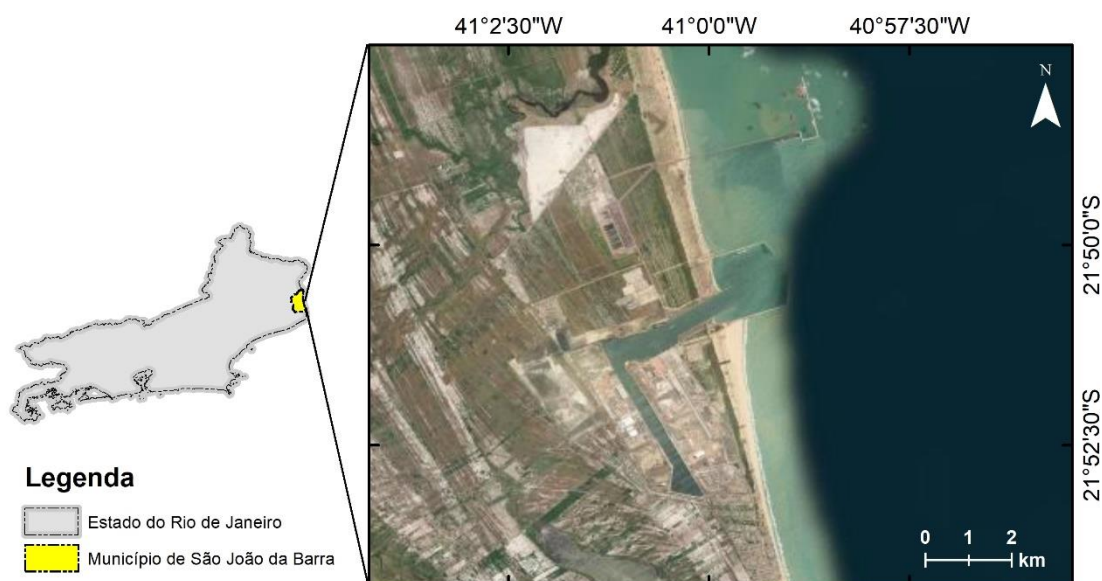


Figura 1. Localização da área de estudo: litoral sul do município de São João da Barra. Fonte dos dados: Limites territoriais – IBGE; Imagem – Google Service Layer Credits.

METODOLOGIA (OU MATERIAIS E MÉTODOS)

Para avaliar o comportamento da linha de costa, foram utilizadas, com vistas à abranger o maior recorte temporal possível, imagens do acervo LANDSAT entre os anos de 1984 a 2024, totalizando 39 imagens, conforme lista detalhada na Tabela 1. Essas imagens foram selecionadas através da plataforma Earth Engine do Google, considerando como critérios: (i) busca por cenas sem a presença de nuvens, de forma a possibilitar a visualização integral do litoral; (iii) busca por cenas adquiridas durante condições de maré de quadratura, de forma a excluir das análises possíveis interferências das condições de maré de sizígia na determinação da posição da linha de costa; (iv) busca por selecionar pelo menos uma imagem por ano ao longo do recorte temporal pretendido.

Tabela 1. Lista das imagens utilizadas para a avaliação do comportamento da LC.

Satélite/Sensores	Data de aquisição	Satélite/Sensores	Data de aquisição
Landsat 5 (TM)	07/05/1984	Landsat 5 (TM)	27/03/2004
Landsat 5 (TM)	03/02/1985	Landsat 5 (TM)	09/01/2005
Landsat 5 (TM)	06/02/1986	Landsat 5 (TM)	05/06/2006
Landsat 5 (TM)	08/01/1987	Landsat 5 (TM)	07/05/2007

