

# MUDANÇAS RECENTES (1987-2019) DA MARGEM LESTE DO ESTUÁRIO DA FOZ DO RIO PARÁ, DOMINADO POR MACROMARÉ (AMAZÔNIA ORIENTAL-BRASIL)

Diandra Karina Martins Guimarães\*

Maâmar El-Robrini\*

Renan Peixoto Rosário\*

Rafael Alexandre Alves Menezes\*

\* Universidade Federal do Pará

## RESUMO

Este artigo tem como objetivo identificar e quantificar as áreas em erosão e/ou em acreção com intuito de compreender a dinâmica da linha de costa (LC) dos municípios de Vigia e de São Caetano de Odivelas (margem leste) no trecho inferior do Estuário do Rio Pará, utilizando uma análise multitemporal através de emprego de imagens de satélite Landsat (1987 a 2019) da USGS, como auxílio do Digital Shoreline Analysis System (DSAS). A maior tendência de acreção ocorreu em Vigia, com taxas, média de 1,26 m/ano e máxima de 10,06 m/ano no EPR. Em São Caetano de Odivelas, a taxa média de variação nos parâmetros EPR, LRR e NSM foram respectivamente de 0,40 m/ano, 0,25 m/ano e 13,09 m/ano, confirmando o predomínio da acreção nesta área.

*Palavras-chave:* dinâmica costeira, linha de costa, DSAS, erosão, acreção.

## ABSTRACT

This article aims to identify and quantify the areas undergoing erosion and/or accretion in order to understand the dynamics of the coastline in the municipalities of Vigia and São Caetano de Odivelas (east bank) in the lower stretch of the Pará River Estuary, using a multitemporal analysis using Landsat satellite images (1987 to 2019) from the USGS, with assistance from Digital Shoreline Analysis System (DSAS). The greatest accretion trend occurred in Vigia, with rates averaging 1.26 m/year and a maximum of 10.06 m/year in the EPR. In São Caetano de Odivelas, the average rate of variation in the EPR, LRR and NSM parameters were respectively 0.40 m/year, 0.25 m/year and 13.09 m/year, confirming the predominance of accretion in this area.

*Key words:* coastal dynamics, shoreline, DSAS, erosion, accretion.

## INTRODUÇÃO

A Zona Costeira (ZC) é o resultado da interação entre fatores aerodinâmicos, hidrológicos e marinhos. Portanto, a ZC é influenciada por forçantes climáticas (ventos, chuvas, eventos extremos), hidrológicos (descarga fluvial) e hidrodinâmicas (marés, correntes, ondas), em um longo, médio ou curto período (séculos, décadas e anos, respectivamente) (Baía et al., 2021; França e Souza Filho, 2003; Rizzo e Anfuso, 2020). Ademais, neste espaço interativo da ZC, são

desenvolvidas atividades socioeconômicas, como lazer, transporte, habitação, indústria e produção de energia, que alteram a morfologia e hidrodinâmica local (Ranieri e El-Robrini, 2015).

A linha de costa (LC) é tido como um importante geoindicador das transformações costeiras. Contudo, definir a localização da LC é um desafio, pois as mudanças em função da dinâmica do nível do mar ou do rio, das forçantes costeiras e eventos extremos alteram a sua posição constantemente. (Muehe e Klumb-Oliveira, 2014; Vasconcelos et al., 2020).

Neste sentido, a LC pode ser definida como a interseção entre a água e a terra, sendo que sua delimitação pode ser identificada pelos limites geomorfológicos, de vegetação, da altura da maré, contorno da praia ou outro indicador, na qual seja mais favorável ao pesquisador obter resultados mais precisos (Martins et al., 2004; Boak e Turner, 2005; Toure et al., 2019; Luijendijk et al. 2018; Vasconcelos et al., 2020).

O desenvolvimento das técnicas de sensoriamento remoto (SR), possibilitou o aumento das fontes de dados de alta qualidade para a delimitação da LC com alta precisão (Apostolopoulos e Nikolakopoulos, 2021). O SR utiliza em sua vertente técnicas de obtenção de informação sobre objetos ou áreas com relativa distância, sobre o objeto ponto, sendo normalmente usados aeronaves ou satélites e, atualmente muitos utilizados para o monitoramento costeiro por permitir a extração manual ou semiautomática da LC a partir do processamento digital de imagens de satélite (Apostolopoulos e Nikolakopoulos, 2021; Toure et al., 2019; Wang et al., 2020).

Para automatizar a análise da dinâmica da LC, o uso do Digital Shoreline Analysis System (DSAS), versão v5 (a mais atual do plugin) tornou-se uma ferramenta de suma importância, ao permitir que o pesquisador possa compilar dados referentes às mudanças da LC ao longo do tempo, através de taxas calculadas com base em parâmetros estatísticos extraídos de uma série histórica das LC's, representadas por polylines. Desta forma, devidamente posicionadas as LC's, tendo como base fotografias aéreas e/ou imagens de satélite, em qualquer que seja a delimitação da LC escolhida, desde que seja identificável nas imagens, é possível realizar o cálculo da variação da linha de costa (Mishra et al., 2020; Muehe e Klumb-Oliveira, 2014; Ranieri e El-Robrini, 2015; Santos et al., 2021).

Na região amazônica, algumas investigações foram realizadas com o intuito de avaliar a dinâmica costeira e estuarina da região. Alguns exemplos como: "Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagens Landsat" (França e Souza Filho, 2003); "Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (baía de Curuçá) através de imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B" (Rodrigues e Souza Filho, 2011); "Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil" (Ranieri e El-Robrini, 2015) e "Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia Oriental" (Baía et al., 2021), buscaram compreender as mudanças costeiras na região amazônica. A maioria dos estuários da região amazônica apresenta uma dinâmica de macromaré que influencia diretamente na construção da vegetação de manguezais em determinados locais. Souza Filho (2005) afirma que o desenvolvimento deste ecossistema é controlado pela interação continente-oceano, e que sua expansão é determinada pela topografia da superfície pré-holocênica, bem como pelas condições de energia de ondas e de correntes de marés. Fatores que irão cooperar diretamente para a variação da LC da região.

Este artigo tem como objetivo identificar e quantificar as áreas em erosão e/ou em acreção com intuito de compreender a dinâmica da LC dos municípios de Vigia e de São Caetano de Odivelas (margem leste) no trecho inferior do Estuário do Rio Pará (ERP), que possui uma dinâmica diferenciada de macromaré e uma linha de costa composta por grandes manguezais, importante para a população local, utilizando uma análise multitemporal (1987 -2019). Espera-se ampliar o conhecimento sobre a dinâmica costeira para os planos de gerenciamento costeiro em escala local.

## CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

### Localização da área de estudo

Na margem adjacente a foz (trecho inferior) do ERP localiza-se as cidades de Vigia e de São Caetano de Odivelas (Figura 1). O acesso da capital Belém (Pará) pode ser feito por via rodoviária, o tempo estimado de chegada partindo de Belém é de aproximadamente 1h58min e 2h11min, do município mais próximo (Vigia) ao mais distante (São Caetano de Odivelas), respectivamente.



Figura 1 - Localização dos municípios (Vigia, São Caetano de Odivelas) na margem leste do trecho inferior do ERP. Elaboração: Autora.

O clima é caracterizado como equatorial úmido, com temperaturas médias anuais entre 25°C e 27 °C, com máxima de 33 °C e mínima de 22 °C (INMET, 2023), onde as maiores temperaturas

ocorrem durante a estação seca entre junho e novembro. O volume da precipitação é entre 2.000 e 3.000 mm/ano. Desta maneira, 70 % das chuvas ocorrem durante a estação chuvosa (entre dezembro e maio) e está diretamente influenciado pela migração sazonal da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) na direção meridional (Amanajás e Braga, 2012; Dos Santos et al., 2019; INMET, 2021; Matos e Cohen, 2016). Os ventos predominantes são os alísios de nordeste que apresentam uma maior velocidade na estação seca, variando entre 2m.s-1 e 7m.s-1 (CPTEC/INPE, 2021; INMET, 2022).

A área de estudo está sujeita a eventos climáticos extremos influenciados pelo ENOS (El Niño Oscilação Sul). Durante os anos de 1987, 1993, 2004 e 2019 (El Niño - EN) e 1999 e 2008 (La Niña - LN), ocorreram mudanças na temperatura de superfície do oceano Pacífico Equatorial que acarretaram em efeitos globais nos padrões de ventos, nebulosidade, temperatura e precipitação (Cai et al., 2020; CPTEC/INPE, 2021; Moura et al., 2019). Estudos sobre a influência do EN e LN na bacia amazônica indicaram que os maiores impactos desses fenômenos estão relacionados às mudanças no regime pluviométrico e fluviométrico. Esses fenômenos ocorrem a cada 2 a 5 anos em média, e podem durar de 9 a 12 meses, havendo casos de 4 anos (Cai et al., 2020; CPTEC/INPE, 2021; Moura et al., 2019).

