ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>

Estudo do comportamento da linha de costa na praia do Icaraí (Caucaia, Ceará), a partir dos métodos *digital shoreline analysis system* e do polígono de mudança

Tayane Fiorelli Moreira¹, Miguel da Guia Albuquerque², Jean M. de Almeida Espinoza³, Davis Pereira de Paula⁴, Deivid C. Leal Alves⁵, Eduardo Lacerda Barros⁶, Antônio Raylton Rodrigues Bendô¹, Thais Ferreira da Conceição¹

¹Universidade Federal do Rio Grande, FURG, Av. Itália Km 08, Campus Carreiros, Rio Grande, RS, CEP 96203-900. taymoreira2015@gmail.com; rayltonbendo@gmail.com; prof.thaisferreirac@gmail.com. ²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, IFRS, Campus Rio Grande, Rua Eng. Alfredo Huch, 475, Rio Grande, RS, CEP 96201-460. migueldaguia@gmail.com (autor correspondente). ³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, IFSC, Campus Caçador, Av. Fahdo Thomé, 3000, Caçador, SC, CEP 89500-000. espinoza.almeida@gmail.com. ⁴Universidade Estadual do Ceará, UECE, Campus Itaperi, Av. Silas Munguba, 1700, Fortaleza, CE, CEP 60714-903. davispp@gmail.com. ⁵Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Av. Bento Gonçalves, 9500, Agronomia, Porto Alegre, RS, CEP 91501-970. dclealalves@gmail.com. ⁶Instituto de Ciências do Mar, LABOMAR, Universidade Federal do Ceará, UFC, Av. da Abolição, 3201, Meireles, Fortaleza, CE, CEP 60105-081. eduardo.lgeo@gmail.com.

Artigo recebido em 06/05/2020 e aceito em 03/12/2020

RESUMO

A linha de costa é uma feição geomorfológica em que as mudanças topográficas podem acontecer ao longo de horas ou dias devido a ocorrências de eventos de alta energia. Essa feição é de importância estratégica para o planejamento ambiental das cidades costeiras, sendo necessário o seu monitoramento contínuo. Este estudo propõe analisar a variação da linha de costa na praia do Icaraí, litoral de Caucaia – CE, a partir da aplicação dos métodos *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e Polígono de Mudança. O recorte temporal de análise está compreendido entre os anos de 2004 e 2018, pois o agravamento da erosão se deu particularmente nos anos 2000. Os resultados demonstram que os deslocamentos médios da linha de costa, tanto para o DSAS (-3,72 m) quanto para o Polígono de Mudança (-3,41 m), se mostraram muito próximos. No entanto, quando observados parâmetros estatísticos mediana, desvio padrão e deslocamento mínimo e máximo foi observada uma superestimação das taxas obtidas pelo DSAS. A partir de uma análise de regressão linear foi observado que o Polígono de Mudança ($R^2 = 0,9471$) se mostrou mais adequado, pois considera todo o segmento costeiro nos cálculos de deslocamento. Tendo em vista os adjetivos e limitações dos métodos empregados, o Polígono de Mudança apresentou um melhor desempenho tanto em termos estatísticos quanto aos erros inerentes. Por fim, estudos de abordagem comparativa entre métodos são de grande importância para os gestores, visto que muitos municípios costeiros do Ceará e do Brasil têm apresentado problemas sérios ligados a erosão costeira.

Palavras-chave: erosão, DSAS, polígono de mudança, sensoriamento remoto.

Study of the shoreline behavior at Icaraí beach (Caucaia, Ceará), using digital shoreline analysis system and the change polygon methods

ABSTRACT

The shoreline is a geomorphological feature with variable topographic and subject to changes vary very quickly in the time-space scale, and may present major changes in a few hours, as in the occurrence of storm surges. This feature is of strategic importance for the coastal cities environmental planning, being necessary its continuous monitoring. This study aims to analyze the shoreline variation at Icaraí beach, Caucaia – CE coast, using two different methods: the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) and the Change Polygon method. The analysis time frame is comprised between the years 2004 and 2018, since erosion worsened occurred particularly in the 2000s. The results showed that the average displacements from the shoreline, both for the DSAS (-3.72 m) and to Change Polygon (-3.41 m), were very close. However, when the other statistical parameters were observed (median, standard deviation, minimum and maximum displacement), an overestimation rates obtained by DSAS was observed. A linear regression analysis showed out that the Change Polygon method ($R^2 = 0.9471$), proved to be more suitable for the Icaraí beach, as it considers the entire coastal segment in the calculation of shoreline displacement. Although both methods approaches have their adjectives and limitations, the Change Polygon showed a better performance, both statistical terms and in relation to inherent errors. Finally, studies that take into account the comparative approach between methods are of great importance for managers, given that many coastal municipalities in Ceará and Brazil have presented serious problems related to coastal erosion.

Keywords: erosion, DSAS, change polygon, remote sensing.

Introdução

As praias arenosas ocupam mais de um terço da costa global (Luijendijk et al., 2018) e possuem um alto valor socioeconômico relacionado a serviços de recreação, turismo e ecossistema (Barbier et al., 2011; Voudoukas et al., 2020). Nos últimos 40 anos tem havido um aumento substancial da população costeira (Neumann et al., 2015; Dritsas, 2020), culminando numa forma de desenvolvimento que, na maioria das vezes, ocorre de maneira desordenada e não planejada (Klein e Short, 2016). A maioria das projeções indica que as tendências atuais de migração costeira, urbanização e crescimento populacional tendem a continuar (Jones e O'Neill, 2016).

A linha de costa é uma das feições geomorfológicas mais importantes no planejamento costeiro (Rangel-Buitrago et al., 2017; Ardeschiri, 2019), pois suas mudanças indicam tendências que podem gerar impactos costeiros, como é o caso da erosão. Diversos fatores influenciam na sua dinâmica, como as ondas (dominantes e tempestade), as marés e as atividades humanas. Nesse caso, mapear e monitorar as mudanças na linha de costa se tornou uma ação estratégica em todo mundo (Ghosh et al., 2015; Papakonstantinou et al., 2016; Tătuie et al., 2019), particularmente nas costas arenosas.

