REDE
ISSN:1985-5528
Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
DOI:1022411/rede2020.1401.05

ANÁLISE DOS INDICADORES DO PROCESSO EROSIVO NO LITORAL DO MUNICÍPIO DE ICAPUÍ, CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL

Analysis of the indicators of the erosive process on the coast of the municipality of Icapuí, Ceará, Northeastern Brazil

Análisis de los indicadores del proceso erosivo en la costa del municipio de Icapuí, Ceará, Noreste de Brasil

Eduardo Lacerda Barros[1]
Lidriana de Souza Pinheiro[2]
Jáder Onofre de Morais[3]

RESUMO:
O presente estudo teve por objetivo analisar o processo de erosão em parte do litoral do município de Icapuí, litoral leste do Ceará. A metodologia consistiu na análise e na identificação de indicadores de erosão costeira e suas causas por meio de imagem de satélite de 2009 e durante etapas de monitoramento de campo em 2016 com o uso de um receptor DGPS. Foram identificados 8 indicadores e 6 causas antrópicas de processos erosivos ao longo dos 6 km monitorados. Tais indicadores estão mais evidentes nas praias de Barreiras de Baixo e Barrinha, localizadas no litoral oeste do município em questão, onde a erosão já causou sérios danos ao patrimônio edificado e suas causas estão diretamente relacionadas às características hidrodinâmicas locais e às intervenções estruturais que se fazem presentes na área de estudo. Foi observado um trecho progradante em parte da praia de Barreiras de Cima, que ainda se encontra protegida pela presença de dunas frontais. Esse tipo de análise se mostrou eficaz como ferramenta a ser utilizada para fins de gestão costeira de modo a identificar os indicadores de erosão e suas causas, permitindo assim um melhor planejamento para ações de contenção e/ou mitigação do problema da erosão costeira.

Palavras-chaves: Erosão Costeira. Indicadores de erosão. Gestão Costeira.

ABSTRACT:
The present study aimed to analyze the erosion process in part of the coast of the municipality of Icapuí, east coast of Ceará. The methodology consisted of the analysis and identification of coastal erosion indicators and their causes by means of a satellite image from 2009 and during stages of field monitoring in 2016 with the use of a DGPS receiver. 8 indicators and 6 anthropic causes of erosive processes were identified over the 6 km monitored. Such indicators are more evident on the beaches of Barreiras de Baixo and Barrinha, located on the west coast of the municipality in question, where erosion has already caused serious damage to the buildings and its causes are directly related to the local hydrodynamic characteristics and structural interventions that are carried out. present in the study area. A progradant stretch was observed in part of the Barreiras de Cima beach, which is still protected by the presence of frontal dunes. This type of analysis proved to be effective as a tool to be used for coastal management purposes in order to identify erosion indicators and their causes, thus allowing better planning for actions to contain and / or mitigate the problem of coastal erosion.

---

[1] Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: eduardo.lgco@gmail.com
[2] Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: lidriana@ufc.br
[3] Universidade Federal do Ceará (UFC). E-mail: jader.morais@uece.br

Key-Words: Coastal erosion. Erosion indicators. Coastal management.

RESUMEN:
El presente estudio tuvo como objetivo analizar el proceso de erosión en parte de la costa del municipio de Icapuí, costa este de Ceará. La metodología consistió en el análisis e identificación de indicadores de erosión costera y sus causas mediante una imagen satelital de 2009 y durante las etapas de monitoreo de campo en 2016 con el uso de un receptor DGPS. Se identificaron 8 indicadores y 6 causas antrópicas de procesos erosivos en los 6 km monitoreados. Tales indicadores son más evidentes en las playas de Barreiras de Baixo y Barrinha, situado en la costa oeste del municipio en cuestión, donde la erosión ya ha causado graves daños en el patrimonio construido y sus causas están directamente relacionados con las características hidrodinámicas locales y las intervenciones estructurales que se llevan a cabo. presente en el área de estudio. Se observó un tramo progradante en parte de la playa de Barreiras de Cima, que aún se encuentra protegida por la presencia de dunas frontales. Este tipo de análisis demostró ser efectivo como una herramienta de manejo costero para identificar los indicadores de erosión y sus causas, permitiendo así una mejor planificación de acciones para contener y / o mitigar el problema de la erosión costera.

Palabras-clave: Erosión costera. Indicadores de erosión. Gestión costera.

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira, ambiente de interação entre os processos continentais, oceanográficos e climáticos encontra-se fragilizada nos últimos anos graças as interações com avanço da ocupação humana ao longo do litoral. Um grave cenário relacionado à erosão costeira e outros tipos de impactos se fazem presentes em diversas regiões litorâneas em detrimento às formas irregulares de uso e ocupação, que em muitos casos podem se associar às condições naturais levando ao agravamento da situação. Assim, a zona costeira é o ambiente no Planeta Terra que mais apresenta fragilidades frente às mudanças nos processos costeiros causadas pelas alterações antrópicas na zona costeira, além das alterações provocadas pelas Mudanças Climáticas já em curso (MUEHE, 2001; MOURA, 2012, IPCC, 2012).

Os litorais mundiais estão sujeitos a pressão crescente relacionada à ocupação e, em alguns casos, já ultrapassou a sua capacidade de suporte, tendo o seu potencial exploratório já se esvaído e que agora são ambientes artificializados (e.g. zonas portuárias). Porém, ainda apresenta inúmeros potenciais naturais referentes a seu patrimônio paisagístico e atrativos turísticos, atividades ligadas à pesca, além da exploração de recursos minerais e hídricos, conhecido por muitos como a "Economia Azul" (CAVALCANTI, 2003; COLGAN, 2003; KILDOW; MCLLGORN, 2010; CARVALHO, 2018; SOARES et al., 2019).

Vários são os estudos que tratam do crescimento acelerado da população e da infraestrutura no litoral do Brasil e no mundo nas últimas décadas e seus impactos associados. Não é incomum destacar uma série de impactos que estão relacionados à esse crescimento da pressão

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

descontrolada sobre a zona costeira, que vai desde a supressão de culturas tradicionais, como a pesca, contaminação do lençol freático e demais corpos hídricos, diminuição dos recursos minerais, supressão da vegetação do litoral, supressão de ambientes estuarinos, diminuição dos campos de dunas e erosão costeira provocada por ocupações irregulares e outros tipos de estruturas antrópicas, alteração da linha de costa e intrusão salina, dentre outros (MORAIS, 1980; BIRD, 1985; PINHEIRO, 2001; MUEHE, 2001; MORAIS, 2006; NICHOLLS, 2010; BROWN et al., 2013; HALLEGATE, 2013; NEUMANN, 2015; MOURA, 2012; PAULA, 2012; PAULA, 2015; PINHEIRO, et al.,2016; GUERRA et al.,2020).

Em termos de contextualização, o litoral do estado do Ceará apresenta um colapso provocado pela atuação de diversos impactos de ordem natural e/ou antrópica (MORAIS et al., 2006; PAULA, 2012; PAULA, 2015; MORAIS et al.,2018). O mais conhecido e que, por sua magnitude merece uma maior atenção, está relacionado à erosão costeira e os processos que o impulsiona, o mesmo já se faz presente nos 20 municípios da Zona Costeira cearense. Dos 573 km de extensão, 30% já estão em erosão e outros 17% apresentam tendências erosivas. Se somados esses valores tem-se um percentual de 47% e mostra um cenário preocupante do ponto de vista da dinâmica do litoral do Ceará (MORAIS et al., 2018).

Este processo se faz presente na capital (MAIA, 1998; GUERRA, 2014; MAIA; PINHEIRO et al., 2016; MARINO et al., 2016) e em diversos trechos costeiros da Região Metropolitana de Fortaleza e demais pontos do estado (PINHEIRO, 2001; MORAIS et al., 2006; MEIRELES, 2008; PINHEIRO et al., 2016; PAULA; FARRAPEIRA NETO, 2017; MOURA, 2018; GUERRA, 2018; LACERDA BARROS, 2020).

Medeiros et al., (2016) aponta que o ordenamento do espaço se apresenta como uma abordagem importante para disciplinar seu uso e mitigar os impactos e as externalidades ambientais.