Landsat 5 (TM)	27/01/1988	Landsat 5 (TM)	03/02/2008
Landsat 5 (TM)	29/01/1989	Landsat 5 (TM)	05/02/2009
Landsat 5 (TM)	17/02/1990	Landsat 5 (TM)	23/01/2010
Landsat 5 (TM)	09/04/1991	Landsat 5 (TM)	26/01/2011
Landsat 5 (TM)	17/08/1992	Landsat 8 (OLI)	19/02/2014
Landsat 5 (TM)	09/02/1993	Landsat 8 (OLI)	26/03/2015
Landsat 5 (TM)	04/06/1994	Landsat 8 (OLI)	15/05/2016
Landsat 5 (TM)	07/06/1995	Landsat 8 (OLI)	19/06/2017
Landsat 5 (TM)	17/01/1996	Landsat 8 (OLI)	21/05/2018
Landsat 5 (TM)	19/01/1997	Landsat 8 (OLI)	24/05/2019
Landsat 5 (TM)	02/08/1998	Landsat 8 (OLI)	26/05/2020
Landsat 5 (TM)	09/01/1999	Landsat 8 (OLI)	01/08/2021
Landsat 5 (TM)	13/02/2000	Landsat 8 (OLI)	24/01/2022
Landsat 5 (TM)	30/01/2001	Landsat 8 (OLI)	16/03/2023
Landsat 5 (TM)	06/03/2002	Landsat 8 (OLI)	05/05/2024
Landsat 5 (TM)	19/10/2003		

Após o selecionamento das imagens, foi utilizado o *Normalized Difference Water Index* (NDWI) para identificar o contato seco-molhado para cada uma delas, de forma a gerar um arquivo *shapefile* representando a linha de costa para cada ano a ser analisado. Cada arquivo *shapefile* foi formatado de acordo com os critérios necessários para a utilização do plug-in DSAS (ver detalhes em Himmelstoss et al., 2021). Posteriormente, as 39 linhas de costa foram unidas em um arquivo único para inserção na ferramenta DSAS, que também demanda uma *baseline* (linha de referência para as mensurações a serem realizadas).

O *Digital Shoreline Analysis System*, a partir dos dados de input, gera transectos de acordo com os critérios escolhidos pelo usuário (neste trabalho foram determinados 1000 m de extensão e 100 m de espaçamento) e identifica pontos de interseção entre cada linha de costa e cada transecto. Assim, o DSAS calcula alguns índices, como o *Shoreline Change Envelope* (SCE), *Net Shoreline Movement* (NSM), *End Point Rate* (EPR), *Linear Regression Rate* (LRR).

O *End Point Rate* (EPR) é calculado dividindo a distância do movimento da costa pelo tempo de análise, resultando, assim, em um valor em m/ano. Dessa forma, o EPR foi selecionado para discussão no presente trabalho. Os resultados foram classificados de acordo com os limiares estabelecidos por Esteves e Finkl (1998) e Luijendick et al. (2018), conforme detalhado na Tabela 2. Além do EPR, foi

selecionado o *Net Shoreline Movement* (NSM) para as análises do presente trabalho. Este índice se refere a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente em cada um dos transectos gerados.

Tabela 2. Critérios de classificação do comportamento da linha de costa.

<i>End Point Rate</i> (EPR)	Comportamento da linha de costa
< - 1,0	Erosão severa
- 1,0 a - 0,5	Erosão
- 0,5 a 0,5	Estabilidade
> 0,5	Acreção

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O litoral sul do município de São João da Barra foi o local escolhido para a instalação do Porto do Açú, um empreendimento portuário 100% privado, que abriga o maior parque termelétrico a gás da América Latina, com área total de 130 km² e que está em operação desde 2014. O referido empreendimento, em virtude da sua magnitude, foi, como esperado, responsável por uma transformação no uso e cobertura da terra, conforme ilustrado na Figura 2.

A instalação de um porto também traz como expectativa uma interferência na dinâmica sedimentar do litoral no qual se encontra, e essa foi uma das motivações para realização das análises do presente trabalho. Conforme mencionado anteriormente, foram selecionadas imagens da série LANDSAT com o intuito de obter dados com o maior recorte temporal possível, no caso, desde 1984.

Os resultados obtidos revelam claramente que a sul dos molhes do Porto do Açú há um acúmulo de sedimentos e a norte há um déficit, o que resultou em uma movimentação da linha de costa em direção ao mar e em um recuo da linha de costa, respectivamente (Figura 3, observar a linha de costa de 1984 em linha tracejada na cor preta e a linha de costa de 2024 em linha sólida na cor preta).