Deste modo, é imprescindível conhecer as taxas de erosão e acréscimo da linha de costa, pois metade das praias arenosas do mundo estão em risco de desaparecer até 2100 (Voudoukas et al., 2020). Os autores consideram que a recessão costeira impulsionada pelo aumento do nível do mar, pode provocar este resultado. É importante destacar que se trata de um estudo que não considera os fatores regionais e locais, daí pode haver algumas divergências nos seus resultados. De certo, é uma alerta para os gestores costeiros de todo mundo, em que os cenários e as tendências da linha de costa devem ser monitorados.

Claro que no Brasil, a situação não seria diferente, apesar de possuir cerca de aproximadamente 9.200 quilômetros de extensão e baixo índice de ocupação (cerca de 20%) as zonas costeiras do Brasil vêm sofrendo com uma maior intensidade de eventos extremos (ressacas marítimas e elevação no nível médio do mar). Esse processo tem ocorrido mais intensamente nas capitais costeiras que, somadas às intervenções antrópicas (i. e. construções civis próximas à orla

marítima), apresentam elevados índices de erosão (Muehe, 2005).

Embora as mudanças da linha de costa possam estar associadas a um amplo conjunto de fatores, os processos erosivos no litoral brasileiro têm sido relacionados ao déficit no transporte de sedimentos litorâneos associado às intervenções antrópicas (i. e. espigões, enrocamentos, *bagwall* e outras estruturas) e eventos extremos. Em caráter regional, as praias da região Nordeste, em especial, as localizadas no estado do Ceará, são as que respondem por um elevado índice erosivo, pois a estes fatores somam-se também as alterações recorrentes nas bacias hidrográficas em virtude da semiaridez, na forma de barramentos, diminuindo assim a disponibilidade de sedimentos para o litoral (Morais e Pinheiro, 2011; Moraes et al., 2018; MMA, 2018).

O avanço da linha de costa em direção ao continente pode ocasionar prejuízos à zona costeira, como mudanças na dinâmica praial e desgaste de construções civis, além de poder resultar também em impactos de ordem socioeconômica por atingir algumas atividades inerentes ao litoral (Ranasinghe, 2016; Xu, 2018), como é o caso da Praia do Icarai que está sobre forte processo erosivo a quase duas décadas (Paula e Farrapeira Neto, 2017). No entanto, para uma melhor gestão do ambiente costeiro é necessário se ter um conhecimento dos processos e respostas que envolvem a dinâmica da linha de costa em mesoescala.

Tendo isso em vista, os municípios costeiros que não possuem programas ou políticas de gestão e planejamento adequado em relação à ação de eventos extremos, estes acabam por se tornarem mais suscetíveis aos processos erosivos. A partir do exposto, o presente estudo visou utilizar técnicas de detecção de variação da linha de costa para quantificar as variações espaço-temporais ocorridas na linha de costa da Praia do Icarai, localizada no município de Caucaia, no estado do Ceará, entre os anos de 2004 a 2018, determinando qual o método mais adequado para quantificar o comportamento da linha de costa na região.

Caracterização da área de estudo

O litoral de Caucaia está localizado a menos de 20 km da cidade de Fortaleza, capital do estado do Ceará, integrando o litoral da Região Metropolitana de Fortaleza – RMF (Paula et al., 2016). A praia do Icarai (Figura 1), foco desse estudo, é caracterizada por um forte processo

erosivo ao longo dos seus quase 4 km de orla, dos quais 65% estão artificializadas por infraestruturas urbanas (Figura 2A), o restante é formado por

trechos com dunas antropizadas e falésias marinhas escarpadas pela abrasão marinha (Paula, 2015).

Figura 1. Mapa de localização da área de estudo.

Figura 2. Feições urbanas (a) e naturais (b) que delimitam a linha de costa da praia do Icarai, com evidência de ações erosivas por ação hidrodinâmica e aerodinâmica.

O Icarai já foi um dos espaços costeiros mais procurados para prática do lazer de sol e mar no Ceará, especialmente, na segunda metade da década de 1990. No entanto, nos últimos 20 anos, o avanço do mar tem provocado enormes prejuízos para comunidade local, afastando os usuários da praia, destruindo as infraestruturas urbanas (i.e. barracas de praia, casas e vias) e afetando diretamente a economia local.

Paula et al. (2013) têm abordado o processo de erosão costeira do Icarai como um fenômeno multi efeito das atividades e ações humanas que alteram e interrompem o frágil balanço sedimentar do litoral de Caucaia, com efeitos correspondentes em suas praias, como é o caso do Icarai. Nesse sentido, os autores destacam que as obras costeiras introduzidas em Fortaleza (litoral à barlar), a degradação do sistema fluvio-marinho do rio Ceará e a incorporação dos

sistemas dunares à malha urbana, levaram a uma saturação do transporte de areias em deriva, agravando o processo de erosão na região, em que a linha de costa recuou 30 m, entre os anos de 2000 e 2012, colocando em risco o patrimônio costeiro edificado.

Lima et al. (2019), ao estudar a variabilidade da linha de costa da Praia do Icaraí, entre os anos de 2004 e 2014, observou que há uma tendência erosiva em 97% da sua orla, com aproximadamente 17% em erosão extrema. Com o objetivo de conter o avanço do mar nessa praia, em 2011, a Prefeitura Municipal de Caucaia construiu uma estrutura rígida de proteção costeira em forma de escadaria com uso de Geotextil e concreto. A estrutura foi designada inicialmente como *Bagwall*, depois de vários colapsos por ação de ondas de ressaca do mar, foi sendo reconstruída e redesignada por um novo nome, *Big Bagwall*. Tal como a estrutura anterior, a nova veio a colapsar diversas vezes, pondo em questão sua eficiência como estrutura de proteção costeira adequada ao caso da praia do Icaraí (Paula e Farrapeira Neto, 2017).

O clima da região é tropical semiárido com pequena amplitude térmica, com valores médios entre 24° e 30°. As condições climáticas locais são influenciadas pela Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e por fenômenos climáticos de El Niño (provoca anomalia negativa na precipitação) e La Niña (estabelece precipitações acima da média da região). A intensidade e frequência da estação chuvosa dependem da posição da ZCIT, que migra em ciclos anuais ocasionando um período chuvoso entre março e maio. Adicionalmente, durante os meses de julho até novembro a ZCIT se move gradualmente para

o norte do equador causando condição de seca no Ceará (Campos e Studart, 2003). Os ventos são predominantemente de E-SE com uma velocidade média de 4 m/s, mas podem atingir até 7 m/s (Maia et al., 1996). De acordo com Jimenez et al. (1999), o regime de ventos é fortemente sazonal, onde os menores valores são observados no período chuvoso e os maiores durante a estação seca.