Tal cenário erosivo também se faz presente ao longo do litoral do município de Icapuí, litoral leste do estado, de acordo com a divisão elaborada pelo Gerenciamento Costeiro do Ceará (GERCO/CE) e que faz divisa com o Estado do Rio Grande do Norte. Esta situação tem-se agravado na região desde o início dos anos 2000 o que levou ao município realizar intervenções estruturais de modo a conter o processo erosivo nas localidades atingidas. Tais estruturas custaram aos cofres públicos mais de R$16 milhões de reais e fazem parte das ações do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), sendo os mesmos liberados pelo decreto federal nº 8.206, de 2014).

Deste modo, este estudo teve por objetivo analisar o processo de evolução da erosão ao longo do litoral no município de Icapuí (Figura 1) por meio da observação de indicadores de erosão e suas possíveis causas ao longo da linha de costa do litoral em questão.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

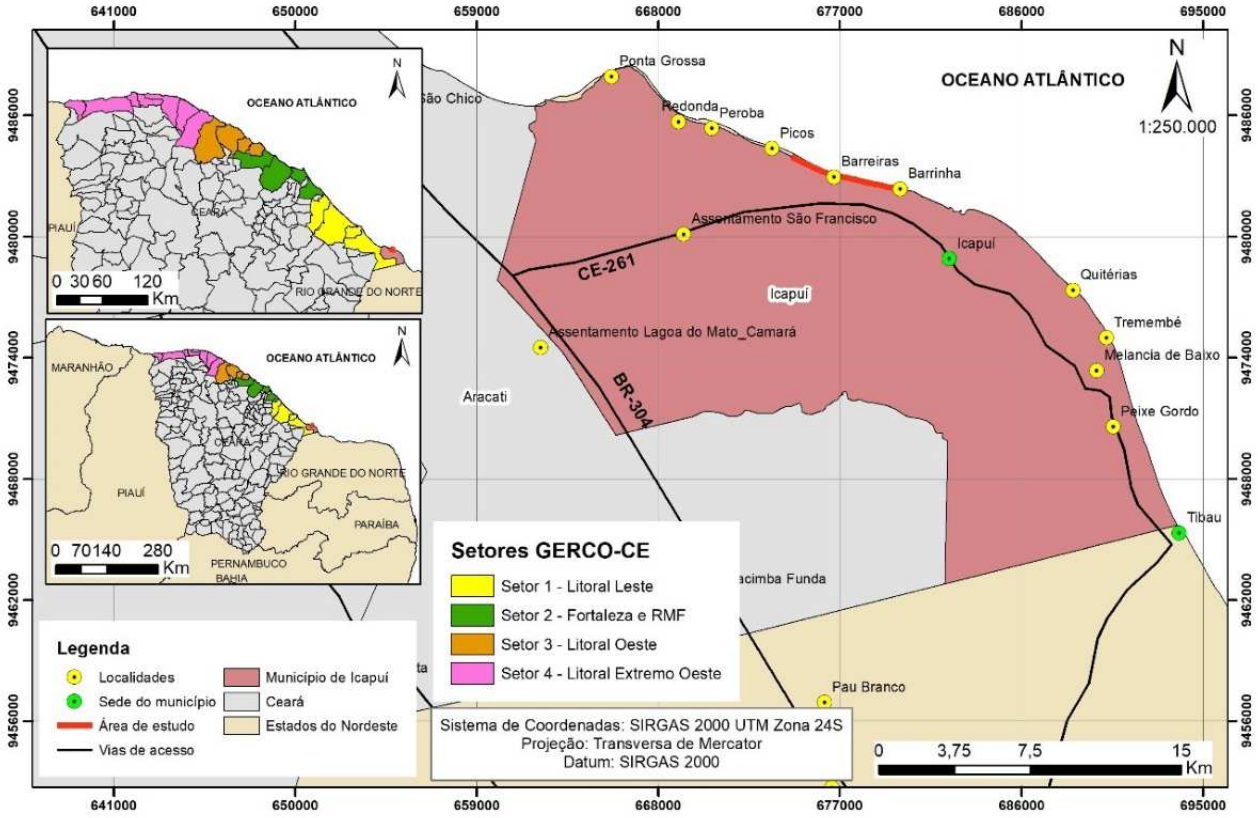

Figura 1. Mapa de Localização do Município de Icapuí, Litoral Leste do Estado do Ceará.
Fonte: Elaboração dos autores.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

As etapas metodológicas para a realização do objetivo proposto neste estudo foram divididas em três fases: levantamento prévio de informações sobre a área, o monitoramento e mapeamento dos indicadores de erosão presentes na linha de costa do setor monitorado, finalizando com a etapa de elaboração dos mapas.

Inicialmente realizou-se um levantamento de informações básicas sobre a temática proposta em periódicos nacionais e internacionais, além de informações básicas sobre a área de monitoramento através de trabalhos prévios já realizados no município em questão tendo por base os estudos realizados pelo Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) da Universidade Estadual do Ceará (UECE), e do Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC), além de outras instituições pertinentes. Em conjunto com o levantamento bibliográfico, buscou-se também por notícias em jornais, revistas e *blogs* que apresentassem o processo de erosão no Estado do Ceará e principalmente em Icapuí como enfoque principal. Desta forma foi possível determinar qual a área mais crítica do ponto de vista relacionado à erosão costeira.

Assim, foram escolhidas 3 Áreas de monitoramento, totalizando 11 pontos de controle, cada uma com níveis de ocupação diferenciados ao longo dos 6 km de litoral em análise. A Área de

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

monitoramento 1 está localizada na localidade de Barreiras da Sereia, envolvendo as praias de Barreiras de Baixo e início da praia de Barreiras de Cima, a oeste, este trecho apresenta uma pós-praia totalmente ocupada. A Área de monitoramento 2 está localizada na Praia de Barreiras de Cima, onde a ocupação se faz presente de modo mais recuada em relação à linha de costa e se encontra resguardada por uma linha de dunas frontais e por fim, a Área de monitoramento 3 está localizada na Praia da Barrinha, na localidade da Barra Grande e apresenta níveis de ocupação semelhante aos encontrados na Área de monitoramento 1, porém em menor proporção (Figura 2).

