

## ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA NO TRECHO ENTRE AS PRAIAS DE PEROBA E REDONDA NO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ-CEARÁ, BRASIL, A PARTIR DE IMAGENS DE SATÉLITE APLICANDO O DSAS

ANALYSIS OF THE SHORELINE VARIATION IN THE AREA BETWEEN PEROBA AND REDONDA'S BEACHES IN ICAPUÍ-CEARÁ, BRAZIL, BASED ON SATELLITE IMAGES USING DSAS

Mário Silva CHACANZA<sup>1</sup>, Narelle Maia de ALMEIDA<sup>1</sup>, George Satander Sá FREIRE<sup>1</sup>, Cláudio Ângelo SILVA NETO<sup>1</sup>, João Capistrano de ABREU NETO<sup>1</sup>, Orlando Inácio JALANE<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia, Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA), Universidade Federal do Ceará. Av. Humberto Monte, s/n - Bloco 913 - Pici, Fortaleza - CE. E-mails: mschacanza@gmail.com; narelle@ufc.br, freire@ufc.br; claudioasn@gmail.com; joaoabreuneto@gmail.com

<sup>2</sup>Instituto de Investigação Agrária de Moçambique. Av. das FPLM, 2698 - 3658 - Maputo, Moçambique. E-mail: ojalane@gmail.com

### Introdução

Caracterização da área de estudo

### Material e métodos

Aquisição e processamento de imagens

Aplicação do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS)

### Resultados

Análise da variação da linha de costa entre 2005 e 2010

Análise da variação da linha de costa entre 2010 e 2015

Análise da variação da linha de costa entre 2015 e 2020

Análise da variação da linha de costa entre 2005 e 2020

### Discussões

### Conclusões

### Agradecimentos

### Referências

**RESUMO** - A zona costeira do município de Icapuí, Estado do Ceará, é composta por praias arenosas, falésias, dunas e uma extensa planície de maré. Estas áreas são altamente dinâmicas por conta de sua interação com mar, terra e atmosfera, podendo ocorrer processos de erosão ou deposição. Perdas constantes de sedimentos, sobretudo em praias urbanizadas, constituem problemas que têm sido alvo de estudos empregando diferentes métodos e ferramentas, para entender a dinâmica costeira, seja a curto, médio e longo prazo. O entendimento da variação da linha de costa entre as praias de Peroba e Redonda em Icapuí baseou-se em imagens de satélites, numa escala temporal entre 2005 e 2020, aplicando o método *Digital Shoreline Analysis System*. Os resultados indicaram que entre 2005 e 2010 a linha de costa apresentava-se estável em 54,35% e retrogradou 45,65%. Entre 2010 e 2015 manteve-se estável em 64,62%, tendo progredido 35,38%. Entre 2015 e 2020 a estabilidade reduziu para 30,83% com retrogradação cerca de 69,17%. Os valores fornecidos pela Taxa do Ponto Final e Regressão Linear entre 2005 e 2020,  $-0.54 \pm 0.37$  e  $-0.47 \pm 0.37$  m/ano respectivamente, indicam que a linha de costa permaneceu estável em cerca de 82,81% (4.200 m) e 84,98% (4.310 m).

**Palavras chaves:** Erosão costeira. Acreção. Retrogradação. Progredação.

**ABSTRACT** - The municipality's coastal zone of Icapuí - CE is made up of sandy beaches, cliff formations, dunes, and a vast stretch of marshes. Due to their interactions with water, land, and air, these regions are highly active; erosion or deposition may occur as a result of these interactions. Constant losses of sediments, especially in urbanized areas, are a concern that has been the focus of study using various methods and tools to understand coastal dynamics, both short, medium, and long term. The understanding of the change in the shoreline between Peroba and Redonda beaches in Icapuí, based on satellite images, was obtained using Digital Shoreline Analysis System at a time scale ranging from 2005 to 2020. According to the results, from 2005 to 2010, the coast line trended stably at 54.35 percent and regressed by 45.65 percent. Between 2010 and 2015, it stayed constant at 64.62 percent before progressing by 35.38 percent between 2015 and 2020. The stability of the line decreased to 30.83 percent with a regression of 69.17% between 2015 and 2020. The data provided by the Taxa do Ponto Final and Linear Regressions between 2005 and 2020,  $-0.54$  and  $-0.47$  mm/year respectively, indicate that the coastline line remained relatively stable at about 82.81% (4200 m) and 84.98% (4310 m).

**Keywords:** Coastal erosion. Accretion. Retrogradation. Progredation.

## INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente dinâmico, complexo e caracterizado pela interação do ar, do mar e da terra, que compreende os recursos renováveis e não renováveis e envolve uma faixa marítima e outra terrestre (MMA, s.d.). Mudanças rápidas e contínuas em diferentes escalas espaciais e temporais acontecem em todas zonas

costeira a nível mundial, sobretudo em costas arenosas (Del Río, 2012). Esta região geralmente é caracterizada como bastante vulnerável devido à frequente ocorrência de destruição de propriedades ou estradas próximas à praia após um evento de tempestade (Muehe, 2013).

As zonas costeiras são áreas apreciáveis e

muito procuradas em toda a esfera mundial devido aos seus recursos naturais, facilidade de trocas comerciais por conta da navegação e prática de turismo por conta de sua paisagem (Alfredini, 2005). Cerca de um terço da população mundial reside no raio de 100 km da costa (Shetty et al., 2015). No Brasil, cerca de 70% de sua população está localizada na zona costeira (Muehe, 2006). No Estado do Ceará, cerca de 51% da população mora nesta região (IBGE, 2015). O Ceará possui cerca de 573 km de linha de costa, composta principalmente por praias arenosas, campos de dunas, estuários com manguezais, lagoas costeiras, falésias e tabuleiros litorâneos (SEMACE, 2006).

O grande aglomerado populacional de que a zona costeira se dispõe vai crescendo dia-pós-dia, favorecendo uma crescente valorização do solo costeiro. A preferência em implantar moradias à beira mar muitas vezes tem contribuído na degradação do ambiente costeiro, como alterações nos corpos de água (rios), impermeabilização de dunas com construções, obras de proteção costeira sem planejamento adequado, ocasionando mudanças morfológicas negativas no litoral, como o surgimento de processos erosivos, e impactos ambientais. Em áreas costeiras altamente urbanizadas e com projetos de desenvolvimento estabelecidos, os riscos associados à ocorrência de processos erosivos tornam-se altamente críticos por conta do elevado valor econômico agregado das infraestruturas existentes nessas regiões (Muehe, 1998; 2013; Shetty et al., 2015). Muitas obras de proteção nem sempre resolvem o problema da erosão costeira, e algumas chegam a agravar o problema devido ao aumento da reflexão e refração das ondas sobre as obras (Pilarczyk, 1990).

As mudanças na posição da linha de costa e na topografia da praia têm sido as que facilmente evidenciam a ocorrência do fenômeno de erosão/deposição (Del Río et al., 2012). Numa escala de décadas os fatores influenciadores de mudanças em zonas costeiras se tornam mais complexos e estão todos inter-relacionados, quer seja de origem natural ou antropogênica, tornando difícil de prever a evolução da linha de costa (Esteves & Finkl, 1998; Del Río et al., 2012; Almonacid-Caballer et al., 2015). No geral, os processos morfodinâmicos de todas as praias naturais são influenciados por ondas e marés e outros processos oceanográficos, como por exemplo, eventos de tempestades que podem causar inundações e a erosão costeira (Masselink & Short, 1993;

Masselink et al., 2016).

O fenômeno da erosão costeira tem assolado grandes cidades e municípios litorâneos que precisam gerenciar a crescente ocupação populacional, principalmente quando são submetidos a enfrentar problemas resultantes da destruição da costa (Muehe, 2006; Costa, 2019). As ameaças e destruições resultantes dos efeitos da erosão obrigam muitas vezes os gestores a tomarem contramedidas, que por vezes resultam de pressão da sociedade, ou ainda que são tomadas sem algum plano de gerenciamento costeiro (Graaff & Koster, 1990).

No gerenciamento costeiro é necessário que se dê atenção na determinação da posição da linha de costa e sua evolução ao longo do tempo. Este procedimento é o mais comum encontrado no monitoramento costeiro e tem sido a base de muitos estudos para monitoramento da dinâmica de feições sedimentares costeiras (Costa, 2019). As taxas de variação da linha de costa são os melhores marcadores dos índices de erosão, quando estes atingem estágios avançados por serem mais explícitos e confiáveis quando comparados com uma simples avaliação de áreas perdidas (Macêdo, 2011). Nas praias de Peroba e Redonda a maior concentração da população local e, conseqüentemente, das infraestruturas está na estreita faixa entre a base de falésias e linha de costa. O assentamento desordenado da retropraia e dunas frontais favoreceu a perda de sedimentos e, por conseguinte, deu origem a problemas de erosão costeira (Câmara; Silva, 2021).

Levando em consideração o contexto, este trabalho identificou a variação da linha de costa no trecho entre as praias de Peroba e Redonda, localizadas no município de Icapuí, extremo leste do litoral do estado do Ceará, através da análise de imagens de sensores orbitais no intervalo entre os anos de 2005 e 2020, utilizando a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e avaliando as possíveis causas desta variação.

Vários são os estudos de dinâmica costeira que recorrem à análise da evolução da linha de costa utilizando imagens de sensores remotos e aplicando o *Digital Shoreline Analysis System*. Del Río et al. (2012), por exemplo, estudaram a evolução da costa espanhola analisando como a morfologia das praias influenciavam nos processos de erosão/acreção. Aiello et al. (2013) analisaram as mudanças da linha de costa a curto e a longo prazo do litoral de Jonian, Itália. Jayson-Quashigah et al. (2013) analisaram a

mudança de posição da linha de costa aplicando imagens de satélite na costa oriental de Ghana. Delgado-Calzadilla et al. (2014) avaliaram os processos erosivos usando uma série de imagens Landsat entre 1972 e 1993, da praia de San Chiapas, México. Zhang et al. (2014) usaram imagens de alta resolução para a análise de mudanças costeiras nas ilhas Zhoushan, China. Garrote et al. (2018) analisaram a evolução histórica de sistemas de dunas e praias da Catabria, norte da Espanha entre 1956 e 2017. Processos erosivos foram associados à passagem de tempestades (Puig et al., 2014; Randazzo et al., 2014; Nagdee et al., 2020).