As marés da região são do tipo meso-marés semidiurnas, com uma amplitude máxima de 3,2 m e mínimas de 0,5 m (Maia et al., 1996). O clima de ondas na região é caracterizado por 80% ondas de período curto (*sea*) e 20% de *swell* (proveniente de tempestades distantes), com períodos maiores que 10 s (Carvalho et al., 2007). De acordo com Silva et al. (2011), as ondas predominantes têm altura significativa (H_s) média de 1,35 m e picos de até 2,61 m. O mesmo autor relatou ondas do tipo *swell* com período de pico acima de 10 s, altura que pode ultrapassar 2,5 m e direção predominantemente de N/NE, que atingem a costa do Ceará mais frequentemente entre os meses de dezembro e abril. Em termos morfodinâmicos, a praia do Icaraí é uma praia com predominância de areia média, e segundo a classificação proposta por Wright e Short (1984), ela oscila entre os estágios intermediário e refletivo (Paula e Farrapeira Neto, 2017; Silva et al., 2019).

Material e métodos

O presente estudo realizou a aplicação dos métodos de estimativas da variação da linha de costa conhecidos como DSAS e Polígono de Mudança. Os procedimentos aplicados foram resumidos pelo fluxograma metodológico (Figura 3), estando pormenorizados na sequência.

Figura 3. Fluxograma metodológico.

Preparação da base de dados

Independente da abordagem utilizada, a metodologia proposta teve como etapa inicial a obtenção das imagens coletadas por sensores presentes em plataformas orbitais cobrindo a praia do Icará, litoral de Caucaia – Ceará, para o período de 2004 a 2018 (Tabela 1). Essas imagens são oriundas dos sensores *QuickBird*, com resolução espacial de 0,6 metro/pixel, e *GeoEye I e II*, presentes nos satélites da série *GeoEye*, com resolução espacial declarada entre 1,0 e 0,5 metro/pixel. Do banco de dados organizado, a imagem *QuickBird* foi cedida pelo Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO), da Universidade Estadual do Ceará (UECE). Já a imagem *GeoEye II* de 2018, que foi exportada através do *software* AutoGR© (módulo GGrab), teve as características originais mantidas em 0,5 metros/ pixel, enquanto as demais cenas possuem resolução espacial de 1 metro/pixel. Todas as imagens do banco de dados foram referenciadas no Sistema de Coordenadas

Geográficas projetadas no sistema UTM (*Universal Transversa de Mercator*), datum de referência *SIRGAS 2000* (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas 2000), zona 24 Sul.

Após essa etapa de pré-processamento, se fez a vetorização manual das linhas de costa por fotointerpretação das imagens no *software* ArcMap® 10.5 (licença IFRS), presente no sistema ArcGIS® 10.5 mantendo a escala fixa em 1:800. A delimitação da linha de costa geralmente é feita a partir de um geoindicador o qual, segundo Boak e Turner (2005), é utilizado para representar a linha de costa verdadeira. Dentre os indicadores mais utilizados tem-se o limite entre areia seca e molhada, a base das dunas, escarpas erosivas, entre outros. Para esse estudo foi escolhida a linha no limite da média das marés, isto é, a linha máxima d'água alcançada ou linha de escarpa. De acordo com Maia (2014), esse é o indicador mais nítido, pois confere às tonalidades da areia entre a parte seca e a parte molhada.

Tabela 1. Banco de dados de imagens utilizadas para avaliar o comportamento da linha de costa na Praia do Icaraí entre os anos de 2004 e 2018.

Data da imagem	Sensores	Resolução espacial (m/ pixel)	Erro médio quadrático (RMS)
2004	<i>QuickBird</i>	0,6 m	0,00
2011	<i>GeoEye I</i>	1,0 m	0,46
2012	<i>GeoEye I</i>	1,0 m	0,38
2013	<i>GeoEye I</i>	1,0 m	0,43
2014	<i>GeoEye I</i>	1,0 m	0,46
2015	<i>GeoEye I</i>	1,0 m	0,44
2016	<i>GeoEye II</i>	1,0 m	0,48
2017	<i>GeoEye II</i>	1,0 m	0,49
2018	<i>GeoEye II</i>	0,5 m	0,00

Aplicação do método Polígono de Mudança

O método do polígono de mudança (Smith e Cromley, 2012; Albuquerque et al., 2013; Anfusio et al., 2016) é uma abordagem baseada na quantificação do deslocamento da linha de costa a partir da subtração de polígonos. A metodologia é fundamentada na álgebra de polígonos (Figura 4), onde é necessário subtrair os polígonos formados pelas linhas de costa correspondentes a imagem

mais recente e a imagem mais antiga, gerando um polígono diferença. A construção do polígono de cada cena se dá a partir de uma linha de costa previamente vetorizada na imagem (que para esse estudo tinha uma extensão de 2,4 Km para todas as linhas), uma linha base (comum a todo banco de dados), e duas linhas de fechamento que limitam a área de interesse, perpendiculares à linha base e a vetorizada (comuns a todo banco de dados).

Figura 4. Exemplo de cálculo de movimentação da linha de costa pelo método Polígono de Mudança. Fonte: Extraído de Cruz (2019).

A partir do polígono diferença foi possível quantificar as áreas de retração e/ou progradação no segmento costeiro analisado. De posse dessa informação, para a obtenção do deslocamento da linha de costa foi feita a divisão da área do polígono diferença, pela média aritmética do comprimento

das duas linhas de costa que compõem o período analisado. Para o cálculo das taxas de movimentação no tempo foi feita a divisão entre o valor do deslocamento do período e o intervalo temporal da análise (em anos).