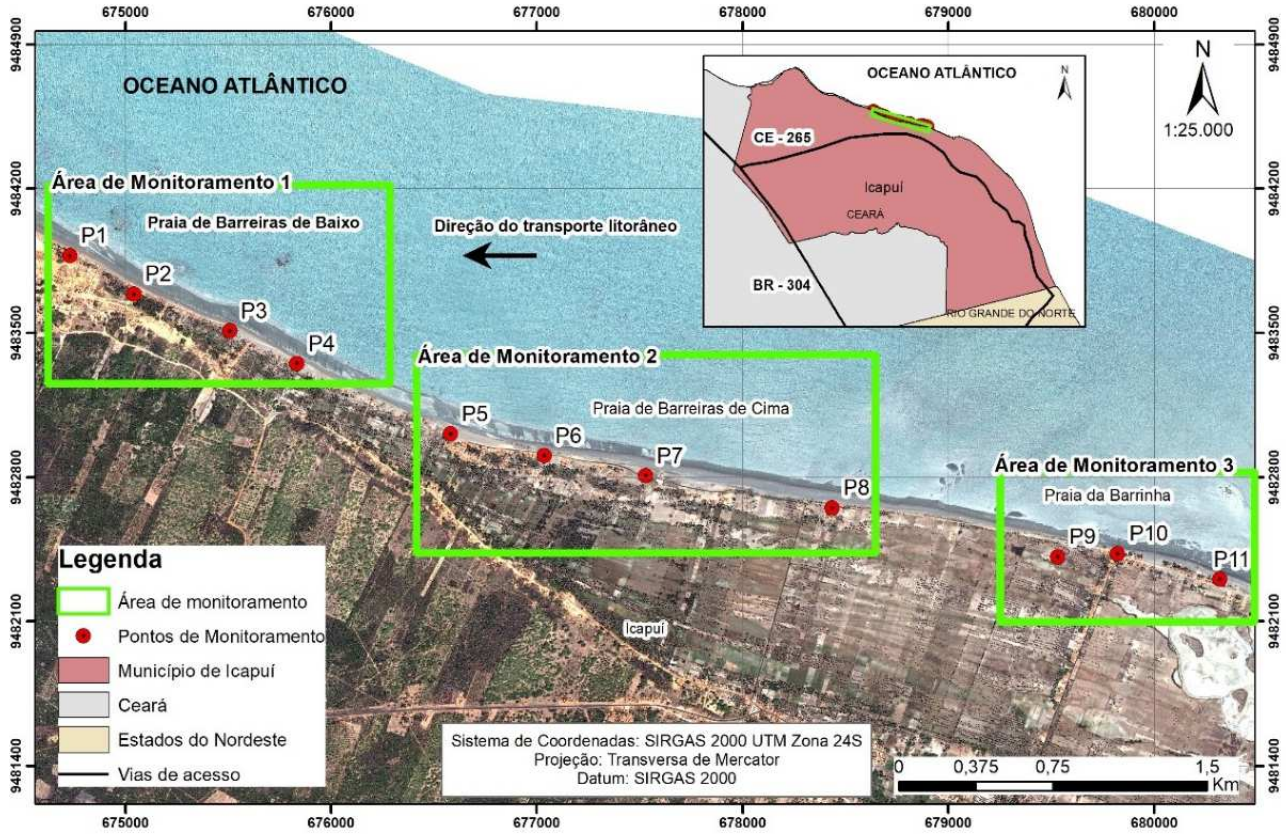

Figura 2. Mapa de localização das áreas de monitoramento no setor oeste do Município de Icapuí, Litoral Leste do Estado do Ceará. **Fonte:** Elaboração dos autores.

Finalizada a primeira etapa, deu-se início aos trabalhos de campo, que consistiram no monitoramento da linha de costa e observação dos indicadores de erosão ao longo dos 6 km escolhidos no litoral de Icapuí utilizando um receptor DGPS GTR-G2 L1/L2 (*Differential Global Positioning System* – DGPS da TechGEO) com precisão cinemática de 10MM + 1PPM. O aparelho foi utilizado para o levantamento da linha de costa e mapeamento dos indicadores de erosão costeira e causas da erosão costeira conforme proposto por Souza et al., (2005) que aponta 11 indicadores de erosão, com 20 causas possíveis, destas, 13 são apontadas como causas naturais e 7 são classificadas com causas antrópicas (Quadro 1, 2 e 3). Além disso, também foram analisadas e comparadas as linhas de costa obtidas por meio de uma imagem *Quickbird* do ano de 2009 disponibilizada pela Superintendência Estadual do Meio Ambiente (SEMACE) e por meio do último levantamento de campo realizado em novembro de 2016. Foram elaborados *shapes* de linha para as linhas de costa aferidas em campo e por meio da

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

imagem utilizada utilizando *software* apropriado para fins de comparação.

	INDICADORES DE EROSÃO COSTEIRA
1	Pós-praia muito estreita ou inexistente devido à inundação pelas preamares de sizígia (praias urbanizadas ou não)
2	Retrogradação geral da linha de costa nas últimas décadas, com franca diminuição da largura da praia, em toda a sua extensão ou mais acentuadamente em determinados locais dela (praias urbanizadas ou não)
3	Erosão progressiva de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, sem o desenvolvimento de falésias (praias urbanizadas ou não)
4	Intensa erosão de depósitos marinhos e/ou eólicos pleistocênicos a atuais que bordejam as praias, provocando o desenvolvimento de falésias com alturas de até dezenas de metros (praias urbanizadas ou não).
5	Destruição de faixas frontais de vegetação de "restinga" ou de manguezal e/ou presença de raízes e troncos em posição de vida soterrados na praia, causados pela erosão acentuada ou o soterramento da vegetação devido à retrogradação/migração da linha de costa sobre o continente.
6	Exumação e erosão de depósitos paleolagunares, turfeiras, arenitos de praia, depósitos marinhos holocênicos e pleistocênicos, ou embasamento sobre o estirâncio e/ou a face litorânea atuais, devido à remoção das areias praiais por erosão costeira e déficit sedimentar extremamente negativo (praias urbanizadas ou não)
7	Freqüente exposição de "terraços ou falésias artificiais", apresentando pacotes de espessura até métrica de camadas sucessivas de aterro erodido e soterrado por camadas de areias praiais/eólicas, no contato entre a praia e a área urbanizada.
8	Destruição de estruturas artificiais construídas sobre os depósitos marinhos ou eólicos holocênicos, a pós-praia, o estirâncio, as faces praial e litorânea, a zona de surfe/arrebentação e/ou ao largo.
9	Retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas de +2 a +6 m, formadas sobre rochas do embasamento ígneo-metamórfico pré-cambriano a mesozoico, em épocas em que o nível do mar se encontrava acima do atual, durante o Holoceno e o final do Pleistoceno (praias urbanizadas ou não).
10	Presença de concentrações de minerais pesados em determinados trechos da praia, em associação com outros indicadores erosivos (praias urbanizadas ou não)
11	Desenvolvimento de embaiamentos formados pela presença de correntes de retorno concentradas e de zona de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea localizados em local(s) mais ou menos fixo(s) da linha de costa

Quadro 1. Indicadores de Erosão Costeira.
Fonte: adaptado de Souza et al., (2005).

	CAUSAS NATURAIS DA EROSÃO COSTEIRA
1	Dinâmica de circulação costeira: presença de zonas de barlamar ou centros de divergência de células de deriva litorânea em determinados locais mais ou menos fixos da linha de costa (efeito "foco estável").
2	Morfodinâmica praial: praias intermediárias têm maior mobilidade e suscetibilidade à erosão costeira, seguidas das reflexivas de alta energia, dissipativas de alta energia, reflexivas de baixa energia, dissipativas de baixa energia e ultradissipativas.
3	Aporte sedimentar atual naturalmente ineficiente ou ausência de fontes de areias.
4	Fisiografia Costeira: irregularidades na linha de costa (mudanças bruscas na orientação, promontórios rochosos e cabos inconsolidados) dispersando as correntes e sedimentos para o largo; praias que recebem maior impacto de ondas de maior energia
5	Presença de amplas zonas de transporte ou trânsito de sedimentos (by-pass), contribuindo para a não permanência dos sedimentos em certos segmentos de praia.
6	Armadilhas de sedimentos e migração lateral: desembocaduras fluviais ou canais de maré; e feito " molhe hidráulico"; depósitos de sobrelavagem; obstáculos fora da praia (barras arenosas, ilhas, parcéis, arenitos de praia e recifes).
7	Inversões na deriva litorânea resultante causada por fenômenos climáticos - meteorológicos intensos: sistemas frontais, ciclones extratropicais e a atuação intensa do "El Nino/ENSO"
8	Elevações do nível relativo do mar de curto período devido a efeitos combinados da atuação de sistemas frontais e ciclones extratropicais, marés astronômicas de sizígia e elevações sazonais do NM, resultando nos mesmos processos da elevação de NM de longo período.
9	Efeitos atuais da elevação do nível relativo do mar durante o último século, em taxas de até 30 cm: forte erosão com retrogradação da linha de costa.
10	Efeitos secundários da elevação de nível do mar de longo período: Regra de Bruun e migração do perfil praial rumo ao continente
11	Evolução quaternária das planícies costeiras: balanço sedimentar de longo prazo negativo e dinâmica e circulação costeira atuante na época
12	Balanço sedimentar atual negativo originado por processos naturais individuais ou combinados
13	Fatores Tectônicos: subsidências e soerguimentos da planície costeira.

Quadro 2. Causas Naturais da Erosão Costeira.
Fonte: adaptado de Souza et al., (2005).