Durante a ocorrência de um EN moderado, a precipitação tende a ser menor que a normal e durante a ocorrência de um evento LN moderado, a precipitação tende a ser maior que a normal. Essas mudanças na precipitação influenciam na descarga dos rios (refletindo nos processos hidrodinâmicos de transporte e deposição sedimentar da região), na cobertura vegetal, nas atividades econômicas e principalmente no clima da região (Moreira et al., 2018; Moura et al., 2019; Santos, 2006).

O ERP é classificado como um grande sistema estuarino tropical com mais de 300 km de extensão longitudinal e foz de 60 km de largura, sendo um dos maiores estuários do Brasil (Prestes et al., 2020). Assim sendo um estuário bem estratificado, dominada por marés, com ventos e ondas que se formam no interior do próprio estuário, gerando um ambiente flúvio-marinho (Prestes et al., 2020; Ribeiro e Valadão, 2021; Rosário et al., 2016).

A margem leste do ERP, caracteriza-se por uma costa rebaixada, ocupada por manguezais e exposta a forçantes hidrodinâmicas e hidrológicas do rio Pará (El-Robrini et al., 2018; Rollnic et al., 2020). O trecho inferior do ERP é influenciado por forçantes (correntes, marés, descarga fluvial, ventos), sendo a principal a macromaré, cuja amplitude é 4,7m (DHN, 2023). As correntes predominantes são de marés semidiurnas e as correntes fluviais induzidas pelos fluxos de descarga fluvial. A velocidade de correntes no ERP é superior a 2,0 m.s-1 e a descarga líquida do ERP é de 20.946 m<sup>3</sup>.s-1 (Prestes et al., 2020, 2017; Rosário et al., 2016).

No ERP, os sedimentos em suspensão têm origem na resuspensão do material presente no fundo e de fonte externas, sendo seus principais afluentes os rios Tocantins, Amazonas e Guamá. (Carneiro et al., 2020; Prestes et al., 2020). Na margem leste do estuário os sedimentos são mais finos, formada por silte grosso a muito finos, e em algumas áreas sedimentos argilosos, depositados por decantação evidenciando uma margem de baixa hidrodinâmica (Corrêa, 2005).

A salinidade no ERP alterna o seu gradiente, considerando três períodos: baixa vazão, transição e alta descarga (Figura 2). A maior intrusão salina ocorre durante o período de baixa vazão, percorrendo cerca de 130 km (a partir da foz do estuário), alcançando os municípios de São Caetano

de Odivelas e Vigia (Figura 2c), no período de transição entre a baixa e alta descarga a intrusão salina ocorre até aproximadamente 110 km (Figura 2b), alcançando apenas o município de São Caetano de Odivelas e na alta descarga ocorre à intrusão salina em aproximadamente 70 km a partir da foz do estuário (Figura 2a) (Rosário et al., 2016).

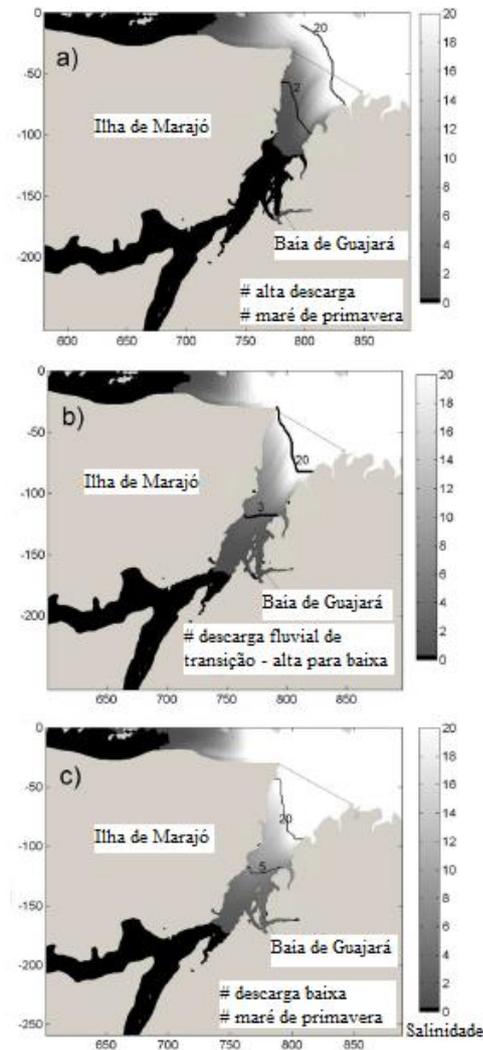


Figura 2 - Resultado da salinidade no ERP durante a) alta descarga; b) período de transição e c) baixa descarga. A linha reta na foz do estuário é o ponto de referência para distâncias. Fonte: Rosário et al. (2016).

## MATERIAIS E MÉTODOS

### *Aquisição das imagens de satélite*

A escolha das imagens nessa região possui algumas limitações, principalmente climática e/ou espaciais. Desta forma, a área de estudo localiza-se na Zona de Convergência Intertropical (ZICIT), a qual é responsável por haver uma cobertura de nuvem que pode chegar a 99 %, na estação chuvosa da região. Para além, para compor uma série histórica no intervalo de 32 anos (1987-2019), só é possível através da coleção LANSAD e esta, apresenta uma particularidade espacial de 30x30 a cada pixel, o que pode incidir no cálculo preciso da variação da LC.

Para contornar tais obstáculos, optou-se por selecionar imagens ópticas com a menor porcentagem de nuvens (<30%), então foram selecionadas imagens correspondentes aos meses de menor pluviosidade (junho e novembro). E, realizado o cálculo ponderado das métricas dos pixels para estimar o erro/desvio médio para obter dados confiáveis e mensuráveis.

As imagens de satélite foram adquiridas como arquivos GeoTIFF através da plataforma United States Geological Survey (USGS), as mesmas baixadas já georreferenciadas (acessado em junho de 2020). As imagens são de média resolução espacial (30m), foram selecionadas imagens Landsat 5 do sensor TM dos anos de 1987, 1993, 1999, 2004, 2008, e imagens Landsat 8 do sensor OLI/TIRS de 2013 e 2019 (Tabela 1). Com base nesse critério o intervalo temporal entre as imagens ficou entre 4, 5 e 6 anos. As cenas da órbita/ponto 223-061 recobrem toda a área de estudo.

Tabela 1- Dados das imagens adquiridas. Fonte: Adaptado de imagens Landsat (dados USGS); Instituto Nacional de Meteorologia (2020); Kayano et al. (2016) e Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (2021).

<b>Ano</b>	<b>Satélite</b>	<b>Sensor</b>	<b>Órbita/ponto</b>	<b>Resolução espacial (m)</b>	<b>Bandas</b>	<b>Data de aquisição</b>
<b>1987</b>	Landsat -5	TM	223-061	30	5,4,3	17/05
<b>1993</b>	Landsat -5	TM	223-061	30	5,4,3	20/07
<b>1999</b>	Landsat -5	TM	223-061	30	5,4,3	13/07
<b>2004</b>	Landsat -5	TM	223-061	30	5,4,3	19/08
<b>2008</b>	Landsat -5	TM	223-061	30	5,4,3	14/08
<b>2013</b>	Landsat-8	OLI/TIRS	223-061	30	6,5,4	27/07
<b>2019</b>	Landsat-8	OLI/TIRS	223-061	30	6,5,4	26/06

### *Processamento Digital das Imagens*

Nesta etapa foi realizada a composição RGB (Red, Green e Blue) com as bandas 5, 4, 3 (Landsat-5) e 6, 5, 4 (Landsat-8), a composição colorida ou falsa-cor dessas três bandas espectrais permite que as imagens tenham cores naturais simuladas para melhor visualização da LC. Em seguida, foi realizada uma re-projeção das imagens para WGS84/UTM Zone 22S, visto que as imagens da USGS originalmente estão na WGS84/UTM Zone 23N.

### *Vetorização da LC*

Para a vetorização da LC foram criados shapefiles para a extração da LC a partir das imagens correspondentes de cada ano selecionado (Figura 3), através da interpretação visual das imagens tendo como base o contato da vegetação com a água, neste estudo o limite da vegetação de manguezal foi utilizado para compor o limite rio-continente, pois facilita a interpretação e que as métricas geradas tenham pouca interferência nas taxas erosivas e acrescionais na área de estudo (Souza Filho, 2005; Batista et al., 2009).

Também foi criada uma linha de base (baseline, necessária para o processamento no DSAS v5) para todas as imagens que serve de auxílio para análise da variação da LC. Estes procedimentos foram realizados no programa ArcMap 10.5 do software ArcGis.