Aplicação do método DSAS

O *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) é uma ferramenta desenvolvida pelo Centro de Pesquisa em Geologia dos Estados Unidos (USGS), que tem por finalidade calcular as taxas de mudança de posição para uma série temporal de dados vetoriais de linha de costa. Esse cálculo é feito a partir de uma análise baseada em

transectos, os quais estão dispostos de forma equidistante ao longo do segmento costeiro. Da mesma forma que o método do Polígono de Mudança, o DSAS necessita de uma linha base, a qual juntamente com a linha vetorizada e os transectos gerados possibilita calcular a movimentação de um determinado segmento costeiro (Figura 5).

Figura 5. Exemplo de cálculo de movimentação da linha de costa pelo método DSAS. Fonte: Extraído de Cruz (2019).

Nesse estudo foi utilizada a versão 4.0 do DSAS, sendo que para a praia do Icarai foram delimitados 78 transectos, com 30 m de espaçamento entre eles, para uma linha vetorizada de comprimento 2,4 Km. Para caracterizar o estado da linha de costa nos

diferentes intervalos analisados, foi adotada uma escala de erosão (Tabela 2), proposta por Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk et al. (2018).

Tabela 2. Classificação das taxas de mudança da praia, com base no deslocamento da linha de costa.

Situação da linha de costa	Escala de variação
Acresção	>0,5 m/ano
Estável	-0,5 m/ano a 0,5 m/ano
Erosão	-1,0 m/ano a -0,5 m/ano
Erosão intensa	-3,0 m/ano a -1,0 m/ano
Erosão severa	-5,0 m/ano a -3,0 m/ano
Erosão extrema	<-5,0 m/ano

Fonte. Adaptado de Esteves e Finkl (1998) e Luijendijk et al. (2018).

Os cálculos de deslocamento da linha de costa são feitos transecto a transecto de acordo com valores de espaçamento e comprimento indicados pelo usuário, às taxas de erosão/ acresção podem ser fundamentadas de acordo com uma série de métodos estatísticos. O método escolhido para o referido trabalho foi baseado no *Linear Regression Rate* - LRR (Thieler et al., 2009). Para realização da estatística LRR são necessárias todas as linhas de costa vetorizadas disponibilizadas no momento da análise. Após a determinação dos transectos pelo DSAS, o método gera uma taxa de variação a partir da distância entre a linha de data mais antiga e a mais recente, dividida pelo intervalo temporal (geralmente em anos) entre estas linhas.

Resultados e discussão

Para o método DSAS foi observado que a maior taxa de retrogradação da linha de costa ocorreu entre os anos de 2011 e 2012 (-20,02 m/ano). Nesse período, a obra de contenção do avanço do mar já estava instalada em 1,5 km da linha de costa, inibindo até então, um recuo nos setores por ela protegido. Os intervalos entre 2013

e 2016 tiveram taxas de recuo oscilando entre -0,4 m/ano e -7,9 m/ano. Já para esse intervalo, o trecho protegido pela estrutura de proteção já havia colapsado algumas vezes, promovendo o recuo da linha de costa, com destruição parcial da via costeira adjacente.

Em dois intervalos amostrais (2012 – 2013 e 2017 – 2018) foi registrada uma situação de progradação com valores de +3,02 m/ano e +5,21 m/ano, respectivamente. O saldo final para o período de 2004 a 2018 foi de erosão, com um recuo de -52,79 m da linha de costa em 14 anos, resultando numa taxa anual média de 3,7 m. É importante destacar que há oscilações de valores por ano, pois tratamos de um ambiente dinâmico com forte intervenção humana. As variações espaciais da linha de costa apresentam uma maior tendência ao recuo na porção central desse litoral, justamente o trecho que mais avançou em direção ao mar com a construção de barracas de praia, condomínios de prédios e via costeira, tornando assim, o trecho mais vulnerável ao avanço do mar (Figura 6).

Figura 6. Comportamento da linha de costa da Praia do Icarai, pelo método DSAS, para o período de 2004 a 2018.

Para o método do Polígono de Mudança (Figura 7) foi observado que entre o período de 2004 a 2006 houve um processo erosivo em todo o

segmento costeiro, com recuo médio da linha de costa de -2,68 m/ano. Entre 2011 e 2012, a praia do Icarai manteve uma tendência erosiva ao longo de

todo o segmento costeiro, com uma taxa de recuo de -18,12 m/ano. Para o intervalo de 2012 a 2013, o processo erosivo foi freado em virtude da construção de um *Bagwall* na porção central da praia do Icaraí. A linha de costa apresentou uma

acresção média de +2,66 m/ano. Contudo, a obra de contenção não foi suficiente de forma que entre 2013 e 2014, a praia do Icaraí voltou a apresentar um cenário erosivo, com recuo de -6,07 m/ano da linha de costa.

Figura 7. Variação da linha de costa pelo método do polígono de mudança, para o período de 2004 a 2014.

Entre os anos de 2014 e 2015, a praia do Icaraí apresentou uma taxa erosiva de -5,19 m/ano. Contudo, essa erosão só foi observada em dois terços do segmento costeiro. Tal fato se deve a reconstrução do *Bagwall*, que por um espaço curto de tempo atenuou o processo de erosão (Figura 8). No período de 2015 a 2016, a localidade voltou a apresentar taxas de erosão média de -6,41 m/ano, dessa vez em quase toda a linha de costa. Para o

intervalo de 2016 a 2017, a praia apresentou uma das taxas de erosão média mais baixa (-0,79 m/ano). Por fim, entre 2017 e 2018, a praia do Icaraí apresentou uma acresção média de 4,20 da sua linha de costa. O saldo final entre 2004 a 2018, para o método do Polígono de Mudança, foi de erosão, com um recuo de -50,42 m da linha de costa em 14 anos.

Figura 8. Variação da linha de costa pelo método do polígono de mudança, para o período de 2014 a 2018.

Os saldos de erosão e acresção da linha de costa, tanto para o método DSAS quanto para o Polígono de Mudança, corroboraram nos intervalos analisados, e apresentaram valores muito próximos (Figura 9). Os dados obtidos pelo método do Polígono de Mudança apresentaram cerca de -0,3 m a -1,4 m a mais nas taxas de recuo costeiro. As maiores discrepâncias do DSAS podem ser atribuídas ao fato do método realizar os cálculos de

deslocamento da linha de costa transecto a transecto, de forma pontual, desprezando as áreas adjacentes entre os mesmos e tendo resultados sujeitos ao posicionamento desses transectos. O mesmo não ocorre com o Polígono de Mudança, o qual considera todo o segmento costeiro para realizar os cálculos de deslocamento da linha de costa, sendo por isso mais robusto.