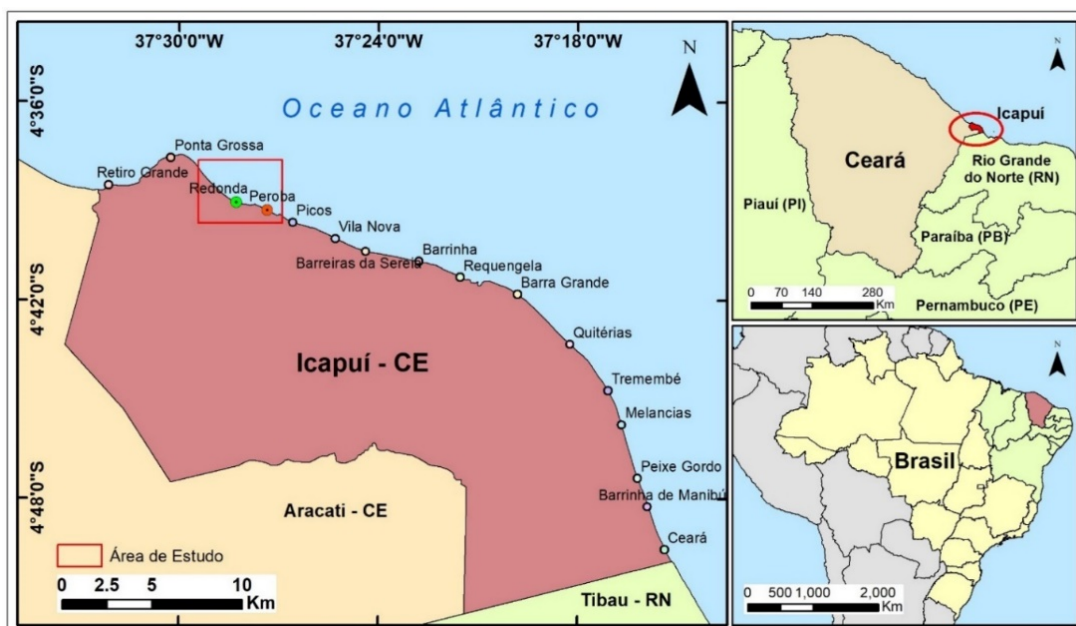
No Brasil, a ferramenta DSAS tem sido amplamente utilizada em estudos de monitoramento costeiro. Albuquerque et al. (2013) determinaram processos de erosão na praia de Hermenegildo, no extremo sul do Estado do Rio Grande do Sul. No Ceará, Marino & Freire (2013), analisaram o comportamento da linha de costa no litoral leste da Região Metropolitana de Fortaleza, usando imagens de satélite e fotografias aéreas. Mororó et al. (2015) analisaram a evolução da linha de costa nas praias de Icaraí, Pacheco e Tabuba, identificando áreas de erosão, acreção e estabilidade, também por meio de dados históricos de sensores remotos. Moura (2018) e Teixeira et al. (2021) aplicaram o DSAS na análise da evolução costeira no município de Beberibe, entre 1979-2016 na praia de Parajuru e entre 1979-2019 em toda extensão do litoral do município, respectivamente. Ambas as abordagens destacaram de uma forma geral o domínio de processos erosivos,

com deposições associadas à formação de esporões arenosos junto à desembocadura do rio Pirangi.

No município de Icapuí, Ximenes et al. (2013) e Portela (2014) analisaram o trecho entre as praias de Redonda e Ponta Grossa. Souza et al. (2014) apresentaram um panorama de praias em estado de erosão ao longo de toda costa do litoral de Icapuí. Souza et al. (2016) analisaram o trecho entre as praias de Ponta Grossa e Retiro Grande. Barros (2018) estudou o trecho entre as praias de Barreiras de Baixo, Barrinha/Barra Grande e Barreiras de Cima. Costa (2019) e Silva Neto et al. (2020) analisaram a variação da linha de costa do município de Icapuí. Silva (2021) aplicou a ferramenta DSAS para descrever a vulnerabilidade das falésias associados a processos erosivo no litoral leste do Ceará. Muitos destes estudos estão concentrados no trecho entre praias de Redonda e Ponta Grossa, mais atrativas sob o ponto de vista turístico. Já o trecho entre as praias de Peroba e Redonda carece de informações históricas e de estudos detalhados sobre a evolução de sua linha de costa. Este trabalho difere-se dos demais por usar imagens de média resolução e fornecer detalhes de mobilidade da linha de costa em intervalos de curto e médio prazo.

### Caracterização da área de estudo

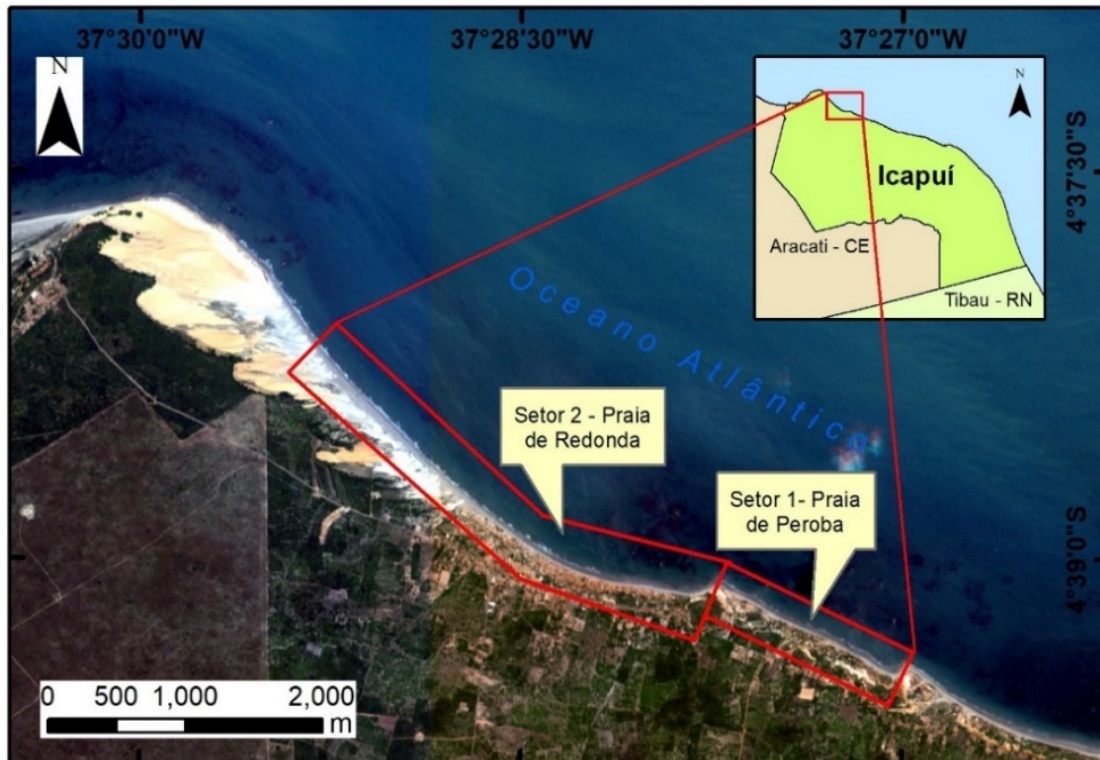
Icapuí está situado no extremo leste do estado do Ceará, faz fronteira a leste com o estado do Rio Grande do Norte e, no Ceará, com o município de Aracati (Figura 1). Icapuí passou a ser Município a 15 de janeiro de 1985, por meio do Decreto Lei 11.003/1985, quando foi desmembrado do Município de Aracati (Meiros et al., 2016).



**Figura 1** - Localização da área de estudo no município de Icapuí – Ceará, Brasil. Elaborado com base em dados cartográficos do IBGE.

A área de estudo é constituída por duas praias: Praia de Peroba (mais a leste, aqui denominada de setor 1) e Praia de Redonda (setor 2, mais a oeste) numa extensão cerca de 5070 m (Figura 2). O setor 1 é caracterizado por apresentar maior parte de suas construções praticamente junto à atual posição da linha de costa, constituindo um

fator de grande risco. Já o setor 2 é caracterizado pela elevada concentração de construções entre moradias e pousadas, especialmente em sua porção mais a leste. O seu trecho mais a oeste é praticamente despovoado, por ser uma área de proteção ambiental e devido à cobertura por depósitos de dunas.



**Figura 2** - Mapa de setorização da área de estudo (praias de Peroba e Redonda – Icapuí-Ceará), elaborado com base em dados cartográficos do IBGE e Imagem RapidEye/REIS de 27/06/2015 disponibilizado pelo MMA.

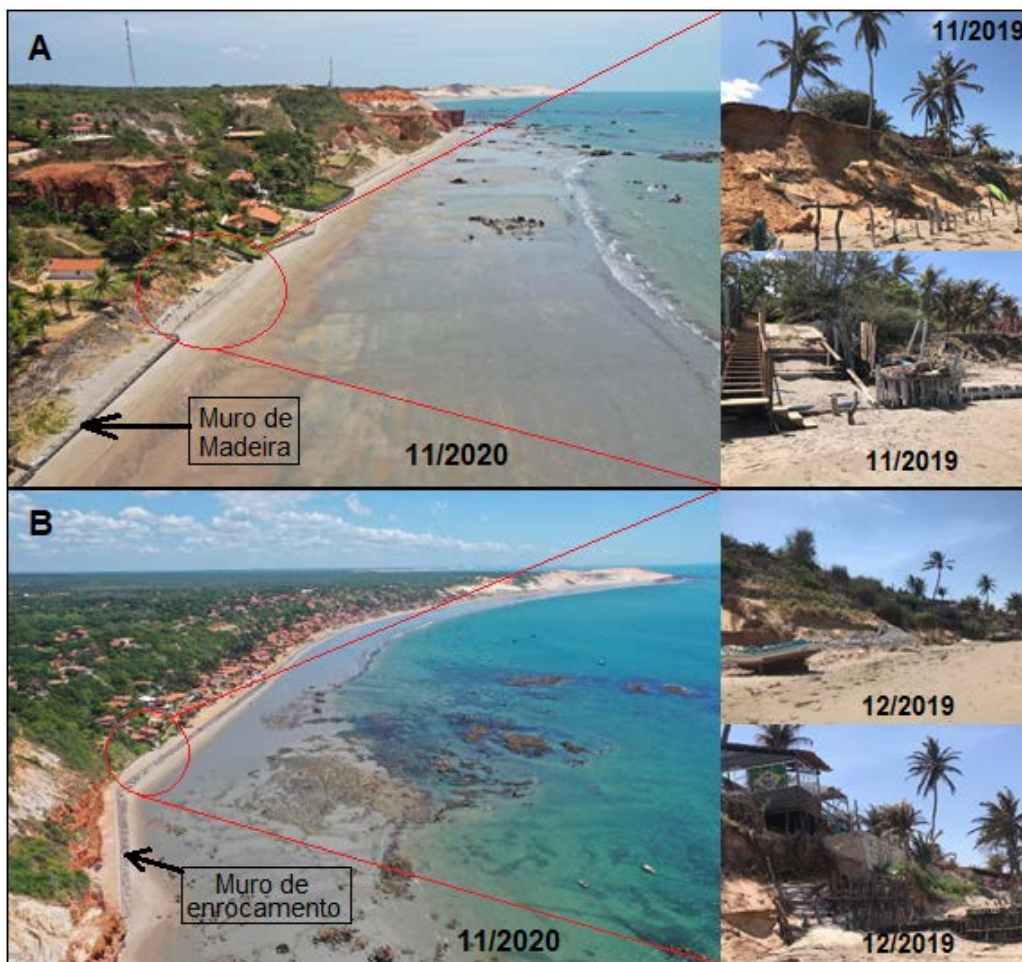
As duas praias são as que mais concentram estabelecimentos turísticos ao nível do município de Icapuí (CE), onde a antropização contribui para processos erosivos. Aliado a ocupação do solo costeiro, Barros (2018) menciona eventos tipo superluas, marés de sizígia e ressacas como grandes causadores da erosão costeira no local, associados ao baixo gradiente topográfico das praias.