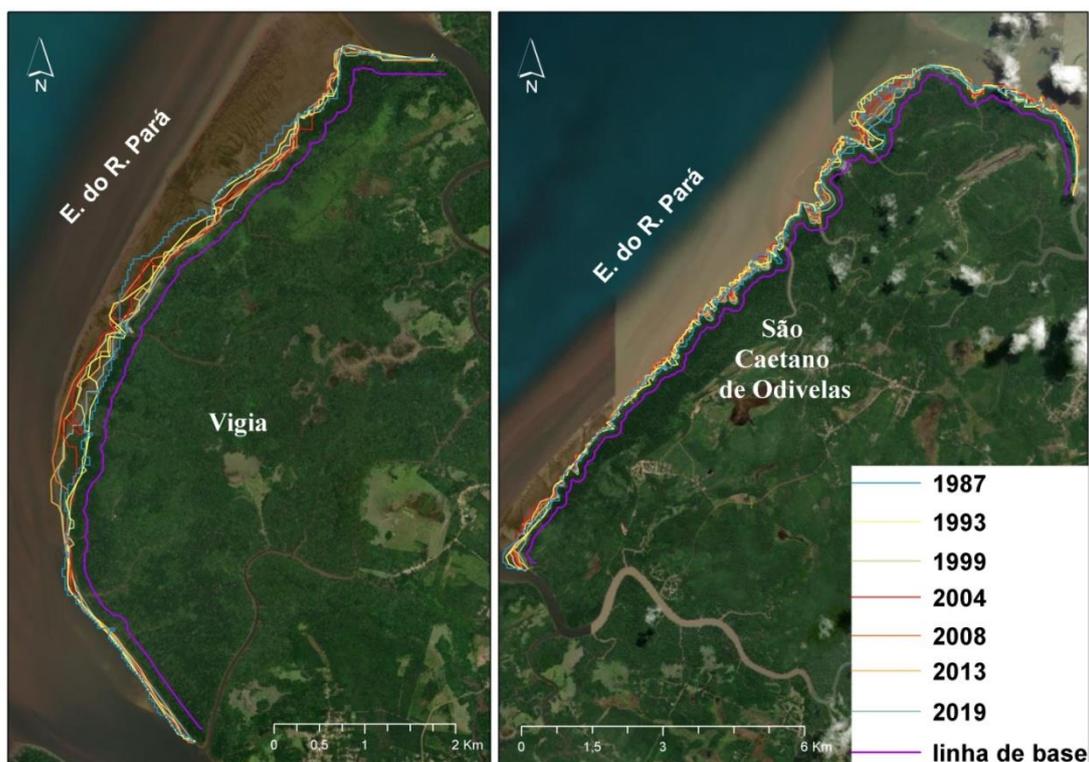


Figura 3 - Disposição das LC's dos anos de 1987 (azul), 1993 (amarela), 1997 (verde), 2004 (vermelha), 2008 (laranja), 2013 (marrom), 2019 (azul claro) e linha de base (roxa). Elaboração: Autora.

Após a vetorização das LC's dos anos de 1987, 1993, 1999, 2004, 2008, 2013 e 2019, foi utilizado o DSAS para a análise da variabilidade da LC e, por fim sendo gerados os produtos cartográficos.

### *Digital Shoreline Analysis System (DSAS v5)*

O DSAS é uma extensão de software que calcula estatísticas de taxa de mudança para uma série temporal de dados vetoriais da LC (Himmelstoss et al., 2018; Mishra et al., 2020; Toure et al., 2019). Esta extensão é de grande importância para o gerenciamento costeiro e os estudos da dinâmica costeira, principalmente quando se trata de médios e longos períodos onde a análise não pode ser realizada em trabalho de campo (Mishra et al., 2020; Ranieri e El-Robrini, 2015). Foi utilizada a versão mais recente do aplicativo (v5.0) lançada em dezembro de 2018 compatível com as versões do ArcGis 10.4 e 10.5. Essa ferramenta, traz consigo limitações do controle dos cálculos pelo usuário, haja vista que o mesmo se utiliza de métricas projetadas de forma semi-automáticas pelo plugin, cabendo ao pesquisador mensurar os dados obtidos após o processamento e, de preferência, abrangendo outros pesquisadores na análise.

Assim, a partir da vetorização das LC's de todos os anos (1987 à 2019) iniciou-se a utilização do DSAS que se baseou na criação de parâmetros quantitativos da variação de LC a partir da geração de transectos ortogonais a uma linha de base (baseline) (Conti e Rodrigues, 2011). Neste artigo, a linha de base foi delimitada na parte terrestre da ZC com relação à LC (Onshore) mais antiga e os transectos alinhados a cada 100 m para obter um resultado mais detalhado da área de estudo (~31 km).

Há uma série de parâmetros quantitativos que expressam a variação horizontal da LC determinada ao longo do tempo que geram taxas e medidas estatísticas, sendo estes: SCE (Shoreline Change Envelope); NSM (Net Shoreline Movement); EPR (End Point Rate); LRR (Linear Regression Rate-of-Change); JKR ou método Jackknife e WRL (Weighted Linear Regression) (Himmelstoss et al., 2018).

Neste artigo, foram utilizados os parâmetros NSM, EPR e LRR por gerar dados que se enquadram na análise necessária da mudança da posição da LC no espaço. O NSM mostra a distância (m) total entre as LC's mais recentes e mais antigas, o EPR é a taxa do parâmetro NSM dividida pelo tempo decorrido e o LRR determina uma estatística de taxa de mudança ajustando uma regressão linear de mínimos quadrados entre a primeira e última LC em um transecto específico (Himmelstoss et al., 2018).

Assim, tendo como resultados as variações em metros nos 32 anos de análise (NSM) e taxas médias de variação por ano (EPR e LRR). Mesmo os parâmetros EPR e LRR possuindo os mesmos resultados (taxas médias por ano) foram utilizados para fim de comparação, sendo que o LRR utiliza todas as LC criadas e o EPR apenas a primeira e a última LC.

Obtendo como referência a linha de base, os valores positivos indicam um deslocamento da linha em direção ao mar (offshore) ao longo do transecto e os valores negativos indicam um deslocamento em direção a terra (onshore) (Himmelstoss et al., 2018), ou seja, taxas positivas significam acreção e taxas negativas erosão.

## RESULTADOS

Na área de estudo foi observada o predomínio da acreção (1,26 m/ano em Vigia e 0,40 m/ano em São Caetano de Odivelas), onde as correntes de maré são as principais forçantes que contribuem para a dinâmica local. A dinâmica de fluidos induzida pela energia de ondas, correntes e marés é influenciada pela topografia e interação com o transporte de sedimentos ao longo do tempo, dando origem a áreas de erosão e acreção alterando a morfologia (Cassiano e Siegle, 2010; Lemke et al., 2021).

## Evolução da LC de Vigia

Na LC do município de Vigia (10 km), foram gerados 102 transectos, que apresentaram tendência de acreção (65,69 % dos transectos), com taxa média de variação de 1,26 m/ano, taxa máxima de acreção de 10,06 m/ano no EPR e taxa média de variação de 0,64 m/ano, e taxa máxima de acreção de 7,22 m/ano no LRR (Tabela 2). Os transectos de erosão representam 34,31 % do total.

Tabela 2 - Taxas de mudanças da LC calculadas pelos parâmetros NSM, EPR E LRR para o município de Vigia. Fonte: Autora.

	Vigia		
	NSM (m)	EPR (m/ano)	LRR (m/ano)
Taxa máxima de acreção	323,03	10,06	7,22
Taxa máxima de erosão	-302,24	-9,41	-11,45
Taxa média de acreção	114,28	3,55	3,09
Taxa média de erosão	-88,83	-2,76	-4,07
Taxa média de variação	40,61	1,26	0,64

As taxas oriundas do NSM mostram uma média de variação de 40,61 m, com acreção máxima de 323,03 m em contraste a taxa máxima de erosão é de -302,24 m. As taxas médias de acreção e de erosão ficaram respectivamente de 114,28 m e -88,83 m. Mesmo a diferença das médias não sendo tão significativas (apenas 25,45 m de diferença) pode-se perceber que a acreção prevaleceu nesses 32 anos.

Os dados quantificados do EPR apontam taxa média de acreção de 3,55 m/ano e taxa média de erosão de -2,76 m/ano, entretanto o parâmetro LRR mostra taxa média de acreção e de erosão, respectivamente de 3,09 m/ano e -4,07 m/ano (Figuras 4b e 4c). É evidente a presença de dois setores distintos subsequentes na LC de Vigia. Um setor A com taxas de média a alta erosão (transectos de coloração laranja e vermelha, respectivamente) e um setor B com taxas de alta acreção (transectos de coloração azul escuro) (Figura 4a). Nas proximidades do Furo da Laura os transectos são de média acreção (transectos de coloração azul claro).