Figura 9. Comparativo entre as variações médias da posição da linha de costa obtidas pelos métodos DSAS e Polígono de Mudança.

Este estudo buscou quantificar as variações da linha de costa na praia do Icaraí, a partir de técnicas de detecção de mudança. Tãtui et al. (2019) destacam que a análise de mudança da linha de costa nos ajuda a entender que tipos de processos estão governando a dinâmica costeira e qual sua magnitude em escala multi-decadal. Nesse sentido, o comparativo entre as duas metodologias utilizadas nesse estudo mostrou que o Polígono de Mudança tem como principal vantagem o fato de levar em consideração toda a área do segmento costeiro. Em contrapartida o DSAS, por trabalhar com transectos perpendiculares a linha de costa, dispensa o uso de uma linha base arbitrária como fonte de medição, de forma que faz o cálculo da posição da linha de costa pontualmente em cada transecto.

A taxa de variação média da linha de costa (-3,77 m), obtida com uso do método DSAS no estudo de Lima et al. (2019), corrobora com a taxa de deslocamento médio encontrada nesse estudo com uso da mesma metodologia (-3,72 m). A praia do Icaraí apresenta uma linha de costa majoritariamente homogênea, com a presença de alguns pontos de reentrância costeira adjacentes ao *bagwall*.

As maiores taxas de deslocamento apresentadas pelo método DSAS, quando comparadas ao Polígono de Mudança, podem estar associadas a não quantificação do deslocamento costeiro entre os transectos realizada pelo DSAS. Estudos conduzidos por Smith e Cromley (2012), Albuquerque et al. (2013), Anfuso et al. (2016) e Leal et al. (2018), para segmentos costeiros que apresentam uma linha de costa com muitas reentrâncias, destacam que o método do Polígono de Mudança tem apresentado resultados mais próximos da realidade.

Acompanhar as mudanças da linha de costa é essencial para se ter uma melhor compreensão das respostas costeiras a fatores sociais e naturais incidentes sobre o litoral (Xu, 2018). Para a praia do Icaraí, os métodos de análise da dinâmica da linha de costa empregados apresentaram comportamentos semelhantes, embora ligeiramente distintos. Isso aponta a capacidade de ambos os métodos em avaliar a dinâmica da linha de costa. Como indicadores estatísticos para fins de comparação entre os métodos, foram geradas

estatísticas descritivas básicas, descritas pela Tabela 3.

A análise das estatísticas descritivas aponta uma superestimativa das taxas de erosão por parte do método DSAS maiores médias (-3,72 m), mediana (-3,08 m) e desvio-padrão ($\pm 5,56$ m) em comparação as estimativas obtidas pelo método do Polígono de Mudança. Esse fato se dá em parte por conta da área analisada possuir variações naturais na linha de costa.

A partir dos dados estimados de deslocamento da linha de costa com o uso de cada método aqui aplicado, foi possível gerar modelos de regressão linear de primeira ordem, estimando para cada análise uma linha de tendência para o comportamento geomorfológico da praia do Icaraí (Figura 10). Cada um desses modelos de regressão permite estimar para datas futuras as taxas de movimentação esperadas para a linha de costa local.

Tabela 3. Estatísticas descritivas para fins de comparação entre os métodos DSAS e Polígono de Mudança.

Estatísticas	DSAS	Polígono de Mudança
Média [m]	- 3,72	- 3,41
Mediana [m]	- 3,08	- 2,68
Desvio-padrão [m]	$\pm 5,56$	$\pm 4,94$
Máximo [m]	- 20,02	- 18,12
Mínimo [m]	+ 5,21	+ 4,20

Para o método DSAS foi obtido um coeficiente de determinação de 94,48% ($R^2 = 0,9448$), e para o método do Polígono de Mudança foi estimado um coeficiente de determinação de 94,71% ($R^2 = 0,9471$). Esses valores próximos demonstram a robustez de ambos os métodos, apontando que ambos geraram resultados próximos e capazes de cobrir a dinâmica da linha de costa local, embora o método do polígono de mudança seja mais confiável ao não excluir partes da linha em sua estimativa.

Figura 10. A - Gráfico de tendência de retração da linha de costa pelos métodos DSAS e Polígono de Mudança.

Em termos das limitações, as estatísticas geradas pelo DSAS são fundamentadas no fato dos transectos serem equidistantes. Tendo em vista que a distância entre os pontos de contato de cada uma das linhas vetorizadas e o transecto determinará o deslocamento pontual, o método DSAS tende a subestimar ou superestimar as estatísticas. Albuquerque et al. (2013) destacam que isso ocorre pela possibilidade do transecto não estar alocado sobre algum ponto excessivamente erosivo ou acrescido, o que limita a confiabilidade do método para litorais homogêneos, com variação contínua da linha de costa.

No caso específico da praia do Icarai, os valores aproximados para o coeficiente de determinação podem ser explicados no fato do deslocamento da linha de costa se apresentar homogêneo ao longo das análises efetuadas. Contudo, no ano de 2011, período da construção do *Bagwall*, a localidade onde foi posicionada a construção passou a apresentar comportamentos

diferentes após períodos de ressaca do mar, o que levou ao surgimento de algumas reentrâncias costeiras pontuais naquela localidade. Este fato pode estar influenciando nos valores estatísticos obtidos pelo DSAS.

Com base nas projeções estimadas a partir dos modelos de regressão produzidos, foi possível apontar que o método do polígono de mudança se mostra mais adequado, pois embora ambos os métodos possuam coeficientes de determinação aproximadamente iguais ($R^2 = 94,48\%$ para o DSAS e $R^2 = 94,71\%$ para o polígono de mudança), o método do polígono de mudança apresenta erro máximo, desvio padrão e erro totais menores do que o DSAS, além das projeções baseadas no seu modelo de regressão acompanhar de forma mais satisfatória as variabilidades espaciais observadas para o comportamento da linha de costa local (Tabela 3).

Tabela 3. Resultados dos erros calculados para os métodos DSAS e Polígono de Mudança.