Na tentativa de conter o avanço do mar e os impactos das ondas, obras de proteção costeira foram implementadas por moradores locais na praia de Peroba (instalação de troncos de madeira) e na praia de Redonda (obra do tipo enrocamento), construídas pela prefeitura local entre os anos 2018 e 2020 (Figura 3). Opiniões divergentes estão instaladas entre os residentes na área da Praia de Peroba e a prefeitura local em relação a implantação de muro de proteção costeira, sendo que os que se opõem alegam que a praia irá perder seu valor estético (Silva et al., 2022).

Geologicamente, o município de Icapuí está inserido no contexto da Bacia Potiguar, que se situa entre os estados do Rio Grande do Norte e

Ceará, limitando-se no extremo oeste pelo Alto de Fortaleza e no extremo leste pelo Alto de Touros. As litologias presentes são caracterizadas pelas Formação Açu, constituída por arenitos, Formação Jandaíra, constituída por rochas carbonáticas e Formação Barreiras, constituída por arenitos variados (Sousa, 2002; Santos, 2014). A geomorfologia costeira engloba as praias, os depósitos de dunas atuais e antigas, terraços marinhos, falésias vivas e mortas (Meireles & Santos, 2012; Barros, 2018).

Em relação à precipitação no município de Icapuí, as chuvas são concentradas entre os meses de fevereiro a maio (FUNCEME, 2021). Este fato acontece pela sua localização na Zona de Convergência Intertropical – ZCIT, sendo afetado pela sua mobilidade ao longo do ano (Meireles & Santos, 2012; Barros, 2018). O período de escassez de chuvas pode estar associado ao surgimento do fenômeno *El Niño* e de excedente ao fenômeno *La Niña* que tem assolado o Brasil, causando impactos diferenciados para cada região e estados (Barros, 2018). Normalmente, a



**Figura 3** - Estruturas de proteção costeira, na tentativa de conter processos erosivos da zona costeira do município de Icapuí. A) Muro de proteção construído na base de madeira, praia de Peroba. B) Muro de proteção do tipo enrocamento, praia de Redonda.

a região Nordeste do Brasil é uma das mais impactadas pela ocorrência do *El Niño*, afetando o clima na região com o enfraquecimento dos ventos alísios, os quais apresentam um importante papel na dinâmica costeira regional (Barros, 2018).

A ocorrência dos eventos *El Niño* ou *La Niña* no Nordeste brasileiro faz com que esta região apresente a maior previsibilidade climática sazonal a nível mundial, com ocorrência frequente de intervalos temporais excepcionalmente secos (escassez de precipitação) ou úmidos (predominância de precipitação) (Marengo et al., 2018).

## MATERIAL E MÉTODOS

### Aquisição e processamento de imagens

Para avaliar a taxa de erosão/acreção no município de Icapuí através das posições históricas da linha de costa, foram obtidas imagens de sensores remotos orbitais de média resolução de uma série temporal de 15 anos dos satélites RapidEye a partir do site <<http://geocatalogo.mma.gov.br/>> e China-Brazil Earth-Resources Satellite – CBERS do site <<http://www.dgi.inpe.br/catalogo/>> (ver Tabela 1). O período analisado foi condicionado

As direções predominantes dos ventos são de SE, ESE, E e NE, com velocidades médias em torno de 4,5 m/s. Nos meses mais secos podem chegar a 11 m/s, soprando na direção SE, já na época chuvosa o cenário inverte-se com aparecimento da ZCIT, predominando os de NE (Meireles & Santos, 2012).

No município de Icapuí o regime de maré dominante é a mesomaré sendo semi-diurna (Barros, 2018). Dados da Diretoria de Hidrografia e Navegação – DHN apontam uma amplitude média cerca de 1,83 m.

pela indisponibilidade de mais imagens com resolução espacial similar ou próxima que pudessem ser usadas para expandir o intervalo de estudo.

O georreferenciamento das cenas foi executado no software ArcGIS 10.8, utilizando como referência uma imagem do satélite QuickBird de 18/08/2009, visto que ela possui melhor resolução espacial em relação aos dados orbitais utilizados na série temporal. As imagens foram selecionadas

**Tabela 1** - Imagens utilizadas como base para a vetorização das linhas de costa, com seus respectivos satélites, sensores e fontes de aquisição.

Data	Satélite	Sensor	Resolução espacial (m)	Fonte
24/05/2005	CBERS_2	PAN	10	INPE
30/12/2007	CBERS_2B	HRC	2.5	INPE
22/10/2009	CBERS_2B	HRC	2.5	INPE
31/01/2010	CBERS_2B	HRC	2.5	INPE
06/06/2012	RapidEye	REIS	5	MMA
23/12/2013	RapidEye	REIS	5	MMA
02/07/2014	RapidEye	REIS	5	MMA
27/06/2015	RapidEye	REIS	5	MMA
12/09/2016	CBERS_4	PAN	5.5	INPE
10/09/2018	CBERS_4	PAN	5.5	INPE
20/08/2019	CBERS_4	PAN	5.5	INPE
02/08/2020	CBERS_4A	PAN	2	INPE

observando sua qualidade quanto à cobertura da zona costeira e de acordo com o dia da coleta.

Foram selecionadas imagens do período mais seco (meses de junho a dezembro), a exceção das cenas de 2005 e 2010, que são de maio e janeiro respectivamente, estas cenas foram usadas pela sua importância na definição dos intervalos regulares de análise e por não existir outras com qualidade desejada do período seco que cobrisse a área.

As cenas foram reamostradas considerando uma resolução espacial de 10 m, de modo a homogeneizar as condições de fotointerpretação e minimizar eventuais distorções advindas da vetorização da linha de costa de imagens orbitais com pixels de tamanhos diferentes. Embora a informação espectral das imagens com menor tamanho de pixel seja alterada, este procedimento padroniza a resolução espacial, que neste contexto é o aspecto mais relevante na identificação da linha de costa.

Para a vetorização da linha de costa foi levado em consideração a diferença da cor dos pixels marcadas nas imagens como feições de continente e oceano. A vetorização da linha de costa foi realizada em ambiente de Sistema de Informações Geográficas – SIG, no software ArcGIS®. Os parâmetros estatísticos de mudança da linha de costa foram gerados a partir da ferramenta DSAS. A vetorização das linhas de costa foi realizada em uma escala fixa de 1:250. Já a escala de representação dos produtos cartográficos foi de 1:25.000.

#### **Aplicação do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS)**

Para analisar a taxa de variação da linha de costa aplicou-se a ferramenta DSAS. Esta ferramenta surgiu ainda nos anos 1990 como uma

extensão do ArcGIS®, e a versão usada neste trabalho é a 5.0, desenvolvida por Himmelstoss et al. (2018) em parceria com o *United States Geological Survey* – USGS. Esta versão apresenta cinco principais parâmetros estatísticos para estimar a variação da linha de costa. Neste trabalho foram usados apenas três: (1) *End Point Rate* – EPR; (2) *Linear Regression Rate* – LRR; e (3) *Net Shoreline Moviment* – NSM.

O EPR é uma taxa em que o cálculo é baseado no quociente da distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente pelo tempo decorrido e o seu produto é dado em m/ano. A vantagem deste parâmetro é por ela precisar apenas de duas linhas de costa e a desvantagem é que quando existe mais de duas linhas as informações das linhas restantes são ignoradas (Himmelstoss et al., 2018). O LRR é uma taxa cujo valor também é expresso em m/ano. A vantagem no uso deste parâmetro, diferente do EPR, é que ele considera todas as linhas de costa vetorizadas que cruzam os transectos, não apenas a mais antiga e a mais recente (Himmelstoss et al., 2018). O NSM é a distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente para cada transecto interceptado por elas, e é dada em metro.

Os parâmetros EPR e NSM foram aplicados para analisar as variações entre os intervalos de 2005 e 2010, 2010 e 2015, 2015 e 2020, e 2005 e 2020. O LRR foi aplicado apenas para o intervalo entre 2005 e 2020, para efeito de comparação com o EPR gerado no mesmo intervalo.

A partir de Esteves & Finkl (1998), Del Río et al. (2012) e Silva Neto et al. (2020), foram definidas as seguintes classes, consideradas de acordo com os processos de retrogradação, estabilidade e progradação, aplicados aos transectos gerados na análise da mudança da linha de costa

(Tabela 2).

Baseado em Jayson-Quashigah et al. (2013) e Silva Neto et al. (2020), adotou-se a separação de 10 metros entre os transectos gerados. Distâncias iguais ou inferiores a dez metros entre os transectos reduzem erros na determinação das taxas geradas

pelos DSAS, permitindo que os resultados estejam muito próximos a realidade da área (Albuquerque et al., 2013). Outro elemento importante foi a alta resolução das imagens orbitais aplicadas que contribuíram no detalhamento e melhor definição das linhas de costa.

**Tabela 2** - Classes das taxas de deslocamento da linha de costa, baseadas em Esteves & Finkl (1998), Del Río et al. (2012) e Silva Neto et al. (2020).

Classes de mudança da linha de costa	Escala de variação
Retrogradação severa	Mín < -3 m/ano
Retrogradação moderada	-3 m/ano a -2 m/ano
Retrogradação baixa	-2 m/ano a -1 m/ano
Estabilidade	-1 m/ano a +1 m/ano
Progradação baixa	+1 m/ano a +2 m/ano
Progradação moderada	+2 m/ano a +3 m/ano
Progradação severa	+3 m/ano < Máx

## RESULTADOS

A aplicação do DSAS resultou num total de 507 transectos, lançados perpendicularmente em relação a linha de costa de toda extensão das praias de Peroba e Redonda.

### Análise da variação da linha de costa entre 2005 e 2010

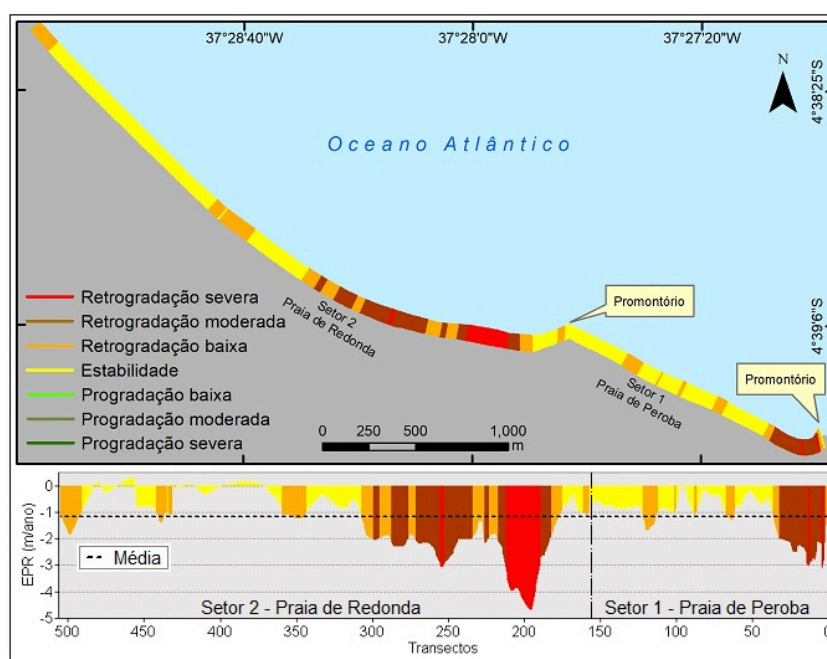
Os valores de EPR indicados na tabela 3 mostram que o trecho de praia estudado variou a uma taxa média de  $-1,18 \pm 1,04$  m/ano, indicando uma retrogradação baixa. Durante este período

ocorreu uma retração média da linha de costa em cerca de  $-5,15 \pm 4,53$  m.