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

CAUSAS ANTRÓPICAS DA EROSÃO COSTEIRA	
14	Urbanização da orla, com destruição de dunas e/ou impermeabilização de terraços marinhos holocênicos e eventual ocupação da pós-praia.
15	Implantação de estruturas rígidas ou flexíveis, paralelas ou transversais à linha de costa: espigões, molhes de pedra, enrocamentos, píer, quebra-mares, muros, etc., para "proteção costeira" ou contenção/mitigação de processos erosivos costeiros ou outros fins; canais de drenagem artificiais
16	Armadilhas de sedimentos associadas à implantação de estruturas artificiais, devido à interrupção de células de deriva litorânea e formação de pequenas células.
17	Retirada de areia de praia por: mineração e/ou limpeza pública, resultando em déficit sedimentar na praia e/ou praias vizinhas.
18	Mineração de areias fluviais e desassoreamento de desembocaduras; dragagens em canais de maré e na plataforma continental: diminuição/perda das fontes de sedimentos para as praias
19	Conversão de terrenos naturais da planície costeira em áreas urbanas (manguezais, planícies fluviais/ e lagunares, pântanos e áreas inundadas) provocando impermeabilização dos terrenos e mudanças no padrão de drenagem costeira (perda de fontes de sedimentos).
20	Balanço sedimentar atual negativo decorrente de intervenções antrópicas

Quadro 3. Causas Antrópicas da Erosão Costeira.
Fonte: adaptado de Souza et al., (2005).

Para o monitoramento de campo da linha de costa em Icapuí foi tomado como base os geoindicadores definidos na literatura conforme proposição de Crowell et al., (1993) e Boak; Turner (2005). Os procedimentos de campo para aferição da linha de costa seguiram as propostas de Crowell et al., (1993), Leatherman (2003) e Baptista et al., (2011) e Muehe (2014). Em campo foram considerados como indicadores o alcance máximo da maré, além da base de dunas frontais, escarpa de falésias e base das obras de contenção, para a análise por meio das imagens de satélite buscou-se identificar as diferenciações de cores entre a superfície úmida e seca e o contato com outras superfícies que possam identificar os limites da linha de costa (Figura 3). E por fim, os resultados foram analisados por meio de ambiente SIG para elaboração dos mapas.

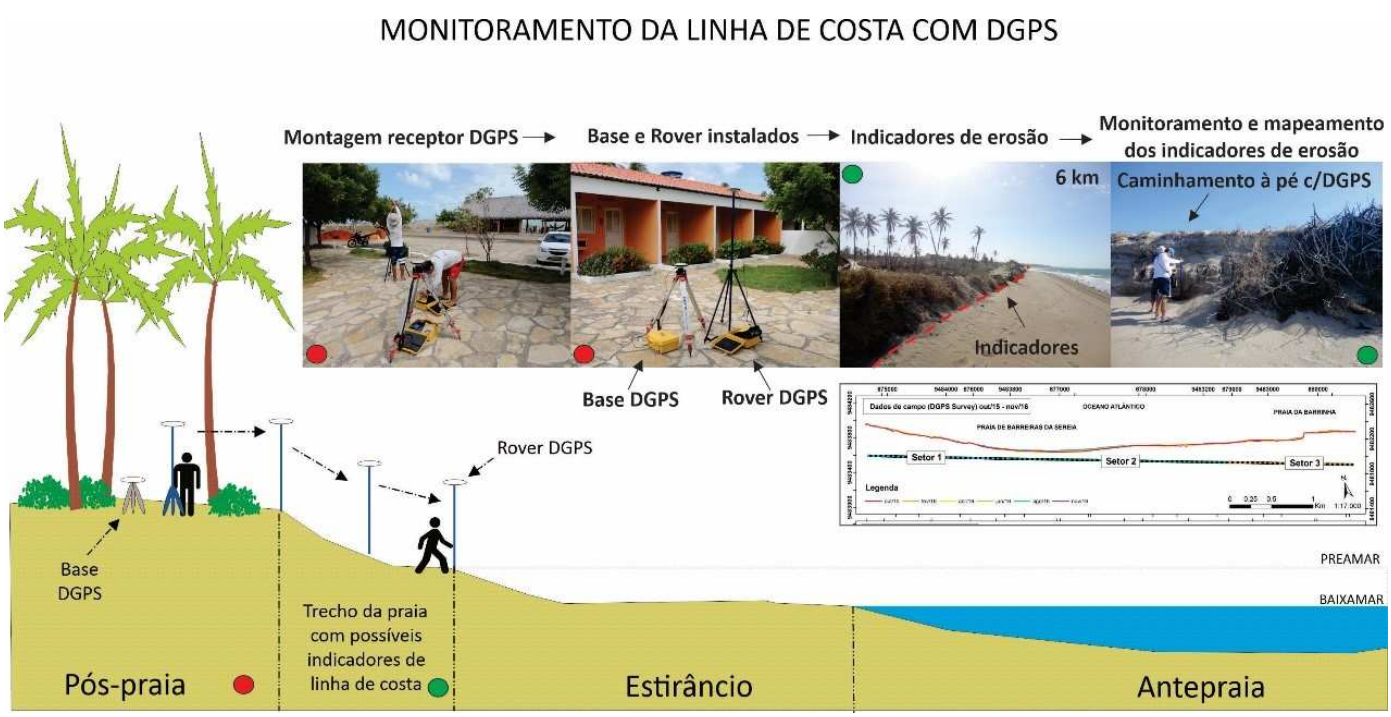

Figura 3. Fluxograma representativo sobre o levantamento de campo para o mapeamento dos indicadores de erosão no litoral do Município de Icapuí. **Fonte:** Elaboração dos autores.

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados referentes à análise dos indicadores de processos erosivos propostos por Souza et al., (2005) mostraram que dos 11 possíveis, 8 já se faziam presentes no trecho do litoral analisado no momento do trabalho de campo. Estando a maioria concentrados nos arredores das praias de Barreiras de Baixo e Barrinha, trechos que apresentam os maiores níveis de ocupação próximas da linha de costa (Figura 4).

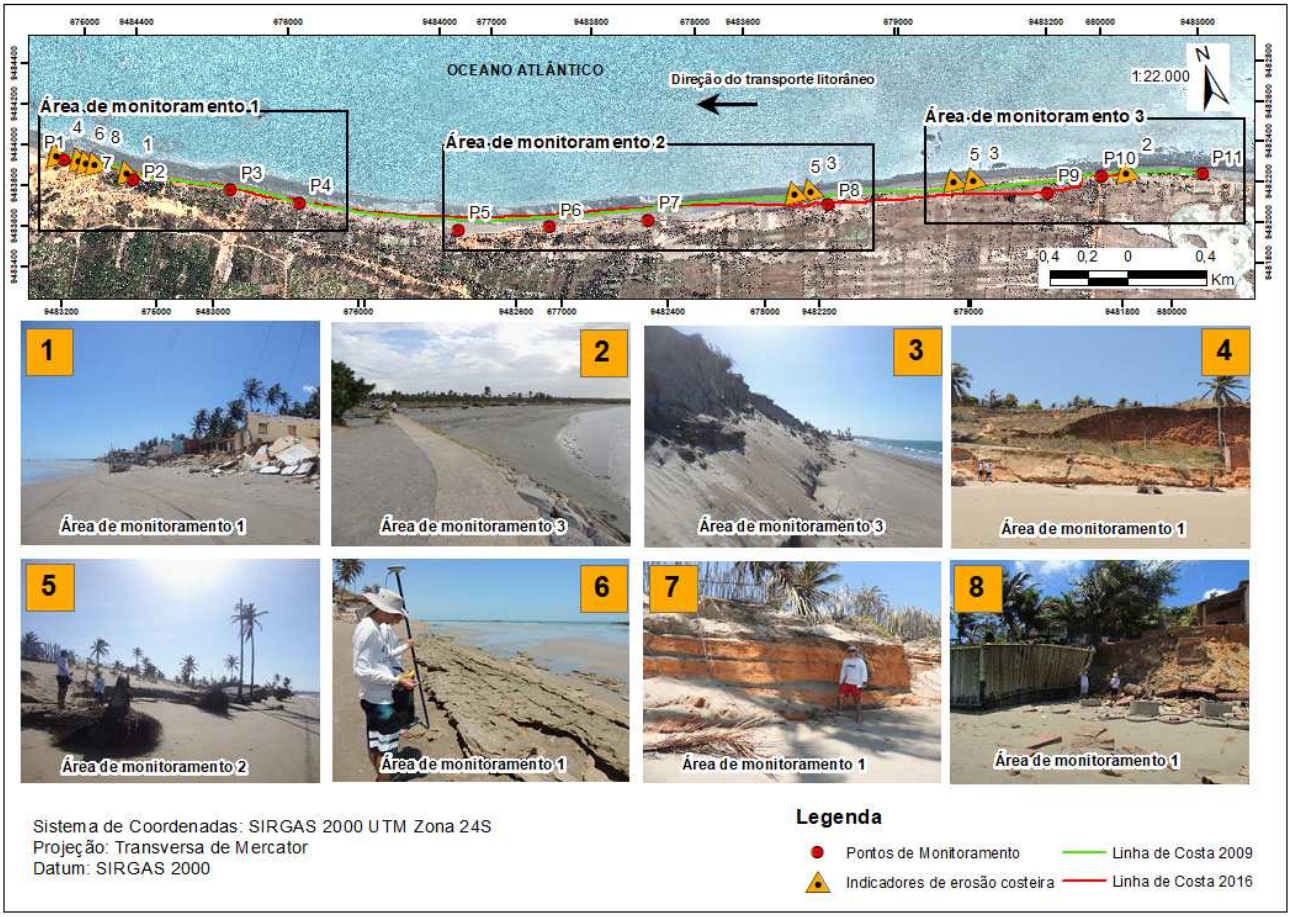

Figura 4. Indicadores de erosão costeira observados no trecho monitorado do Município de Icapuí conforme classificação apresentada por Souza et al., (2005). **Fonte:** Elaboração dos autores.