Variável	Método DSAS	Método Polígono de Mudança
Erro Bruto Total (m)	-0,0045	0,5812
Erro Máximo (m)	8,5121	7,2754
Erro Mínimo (m)	-8,5517	-6,9682
Erro Médio (m)	-0,0003	0,0415
Desvio Padrão (m)	4,7670	4,2597
Erro Total (m)	9,5343	8,5609

No contexto do monitoramento costeiro, os efeitos causados pelos processos naturais devem ser analisados e quantificados com intuito de avaliar se esse processo ocorreu em todo segmento costeiro ou em áreas pontualmente suscetíveis ao processo erosivo (Albuquerque et al., 2013). Ao analisar os resultados do erro total resultante, foi observado que o método do Polígono de Mudança apresentou um erro total de 0,9734 m menor, quando comparado ao método DSAS. Dessa forma pode-se afirmar que o método do Polígono de Mudança se qualifica como o melhor para ser aplicado à morfologia da praia do Icaraí. Li et al.

(2018) destaca que a análise espaço temporal da linha de costa é importante para fortalecer a gestão dos recursos costeiros e promover o desenvolvimento nas zonas costeiras. Independente da metodologia de monitoramento empregada é importante se conhecer as características de ambos os métodos utilizados nesse estudo (Tabela 4), de forma a auxiliar os gestores costeiros no processo de tomada de decisão.

Tabela 4. Principais vantagens e desvantagens apresentadas pelos métodos DSAS e Polígono de Mudança.

Características	DSAS	Polígono de Mudança
Distância entre linhas	É o principal resultado	Pode ser calculada a distância média
Produtos estatísticos	Gerados automaticamente	Não são gerados automaticamente
Ferramenta automatizada	Sim	Não
Área de mudança	Não realiza o cálculo	É o principal resultado

Diferentes metodologias apresentam potencialidades variadas, sendo importante para os gestores costeiros conhecer as vantagens, desvantagens e erros referentes a cada abordagem. Além dos apontamentos feitos na Tabela 4, um dos principais entraves ao uso do DSAS está no fato do *software* ArcGis® ser comercial. Essa questão acaba entrando como mais um custo para os gestores, os quais, dependendo do município, não têm condições de estar investindo em uma licença de uso. No caso do polígono de mudança, os

procedimentos metodológicos podem ser reproduzidos em *softwares* livres. A grande vantagem desse método, quando comparado ao DSAS, é que o mesmo consegue descrever a área sedimentar do segmento praiar que se encontra em mudança. Independente da metodologia a ser utilizada, é importante que os gestores municipais tenham consciência da necessidade de se investir em profissionais capacitados no uso dessas ferramentas.

significativa na geomorfologia costeira, a praia do Icaraí apresenta um acentuado processo erosivo. Nesse contexto, independente da abordagem metodológica utilizada para realizar o cálculo da movimentação da linha de costa, ambas as proposições utilizadas nesse estudo apresentaram valores de deslocamento do segmento costeiro muito próximo, o que demonstra a robustez de

Conclusões

Por ser caracterizada por um ambiente dominado pela energia das ondas, que em conformidade com a ação das marés meteorológicas exercem uma modificação

ambos os métodos. Contudo, quando levado em consideração informações referentes ao coeficiente de determinação (R^2) e aos erros inerentes a cada método, foi observado que o Polígono de Mudança gerou resultados próximos e capazes de cobrir a dinâmica da linha de costa local.

Apesar de ambos os métodos empregados apresentarem seus adjetivos e limitações para o cálculo de movimentação da linha de costa, diversos estudos que apresentaram esse viés comparativo tem mostrado que os resultados do método do Polígono de Mudança, quando comparado ao DSAS, têm apresentado uma boa resposta para segmentos litorâneos que apresentam muitas reentrâncias. Para a praia do Icaraí, a proximidade nas taxas de recuo para ambos os métodos utilizados pode ser explicada pelo fato do processo erosivo, ao longo de todo o litoral, ocorrer de forma homogênea.

Os resultados de ambos os métodos indicam que a praia do Icaraí está sob o efeito de um forte processo erosivo, respondendo diretamente com taxas elevadas de recuo da linha de costa. Esse processo provoca o rebaixamento das cotas topográficas e fragiliza a estrutura da malha urbana, quando do seu contato direto com o mar, provocando prejuízos para população local.

Estudos que levam em consideração a abordagem comparativa entre métodos são de grande importância para os gestores costeiros,

tendo em vista que muitos municípios costeiros do Ceará e do Brasil têm apresentado problemas sérios ligados à erosão costeira. Assim, recomenda-se, com bases nos resultados apresentados, que um novo projeto de proteção costeira seja pensado e planejado a partir do conhecimento da dinâmica sedimentar da região, pois o suprimento de areias em deriva para abastecer as praias e torná-las mais robustas e resistentes ao avanço do mar está saturado.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO), da Universidade Estadual do Ceará (UECE), pela concessão da imagem do sensor *QuickBird* do ano de 2004. Ao Instituto Federal do Rio Grande do Sul (IFRS), Campus Rio Grande, pela concessão da bolsa de pesquisa. Aos projetos de Impactos de ressacas do mar no litoral de Caucaia desenvolvido pelo LGCO, e ao Projeto Abordagem holística à simulação da evolução da costa a longo prazo (Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), através do edital FCT AAC Nº 02/SAICT/2017). Também agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ – Bolsa PQ 310246/2019-9).

<https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.05.007>.