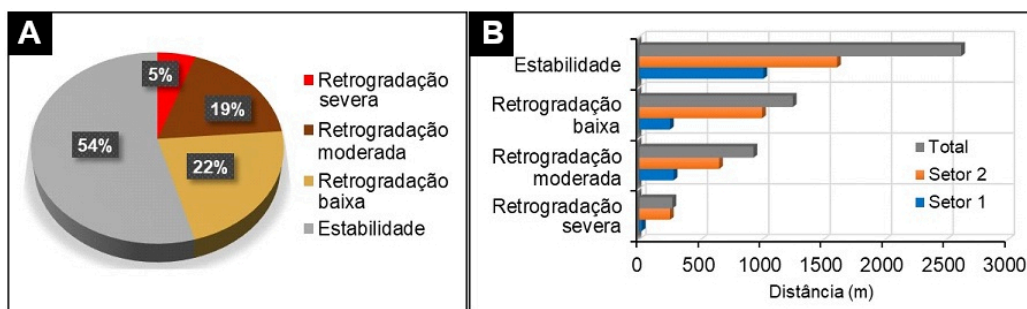
Em termos espaciais o trecho analisado manteve-se estável em 54,35% (2.620 m) da linha de costa. A retrogradação ocorreu em cerca de 45,65% (2.450 m), distribuídos em retrogradação baixa com 21,94%, moderada com 18,38% e severa com 5,33%. No mesmo período não houve registro de processo de progradação em ambos os setores (Figuras 4 e 5A).

**Tabela 3** - Taxa de variação e movimento linear da entre 2005 e 2010.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão
EPR (m/ano)	-4,70	-1,18	+0,31	$\pm 1,04$
NSM (m)	-20,47	-5,15	+1,36	$\pm 4,53$



**Figura 4** - Visualização espacial e taxa de variação da linha de costa entre 2005 e 2010 estabelecido pelo parâmetro EPR entre as praias de Peroba e Redonda.



**Figura 5** - Quantificação da variação da linha de costa entre 2005 e 2010. A) Percentual de variação da linha de costa entre as praias de Peroba e Redonda; e B) Variação espacial em metros por classes e por setor ao longo do comprimento praial.

O Setor 1 apresentou estabilidade na linha de costa cerca de 1.010 m, 20 m do trecho passou por retrogradação severa, 280 m moderada e 250 m baixa. O setor 2 teve estabilidade em 1.610 m, retrogradação baixa em 1.000 m, moderada em 650 m e severa em 250 m (Figura 5B).

#### **Análise da variação da linha de costa entre 2010 e 2015**

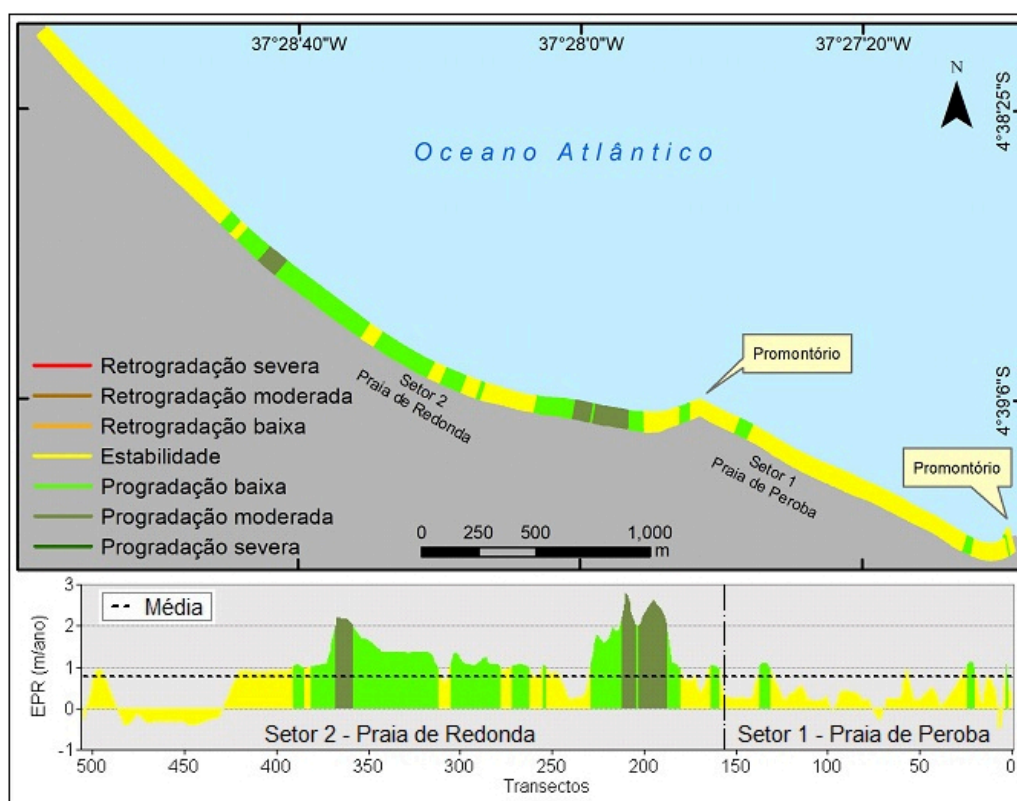
O período compreendido entre 2010 e 2015 foi marcado pela ocorrência de processos de progradação em quase todo trecho analisado. Os valores de EPR para o período em análise

mostram que ocorreu uma variação na linha costa a uma taxa média de  $+0,76 \pm 0,70$  m/ano, tendo ocasionado um deslocamento da linha de costa no sentido do mar adentro em cerca de  $+4,13 \pm 3,80$  m (Tabela 4).

Entre 2010 e 2015 a estatística de variação dada por EPR, indicou que o trecho analisado foi dominado pela ocorrência de estabilidade na linha de costa com cerca de 64,62% (3.280 m). A progradação ocorreu em cerca de 35,38% (1.790 m), distribuídos em progradação baixa com 28,66% e moderada com 6,72% (Figuras 6 e 7A).

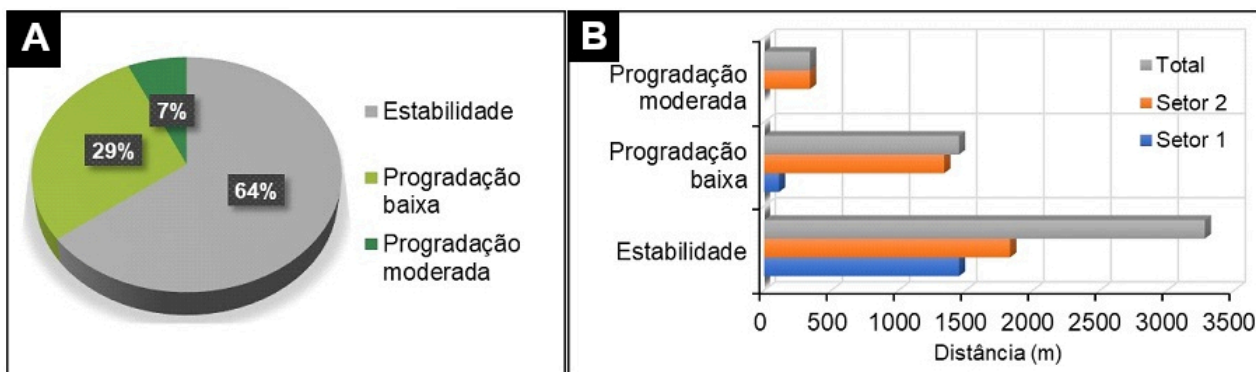
**Tabela 4** - Taxa de variação e movimento linear da costa entre 2010 e 2015.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão
EPR (m/ano)	-0,53	+0,76	+2,8	$\pm 0,70$
NSM (m)	-2,85	+4,13	+15,11	$\pm 3,80$



**Figura 6** - Visualização espacial e taxa de variação da linha de costa entre 2010 e 2015 estabelecido pelo parâmetro EPR entre as praias de Peroba e Redonda.





**Figura 7** - Quantificação da variação da linha de costa entre 2010 e 2015. A) Percentual de variação da linha de costa entre as praias de Peroba e Redonda; e B) Variação espacial em metros por classes e por setor ao longo do comprimento praial.

O setor 1 apresentou estabilidade na linha de costa em cerca de 1.450 m e em 110 m ocorreu uma progradação baixa. No setor 2 a estabilidade foi registrada em 1.830 m de linha de costa, com uma progradação baixa em 1.340 m e moderada em 340 m. A progradação ocorrida neste período, contraria o ocorrido no período anterior entre 2005 e 2010 em que a estabilidade foi intercalada por processos erosivos (Figura 7B).

#### Análise da variação da linha de costa entre 2015 e 2020

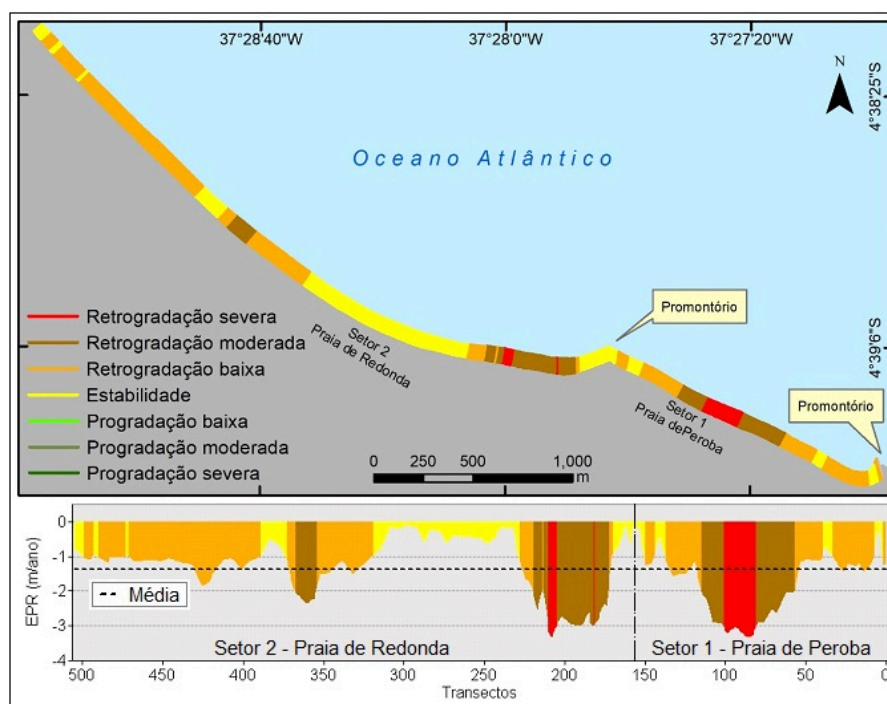
O período entre 2015 e 2020 o comportamento erosivo volta a se destacar, com taxas de

variações mais elevadas quando comparadas com as taxas entre 2005 e 2010. A linha de costa variou a uma taxa média de  $-1,37 \pm 0,85$  m/ano, resultando num recuo de cerca de  $6,98 \pm 4,36$  m no sentido continente adentro (Tabela 5).