Em relação aos dados do *Net Shoreline Movement* (NSM), é possível observar que os maiores valores de movimentação da linha de costa se concentram nas proximidades dos molhes (Figura 3, à esquerda, observar a classificação dos transectos). A sul do molhe sul, o acúmulo de sedimentos chegou a proporcionar um deslocamento da linha de costa de aproximadamente 435 metros. Já a norte do molhe norte, o déficit

sedimentar chegou a resultar em um recuo da linha de costa de aproximadamente 112 metros em um dos transectos.

Em relação aos dados do *End Point Rate* (EPR), que baseiam a classificação do comportamento da linha de costa, foi identificado que aproximadamente 23% dos transectos se enquadram na classificação de Erosão Severa, aproximadamente 5% na classificação de Erosão, aproximadamente 10% na classificação de Estabilidade e aproximadamente 61% na classificação de Acreção (Figura 3, à direita, observar a classificação dos transectos). Quanto aos valores encontrados, destaca-se que a taxa máxima de recuo da linha de costa foi de 2,8m/ano, em um dos transectos a norte do molhe norte que se encontra em Erosão Severa, e a taxa máxima de acreção da linha de costa foi de 10,9m/ano, em um dos transectos a sul do molhe sul.

Os resultados obtidos vão encontro do que era esperado. A realização de intervenções antrópicas sobre a paisagem, ainda mais no caso em questão, pode ocasionar alterações no comportamento morfodinâmico de feições sedimentares como os sistemas praias, uma vez que as estruturas podem interromper o fluxo prévio das correntes litorâneas. Ainda assim, a magnitude dos valores revelados pelo NSM e pelo EPR merece destaque.

A sul do molhe, cada um dos 25 transectos que estão em Acreção avançaram de 79,51 a 435,43 metros no período analisado, valores que representam taxas de avanço entre 1,99 a 10,89 m/ano. Já a norte do molhe, cada um dos 14 transectos que estão em Erosão Severa recuaram de 55,63 a 112,13 metros no período analisado, valores que representam taxas de recuo entre 1,39 a 2,8 m/ano.

Luijendijk et al. (2018), ao dedicarem-se a uma análise do estado das praias no mundo, apontam a ocorrência de casos de erosão e de acreção derivadas de intervenções humanas. Os autores mencionam impactos da mineração, da alimentação artificial de praias, e das construção de estruturas costeiras, incluindo as que são capazes de interceptar a deriva litorânea.

São também apontados no referido trabalho hotspots de erosão, cujas taxas médias de recuo da linha de costa mencionadas variam entre 5,3 a 16 m/ano, e de acreção, cujas taxas de avanço da linha de costa mencionadas variam entre 6,9 a 13,1 m/ano. Se compararmos com os valores obtidos no presente trabalho, a taxas de recuo mensuradas no segmento norte da área de estudo não chegam a ser tão expressivas quanto às apontadas por Luijendijk et al. (2018).



Figura 2. Área ocupada pelo Porto do Açú, empreendimento de 130 km²: (A) anterior à sua construção, em setembro de 2003 e; (B) posterior à construção, em março de 2023.