Souza et al., (2005) apontam em seu trabalho 20 possíveis causas da erosão, as 7 últimas estão associadas diretamente às modificações causadas pela ação antrópica ao longo da linha de costa. No trecho analisado em Icapuí foi possível observar 6 e assim como foi constatado na análise dos indicadores de processos erosivos, as praias de Barreiras de Cima e Barrinha são as que apresentam o maior número de exemplos dentro dessa classificação (Figura 5).

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

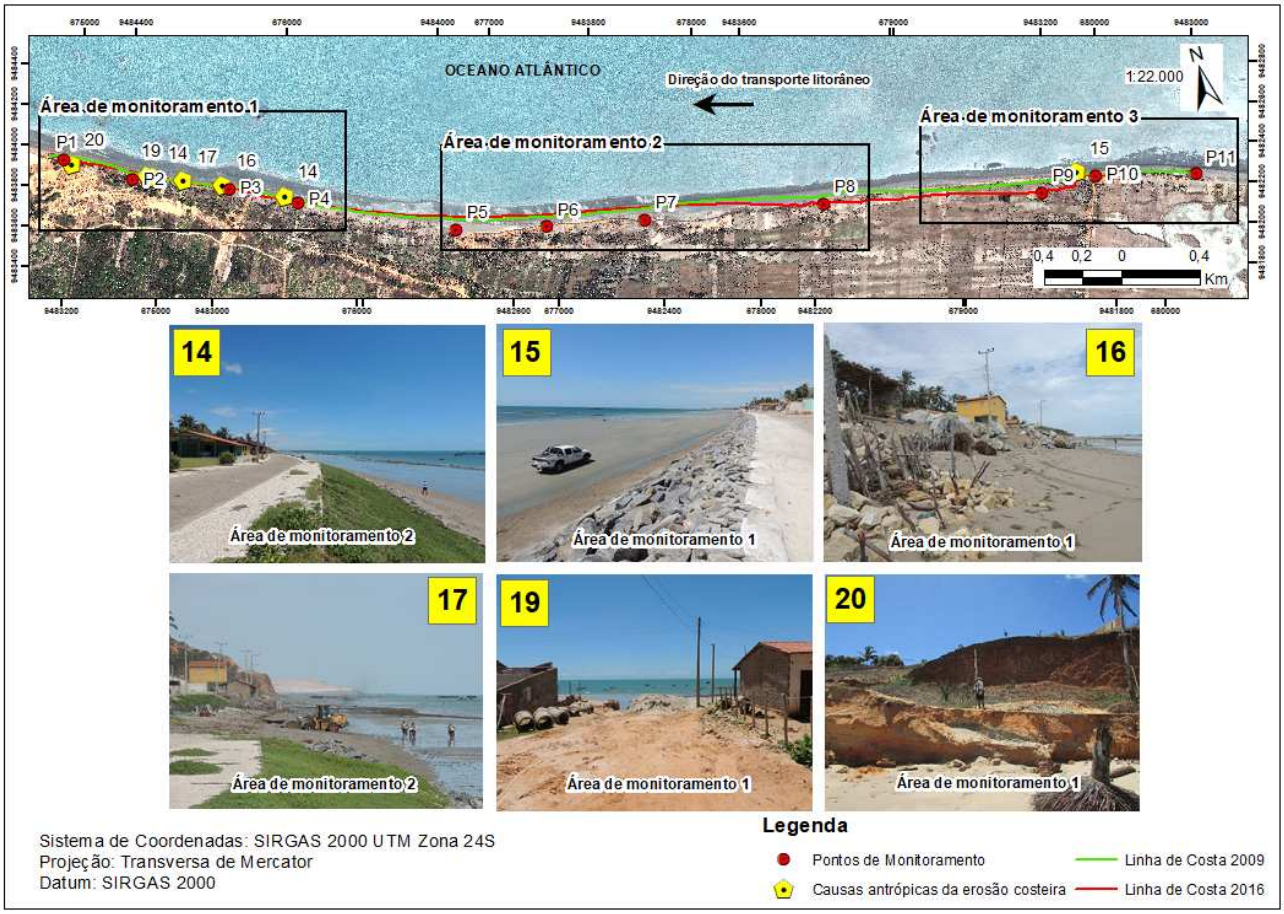

Figura 5. Causas antrópicas de erosão costeira observados no trecho monitorado do Município de Icapuí conforme classificação apresentada por Souza et al., (2005). **Fonte:** Elaboração dos autores.

Ao cruzar os dados obtidos através dos monitoramentos de campo que apontou os indicadores indicadores de processos erosivos e suas causas antrópicas ao longo do litoral analisado com as linhas de costa obtidas por meio do campo realizado em novembro de 2016 e a linha de costa extraída da imagem *Quickbird* de 2009 é possível apontar algumas relações entre os indicadores, causas e as variações da linha de costa observadas ao longo dos 6 km analisados.

A área de monitoramento 1 é o trecho que apresenta o maior número de indicadores de erosão de erosão segundo a metodologia proposta por Souza et al., (2005), 5 no total, estes indicadores estão localizados principalmente entre os pontos 1 e 2, área que também é marcada por uma retração da linha de costa entre os anos de 2009 e 2016, recuo este na ordem de aproximadamente 20 m em 7 anos em um trecho de pouco mais de 330 metros. A área anteriormente era protegida por pequenas dunas frontais e vegetação como porção limítrofe da linha de costa e atualmente tem por limite falésias.

No que se refere às causas antrópicas que possuem provável relação com esse processo erosivo no entorno do ponto 1 devido à direção do transporte longitudinal ser de leste a oeste, destacam-se nesse trecho as formas de ocupação localizadas no pós-praia entre os pontos 2 e 3, como casas que até o final de 2015 estavam embargadas pela defesa civil por possíveis riscos de desabamentos em virtude da erosão no local.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

Foi observado também a utilização de medidas de contenção da erosão por meio do uso de sacos de areia e estacas de madeira que acabam se tornando pequenas armadilhas de sedimentos, interferindo na dinâmica costeira local, portanto, tal fato não se mostrou eficaz e por muitas vezes se tornou um agravante. Atualmente, um enrocamento de 700 m foi instalado entre os pontos 1, 2 e 3 para contenção da erosão neste setor da costa de Icapuí.

Foi possível observar que são poucas as alterações entre os pontos 2 e 3 devido à linha de costa estar totalmente ocupada, porém foi identificada uma retração entre os pontos 3 e 4 de aproximadamente 15 m em um trecho de 360 m, fato que foi provocado pela instalação de um enrocamento no ponto 4 que alterou a hidrodinâmica local alterando o padrão de sedimentação no sentido da corrente e consequentemente provocando a erosão (Figura 6).



Figura 6. Enrocamento instalado no P4 e danos à sua estrutura causadas por alterações nos processos hidrodinâmicos locais na Área de monitoramento 1. **Fonte:** Elaboração dos autores.

Das três Áreas de monitoramento, a 2 é a que apresenta o menor número de indicadores de processos erosivos observados ao longo dos trabalhos de campo, diferentemente da área 1 onde a erosão costeira é claramente mais atuante devido ao nível de ocupação na linha de costa e obras de contenção já se fazem presentes para conter esse processo.