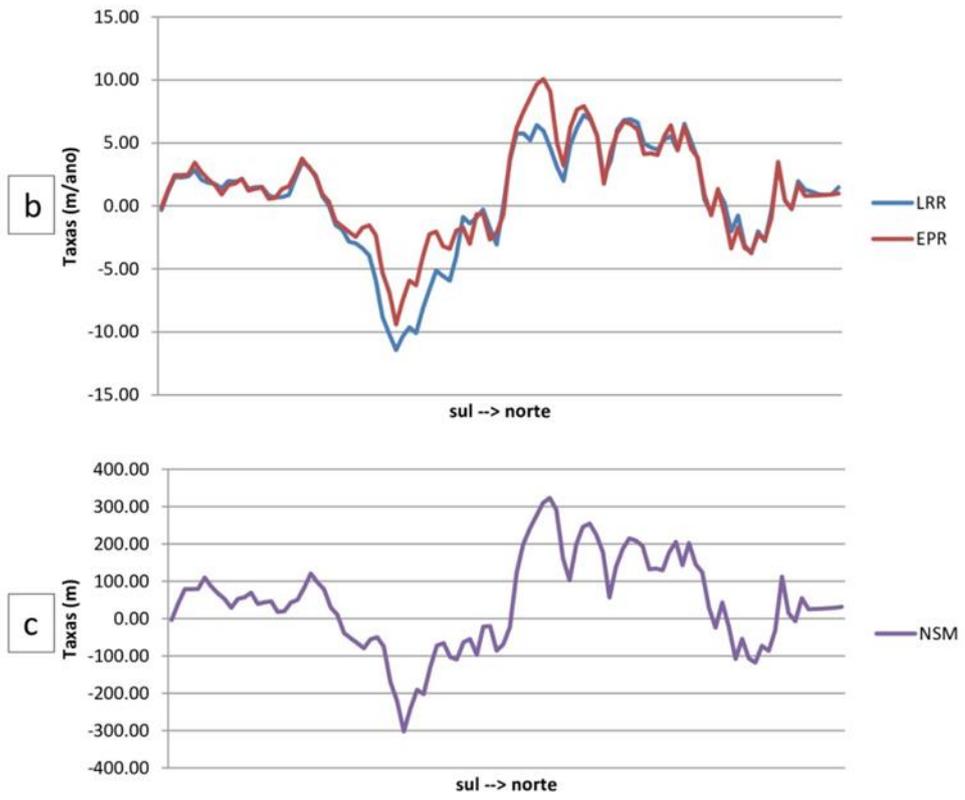
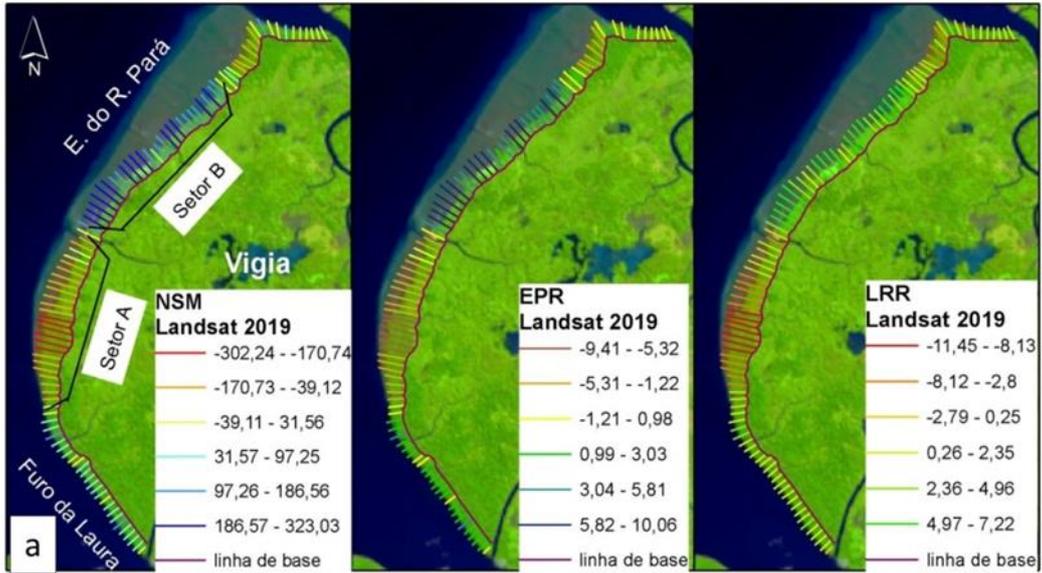


Figura 4 - Transectos com as taxas NSM, EPR e LRR da LC (a) e gráficos com as taxas de variação do LRR e EPR (b) e NSM (c) da LC de Vigia. Elaboração: Autora.

## Evolução da LC de São Caetano de Odivelas

O município de São Caetano de Odivelas é sustentado pelos sedimentos argilo-arenosos (Pleistoceno e argilo-siltosos (Holoceno). Os tabuleiros são representados por baixos platôs com rampas suavemente inclinadas, bordejados por Planícies costeiras estreitas, resultante de processos de acumulação estuarina (El-Robrini et al., 2018). Na planície lamosa, os manguezais se distribuem ao longo das margens da foz dos canais de maré e das reentrâncias costeiras (Vale et al., 2018).

Na LC (21 km) de São Caetano de Odivelas, foram gerados 215 transectos, com taxa média de variação no parâmetro EPR de 0,40 m/ano, no parâmetro LRR 0,25 m/ano e no NSM de 13,09 m (Tabela 3), sendo assim, os dados mostram que nesta região predomina a tendência a acreção de acordo com a variação em m/ano. Os transectos em erosão e em acreção representam, respectivamente 54,88 % e 45,12 % do total.

Tabela 3 - Taxas de mudanças da LC calculadas pelos parâmetros NSM, EPR E LRR para o município de São Caetano de Odivelas. Fonte: Autora.

	São Caetano de Odivelas		
	NSM (m)	EPR (m/ano)	LRR (m/ano)
Taxa máxima de acreção	405,85	12,64	16,21
Taxa máxima de erosão	-396,26	-12,34	-18,79
Taxa média de acreção	118,12	3,67	3,90
Taxa média de erosão	-85,32	-2,66	-2,75
Taxa média de variação	13,09	0,40	0,25

Com relação ao parâmetro NSM, as áreas, com taxa de média de acreção são predominantes (transectos azul claro), entretanto, ocorrem algumas com taxa de alta acreção (transectos azul escuro), sendo que a taxa máxima positiva é de 405,85 m (Figura 5a). A taxa média positiva e a taxa média negativa foram respectivamente de 118,12 m e -85,32 m (Figura 5c).

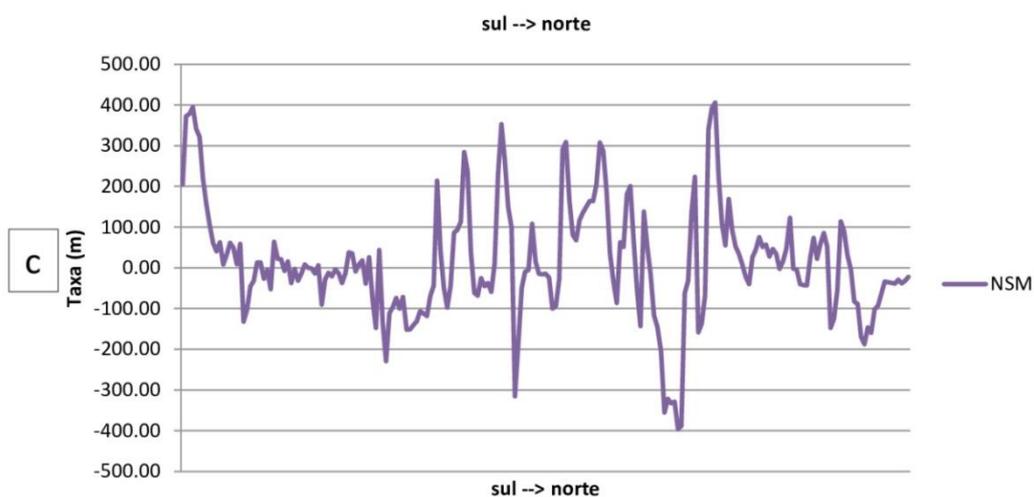
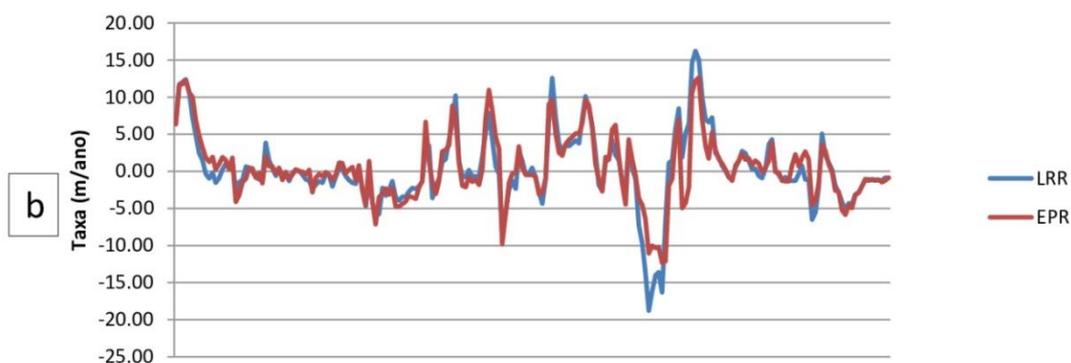
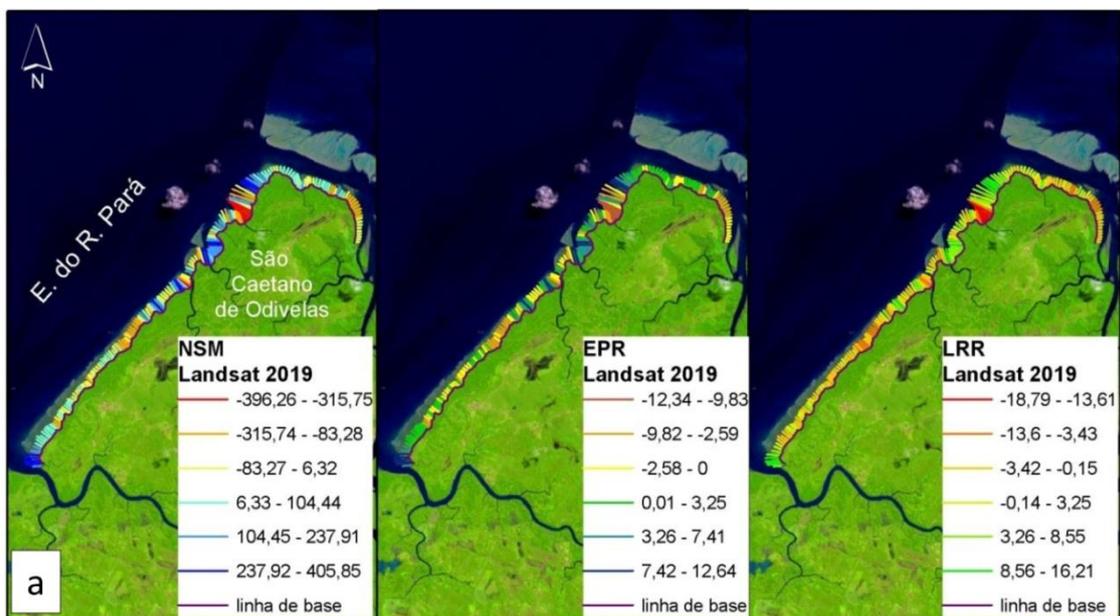