Referências

- Albuquerque, M.G., Espinoza, J.M., Teixeira, P., Oliveira, A., Corrêa, I., Calliari, L., 2013. Erosion or coastal variability: an evaluation of the DSAS and the change polygon methods for the determination of erosive processes on sandy beaches. *Journal of Coastal Research*, 65, SI, 1710-1714. <https://doi.org/10.2112/SI65-2891>.
- Anfuso, G., Bowman, D., Danese, C., Pranzini, E., 2016. Transect based analysis versus area based analysis to quantify shoreline displacement: spatial resolutions issues. *Environment Monitoring Assessment*, 188, 10, 568. <https://doi.org/10.1007/s10661-016-5571-1>.
- Ardeschiri, A., Swait, J., Heagney, E.C., Kovac, M., 2019. Willingness-to-pay for coastline protection in New South Wales: Beach preservation management and decision making. *Ocean & Coastal Management*, 178, 104805.
- Asmus, M.L., Kitzmann, D., Laydner, C., Tagliani, C.R.A., 2006. Gestão costeira no Brasil: Instrumentos, fragilidades e potencialidades. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 5, 4, 52-57.
- Barbier, E.B., Hacker, S.D., Kennedy, C., Koch, E.W., Stier, A.C., Silliman, B.R., 2011. The value of estuarine and coastal ecosystem services. *Ecological Monographs*, 81, 2, 169-193. <https://doi.org/10.1890/10-1510.1>.
- Boak, E.H., Turner, I.L., 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, 21, 4, 688-703. <http://dx.doi.org/10.2112/03-0071.1>.
- BRASIL. Lei n. 7.661, de 16 de mai. de 1988. Institui o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro e dá outras providências, Brasília, DF, mar 2017.

- BRASIL. MMA - Ministério do Meio Ambiente, 2018. Programa Nacional de Conservação da Linha de Costa. Portaria Nº 76. Brasília.
- Campos, J.N.B., Studart, T., 2003. Climatologia. In: Campos, A.A. (ed.). A zona costeira do Estado do Ceará: diagnóstico para a Gestão Integrada. Ed. Aquasis, Fortaleza, pp 51–53.
- Carvalho, A.M., Maia, L.P., Dominguez, J.M.L., 2007. A deriva e o transporte litorâneo de sedimentos no trecho entre Cumbuco e Matões—costa noroeste do estado do Ceará. *Arquivos de Ciências do Mar*, 40, 1, 43-51.
- Carvalho, V.C., Rizzo, H.G., 1994. A zona costeira: subsídios para uma avaliação ambiental. MMA - Ministério do Meio Ambiente e da Amazônia Legal, p. 211.
- Chua, T.E., 1993. Essential elements of integrated coastal zone management. *Ocean & Coastal Management*, 21, 81-108.
- Church, J. A., Clark, P.U., Cazenave, A., Gregory, J.M., Jevrejeva, S., Levermann, A., Merrifield, M.A., Milne, G.A., Nerem, R.S., Nunn, P.D., Payne, A.J., Pfeffer, W.T., Stammer, D., Unnikrishnan, A.S., 2013. Sea Level Change. In: Stocker, T.F., Qin, D., Plattner, G.K., et al. (Eds.). *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*, Cambridge University Press, cap. 13, p. 1137–1216, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Crowell, M., Leatherman, S.P., Buckley, M.K., 1991. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. *Journal of Coastal Research*, 7, 3, 839-852.
- Cruz, L.F., 2019. Aplicação de métodos de quantificação da mudança da linha de costa: estudo de caso do balneário Hermenegildo. Monografia de Conclusão de Curso. Curso Técnico em Geoprocessamento. Instituto Federal do Rio Grande do Sul, Rio Grande, Rio Grande do Sul, 53 p.
- Dias, J.A., 2005. Evolução da zona costeira portuguesa: forçamentos antrópicos e naturais. *Tourism & Management Studies*, 1, 7-27.
- Dominguez, J.M.L., 2007. Avaliação regional do problema da erosão na região nordeste do Brasil. 2007. Disponível em: <http://www.cpgg.ufba.br/lec/eros.htm>.
- Dominguez, J.M.L., Bittencourt, A.C.S.P., 1966. Regional assessment of long-term trends of coastal erosion in northeastern Brazil. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 68, 3, 355-371.
- Dritsas, S.E., 2020. The effect of sea level rise on coastal populations: The case of the Gironde (Estuaries of Gironde). *Economic Analysis and Policy*, 66, 41-50. <https://doi.org/10.1016/j.eap.2020.02.008>.
- Esteves, L.S., Finkl, C.W., 1998. The problem of critically eroded areas (CEA): an evaluation of Florida beaches. *Journal of Coastal Research*, 26, SI, 11-18.
- Farias, E.G.G., Maia, L.P., 2010. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 10, 4, 521-544.
- Gherardi, D.F.M., Carvalho, M., 2008. A utilização de imagens orbitais para a conservação e gestão ambiental da zona costeira. In: Souza, R.B. (org.). *Oceanografia por satélites*. 2º ed. São Paulo, Oficina de textos.
- Ghosh, M.K., Kumar, L., Roy, C., 2015. Monitoring the coastline change of Hatiya Island in Bangladesh using remote sensing techniques. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 101, 137-144. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.12.009>.
- Gonçalves, J.A., Henriques, R., 2015. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, 104, 101-111. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2015.02.009>.
- Hoozemans, F.M.J., Marchand, M., Pennekamp, H.A., 1993. A Global Vulnerability Analysis: Vulnerability Assessment for Population, Coastal Wetlands and Rice Production on a Global Scale. 2º Ed. Delft Hydraulics, the Netherlands.
- Jensen, J.R., 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente, Uma Perspectiva em Recursos Terrestres. Ed. 2. São José dos Campos, Parêntese.
- Jimenez, J., Maia, L.P., Raventos, J.P., Morais, J.O., 1999. Aeolian dune migration along the Ceará coast, north-eastern Brazil. *Sedimentology*, 46, 689–701.

<https://doi.org/10.1046/j.1365-3091.1999.00240.x>.