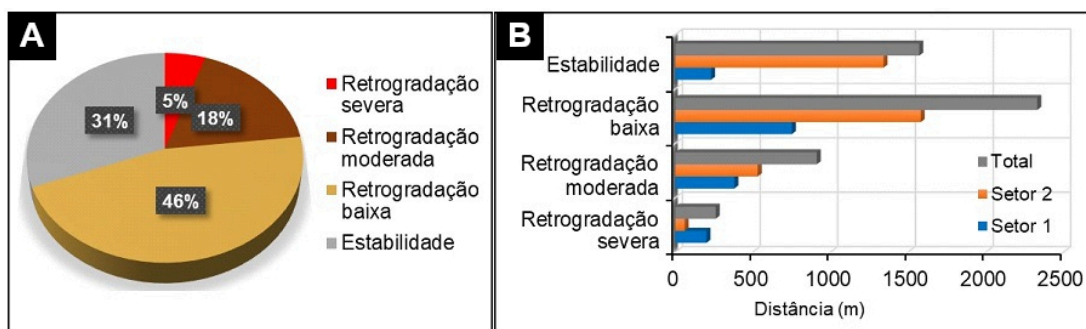
Neste período ocorreu a retrogradação da linha de costa na ordem de 69,17% (3.500 m), a estabilidade foi de 30,83% (1.570 m). A retrogradação esteve distribuída com retrogradação baixa com 46,05%, moderada com 17,98% e severa com 5,14%. No mesmo período não houve progradação em ambos os setores do trecho praial (Figuras 8 e 9A).

**Tabela 5** - Taxa de variação e movimento linear da costa entre 2015 e 2020.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão
EPR (m/ano)	-3,34	-1,37	-0,06	$\pm 0,85$
NSM (m)	-17,05	-6,98	-0,30	$\pm 4,36$



**Figura 8** - Visualização espacial e taxa de variação da linha de costa entre 2015 e 2020 estabelecido pelo parâmetro EPR entre as praias de Peroba e Redonda.



**Figura 9** - Quantificação da variação da linha de costa entre 2015 e 2020. A) Percentual de variação da linha de costa entre as praias de Peroba e Redonda; e B) Variação espacial em metros por classes e por setor ao longo do comprimento praial.

No Setor 1 apresentou estabilidade na linha de costa em cerca de 230 m, com cerca de 200 m de retrogradação severa, 380 m moderada e 750 m baixa. O setor 2 teve estabilidade em cerca de 1.340 m de linha de costa. A retrogradação esteve distribuída em severa com cerca de 60 m, moderada com 530 m e baixa com 1.580 m (Figura 9B). Comparando com o período entre 2010 e 2015, o processo foi inverso, tendo sido marcado por retrogradação da linha de costa. As maiores variações foram concentradas na parte central do setor 1 no extremo leste no setor 2 (Figura 8).

#### **Análise da variação da linha de costa entre 2005 e 2020**

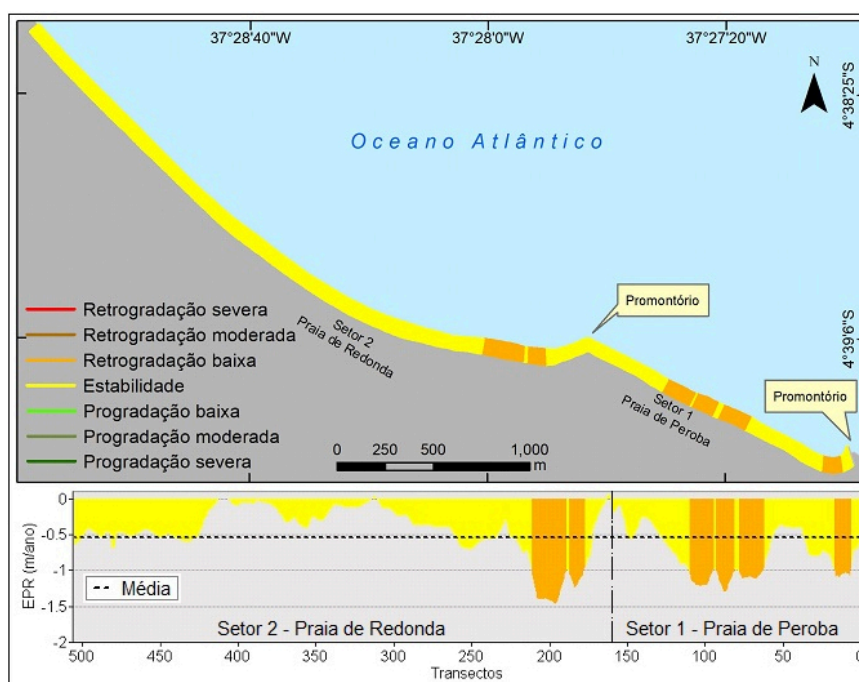
O período total correspondente a 15 anos foi

marcado pelo domínio de estabilidade nos dois setores praias, com taxas médias de variação da linha de costa dados pelos parâmetros EPR e LRR estarem muito próximas uma da outra, com cerca de  $-0,54 \pm 0,37$  m/ano e  $-0,47 \pm 0,37$  m/ano, respectivamente (Tabela 6 e Figura 10).

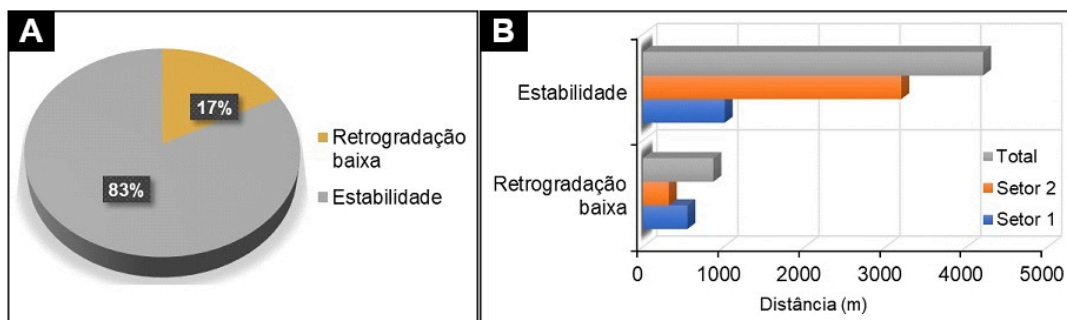
Analisando a distribuição da taxa de variação dada pelo EPR, o trecho praial apresentou-se estável com 82,81% (4.200 m) e retrogradou 17,19% (870 m) (Figura 11A). No setor 1 a estabilidade estendeu-se por cerca de 1.010 m ao longo da linha de costa, a retrogradação baixa ocorreu em cerca de 550 m. No setor 2 a estabilidade ocorreu em 3.190 m da costa e a retrogradação foi baixa em 320 m (Figura 11B).

**Tabela 6** - Taxas de variação e movimento linear da costa entre 2005 e 2020.

Parâmetro	Mínimo	Médio	Máximo	Desvio padrão
EPR (m/ano)	-1,46	-0,54	+0,07	$\pm 0,37$
LLR (m/ano)	-1,47	-0,47	+0,04	$\pm 0,37$
NSM (m)	-21,65	-7,98	+0,98	$\pm 5,50$



**Figura 10** - Visualização espacial e taxa de variação da linha de costa entre 2005 e 2020 estabelecido pelo parâmetro EPR entre as praias de Peroba e Redonda.



**Figura 11** - Quantificação da variação da linha de costa entre 2005 e 2020. A) Percentual de variação da linha de costa entre as praias de Peroba e Redonda; e B) Variação espacial em metros por classes e por setor ao longo do comprimento praial.

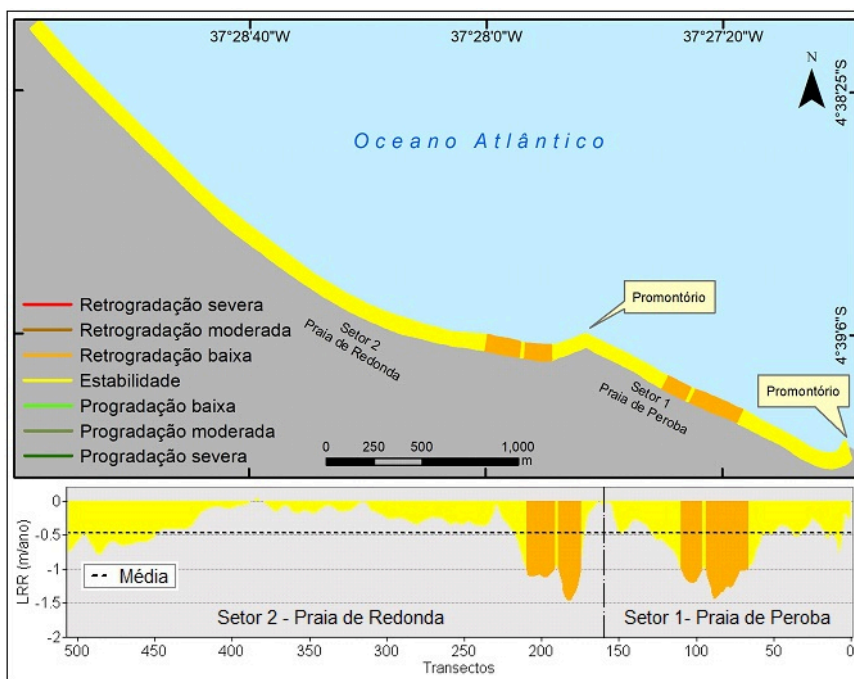
Os valores do parâmetro NSM (Tabela 6), indicam que em 15 anos, entre 2005 e 2020, a linha de costa deslocou-se cerca de 8 m em direção ao continente. O valor mínimo de -21,65 m indica o trecho praial onde ocorreu o maior recuo na linha de costa (Figura 10).

A extrapolação através da taxa de regressão linear em metros por ano para cada linha cruzada por cada transecto separados a 10 m no período de 15 anos, prevaleceu o domínio de estabilidade

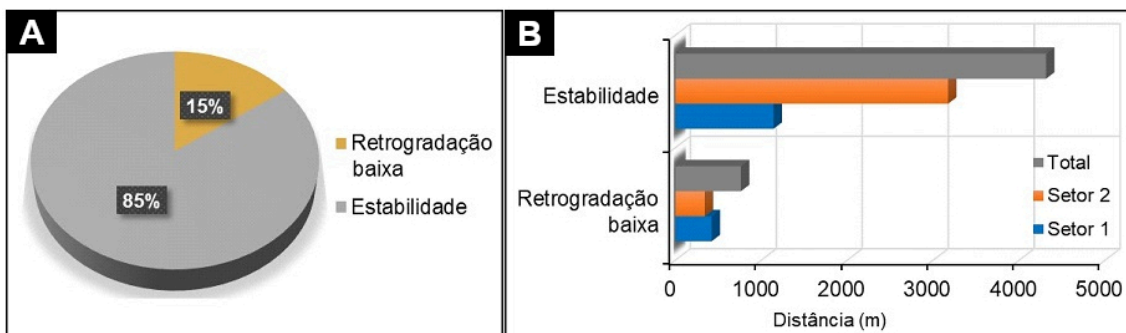
na linha de costa a uma taxa média de  $-0,47 \pm 0,37$  m/ano, correspondente a 84,98% (4.310 m) e retrogradação com 15,02% (760 m) (Figuras 12 e 13A).