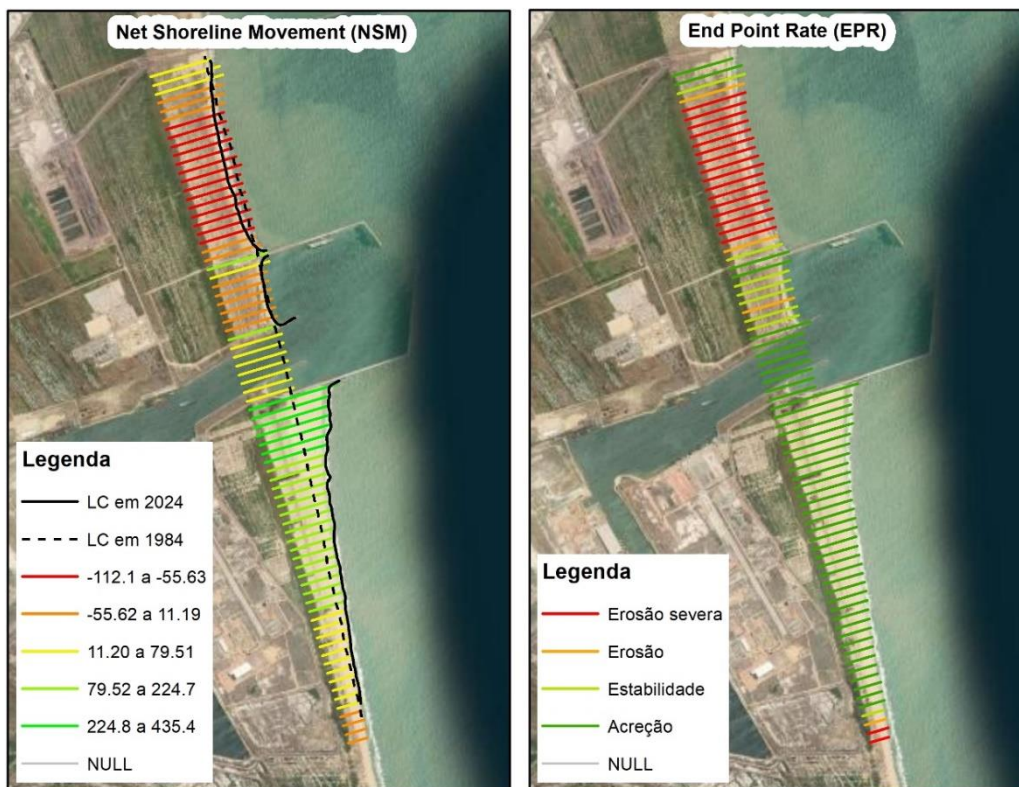


Figura 3. À esquerda os resultados do NSM e à direita o EPR.

Entretanto, as taxas de avanço mensuradas no segmento sul da área de estudo se apresentam próximas das apontadas por esses autores, tais como Oranjemund, na Namíbia (8,8 m/ano), Porto Said, no Egito (13 m/ano) e Porto Karachi, no Paquistão (13,1 m/ano), todos casos de comportamento induzido por intervenções antrópicas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho demonstra como a realização de intervenções antrópicas, como é o caso dos molhes pertencentes ao Porto do Açú, pode trazer impactos sobre o prisma praiado adjacente. Desta forma, reforça a necessidade da compreensão a respeito dos processos morfodinâmicos existentes para identificação de possíveis impactos oriundos da instalação de novos empreendimentos, em especial em áreas costeiras vulneráveis.

Palavras-chave: Praias arenosas, Linha de costa; *Digital Shoreline Analysis System*.

AGRADECIMENTOS

Agradecimentos ao CNPq pela de Pós-Doutorado Junior (Processo Nº 152310/2022-3).

REFERÊNCIAS

- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline definition and detection: A review. **Journal of Coastal Research**, v. 21, n. 4, p. 688–703, 2005.
- CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. Coastal evolution: an introduction. *In*: **Coastal Evolution**. [s.l.: s.n.], p. 1–32.
- HIMMELSTOSS, E. A. *et al.* Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.1 User Guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2021–1091. **U.S. Geological Survey**, n. 2021–1091, p. 104, 2021.
- IPCC. Summary for Policymakers. *In*: MASSON-DELMOTTE, V. *et al.* (Eds.). . **Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. [s.l.] Cambridge University Press, 2021. p. 40.

LUIJENDIJK, A. *et al.* The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, v. 8, n. 1, p. 1–11, 2018.

ROCHA, T. B. DA; MAGALHÃES, B. L.; FERNANDEZ, G. B. ESCALAS
INTERDECADAL E INTERANUAL NA AVALIAÇÃO DA DINÂMICA DA LINHA
DE COSTA : Um estudo de caso nas praias de Rio das Ostras (RJ). **Revista da**
ANPEGE, v. 17, n. 33, p. 146–161, 2021.

SCANDURRA, G. *et al.* On the vulnerability of Small Island Developing States: A
dynamic analysis. v. 84, p. 382–392, 2018.