Figura 5 - Transectos com as taxas NSM, EPR e LRR da LC (a) e gráficos com as taxas de variação do LRR e EPR (b) e NSM (c) da LC de São Caetano de Odivelas. Elaboração: Autora.

O único trecho com taxas de alta erosão (transectos vermelhos) está localizado no setor A da LC da região, com máxima de erosão do EPR de -12,34 m/ano e do LRR de -18,79 m/ano e um ponto com alta acreção (transectos verdes) está no setor B, uma reentrância com influência de um

afluente do ERP (Figuras 6). As taxas médias de erosão são menores (-2,66 m/ano EPR; -2,75 m/ano LRR), se comparadas as taxas médias de acreção (3,67 m/ano EPR; 3,90 m/ano LRR).

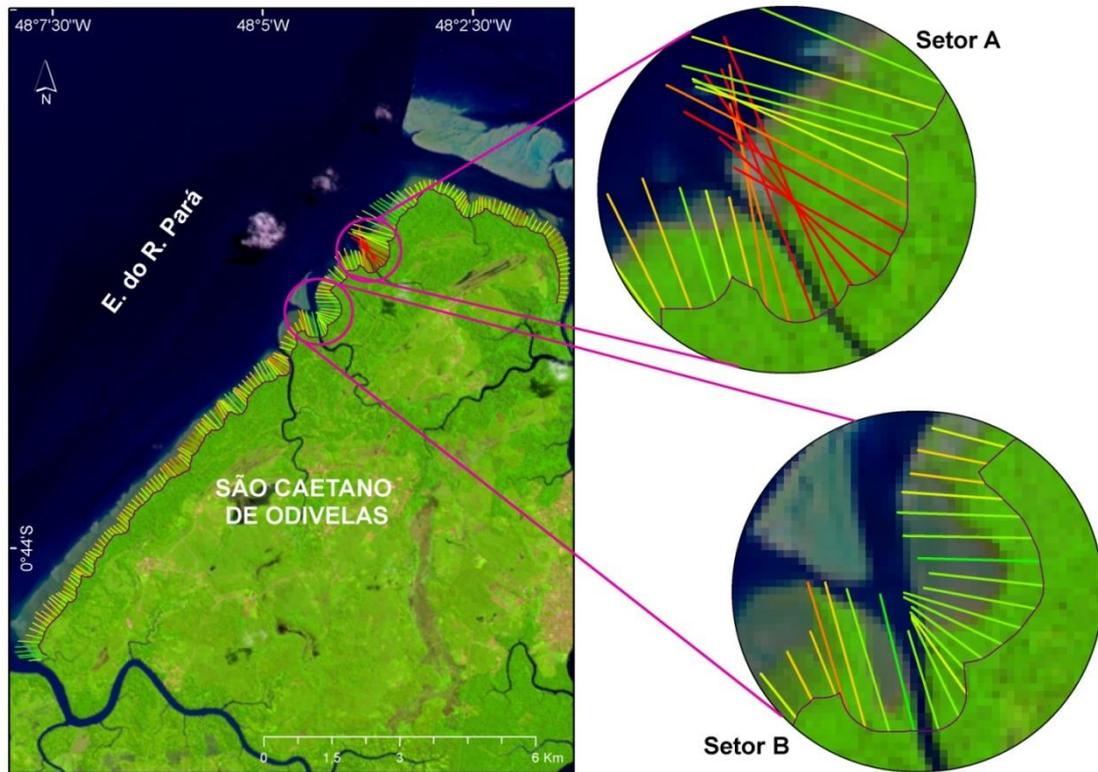


Figura 6 - Localização dos setores A (com taxa máxima de erosão) e B (taxa máxima de acreção) em São Caetano de Odivelas. Elaboração: Autora.

## DISCUSSÃO

O DSAS é um complemento do ArcGIS do Environmental System Research Institute (ESRI) criado em 1992. Acompanhado dos parâmetros EPR, NSM e LRR vem sendo muito utilizado em vários países (Almonacid-Caballer et al. 2016; Anthony, 2019; Din Hashmi e Ahmad, 2018; Kabir et al., 2020; Mishra et al., 2019; Muskananfolá, 2020) inclusive no Brasil (Lemos e Sopchaki, 2020; Quadrado, 2021; Rabelo et al., 2021; Santos et al., 2021; Santos e Bonetti, 2018). Essa ferramenta tem cumprido com a sua função de obter excelentes resultados, mais rápidos e precisos das mudanças da LC em regiões tropicais.

Nos últimos 20 anos, o interesse em avaliar as mudanças na LC aumentou devido à percepção da comunidade científica em relação as mudanças climáticas e a crescente erosão costeira. O avanço tecnológico, a maior capacidade de utilizar instrumentos e dados de maior precisão nas pesquisas, como o uso de imagens de satélite (a exemplo, o Landsat) e ferramentas como o DSAS na observação das mudanças costeiras, permitiu o início de uma gestão sustentável e mitigação das mudanças climáticas (Apostolopoulos e Nikolakopoulos, 2021; MISHRA et al., 2020).

Na margem leste do trecho inferior do ERP a tendência é de acreção (progradação em sentido offshore da LC). As LCs dos dois municípios apresentam taxas médias de variação positiva, ou seja, apesar de ainda existirem áreas pontuais de erosão, a acreção predomina na maior parte das LC's com taxas de até 2 m/ano. Em um estuário, os efeitos da maré, a descarga fluvial e o suprimento de sedimentos na cabeceira geram deposição na foz. (Canestrelli et al., 2014).

Neste trecho de estuário da margem leste, a descarga fluvial (20,946 m<sup>3</sup>.s<sup>-1</sup>) permite a deposição maior de sedimentos. Impulsionados pela densidade e o transporte de sedimentos, os fluxos ocorrem em direção ao continente (Olabarrieta et al., 2018). A maré pode afetar o fluxo estuarino e a dinâmica dos sedimentos em frente à foz dos rios, influenciando assim a morfologia estuarina específica.

Semelhante condição ocorre na praia de Santa Maria no estuário de Marapanim, (nordeste do estado do Pará) onde a maior atuação de correntes e a pouca atuação de ondas, favorecem a fixação e desenvolvimento de manguezais, chegando assim a uma variação espacial de 5,1 m de acreção (Baía et al., 2021).

Batista et al (2009) estudando o Cabo Orange no Amapá constatou que o manguezal contribui diretamente para o processo geomorfológico de progradação, pois fornece um mecanismo adicional de retenção e fixação de sedimentos, atuando como “armadilhas” para o sedimento e servindo, também, como proteção à remoção pelo ataque das ondas.