Os valores do LRR não diferem tanto do EPR, o que confirma as tendências de retrogradação apesar da estabilidade.

No setor 1 a estabilidade foi registrada em 1.140 m e a erosão baixa em 420 m. Já no setor 2 a estabilidade foi de 3.170 m e a retrogradação foi baixa em cerca 340 m (Figura 13B).



**Figura 12** - Visualização espacial e taxa de variação da linha de costa entre 2005 e 2020 estabelecido pelo parâmetro LRR entre as praias de Peroba e Redonda.



**Figura 13** - Quantificação da variação da linha de costa entre 2005 e 2020. A) Percentual de variação da linha de costa entre as praias de Peroba e Redonda; e B) Variação espacial em metros por classes e por setor ao longo do comprimento praial.

Comparando os valores fornecidos pelo EPR de  $-0,54$  m/ano e LRR de  $-0,47$  m/ano, o menor recuo da linha expresso através dos valores de EPR, pode ser justificado devido a fixação da linha de costa na parte central e leste da praia de

Redonda com a conclusão da estrutura de proteção costeira do tipo enrocamento (Figura 3B). No entanto, o ajuste ponderado, representado pela regressão linear (LRR), reflete de uma forma fiel o comportamento da linha de costa (Figura 12).

## DISCUSSÕES

A análise de 15 anos de variação da linha de costa, entre 2005 e 2020, do trecho de cerca de 5 km entre as praias de Peroba e Redonda no município de Icapuí, apresentou taxas estabelecidas pelos parâmetros EPR e LRR que apontam predominantemente um cenário de estabilidade. Este relativo equilíbrio é resultado das mudanças decorridas ao longo de um intervalo temporal mais amplo, dominado por períodos retrogradação e progradação de sedimentos.

Durante o primeiro período analisado entre 2005 e 2010 a linha de costa variou a uma taxa de  $-1,18 \pm 1,04$  m/ano refletindo em termos matemáticos uma retrogradação baixa.

No segundo período entre 2010 e 2015 dominou a estabilidade na linha de costa com tendências progradacionais, tendo variado  $+0,76 \pm 0,70$  m/ano. No terceiro período entre 2015 e 2020 ocorreu uma retrogradação da linha de costa de cerca de  $-1,37 \pm 0,85$  m/ano.

Os resultados deste trabalho confirmam as tendências erosivas e a ocorrência de variações sazonais que resultam em processos de retrogradação e progradação da linha de costa, identificados a partir de estudos desenvolvidos na área e em zonas circunvizinhas.

Portela et al. (2014) identificou a ocorrência de processos de erosão e ameaças a destruição de infraestruturas provocados por ataques de ondas na praia de Redonda, onde no geral não houve mudanças significativas na linha de costa, tendo ocorrido processo inverso a sotamar na praia da Ponta Grossa.

Similarmente aos resultados encontrados nesta pesquisa, Silva Neto et al. (2020) utilizando imagens orbitais da série Landsat com resolução espacial menor (30 metros), apontaram a ocorrência de estabilidade em todo trecho onde estão inseridas as praias de Peroba e Redonda.

Os intervalos de análise menores aplicado neste trabalho permitiram avaliar melhor a dinâmica sazonal. Enquanto que estudo com 10 anos de intervalo ou superior indicam estabilidade, outros dois intervalos de cinco anos indicou um período de progradação e outro de retrogradação, o que resultou em uma estabilidade geral.

Esta diferença reflete a possibilidade que a aplicação de produtos de maior resolução espacial e intervalos temporais curtos permitem maior detalhe.

Os trechos de praia com elevada dinâmica de processos de erosão/deposição nas praias de Peroba e Redonda estão associados à influência dos agentes hidrodinâmicos como as marés, energia das ondas e o sentido da deriva litorânea (leste para oeste) onde os promontórios rochosos existentes, entre as praias de Pico e Peroba e entre Peroba e Redonda, também contribuem na dinâmica do aporte sedimentar, ocasionando erosão concentrada imediatamente a sotamar devido à ocorrência de ondas divergentes ao longo do trecho.

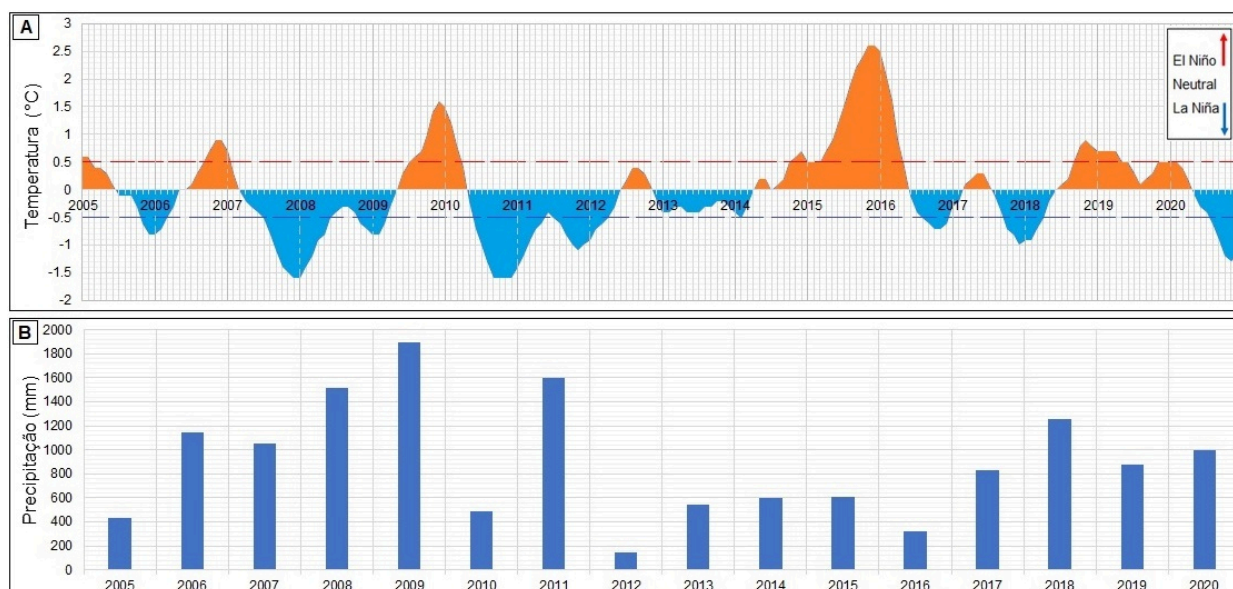
Apesar do efeito de barramento ocasionado pelos promontórios, os sedimentos retidos a barlar continuar sendo movidos de leste a oeste pelo efeito *bypass* e pela deriva litorânea (Claudino-Sales; Carvalho, 2014).

Por outro lado, em áreas de falésias ativas, quando não protegidas por blocos de rochas ou concretados, a incidência das ondas no sopé da falésia ocasiona erosão que forma incisões basais e a consequente instabilidade da parede da falésia, podendo resultar na queda de blocos ou deslizamento quando associado a uma elevada umidade da área devido a ação das chuvas (Silva et al., 2020).

As mudanças que refletem na intercalação entre períodos de ocorrência de processos retrogradacionais e progradacionais da linha de costa (tendência a erosão e deposição), podem estar associadas a alterações no aporte de sedimentos ocasionados pela escassez ou abundância de chuvas, influenciados ou não pela passagem do fenômeno *El Niño* e *La Niña* (Figura 14).

O período entre 2005 e 2010 foi marcado pelo equilíbrio entre a passagem dos fenômenos *La Niña* e *El Niño*.

Normalmente a passagem do *La Niña* tem favorecido a ocorrência de chuvas. Apesar do equilíbrio, neste período a queda de chuvas foi regular quando comparados com os períodos subsequentes (Figuras 14A e 14B).



**Figura 14 - A)** Histórico de variação de temperatura em função a ocorrência dos eventos *El Niño* e *La Niña* (Adaptado de Administração Nacional Oceânica e Atmosférica – NOAA, 2021); **B)** Histórico de precipitação acumulada do município de Icapuí-Ceará, Brasil (FUNCEME, 2021).

A abundância de chuvas, com maior umidade, temperatura e ventos mais amenos normalmente tem sido o fator impulsionador de processos de progradação da linha de costa. Por estes aspectos, deveria ter ocorrido progradação no período entre 2005 e 2010.

Considerando o aporte sedimentar, a ausência de rios no local que transportariam sedimentos para nutrir as praias, além da ocupação desordenada do solo costeiro e consequente fixação de sedimentos, podem ter contribuído para uma dinâmica contrária aos efeitos potencialmente promovidos com a passagem do fenômeno *La Niña* (engorda de praias); por consequência, ocorreu a retrogradação da linha de costa.

Entre 2010 e 2015 foi marcado pela passagem de *La Niña*, com o aparecimento do *El Niño* no segundo semestre de 2014, tendo se prolongado por todo 2015 até ao primeiro semestre de 2016. Neste período, apesar de ter sido dominado pela passagem de *La Niña* que tem sido indicativo de chuvas, ocorreu a maior escassez hídrica com o pico em 2012 com registo de precipitação acumulada abaixo de 200 mm.

O ano 2011 foi uma exceção pela abundância hídrica (Figura 14B). Muehe (2011) afirma que baixas precipitações e ventos fortes do Nordeste favorecem a formação e engorda de campos de dunas resultando no déficit de sedimentos nas praias e a consequente variação da linha de costa.

No entanto, apesar da escassez de chuvas e ausência de eventos tempestuosos no local serem responsáveis por processos erosivos nas praias, na área de estudo eles podem ter sido o principal

fator responsável pela mobilização de sedimentos para a berma das praias e por consequência disso, ter ocorrido a progradação da linha de costa.

O período entre 2015 e 2020 foi marcado por maiores taxas de retrogradação da linha de costa quando comparado com os dois períodos anteriores. Neste período houve uma intercalação entre a passagem do fenômeno *El Niño* e *La Niña*.

A passagem do *El Niño* foi muito severa no começo do período entre os anos 2015 a 2016 que já vinha de 2014, voltando a ocorrer entre segundo semestre de 2018 e o primeiro semestre de 2020.

Apesar de *El Niño* ter dominado o período, as chuvas foram regulares com exceção para o ano 2016 que teve escassez hídrica. A retrogradação da linha pode estar associada à regularidade das chuvas neste período, que quando conjugadas com bloqueio de canais de escoamento de águas pluviais, aceleram os processos de erosivos nas praias.

Os barramentos fluviais e construção de reservatórios para abastecimento humano, reduzem a chegada dos sedimentos das áreas fontes nas regiões praias (e.g. Pinheiro et al., 2020). Além disso, destaca-se o natural aumento das atividades antrópicas na zona costeira em questão e o uso e ocupação do solo o que pode ter afetado o balanço sedimentar da região.

O período geral entre 2005 e 2020 foi caracterizado pela ocorrência de estabilidade. Mas a ausência de praia recreativa em períodos de preamar mostra tendências erosivas e a consequente retrogradação da linha de costa. A tendência erosiva pode estar associada a passagem de *El Niño* em 2005 com ocorrência de escassez de

chuva e a ocorrência de chuvas moderadas influenciadas pela passagem do fenômeno *La Niña* no ano 2020.