A segunda Área de monitoramento se caracteriza como um setor progradante dentre o trecho monitorado de Icapuí. Assim, foi possível observar que em um trecho de aproximadamente 1,8 km entre os pontos 4 e 7 havia uma progradação de 25 m. Tal fato pode estar diretamente relacionado à deposição do material erodido no entorno da área de monitoramento 3 e que foi transportado pela deriva litorânea no sentido de leste para oeste.

A ocupação nesta área está mais recuada em relação à linha de costa e se encontra protegida

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

por dunas frontais, formadas na área de acumulação de sedimentos e que agem como primeira linha de proteção do litoral contra a ação das marés e eventos extremos no litoral da Praia de Barreiras de Cima e consequentemente agem como fonte de sedimentos para as praias à sotamar e que são retrabalhados ao longo da deriva litorânea de leste para oeste.

O processo de acreção passa a não se fazer mais presente entre os pontos 7 e 8 nesta área de monitoramento, onde é possível identificar uma constante erosão das dunas frontais, e assim como encontrado na Área de monitoramento 1, foram observados danos às estruturas rígidas construídas ao longo do ponto 8, a análise das linhas de costa obtida mostra uma retração da ordem de 60 m em um trecho de 930 m entre estes pontos (Figura 7).



Figura 7. Urbanização recuada e protegida por dunas frontais no P5 e processo erosivo atuante ao longo do P8 na Área de monitoramento 2. **Fonte:** Elaboração dos autores.

A Área de monitoramento 3, a última a ser analisada, apresenta uma ocupação localizada diretamente na linha de costa, tal qual como observado na Área de monitoramento 1. O processo erosivo neste trecho analisado já se faz presente há muito tempo, conforme relatam os moradores da área e se confirma através notícias de jornais e meios de comunicação local encontrados, onde desde 2010 a ação da maré tem trazido sérios danos à comunidade local, com a demolição de uma escola condenada pela erosão e a realocação de casas de famílias atingidas no local (Figura 11).



Figura 8. Danos causados pela erosão costeira na Praia da Barrinha em meados de 2011 na Área de monitoramento 3. **Fonte:** Blog a Cidade Icapuí.

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

Com o intuito de conter o processo erosivo foi construído um enrocamento de aproximadamente 150 m nesta localidade, no local onde haviam casas danificadas pela erosão. A construção do enrocamento conteve o processo no local onde foi instalado, fazendo com que a comunidade que ali vivia se adaptasse à nova paisagem, porém ao analisar as linhas de costa entre os anos de 2009 e 2016 se fez notar um recuo acelerado da área entre os pontos 8 na área de monitoramento 2 e o ponto 9, próximo à obra, um recuo que chega a mais de 90 m em um trecho de 1,1 km. As dunas frontais que se faziam presentes na área foram totalmente erodidas, assim como a vegetação que se fazia presente neste setor (Figura 9).



Figura 9. Comparativo entre anos de 2011 (Fonte: Blog a Cidade Icapuí) e 2016 na área do P9, na Praia da Barrinha na área de monitoramento 3. **Fonte:** Elaboração dos autores.

A causa mais provável para esse recuo tão acentuado neste setor da linha de costa de Icapuí está relacionada à instalação do enrocamento na Praia da Barrinha, no ponto 10. Tal estrutura, assim como foi observado entre o ponto 3 e 4, alterou os processos hidrodinâmicos na área e consequentemente na erosão das dunas que se faziam presentes ali, alterando os padrões de sedimentação nesta área e em áreas que seriam abastecidas por estes sedimentos na direção da corrente (Figura 10).

Mesmo sem apresentar formas de ocupação muito próximas à linha de costa e consequentemente prováveis danos às estruturas físicas, se faz necessária uma observação das consequências da erosão causada pela obra neste setor de Icapuí pelo poder público, pois se trata de uma área que servia de fonte de sedimentos para regiões próximas, algo que pode ter sérias consequências no futuro.



Figura 10. Enrocamento instalado na Praia da Barrinha, Icapuí.
Fonte: Elaboração dos autores.

REDE Revista Eletrônica do PRODEMA
Journal Homepage: www.revistarede.ufc.br
ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

A Figura 11 apresenta o quadro geral dos indicadores de erosão costeira observados, bem bem como as possíveis causas antrópicas para o trecho em análise. A erosão costeira é um dos principais focos tratados em estudos no Brasil quando se fala dos impactos causados pela pressão antrópica em áreas muito próximas à linha de costa. Tal cenário pode ser observado em diversos casos ao longo dos mais de 8.000 km de litoral brasileiro, porém é de fundamental importância entender que a erosão se trata de um processo natural, já apontado por Charlier; Meyer (1998); e Lins-de-Barros (2005).

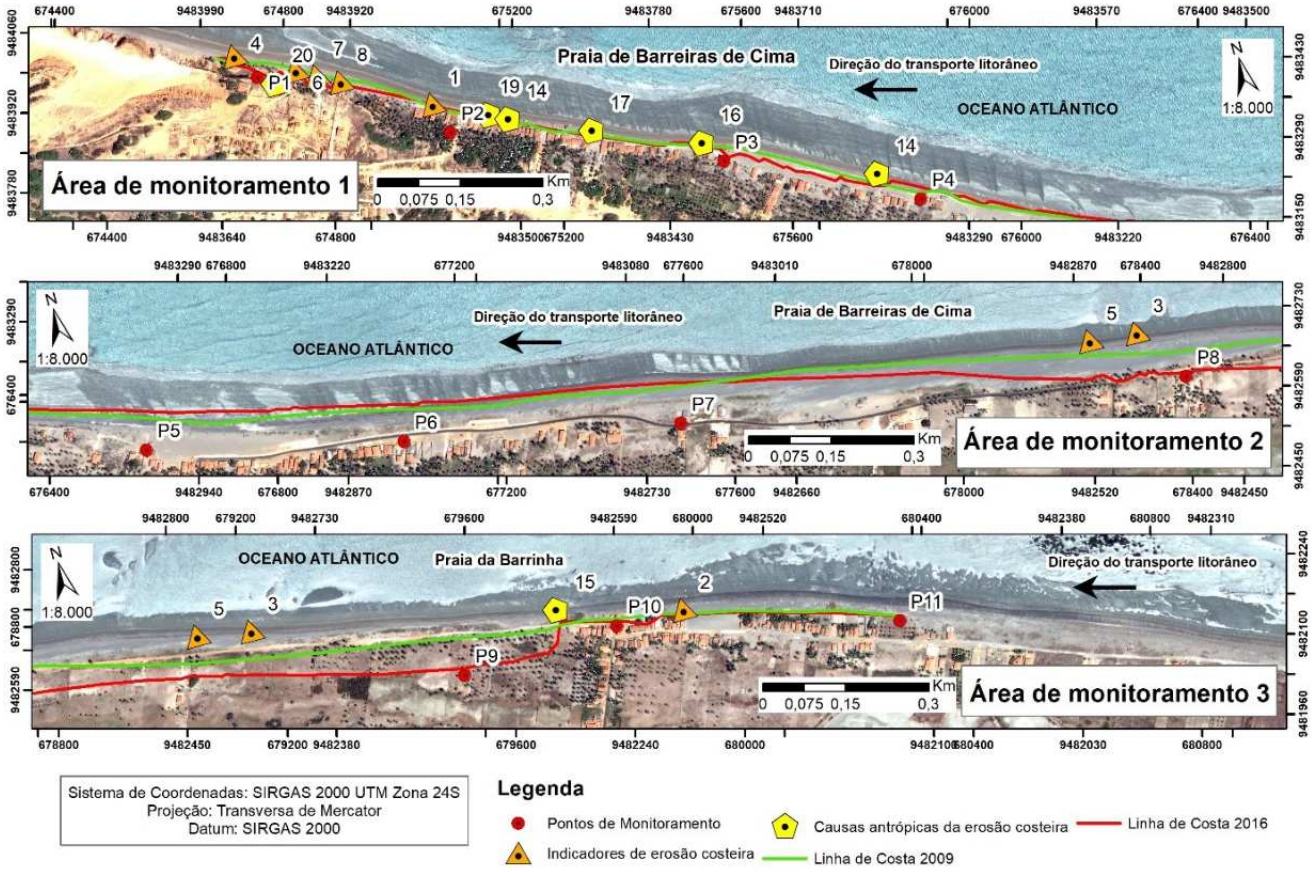

Figura 11. Quadro geral de indicadores de erosão costeira e suas possíveis causas antrópicas no trecho monitorado do município de Icapuí, litoral leste do Ceará. **Fonte:** Elaboração dos autores.