Em Vigia a maré e descarga fluvial contribuem para o fluxo de sedimentos na LC, onde no Furo da Laura a média de acreção da LC ocorre em condições de forte hidrodinâmica, tendo em vista a velocidade e intensidade das correntes de maré (Lima et al., 2015). As áreas em acreção predominam, porém, a forma convexa da LC permite a formação de dois setores distintos subseqüentes. O setor A com forma mais projetada ao estuário permite alta erosão, ou seja, diminuição de áreas de manguezal e retirada de sedimentos.

O setor B de alta acreção, com maior acumulação de sedimentos. De acordo com Luz e Teixeira (2019), os estuários tropicais possuem mata ciliar composta, em grande parte, por mangue, que desempenha função considerável na estabilidade dos solos para a contenção da erosão e retenção dos sedimentos.

A LC em São Caetano de Odivelas apresenta áreas em erosão e em acreção sucessivos, porém as taxas médias de variação não chegam a 1m/ano o que indica uma estabilidade da LC. A alta intrusão salina (110 km) no período de baixa vazão do estuário contribui junto com o aporte de sedimentos finos com a fixação de manguezais jovens, a presença de manguezais pode explicar a pouca variação da LC, pois os ecossistemas de manguezal funcionam como uma barreira natural às ondas, correntes de maré e ventos (Das, 2020).

No ERP, as principais forçantes são as correntes de maré que influenciam na erosão e acreção na LC (Carneiro et al., 2020; Corrêa, 2005). Contribuindo para que as áreas de erosão sejam pontuais (setor A de Vigia; setor A de São Caetano de Odivelas), outros fatores relacionados a essas áreas estão relacionados a geomorfologia local e a presença de canais de maré. Processos semelhantes acontecem em trechos do setor Flúvio-Marítimo paraense, onde as forçantes como as marés e correntes são os maiores modificadores da LC (Baía et al., 2021; Conti e Rodrigues, 2011; Ramos e Ranieri, 2021; Rodrigues e Souza Filho, 2011).

Na foz do ERP, a hidrodinâmica atua com maior intensidade nas áreas de erosão, contribuindo com a diminuição dos mangues nas margens. Semelhante ao que ocorre na foz do estuário Maroni, onde a modulação sazonal da atividade de ondas; as fortes correntes refletem na mobilidade da LC (Jolivet et al., 2019).

As estações chuvosas e secas influenciadas pela ZCIT e os fenômenos do EN e LN também são relevantes na vazão do estuário. Em um período médio de análise as possíveis mudanças relacionadas a eventos extremos são consideradas além das mudanças sazonais. Todos os fatores que influenciam na descarga fluvial, correntes e marés, seja em um período longo ou curto, são relevantes para as mudanças costeiras.

## CONCLUSÃO

O uso do SR contribui na determinação das mudanças na LC, tornando-se mais eficiente com essa fonte de alta qualidade, mesmo em um longo período. Assim, o uso de geotecnologias e de imagens de satélite para monitorar as mudanças nas LC torna-se essencial devido ao mapeamento de alta precisão, custo-benefício e redução do erro manual.

O SR combinado com ferramentas como o DSAS é uma excelente opção para a análise das mudanças costeiras em um médio período. Essa metodologia, apesar de suas limitações (média resolução, períodos com alta porcentagem de nuvens) permite o diagnóstico das áreas de erosão e de acreção e a evolução da LC em uma maior escala temporal.

A margem adjacente à foz do ERP dispõe de uma dinâmica relacionada à sua morfologia e sua hidrodinâmica. Com base em estudo realizados em regiões semelhantes podemos inferir que a hidrodinâmica nesta margem contribui para uma maior acreção da LC, os canais de maré que recortam esta margem corroboram ainda mais para chegada desses sedimentos a LC. Em contraponto áreas mais expostas às correntes de maré sofrem com uma maior erosão, sendo estes setores também relacionados à morfologia da LC do município como é o caso de Vigia.

Esses resultados corroboram para a interpretação da dinâmica da LC na foz de estuários e contribuem com dados relevantes para programas como o projeto Orla, Procosta e GERCO (Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro) que buscam um gerenciamento costeiro mais eficaz de áreas com dinâmicas e vegetações diferentes, como no caso dos manguezais.

---

*Submetido em 22 de dezembro de 2023.*

*Aceito para publicação em 10 de setembro de 2024.*

## Referências

- ALMONACID-CABALLER, J.; SÁCHEZ-GARCÍA, E.; PARDO-PASCUAL, J.E.; BALAGUER-BESER, A.A.; PALOMAR-VÁZQUEZ, J. **Evaluation of annual mean shore-line position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator**. *Marine Geology*, [S. l.], v. 372, p. 79\_88, fev. 2016. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0025322715300864>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- AMANAJÁS, J. C.; BRAGA, C. C. **Padrões espaço-temporal pluviométricos na Amazônia Oriental utilizando análise multivariada**. *Revista Brasileira de Meteorologia*, [S. l.], v. 27, n. 4, p. 423\_434, 2012. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-77862012000400006&lng=pt&tlng=pt](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-77862012000400006&lng=pt&tlng=pt). Acesso em: 10 dez. 2021.
- ANTHONY, E. J. **Overview of the Monsoon-influenced Ayeyarwady River delta, and delta shoreline mobility in response to changing fluvial sediment supply**. *Marine Geology*, [S. l.] p. 14, 2019.
- APOSTOLOPOULOS, D.; NIKOLAKOPOULOS, K. **A review and meta-analysis of remote sensing data, GIS methods, materials and indices used for monitoring the coast-line evolution over the last twenty years**. *European Journal of Remote Sensing*, [S. l.], v. 54, n. 1, p. 240–265, 1 jan. 2021. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/22797254.2021.1904293>. Acesso em: 11 jan. 2022.
- BAÍA, L. B.; RANIERI, L. A.; ROSÁRIO, R. P. **Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas de macromaré na Amazônia oriental**. *Geociências*, São Paulo, v. 40, n. 1, p. 231–244, 2021.
- BATISTA, E. DAS M.; FILHO, P. W. M. E S.; SILVEIRA, O. F. M. DA. **Avaliação de áreas deposicionais e erosivas em cabos lamosos da zona costeira Amazônica através da análise multitemporal de imagens de sensores remotos**. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 27, n. 1, p. 83–96, 2009.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. **Shoreline definition, and detection: A review**. *Journal of Coastal Research*, v. 21, n. 4, p. 688–703, 2005. DOI: 10.2112/03-0071.1.
- BROOKS, S.; POLLARD, J.; SPENCER, T. **Contemporary challenges for Shoreline Change Analysis**. ADS Bibcode: 2020EGUGA..22.8153B, , p. 8153, 1 maio 2020. Disponível em: <https://ui.adsabs.harvard.edu/abs/2020EGUGA..22.8153B>. Acesso em: 5 jun. 2020.
- CAI, W.; McPhaden, M.J.; Grimm, A.M.; Rodrigues, R.R.; Taschetto, A.S.; Garreaud, R.D.; Dewitte, B.; Poveda, G.; Yoo-Geun, H., Santoso, A.; Ng, B.; Anderson, W.; Wang, G.; Geng, T.; Hyun-Su J., Marengo, J.A.; Alves, L.M.; Osman, M.; Li, S.; Wu, L.; Karamperidou, C.; Takahashi K.; Vera, C. **Climate impacts of the El Niño–Southern Oscillation on South America**. *Nature Reviews Earth & Environment*, [S. l.], v. 1, n. 4, p. 215–231, abr. 2020. Disponível em: <http://www.nature.com/articles/s43017-020-0040-3>. Acesso em: 19 dez. 2021.