- Jones, B., O'Neil, B.C., 2016. Spatially explicit global population scenarios consistent with the Shared Socioeconomic Pathways. *Environmental Research Letters*, 11, 8, 084003. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/11/8/084003>.
- Klein, A.H.F., Short, A.D., 2019. Brazilian Beach Systems: Introduction. In: Short, A.D., Klein, A.H.F. (Org.). *Brazilian Beach Systems*. Springer: Florida, p. 1-36.
- Leal, K.B., Oliveira, U.R., Espinoza, J.M.A., 2018. Variação do limite praia duna nos Balneários Mostardense, Mar Grosso, Cassino e Barra do Chuí – RS no intervalo entre 2003-2015. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 9, 1, 25-37. <http://dx.doi.org/10.5380/abequa.v9i1.53226>.
- Leatherman, S., 2003. Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. *Journal of Coastal Research*, 38, 5-13.
- Li, J., Ye, M., Pu, R., Liu, Y., Guo, Q., Feng, B., Huang, R., He, G., 2018. Spatiotemporal change patterns of coastlines in Zhejiang Province, China, over the last twenty-five years. *Sustainability*, 10, 2, 477. <https://doi.org/10.3390/su10020477>.
- Lima, J.C., Lima, R.J., Barros, E.L., PAULA, D.P., 2019. Análise Multitemporal da Variabilidade da Linha de Costa do litoral do Município de Caucaia, Ceará, Brasil. *Revista da Casa da Geografia de Sobral*, 21, 2, 864-884. <https://doi.org/10.35701/rcgs.v21n2.542>.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., Aarninkhof, S., 2018. The state of world's beaches. *Nature*, 8, 6641. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>.
- Maia, L.P., Raventos, J.S., Oliveira, P.M.P., Meireles, A.J.A., 1996. Alterações climáticas na região de Fortaleza causadas por fatores naturais e antrópicos. *Revista de Geologia*, 9, 111-121.
- Marino, M.T.R.D., Freire, G.S.S., 2013. Análise da evolução da linha de costa entre as Praias do Futuro e Porto das Dunas, Região Metropolitana de Fortaleza (RMF), estado do Ceará, Brasil. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 113-129. <https://doi.org/10.5894/rgci373>.
- Mazzer, A., Dillenburg, S., 2009. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). *Pesquisa em Geociências*, 36, 1, 117-135. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.17880>.
- Morais, J.O., Pinheiro, L.S., 2011. The effect of semi-aridity and damming on sedimentary dynamics in estuaries - northeastern region of Brazil. *Journal of Coastal Research*, 64, SI, 1540-1544.
- Morais, J.O., Pinheiro, L.S., Pessoa, P.R., Freire, G.S., Carvalho, A.M., Guerra, R.G.P., BARROS, E.L., Moura, F.J., 2018. Ceará. In: Muehe, D. (Ed.). *Panorama da Erosão Costeira no Brasil*. Ministério do Meio Ambiente. Brasília.
- Muehe, D., 2005. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. *Revista de Geografia da Universidade Federal do Ceará*. Ceará, 4, 7, 97-110.
- Neumann, B., Vafeidis, A.T., Zimmermann, J., Nicholls, R.J., 2015. Future coastal population growth and exposure to sea-level-rise and coastal flooding – A global assessment. *Plos One*, 10, 6, e0131375. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0131375>.
- Oliveira, M.R.L., Nicolodi, J.L., 2012. Gestão Costeira no Brasil e os dez anos do Projeto Orla. Uma análise sob a ótica do poder público. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 12, 1, 91-100.
- Papakonstantinou, A., Topouzelis, K., Pavlogeorgatos, G., 2016. Coastline zones identification and 3D coastal mapping using UAV spatial data. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 5, 6, 75. <https://doi.org/10.3390/ijgi5060075>.
- Paula, D.P., Farrapeira Neto, C.A., 2017. Resposta de uma praia arenosa a um evento de ressaca do mar: o caso da Praia do Icarai (Caucaia, Ceará, Brasil). *Ateliê Geográfico*, 11, 184-204. <https://doi.org/10.5216/ag.v11i2.39302>.
- Paula, D.P., Bendô, A.R.R., Lima, I.F.P., Alves, J.W.O., 2016. Mudanças de curto prazo no balanço sedimentar da praia do Icarai (Caucaia, Ceará) durante uma ressaca do mar. *Scientia Plena*, 12, 4, 1-13. <http://dx.doi.org/10.14808/sci.plena.2016.045301>.

- Paula, D.P., Dias, J.M.A., Ferreira, O., Morais, J.O., 2013. High-rise development of the sea-front at Fortaleza (Brazil): Perspectives on its valuation and consequences. *Ocean & Coastal Management*, 77, 14-23. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2012.03.004>.
- PBMC. 2016. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas. Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. Rio de Janeiro.
- Pinheiro, L.S., Morais, J.O., Maia, L.P., 2016. The beaches of Ceará. In: *Brazilian Beach Systems*. Springer, p. 175-199.
- Ranasinghe, R., 2016. Assessing climate change impacts on open Sandy coasts: A review. *Earth-Science Reviews*, 160, 320-332. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2016.07.011>
- Rangel-Buitrago, N., Williams, A., Anfuso, G., Arias, M., Gracia, C.A., 2017. Magnitudes, sources, and management of beach litter along the Atlantico department coastline, Carribean coast of Colombia. *Ocean & Coastal Management*, 138, 142-157. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2017.01.021>.
- Rodríguez, J.J., Windevoxhel, N.J., 1998. Análisis regional de la situación de la zona marina costera centroamericana. Banco Interamericano de Desenvolvimento – BID. Washington D.C., no ENV – 121.
- Smith, M.J., Cromley, R.G., 2012. Measuring Historical Coastal Change using GIS and the Change Polygon Approach. *Transactions in GIS*, 16, 1, 3–15. <https://doi.org/10.1111/j.1467-9671.2011.01292.x>.
- Souza, C.R.G.A., 2009. Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, 9, 1, 17-37.
- Tătu, F., Pîrvan, M., Popa, M., Aydoğan, B., Ayat, B., et al., 2019. The Black Sea coastline erosion: Index-based sensitivity assessment and management-related issues. *Ocean & Coastal Management*, 182, 104949. <https://doi.org/10.1016/j.ocecoaman.2019.104949>.
- Thieler, E.R., Himmelstoss, E.A., Zichichi, J.L., Ergul, A., 2009. Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0: An ArcGIS extension for calculating shoreline changes. U.S. Geological Survey Open-file Report, 1008-1278.
- Thieler, E.R., Danforth, W.W., 1994. Historical shoreline mapping (I): improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10, 3, 549–563.
- Vousdoukas, M.I., Ranasingue, R., Mentaschi, L., Plomaritis, T.A., Athanasiou, P., Luijendijk, A., Feyen, L., 2020. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature Climate Change*, 10, 260-263, 2020. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>.
- Xu, N., 2018. Detecting coastline change with all available Landsat data over 1986-2015: A case study for the State of Texas, USA. *Atmosphere*, 9, 3, 107. <https://doi.org/10.3390/atmos9030107>.