Outro elemento importante, que pode estar associado à estabilidade das praias de Icapuí e o litoral leste do Ceará é a migração de sedimentos vindo de outros pontos do litoral. Sedimentos oriundos do estado vizinho, Rio Grande do Norte, através dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açú, alimentam as praias do litoral leste do Ceará devido ao sentido da deriva litorânea de Sudeste-Noroeste (Ximenes et al., 2013). Outro curso de água que também contribui, embora pouco, na alimentação das praias de Icapuí, é o riacho Arrombado.

Por sua vez os barramentos e reservatórios existentes nas bacias hidrográficas dos rios Apodi-Mossoró e Piranhas-Açú condicionam o aporte de sedimentos para o litoral. A bacia hidrográfica do Apodi-Mossoró apresenta cerca de 413 barramentos e o Piranhas-Açu cerca de 1.536 (e.g. Pinheiro et al., 2020). Estes barramentos, associados às condições de marés local e escassez de chuvas, favorecem a formação de dunas e de extensas planícies de maré que interferem na mobilidade da linha de costa (e.g. Pinheiro et al., 2020).

Em litorais com contexto de mesomaré, as

correntes da maré apresentam-se como o maior controlador da evolução costeira (Dillenburg & Hesp, 2009).

Em termos gerais e independentemente da escala espacial e temporal, a erosão costeira é essencialmente produto de uma elevação do nível do mar ou de um balanço sedimentar negativo do sistema praial (Souza et al., 2005).

Variação do espaço de acomodação de sedimentos que diretamente está relacionado a variação do nível do mar influenciam nos processos de progradação e retrogradação. Para intervalos de curto e médio prazo as taxas de elevação do nível do mar são ínfimas, não sendo considerado o principal agente causador de erosão (Muehe, 2013).

Além de processos naturais como a influência do vento, da subida do nível do mar, ação das ondas, corrente longitudinais e de retorno, atividades humanas afetam de forma significativa as áreas costeiras (Souza et al., 2005; Boretto et al., 2018; Griggs & Patsch, 2019).

Por exemplo, a intensa ocupação das zonas costeiras sobretudo na retropraia, bloqueiam o processo *by-pass* de sedimentos que alimentariam a praia sobretudo em períodos chuvosos com sedimentos transportados pela corrente das águas pluviais (Figura 3).

## CONCLUSÕES

O estudo revelou, com base em análises feitas de dados fornecidos pelas taxas EPR e LRR, sobre a variação da linha de costa de todo trecho praial que compreende as praias de Peroba e Redonda, do município de Icapuí, Estado do Ceará, entre os anos 2005 e 2020, que:

A extensão do trecho praial, de cerca de 5 km, encontra-se no estágio de estabilidade, com uma taxa de variação média cerca de -0,54 m/ano, com os extremos de recuo e avanço atingido -1,46 e +0,07 m/ano.

Apesar da estabilidade ocorrida os valores estabelecidos pelos parâmetros EPR e LRR, estão abaixo de zero, mostrando uma clara tendência de processos erosivos e que é importante que se dê atenção aos trechos com ocorrência de altas taxas de retrogradação da linha de costa.

Os resultados fornecidos pela taxa LRR identificam de forma detalhada os trechos mais vulneráveis a ataques de ondas que causam uma erosão sazonal (Figura 12).

Entre 2005 e 2010 a linha de costa recuou cerca de 45,65%, correspondente a 2.450 m de

comprimento referente a faixa de praia que sofreu retrogradação; 2010 e 2015 a linha progradou cerca de 35,38% correspondente a uma extensão cerca 1.790 m; 2015 e 2020 a retrogradação foi de 69,17% equivalente a 3.500 m. A conclusão da obra de proteção costeira existente no setor 2 estabeleceu a fixação da linha de costa neste trecho praial, o que em curto prazo tenha minimizado os impactos resultantes da interação das ondas sobre a costa, que implicava em processos retrogradacionais.

Este fator pode ter influenciado nos resultados estabelecidos pelos parâmetros EPR e LRR entre os anos 2005 e 2020.

Em relação à metodologia usada no trabalho, a mesma mostrou-se eficiente na avaliação das taxas de variação da linha de costa, tendo sido facilitado devido a disponibilidade no acesso gratuito a imagens de média resolução espacial para este intervalo temporal. Com isso, não se pode descartar a importância em se aplicar outros métodos para incrementar os resultados alcançados no trabalho.

Sugere-se que se dê importância a estudos

futuros, a interferência da estrutura de proteção costeira erguida em toda extensão urbanizada da praia de Redonda, e seus impactos na variação do perfil de equilíbrio da praia, considerando as

marés e a energia das ondas prevaletentes, visto que a área apresenta trechos de ocorrência de processos erosivos sazonais, resultado de ataques de ondas.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a The Academy of Sciences for the Developing World (TWAS), pela concessão da bolsa de pesquisa sob o processo N° 166322/2018-0, também agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Programa de Pós-Graduação em Geologia da Universidade Federal do Ceará, ao Laboratório de Geologia Marinha e Aplicada (LGMA) e ao Laboratório de Geoprocessamento do Ceará (GEOCE). Os agradecimentos são extensivos à Universidade Púnguè – Moçambique (UniPúnguè).

## REFERÊNCIAS

- AIELLO, A.; CANORA, F.; PASQUARIELLO, G.; SPILOTRO, G. Shoreline variations and coastal dynamics: A space-time data analysis of the Jonian littoral, Italy. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, v. 129, p. 124–135, 2013.
- ALBUQUERQUE, M.; ESPINOZA, J.; TEIXEIRA, P.; OLIVEIRA, A. de.; CORRÊA, I.; CALLIARI, L. 2013. Erosion or Coastal Variability: na evaluation of the DSAS and the Change Polygon methods for the determination of erosive processes n sandy beaches. In: CONLEY, D. C.; MASSELINK, G.; RUSSELL, P.E. & O'HARE, T.J. (eds.). Proceedings 1th International Coastal Symposium (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue n. 65, p. 1710-1714, 2013
- ALFREDINI, P. **Obras e Gestão de Portos e Costas: a Técnica Aliada ao Enfoque Logístico e Ambiental**. 1ª ed. Edgard Blücher. São Paulo, 2005.
- ALMONACID-CABALLER, J.; SÁNCHEZ-GARCÍA, E.; PARDO-PASCUAL, J.E.; BALAGUER-BESER, A.A.; PALOMAR-VÁZQUEZ, J. 2015. Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. *Marine Geology*, v. 372, n. 2016, p. 79-88, 2015.
- BARROS, E.L. **Erosão Costeira no Litoral do Município de Icapuí-CE na Última Década: Causas, Consequências e Perspectivas Futuras**. Fortaleza. 2018. 254 p. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar – LABOMAR – Universidade Federal do Ceará.
- BORETTO, G.M.; ROUZAUT, S.; CIOCCALE, M.; GORDILLO, S.; BENITEZ, Y. La estructura cortical del arco de las Antillas Menores estimada a partir de técnica de funciones receptoras. *Revista Mexicana de Ciencias Geológicas*, v. 35, n. 3. p. 291-306, 2018.
- CÂMARA, I.F. & SILVA, R.R. Mapeamento e Evolução da Ocupação Irregular em Falésias do Litoral Leste Cearense, Nordeste do Brasil. São Paulo. UNESP. *Geociências*, v. 40. n. 4, p. 1033– 046, 2021.
- CLAUDINO-SALES, V. & CARVALHO, A.M. Dinâmica Costeira Controlada por Promontórios no Estado do Ceará, Nordeste do Brasil. UNESP. São Paulo *Geociências*, v. 33, n. 4, p. 579–595, 2014.
- COSTA, L.R.F.G. **Geotecnologias aplicadas ao monitoramento da cobertura sedimentar do litoral de Icapuí (Ceará) entre 1985 e 2018**. Fortaleza. 2019. 143 p. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Ceará.
- DEL RÍO, L.; GRACIA, F.J.; BENAVENTE, J. Shoreline change patterns in sandy coasts. A case study in SW Spain. *Geomorphology*, v. 196, p. 252-266, 2012.
- DELGADILLO-CALZADILLA, M.A.; MENDOZA, E.; SILVA, R.; GONZÁLEZ-VÁZQUEZ, J.A.; INFANTE-MATA, D. 2014. Beach erosion in San Benito Chiapas, Mexico: Assessment and possible solution. In: SILVA, R., and STRUSÍNSKA-CORREIA, A. (eds.), Coastal Erosion and Management along Developing Coasts: Selected Cases. *Journal of Coastal Research*, Special Issue, n. 71, p. 114–121, 2014
- DHN – **Diretoria de Hidrografia e Navegação**. Disp. em: <https://www.marinha.mil.br/chm/tabuas-de-mare>. [acessado 26/10/2021].
- DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. Coastal Barriers – An Introduction. In: DILLENBURG, S.R. & HESP, P.A. (Eds.), **Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers of Brazil**. Springer, Lecture Notes in Earth Sciences, v. 107, p. 1–15, 2009.
- ESTEVES, L.S. & FINKL, C.W. The problem of critically eroded areas (CEA): An evaluation of Florida beaches. *Journal of Coastal Research*. SI, n. 26, p. 11-18, 1998.
- FUNCEME – **Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos**. Disp. em: [http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download\\_de\\_series\\_historicas/DownloadChuvasPublico.php](http://www.funceme.br/produtos/script/chuvas/Download_de_series_historicas/DownloadChuvasPublico.php). [acessado 27/03/2021].
- GARROTE, J.; DÍAZ-ÁLVAREZ, A.; NGANHANE, H.V.; HEYDT, G.G. The Severe 2013-14 Winter Storms in the Historical Evolution of Cantabrian (Northern Spain) Beach-Dune Systems. *Geosciences*, v. 8, p. 459, 2018.
- GRAAFF, J.V. & KOSTER, M.J. Dune and beach erosion and nourishment. In: PILARCZYK, K.W. (editor). **Coastal Protection**. Balkema, Rotterdam, 1990.
- GRIGGS, G. & PATSCH, K., The protection/hardening of California's coast: Times are changing. *Journal of Coastal Research*. 00(0), 000–000, 2019.
- HIMMELSTOSS, E.A.; HENDERSON, R.E.; KRATZMANN, M.G.; FARRIS, A.S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report 2018–1179**, 110 p., 2018.
- IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais; Coordenação de Geografia**. 2015. Indicadores de desenvolvimento sustentável. Rio de Janeiro. Disp. em: <https://www.ibge.gov.br/biblioteca/visualizacao/livros/liv94254.pdf>. [acessado 28/11/2021].
- JAYSON-QUASHIGAH, P.-N.; APPEANING ADDO, K.; KUFUGBE, S.K. Shoreline monitoring using medium resolution satellite imagery, a case study of the eastern coast of Ghana. In: CONLEY, D.C.; RUSSELL, P.E.; O'HARE, T.J. (eds.), 12<sup>th</sup> INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM (Plymouth, England), Journal of Coastal Research, Special Issue n. 65, p. 511-516, 2013.
- MACÊDO, R.J.A. **Caracterização morfodinâmica e geoambiental da praia de Maracáipe, Ipojuca - PE**. Recife. 2011. 143 pp. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Centro de Tecnologias e Geociências – Universidade Federal de Pernambuco.
- MARENGO, J.A.; ALVES, L.M.; ALVALA, R.C.S.; CUNHA, A.P.; BRITO, S. & MORAES, O.L.L. 2018. Climatic characteristics of the 2010-2016 drought in the semiarid Northeast Brazil region. *Annals of the Brazilian Academy of Sciences*. Online version ISSN 167826-2690.