Souza et al. (2005), afirmam que os estudos sobre erosão costeira são relativamente recentes e passaram a ganhar mais expressão no final da década de 1980 e início da década de 1990 no Brasil. A erosão costeira pode estar associada há escalas temporais e espaciais diferenciadas, fatores naturais como as variações relativas dos níveis dos oceanos, alterações climáticas, alterações modeladoras de origem antropogênica e a redução do abastecimento sedimentar se enquadram como as principais causas (LINS-DE-BARROS, 2005; MAZZER; DILLENBURG, 2009).

Tal processo deve ser estudado e entendido de forma a evitar possíveis danos futuros, portanto faz-se necessária uma integração das análises dos fatores naturais e antrópicos para melhorar o nível de resposta quando buscamos as reais causas da erosão costeira, o que pode variar de caso a caso, não sendo apenas uma ocupação irregular e sem ordenamento a principal causa deste processo (MUEHE, 2001; SOUZA et al., 2005; MORAIS et al., 2006; BORGES et al., 2009; MOURA, 2012).

Pinheiro; Morais (2010); Pinheiro et al., (2020) apontam que parte das causas da erosão costeira podem estar associadas à redução do aporte de sedimentos oriundos do interior das bacias hidrográficas por meio da construção de barramentos e canalização dos rios, fato que é comumente observado na região semiárida brasileira.

Recentemente a erosão costeira atingiu uma proporção que excede a capacidade de resposta imediata por parte dos tomadores de decisões locais por ter se tornado um problema de escala global. Luijendijk et al., (2018) aponta que 24% das praias ao redor do planeta estão sob forte processo erosivo, 48 % encontram-se em estabilidade e 28 % em acreção.

No caso do Ceará, 30% das praias do Estado encontram-se em erosão e 17 % apresentam tendências erosivas, fato que pode se tornar um problema em um futuro próximo (MORAIS et al., 2018). O trecho monitorado está localizado no setor 1 – Litoral Leste e apresenta segundo o autor op.cit 39 % de erosão na sua linha de costa, a maior taxa dentre os quatros setores definidos pelo Gerenciamento Costeiro do Estado do Ceará. Esses aspectos precisam ser levados em consideração pela gestão municipal, visto que tal tendência pode se mostrar crescente em um futuro próximo, não só no trecho em questão, mas em todos os municípios do litoral leste.

A atenção maior fica para os municípios posicionados à leste da foz do Jaguaribe, pois os os mesmos passam a depender diretamente do aporte sedimentar de falésias, da plataforma continental e da própria corrente de deriva litorânea para manterem o equilíbrio sedimentar de suas praias, assim, qualquer alteração nesses fornecedores de sedimentos levará ao aumento considerável da erosão costeira, que poderá causar danos mais significativos em trechos de linha de costa que apresentam níveis mais elevados de ocupação.

CONCLUSÕES

O município de Icapuí tem passado por sérios problemas relacionados à erosão costeira desde meados dos anos 2000. Tal fato se mostrou intensificado na última década conforme mostram as constantes notícias de jornais entre os anos 2011 e 2015 e relatos de moradores locais, sendo assim, ao analisarmos o trecho escolhido de 6km no litoral do município é possível identificar uma série de indicadores deste processo identificados através dos trabalhos de campo e análise de imagem de satélite, além de suas possíveis causas.

A maioria dos indicadores de erosão foram observados ao longo da praia de Barreiras de Baixo e estão relacionados diretamente com a ocupação constante ao longo da pós-praia, muito próxima à linha de costa, o que impede o abastecimento sedimentar e altera os padrões hidrodinâmicos através do uso de medidas de contenção do processo erosivo, sejam elas rígidas ou não.

Por meio da análise entre as linhas de costa dos anos de 2009 e 2016 na área de monitoramento 1 foi possível identificar trechos onde houve o recuo na ordem de 20 m à oeste da área e de mais de 15 m à leste, este último estando relacionado diretamente à um enrocamento instalado neste setor. Parte destes indicadores de erosão também foram encontrados nos arredores da Praia da Barrinha, área de monitoramento 3, onde dunas frontais e vegetação foram erodidos devido à presença de um

enrocamento no local, onde a retração da linha de costa se mostrou mais intensificada, na ordem de 90 m em alguns trechos.

Em contrapartida, foi possível identificar que o processo de acreção também se fez presente ao longo do período analisado o qual foi observado na parte que corresponde à praia de Barreiras de Cima, na área de monitoramento 2, onde houve uma progradação da linha de costa em direção ao oceano de 25 m em alguns pontos, o que pode ser resultado da erosão nas proximidades da praia da Barrinha, onde os sedimentos foram depositados conforme a direção da corrente de leste à oeste. Este setor apresenta uma ocupação recuada em relação à linha de costa e conta com um cordão de dunas frontais que atua como proteção das estruturas construídas ao longo desta praia, além de ser uma fonte de sedimentos para a dinâmica litorânea atuante na região, tornando importante o papel dos gestores locais que devem tratar estas áreas importantes para a manutenção do ambiente costeiro.

Conclui-se que o uso dos indicadores de processos erosivos, aliado às técnicas de campo e geoprocessamento se mostraram eficazes na análise da erosão ao longo do trecho escolhido no litoral de Icapuí, se apresentando com uma importante ferramenta para a gestão do litoral ao passo que medidas de ordenamento podem, se não cessar definitivamente os danos causados pela erosão, mitigá-lo. Assim, tendo em vista o quadro erosivo preocupante em que está inserido o litoral cearense tem-se a necessidade de informações precisas que podem e devem partir das universidades em parceria com os órgãos ambientais e administrativos que possam permitir respostas práticas aos tomadores de decisão.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES pela concessão de bolsa de Doutorado ao primeiro autor, por meio do Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais (PPGCMT) do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC), ao Laboratório de Geologia e Geomorfologia Costeira e Oceânica (LGCO) da Universidade Estadual do Ceará (UECE) e ao Laboratório de Oceanografia Geológica (LOG) do Instituto de Ciências do Mar (LABOMAR) da Universidade Federal do Ceará (UFC) por disponibilizar estrutura física e equipamentos para os trabalhos de campo e em especial à equipe de alunos e pesquisadores do LGCO e LOG pelo suporte durante toda a vida acadêmica.

REFERÊNCIAS

BAPTISTA P., CUNHA T., BERNARDES C., GAMA C., FERREIRA Ó., DIAS A. A precise and eficient methodology to analyse the shoreline displacement rate. **Journal of Costal Research**, 27(2):223-232, 2011.

BIRD, E. C. F. **Coastline changes:** A global review. University of Melbourne and United Nations University, John Wiley e Sons, 1985, 219p.

BOAK, E. H.; TURNER, I. L. shoreline definition and detection: a review. **Journal of coastal research**, vol. 21, n° 4, 2005.

BORGES, P. LAMEIRAS, G. CALADO, H. **A erosão costeira como factor condicionante da sustentabilidade**, 1º congresso de desenvolvimento regional de cabo verde, 2º Congresso lusófono de ciência regional, 2009.

BROWN S, NICHOLLS R, WOODROFFE C, HANSON S, HINKEL J, KEBEDE AS, Sea-Level Rise Impacts and Responses: A Global Perspective. In: Finkl CW, editor. **Coastal Hazards. Netherlands:** Springer;. pp. 117–149, 2013.

CAVALCANTI, A.P.B. **Impactos ambientais da Zona Costeira** – Uma análise geoecológica da paisagem. Teresina: UFPI, 2003.

CARVALHO, A. B. **Economia do Mar:** Conceito, Valor e Importância para o Brasil. Tese de Doutorado – Programa de Pós-Graduação em Economia do Desenvolvimento, PUCRS, 2018.