- CANESTRELLI, A.; LANZONI, S.; FAGHERAZZI, S. **One-dimensional numerical modeling of the long-term morphodynamic evolution of a tidally-dominated estuary: The Lower Fly River (Papua New Guinea)**. *Sedimentary Geology*, [S. l.], v. 301, p. 107–119, mar. 2014. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0037073813001334>. Acesso em: 8 fev. 2022.
- CARNEIRO, A. G.; PRESTES, Y. O.; ROLLNIC, M. **Estimates of suspended solid transport in the Pará River Estuary**. *Ocean and Coastal Research*, [S. l.], v. 68, 2020. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2675-28242020000100206&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2675-28242020000100206&tlng=en). Acesso em: 29 nov. 2021.
- CASSIANO, G. F.; SIEGLE, E. **Migração lateral da desembocadura do Rio Itapocú, SC, Brasil: evolução morfológica e condicionantes físicas**. *Revista Brasileira de Geofísica*, [S. l.], v. 28, n. 4, p. 537–549, dez. 2010. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0102-261X2010000400001&lng=pt&nrm=iso&tlng=en](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2010000400001&lng=pt&nrm=iso&tlng=en). Acesso em: 11 jan. 2022.
- CPTEC/INPE. **Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. El Niño e La Niña**. 2021. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br/>. Acesso em: 2 fev. 2021.
- CONTI, L. A.; RODRIGUES, M. **Variação da Linha de Costa na Região da Ilha dos Guarás – PA Através de Análise de Série Temporal de Imagens de Satélites**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], , p. 922–937, 2011.
- CORRÊA, I. C. S. **Aplicação do Diagrama de Pejrup na Interpretação da Sedimentação e da Dinâmica do Estuário da Baía de Marajó-PA**. *Pesquisas em Geociências*, [S. l.], v. 32, n. 2, p. 109–118, 2005. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/19551>. Acesso em: 29 nov. 2020.
- DAS, S. **Does mangrove plantation reduce coastal erosion? Assessment from the west coast of India**. *Regional Environmental Change*, [S. l.], v. 20, n. 2, p. 58, 10 maio 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s10113-020-01637-2>. Acesso em: 3 jan. 2022.
- DIN HASHMI, S. G. M.; AHMAD, S. R. **GIS-Based Analysis and Modeling of Coast-line Erosion and Accretion along the Coast of Sindh Pakistan**. *Journal of Coastal Zone Management*, [S. l.], v. 21, n. 1, 2018. Disponível em: <https://www.omicsonline.org/open-access/gisbased-analysis-and-modeling-of-coastline-erosion-and-accretion-along-the-coast-of-sindh-pakistan-2473-3350-1000455-99392.html>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- DHN. **Diretoria de Hidrografia e Navegação. Tábuas de Maré** | Centro de Hidrografia da Marinha. 2023. Disponível em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. Acesso em: 6 jan. 2023.
- DOS SANTOS, J. S.; ROCHA, E.J.P. DA; SOUZA JUNIOR, J.A. DE; SANTOS, J.S. DOS; SANTOS, F.A.A. DOS. **Climatologia da Amazônia Oriental: Uso de prognósti-cos climáticos como ferramenta de prevenção de ameaças naturais**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 12, n. 5, p. 1853–1871, 6 dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgefe/article/view/238440>. Acesso em: 28 nov. 2021.
- EL-ROBRINI, M.; RANIEIRI, L. A.; SILVA, P. V. M et al. PARÁ. In: MUEHE, D.; EL-ROBRINI, M.; RANIEIRI, L. A. SILVA, P. V. M.; GUERREIRO, J. S.; ALVES, M. A. M. S.; OLIVEIRA, R. R. S.; SILVA, M. S. F. AMORA, P. B. C.; EL-ROBRINI, M. H. S.; FENZIL, N.; FARIAS, D. R. **Panorama da Erosão Costeira do Brasil**. Brasília, DF, MMA. 2018. p. 65-166.

FRANÇA, C.F DE; Silva, R.R.P E.; JÚNIOR, J.L. DO A.F.; ARAÚJO, F.A. DE. **Erosão da orla costeira grande-bispo, ilha de Mosqueiro, Belém - PA, através da análise de indicadores.** Geografia Ensino & Pesquisa, [S. l.], v. 24, p. 20, 9 jul. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/33940>. Acesso em: 29 nov. 2021.

FRANÇA, C. F. D.; SOUZA FILHO, P. W. M. E. **Análise das mudanças morfológicas costeiras de médio período na margem leste da ilha de Marajó (PA) em imagens Land-sat.** Revista Brasileira de Geociências, [S. l.], v. 33, n. 2, p. 127–136, 1 jun. 2003. Disponível em: <http://ppeggeo.igc.usp.br/index.php/rbg/article/view/9877/9166>. Acesso em: 29 nov. 2021.

HIMMELSTOSS, E. A.; HENDERSON, R.E.; KTATZMANN, M.G.; FARIRIS, A.S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide.** U.S. Geological Survey Open-File Report, n. 1179. [S. l.: s. n.], 2018.

ICMBIO. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. **Atlas dos manguezais do Brasil.** . [S. l.: s. n.], 2018.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. **Normais climatológicas do Brasil (1981-2010).** 2023b. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/normais>. Acesso em: 18 jan. 2023.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia do Brasil. **Tempo: Gráficos anuais.** 2021a. Disponível em: <https://tempo.inmet.gov.br/GraficosAnuais/A201>. Acesso em: 22 jan. 2023.

JOLIVET M.; ANTHONY E.J.; GARDEL A.; BRUNIER G. **Multi-Decadal to Short-Term Beach and Shoreline Mobility in a Complex River-Mouth Environment Affected by Mud From the Amazon.** Front. Earth Sci. 7:187. doi: 10.3389/feart.2019.00187. 2019

KABIR, A. Kabir, A.; Salauddin, M.D.; Hossain, K.T.; Tanim, I.A.; Saddam, M.H.; Ahmad, A.U. **Assessing the shoreline dynamics of Hatiya Island of Meghna estuary in Bangladesh using multiband satellite imageries and hydro-meteorological data.** Regional Studies in Marine Science, [S. l.], v. 35, p. 101167, mar. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2352485518304109>. Acesso em: 12 jan. 2022.

LEMKE, N.; CALLIARI, L.J.; FONTOURA, J.F.S.; SERPA, C.G.; SILVA, M.J.B DA. **Morfodinâmica da foz do Arroio Carahá em laguna costeira micromaré (Lagoa dos Patos, sul do Brasil).** Pesquisas em Geociências, [S. l.], v. 48, n. 3, 30 set. 2021. Disponível em: <https://www.seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/111039>. Acesso em: 11 jan. 2022.

LEMO, A. L.; SOPCHAKI, C. **Contribuição da ferramenta digital shoreline analysis system nos estudos de dinâmica costeira no estado do Ceará, Brasil.** Revista Equador, [S. l.], v. 9, n. 3, p. 61–81, 2020.

LIMA, M. W.; Santos, M. DE L.S.; Montelo, D. DE J.; Moura Nunes, D.M.; Alves, I.C.C.; Silva, M. DO S.F. DA. **Análise temporal da composição granulométrica de um estuário amazônico, Pará, Brasil.** Scientia Plena, [S. l.], v. 11, n. 01, p. 11, 2015.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DON-CHYTS, G.; AARNINKHOF, S. **The State of the World's Beaches.** Scientific Reports, v. 8, n. 1, p. 1–11, 2018. DOI:10.1038/s41598-018-24630-6

- LUZ, G.C.B. da; TEIXEIRA, S.F. **Importância do Manguezal e das Barreiras Físicas na Contenção de Resíduos Sólidos nas Margens de um Estuário Urbano**. *Ciência Geográfica*. Vol. XXIII - (2), p. 790-803, 2019
- MARTINS, L. R.; TABAJARA, L. L.; FERREIRA, E. R. **Linha de Costa: problemas e estudos**. *GRAVEL*, Porto Alegre, v. 2, p. 40–56, 2004.
- MATOS, A. P. de; COHEN, J. C. P. **Circulação de brisa fluvial e a banda de precipitação na margem leste da baía de Marajó**. *Ciência e Natura*, [S. l.], v. 38, p. 21, 20 jul. 2016. Disponível em: <http://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/19814>. Acesso em: 2 dez. 2021.
- MISHRA, M.; MISHRA, M.; SHARMA, P.C.; PATTNAIK, N.; KATTEL, D.B.; PAN-DA, G.K.; MOHANTI, M.; BARUAH, U.D.; CHANDNIHA, D.K.; ACHARY, S.; MOHANTY, T. **Response of long- to short-term changes of the Puri coastline of Odisha (India) to natural and anthropogenic factors: a remote sensing and statistical assessment**. *Environmental Earth Sciences*, [S. l.], v. 78, n. 11, p. 338, jun. 2019. Disponível em: <http://link.springer.com/10.1007/s12665-019-8336-7>. Acesso em: 12 jan. 2022.
- Mishra, M.; Sudarsan, D.; Kar, D.; Naik, A.K.; Das, P.; Santos, C.A.G.; Silva, R.M. DA. **The development and research trend of using dsas tool for shoreline change analysis: a scientometric analysis**. *Journal of Urban and Environmental Engineering*, [S. l.], v. 14, n. 1, p. 69–77, 7 jun. 2020. Disponível em: <https://periodicos.ufpb.br/index.php/juee/article/view/53166>. Acesso em: 2 dez. 2021.
- MOREIRA, S. DE F.; CONCEIÇÃO, C.S. DA; CRUZ, M.C.S. DA; JÚNIOR, A.P. **A Influência dos fenômenos El Niño e La Niña sobre a dinâmica climática da região Amazônica**. *Multidisciplinary Reviews*, [S. l.], v. 1, p. 1–7, 2018. Disponível em: <https://malque.pub/ojs/index.php/mr/article/view/78>. Acesso em: 29 nov. 2021.
- MOURA, M.M.; SANTOS, A.R. DOS; PEZZOPANE, J.E.M.; ALEXANDRE, R.S.; SILVA, S.F. DA.; PIMENTEL, S.M.; ANDRADE, M.S.S. DE; SILVA, F.G.R.; BRANCO, E.R.F.; MOREIRA, T.R.; SILVA, R.G. DA; CARVALHO, J.R. DE. **Relation of El Niño and La Niña phenomena to precipitation, evapotranspiration and temperature in the Amazon basin**. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 651, p. 1639–1651, fev. 2019. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969718336866>. Acesso em: 18 dez. 2021.
- MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. **Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, [S. l.], v. 5, n. 2, 31 dez. 2014. Disponível em: <http://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/35884>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- MUSKANANFOLA, M. R. **Spatio-temporal analysis of shoreline change along the coast of Sayung Demak, Indonesia using Digital Shoreline Analysis System**. *Regional Studies in Marine Science*, [S. l.], , p. 9, 2020.
- NEVES, S. C. R.; FRANÇA, C. F. de; SILVA, R. R. P. e. **Morfologia e dinâmica da orla costeira do Maraú, ilha de Mosqueiro, Belém, Pará**. *Geosul*, [S. l.], v. 34, n. 73, p. 107–125, 6 dez. 2019. Disponível em: <https://periodicos.ufsc.br/index.php/geosul/article/view/1982-5153.2019v34n73p107>. Acesso em: 29 nov. 2021.