- MARINO, M.T.R.D. & FREIRE, G.S.S. 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. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 13, n. 1, p. 113-129. 2013.
- MASSELINK, G. & SHORT, A.D., The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, n. 3, p. 785-800.1993.
- MASSELINK, G.; CASTELLE, B.; SCOTT, T.; DODET, G.; SUANEZ, S.; JACKSON, D.; FLOCH, F. Extreme wave activity during 2013/2014 winter and morphological impacts along the Atlantic coast of Europe. **Geophysical Research Letters**, v. 43, n. 5, p. 2135-2143. 2016.
- MEIRELES, A. J. A. & SANTOS, A.M.F. **Atlas de Icapuí - CE. Projeto de Olho na Água**. Editora Fundação Brasil Cidadão. 1ª Edição. Fortaleza. 156 p. 2012.
- MEIRELES, A.J.A.; SOUZA, W.F.; LIMA, A.P.S. **Atlas Socioambiental Cartografia Social das Comunidades de Icapuí. Projeto de Olho na Água**. Editora Fundação Brasil Cidadão. 1ª Edição. Fortaleza. 153 p. 2016.
- MMA – Ministério do Meio Ambiente. **Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC II)**. Brasília-DF. (s.d.). Disp. em: [https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa\\_sigercom/\\_arquivos/pngc2\\_78.pdf](https://www.mma.gov.br/estruturas/sqa_sigercom/_arquivos/pngc2_78.pdf). [acessado 12/09/2019].
- MORORÓ, E.A.A.; SILVA, R.M.N.; SOUTO, M.V.S.; DUARTE, C.R. 2015., Análise de 22 anos (1991 – 2013) da evolução costeira para a porção do litoral cearense, a oeste da cidade de Fortaleza, por meio de imagens históricas da série Landsat. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, XVII, João Pessoa. 2015. **Anais...** João Pessoa: INPE. 2015.
- MOURA, F.M. **Análise Geoespacial de Dados Multiespectrais no Estudo Temporal da Linha de Costa da Praia de Parajuru, Ceará – Nordeste do Brasil**. Fortaleza. 2018. 178 p. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Estadual do Ceará.
- MUEHE, D. Geomorfologia Costeira. In: GUERRA, A.J.T. & CUNHA, S.B. (Coords.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. 3ª ed. BCD União de Editoras S.A. Rio de Janeiro. 254 p. 1998.
- MUEHE, D. Erosion in the brazilian coastal zone: an overview. **Journal of Coastal Research**. SI 39 In: 8th INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM, Itajaí. 2006. **Proceedings...** Itajaí, 2006. p. 43-48.
- MUEHE, D. 2011. Erosão Costeira - Tendência ou Eventos Extremos? O Litoral entre Rio de Janeiro e Cabo Frio, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 11, n. 3. p. 315-325, 2011.
- MUEHE, D. Erosão costeira, mudança do clima e vulnerabilidade. GUERRA, A.J.T. & JORGE, M.C.O. (Coordr.). **Processos erosivos e recuperação de áreas degradadas**. Oficina de Textos. São Paulo, p. 161-186. 2013.
- NAGDEE, M.R.M.S.; NURSE, L.; INNIS, L.; CHADWICK, A.; JOHNSON, T. Historical shoreline mapping: Application of the Digital Shoreline Analysis System to the evolution of Worthing Beach, Barbados, following Hurricanes Allen (1980) and Ivan (2004). **Journal of Coastal Research**, v. 36, n. 2, p. 313–318, 2020.
- NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration. 2021. Disp. em: [https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php). Acesso em 23 de Março de 2021.
- PILARCZYK, K.W. Design of seawalls and dikes – Including overview of revetments. In: PILARCZYK, K.W. (editor). **Coastal Protection**. Balkema, Rotterdam. 1990.
- PINHEIRO, L.S.; XIMENES NETO, A.R.; MEDEIROS, D.H.M.; PESSOA, P.R.S.; MORAIS, J.O. A Plataforma Continental Semiárida do Brasil. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F.M.; PINHEIRO, L.S. (Coordr.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, 2020. p. 129-152.
- PORTELA, J.P.; FREIRE, G.S.S.; MORAES, M.V.A.R.; SILVA, C.A. 2014. Evolução da Morfologia Costeira do Litoral Oeste de Icapuí- CE. **Revista Geonorte**, Edição Especial 4, v. 10, n. 1, p. 89–93.
- PUIG, M.; DEL RÍO, L.; PLOMARITIS, T.A.; BENAVENTE, J. Influence of storms on coastal retreat in SW Spain. Proceedings 13th International Coastal Symposium (Durban, South Africa). **Journal of Coastal Research**. Special Issue No. 70, pp. 193-198. 2014.
- RANDAZZO, G.; CIGALA, C.; CRUPI, A.; LANZA, S.. The natural causes of shoreline evolution of Capo Peloro, the northernmost point of Sicily (Italy). In: Green, A.N. and Cooper, J.A.G. (eds.), INTERNATIONAL COASTAL SYMPOSIUM, 13<sup>th</sup>, Durban, South Africa). 2014. **Journal of Coastal Research**. Special Issue, n. 70, p. 199-204, 2014
- SANTOS, M.F. **Geotecnologias para a gestão pública: uma aplicação em Icapuí/CE**. Fortaleza. 2014. 189 p. Tese (Doutorado em Geografia) – Universidade Federal do Ceará.
- SEMACE – Superintendência Estadual do Meio Ambiente. LABOMAR. Instituto de Ciências do Mar. **Zoneamento Ecológico-Econômico do Ceará – Zona Costeira**. Fortaleza. 2006.
- SHETTY, A.; JAYAPPA, K.S.; MITRA, D. Shoreline Change Analysis of Mangalore Coast and Morphometric Analysis of Netravathi-Gurupur and Mulky-Pavanje Spits. **Aquatic Procedia**, n. 4, p. 182–189, 2015.
- SILVA NETO, C.A.; DUARTE, C.R.; SOUTO, M.V.S.; FREIRES, E.V.; SOUSA, W.R.N.; SILVA, M.T. Caracterização dos setores erosivos e deposicionais da linha de costa de Icapuí (CE) com base em produtos de sensoriamento remoto e técnicas de geoprocessamento. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 01. 143-155. 2020.
- SILVA, A.L.B.; OLIVEIRA, A.R.; MEREILES, A.J.A. Comunidade dividida e o mar avançando: conflito socioambiental em obra de intervenção costeira na Praia de Peroba – Icapuí/Ceará/Brasil. In: MARINHO, A.S.; SILVA, J.F.S.; SILVA, M.H.L.; RAMOS, F.S.N.; MACHADO, A.M.B.; SOUSA, A.C.R.C. (Coordr.). **Análise de fragilidades e vulnerabilidades socioambientais**. São Paulo. EDUFMA. 2022. p. 143-151.
- SILVA, B.M.F.; SANTOS JÚNIOR, O.F.; FREITAS NETO, O.; SCUDELARI, A.C. Erosão em Falésias Costeiras e Movimento de Massas do Rio Grande do Norte do Brasil. **Revista Geociências UNESP**. São Paulo. v. 39, n. 2. 447–461, 2020.
- SILVA, D.S. **Indicadores das oscilações da linha de costa nas praias de Aracaju-SE entre os Anos 2013-2018 e sua relação com as derivações antropogênicas**. São Cristóvão, SE. 2019. 106 p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Universidade Federal de Sergipe.
- SILVA, R.R. **Evolução e Vulnerabilidade das Falésias na Costa Leste do Ceará-Nordeste do Brasil**. 2021. 160 p. Tese (Doutorado) – Universidade Federal do Ceará. Fortaleza. Programa de Pós-graduação em Ciências Marinhas e Tropicais. Fortaleza.
- SOUZA, C.C. **Litoestratigrafia e deformação Cenozoica na região de Icapuí, Ceará, e implicações para a estruturação de campos de petróleo na borda ocidental da Bacia Pontiguar (NE do Brasil)**. Natal. 2002. 189 p. Tese (Doutorado em Geodinâmica e Geofísica), Universidade Federal do Rio Grande do Norte.
- SOUZA, C.R.G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A.M.S.; OLIVEIRA, P.E. (eds). **Quaternário do Brasil**. 1ª ed. ABEQUA. Ribeirão Preto/SP. pp. 382, il. 2005.
- SOUZA, W.F.; LEITE, N.S.; FARIAS, J.F.; MEIRELES, A.J.A.; SILVA, E.V. Imagens Multitemporais de Sensores Remotos Aplicadas a Análise da Dinâmica Costeira em Icapuí – Ceará, Nordeste do Brasil. In: SIMPÓSIO LATINOAMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA VIII E SIMPÓSIO IBEROAMERICANO DE GEOGRAFIA FÍSICA., IV, GEOTECNOLOGÍAS APLICADAS A LOS RIESGOS Y CULNERABILIDADES. **Anais...**SANTIAGO. p. 605-612, 2014.



- SOUZA, W.F.; LEITE, N.S.; MEIRELES, A.J.A.; SILVA, E.V. 2016. O Uso de SIG na Análise da Evolução de Linha de Costa Controlada por Promontório: Trecho Entre as Praias de Ponta Grossa e Retiro Grande, Icapuí- Ceará. **Revista da Casa da Geografia de Sobral**, Sobral/CE, Volume Especial v. 18, n. 2, p. 20-35. 2016.
- SUGUIO, K. **Geologia do Quaternário e mudanças ambientais**. Oficinas de Textos. São Paulo. 408 p., 2010.
- SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar**. 1ª ed. Blucher. São Paulo. 2003. ISBN 978-85-212-0317-9.
- TEIXEIRA, C.P.B.; SOUTO, M.V.S.; PINHEIRO, L.R.S.G.; MATOS, M.F.A.; GOMES, D.D.M. 2021. Análise da Evolução Costeira no Município de Beberibe, Estado do Ceará, entre os Anos de 1979 a 2019. Rio Claro. UNESP **Revista Geociências**, v. 40, n. 3, p. 1005–1031, 2019.
- XIMENES, D.R.B.; SOUTO, M.V.S.; DUARTE, C.R. 2013. Análise multitemporal da linha de costa para avaliação da evolução costeira na região de Icapuí/CE, Nordeste brasileiro, no período de 1984 a 2011. SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO XVI. Foz do Iguaçu, 2011. **Anais**...Foz do Iguaçu: INPE, 2011
- ZHANG, X.; PAN, D.; CHEN, J.; ZHAO, J.; ZHU, Q.; HUANG, H. Evaluation of Coastline Changes under Human Intervention Using Multi-Temporal High-Resolution Images: A Case Study of the Zhoushan Islands, China. **Remote Sensing**, v. 6, n. 10, p. 9930-9950, 2014.

*Submetido em 18 de abril de 2022*  
*Aceito para publicação em 3 de março de 2023*