- OLABARRIETA, M.; GEYER, W.R.; COCO, G.; FRIEDRICH, C.; CAO, Z. **Effects of Density-Driven Flows on the Long-Term Morphodynamic Evolution of Funnel-Shaped Estuaries**. *Journal of Geophysical Research: Earth Surface*, [S. l.], v. 123, n. 11, p. 2901–2924, nov. 2018. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1029/2017JF004527>. Acesso em: 8 fev. 2022.
- PRESTES, O.Y.; BORBA, T.A. DA C.; COSTA DA, S.A. ROLLNIC, M. **A discharge stationary model for the Pará-Amazon estuarine system**. *Journal of Hydrology: Regional Studies*, [S. l.], v. 28, abr. 2020. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S2214581819301004>. Acesso em: 29 nov. 2021.
- PRESTES, Y.O.; SILVA A.C. DA; ROLLNIC, M. ROSÁRIO, R.P. **The M2 and M4 tides in the Pará river estuary**. *Tropical Oceanography*, [S. l.], v. 45, n. 1, p. 26–37, 7 maio 2017. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/TROPICALOCEANOGRAPHY/article/view/15198>. Acesso em: 29 nov. 2021.
- QUADRADO, G. P. **Historical and geological assessment of shoreline changes at an urbanized embayed sandy system in Garopaba, Southern Brazil**. *Regional Studies in Marine Science*, [S. l.], , p. 19, 2021.
- RABELO, F. D. B.; SILVA, E. V. da; GORAYEB, A. **Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do Rio Caeté – Pará I** (Edição 530). *Papers do NAEA*, [S. l.], v. 30, n. 1, 9 dez. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpa.br/index.php/pnaea/article/view/11592>. Acesso em: 3 jan. 2022.
- RAMOS, C. C.; RANIERI, L. A. **Morfologia e Sedimentação de uma Praia Estuarina Amazônica (Marahú/PA) Durante Amplitudes de Marés Distintas**. *Revista Brasileira de Geografia Física*, [S. l.], v. 14, n. 5, p. 2916–2930, 30 set. 2021. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/245181>. Acesso em: 21 jan. 2022.
- RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. **Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil**. *Pesquisas em Geociências*, [S. l.], v. 42, n. 3, p. 207–226, 27 fev. 2015. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/PesquisasemGeociencias/article/view/78121>. Acesso em: 29 nov. 2021.
- RIBEIRO, S.; VALADÃO, R. **Efeitos marinho e fluvial na dinâmica dos ambientes inundáveis do Estuário Superior do Rio Pará, Norte do Brasil**. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, [S. l.], v. 22, n. 4, 15 set. 2021. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/2017>. Acesso em: 3 dez. 2021.
- RIZZO, A.; ANFUSO, G. **Coastal Dynamic and Evolution: Case Studies from Different Sites around the World**. *Water*, [S. l.], v. 12, n. 10, p. 2829, 12 out. 2020. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/10/2829>. Acesso em: 29 nov. 2021.
- RODRIGUES, S.; SOUZA FILHO, P. W. M. **Análise da variação da linha de costa a noroeste do Estado do Pará (Baía de Curuçá) através das imagens Landsat TM e ETM+ e CBERS 2B**. *Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Curitiba, n. XV, p. 5061, 2011.
- ROLLNIC, M. et al. **Áreas de estudo. Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2020. v. 1, p. 26–45.

ROSÁRIO, R.P.; BORBA, T.A.C.; SANTOS, A.S.; ROLLNIC, M. **Variability of Salinity in Pará River Estuary: 2D Analysis with Flexible Mesh Model**. *Journal of Coastal Research*, [S. l.], n. 75 (10075), p. 128–132, 1 mar. 2016. Disponível em: <https://doi.org/10.2112/SI75-026.1>. Acesso em: 24 dez. 2021.

SANTOS, C.A.G.; NASCIMENTO, T.V.M DO; NASCIMENTO, T.V.M DO; MISH-RA, M.; SILVA, R.M. DA. **Analysis of long- and short-term shoreline change dynamics: A study case of João Pessoa city in Brazil**. *Science of The Total Environment*, [S. l.], v. 769, 2021. Disponível em: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0048969720384229>. Acesso em: 29 nov. 2021.

SANTOS, E. C.; BONETTI, J. **Análise da taxa de variação da linha de costa da Enseada de Tijucas (SC) em diferentes escalas temporais como indicadora de suscetibilidade costeira**. *Quaternary and Environmental Geosciences*, [S. l.], v. 9, n. 2, 13 ago. 2018. Disponível em: <https://revistas.ufpr.br/abequa/article/view/53650>. Acesso em: 12 jan. 2022.

SANTOS, V. **Ambientes costeiros amazônicos: avaliação de modificações por sensoriamento remoto**. 2006. 306 f. Tese (Doutorado em Geologia e Geofísica Marinha) – Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2006.

SOUZA FILHO, P. W. M. **Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos**. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 23, n. 4, p. 427–435, 2005.

SZLAFSZTEIN, C.; STERR, H.; LARA, R. **Estratégias y medidas de protección contra desastres naturales en la zona costera de la región Amazónica, Brasil**. *Terra Livre*, Goiânia, v. 1, n. 26, p. 109–125, 2006.

TEIXEIRA, S. G.; NASCIMENTO BANDEIRA, Í. C.; DANTAS, M. E. **Shoreline Variation and Identification of Local Erosion Ge indicators on the Brazilian Amazon Coast**. *Journal of Coastal Research*, [S. l.], v. 37, n. 6, 17 ago. 2021. Disponível em: <https://bioone.org/journals/journal-of-coastal-research/volume-37/issue-6/JCOASTRES-D-20-00164.1/Shoreline-Variation-and-Identification-of-Local-Erosion-Ge indicators-on-the/10.2112/JCOASTRES-D-20-00164.1.full>. Acesso em: 31 dez. 2021.

TOURE, S. et al. **Shoreline Detection using Optical Remote Sensing: A Review**. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, [S. l.], v. 8, n. 2, p. 75, 5 fev. 2019. Disponível em: <http://www.mdpi.com/2220-9964/8/2/75>. Acesso em: 2 dez. 2021.

VALE, J. R. B.; LEITE, T.V. DA S.; SILVA, E.L.S. DA; JEFFERSON FERREIRA DOS SANTOS, J.F. DOS. **Análise espacial das unidades de paisagem da reserva extra-tivista marinha Mocajuba, zona costeira do nordeste paraense**. *Revista Cerrados*, [S. l.], v. 16, n. 02, p. 153–173, 9 mar. 2018. Disponível em: <https://www.periodicos.unimontes.br/index.php/cerrados/article/view/1259>. Acesso em: 29 nov. 2021.

VASCONCELOS, A. O. SILVA, P.M DA S.; CRUZ, C.L.Z. DA; GONÇALVES, J.B.; LANDAU, L. **Caracterização do Uso e Cobertura do Solo e da Linha de Costa. Projeto Costa Norte, – Desenvolvimento de Metodologias para o entendimento de processos costeiros e estuarinos e da vulnerabilidade de florestas de mangue na Margem Equatorial Brasileira**. Rio de Janeiro: [s. n.], 2020. v. 2, p. 911–1029.

WANG, C.; YANG, J.; YANG, J.; LI, J.; CHU, J. **Deriving Natural Coastlines Using Multiple Satellite Remote Sensing Images**. *Journal of Coastal Research*, [S. l.], v. 102, n. sp1, p. 296–302, 14 dez. 2020. Disponível em: <https://bioone.org/journals/journal-of-coastal-research/volume-102/issue-sp1/SI102-036.1/Deriving-Natural-Coastlines-Using-Multiple-Satellite-Remote-Sensing-Images/10.2112/SI102-036.1.full>. Acesso em: 2 dez. 2021.

WRIGHT, L. D. **Sediment transport and deposition at river mouths: A synthesis**. *Geological Society of America Bulletin*, [S. l.], v. 88, n. 6, p. 857, 1977. Disponível em: <https://pubs.geoscienceworld.org/gsabulletin/article/88/6/857-868/202170>. Acesso em: 8 fev. 2022.