CHARLIER, R.H., MEYER, C.P.D. **Coastal erosion, response and management.** Sringer, Berlin, 343 pp. ., (1998).

COLGAN, C. A. **Measurement of the Ocean and Coastal Economy:** Theory and Methods Paper 3. National Ocean Economics Program, 2003. Disponível em: <http://cbe.miis.edu/noep_publications/3>. Acesso em dez. 2020.

CROWELL, M., LEATHERMAN, S.P., AND BUCKLEY, M.K., Shoreline change rate analysis: long term versus short term data. **Shore and beach**, 61: 13 – 20, 1993.

GUERRA. R.G.P. **Vulnerabilidade costeira a eventos de alta energia no Litoral de Fortaleza, Ceará** Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Ceará, Instituto de Ciências do Mar, Programa de Pós-Graduação em Ciências Marinhas Tropicais, Fortaleza, 2014.

GUERRA, R. G. P. **Erosão de praia associada à evolução de esporão arenoso em Parajuru, Beberibe, Ceará.** 2018. 210 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

GUERRA, R. G. P; MOREIRA, A.D; SILVA, J.R.M; NASCIMENTO, H..; LACERDA BARROS, E. Migração de Dunas e o processo de soterramento no litoral de Barroquinha, Ceará, Brasil. **Arquivos de Ciências do Mar,** Fortaleza, 2020, 53 (Especial): http://dx.doi.org/10.32360/acmar.v53,supl.,42693 ISSN 0374-5686 e-ISSN 2526-7639.

HALLEGATTE S, GREEN C, NICHOLLS RJ, CORFEE-MORLOT J. Future flood losses in major coastal cities. **Nature Climate Change**; 3: 802–806, 2013.

IPCC. **Managing the Risks of Extreme Events and Disasters to Advance Climate Change Adaptation.** A Special Report of Working Groups I and II of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge, UK, and New York, NY, USA: Cambridge University Press. 2012.

KILDOW, J.T. MCLLOGRM. A. **The Importance of Estimating and the Contribution of the Oceans to National Economies.** Marine Policy, 2010, pp 367-374

LACERDA BARROS, E.; GUERRA, R. G. P ; FERNANDES, R. P. Variação da Linha de Costa no Litoral Leste do Estado do Ceará: O caso da Resex da Prainha do Canto Verde. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, 2020, 53 (Especial): http://dx.doi.org/10.32360/acmar.v53,supl.,42693 ISSN 0374-5686 e-ISSN 2526-7639, 2020.

LEATHERMAN, S. Shoreline change mapping and management along the U.S. East Coast. **Journal of Coastal Research** (ISSN: 1551-5036), SI 38:5-13, 2003.

LINS-DE-BARROS, F.M. Risco, vulnerabilidade física à erosão costeira e impactos socioeconômicos na orla urbanizada do município de Maricá, Rio de Janeiro. **Revista Revista Brasileira de Geomorfologia** (ISSN: 1519-1540), 6(2):83-90 União da Geomorfologia Brasileira, Brasil.

LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**, [S. l.], v. 1, n. 8, p. 1 – 11, 2018.

MCGRANAHAN G., BALK D., ANDERSON B. The rising tide: Assessing the risks of climate change and human settlements in low elevation coastal zones, **Environment and Urbanization,** 19(1), 17–37, 2007.

MAIA, G.O.; PINHEIRO, L.S. Eventos de alta energia e suas consequências na zona costeira do município de Aquiraz, Estado do Ceará. **Arq. Ciên. Mar**, Fortaleza, 49(1): 74 – 90, 2016.

MAIA, L.P. **Procesos costeros y balance sedimentario a lo largo de Fortaleza (NE-Brasil): implicaciones para una gestión adecuada de la zona litora**l,1999. Tese (doutorado). Universidade de Barcelona-Espanha, 269 p.

MARINO, M.T.R.D.; FERNANDES, D.; MORAES, S.G., TAJRA, A.A. Vulnerabilidade física de parte do litoral leste do Ceará à erosão. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba, v. 38, p.253-281, 2016.

MAZZER, A; DILLENBURG, S. Variações temporais da linha de costa em praias arenosas dominadas por ondas do sudeste da Ilha de Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brasil). **Pesquisas em Geociências**. 36. 117. 10.22456/1807-9806.17880. (2009).

MEIRELES, A. J. A. Impactos ambientais decorrentes da ocupação de áreas reguladoras do aporte de areia: a planície Costeira da Caponga, município de Cascavel, litoral leste cearense. **Confins (Paris)**, v. 2, p. 1, 2008.

MEDEIROS, E.C. de S.; MAIA, L.P.; ARAÚJO, R.C.P. de. Capacidade de carga de uma praia sob o impacto do processo de erosão costeira (praia do Icaraí). Subsídios para o gerenciamento costeiro do estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.185-193, 2016. Associação Portuguesa dos Recursos Hídricos (APRH). http://dx.doi.org/10.5894/rgci592.

MORAIS, J. O. Aspectos do Transporte de Sedimentos no Litoral de do Município de Fortaleza, Estado do Ceará, Brasil. **Arq. Ciên. Mar**, 20 (1/2) : 71-100, Fortaleza-CE, 1980.

MORAIS, J.O.; FREIRE, G.S.S., PINHEIRO, L.S.; SOUZA, M.J.N.; CARVALHO, A.M.; PESSOA, P.R.S.; OLIVEIRA, S.H.M. CEARÁ. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação do litoral brasileiro.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.131-154, 2006.

MORAIS, J.O.; PINHEIRO, L.S.; FREIRE, G.S.S., PESSOA, P.R..; GUERRA, R.P.; BARROS, E.L., MOURA, J.M. Ceará. In: Muehe, d. (org.). **Panorama da Erosão Costeira no Brasil.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente (MMA), p.261-288, 2018.

MOURA, M. R. **Dinâmica costeira e vulnerabilidade à erosão do litoral dos municípios de Caucaia e Aquiraz, Ceará.** Tese de Doutorado, Programa de Pós-graduação em Geografia, Centro de Ciências, Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2012.

MOURA, F. J. M. **Dinâmica de barreiras costeiras na costa semiárida brasileira: o caso do litoral de Acaraú e Itarema** – Ceará. 2018. 266 f. Tese (Doutorado em Ciências Marinhas Tropicais) – Instituto de Ciências do Mar, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

MUEHE, D. Critérios Morfodinâmicos para o Estabelecimento de Limites da Orla Costeira para fins de Gerenciamento. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, Vol. 2, No. 1, pp 35 – 44, 2001.

ISSN: 1982-5528
DOI:1022411/rede2020.1401.05

MUEHE, D., OLIVEIRA, K.L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial, Papel da praia na proteção da costa e as alterações oceanográficas em diferentes escalas temporais. In. **Quaternary and Environmental Geosciences** 05(2):121-124, 2014.

NEUMANN B, VAFEIDIS AT, ZIMMERMANN J, NICHOLLS RJ) **Future Coastal Population Growth and Exposure to Sea-Level Rise and Coastal Flooding** - A Global Assessment. PLoS ONE 10(3): e0118571. doi: 10.1371/journal.pone.0118571, 2015.

NICHOLLS RJ, CAZENAVE A. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**, 2010; 328: 1517– 1520. doi: 10.1126/science.1185782 PMID: 20558707.

PAULA, D. P. **Análise dos riscos de erosão costeira no litoral e Fortaleza em função da vulnerabilidade aos processos geogênicos e antropogênicos.** 364 f. Tese (Doutorado em Ciências do Mar) - Universidade do Algarve-UALG, Faro, Portugal, 2012.

PAULA, D.P. Erosão Costeira e Estruturas de proteção no litoral da região metropolitana de Fortaleza (Ceará, Brasil): Um contributo para a artificialização do litoral. **REDE – Revista Eletrônica do PRODEMA** Fortaleza, Brasil, v. 9, n. 1, p. 73-86, jan./jun. 2015. ISSN: 1982-5528, 2015.

PAULA, D.P.; FARRAPEIRA NETO, C. Resposta de uma praia arenosa a um evento de ressaca do mar: o caso da Praia do Icaraí (Caucaia, Ceará, Brasil). **Ateliê Geográfico** , Goiânia, v. 11, n. 2, p. 184-204, ago. 2017. Disponível em: <http://www.revistas.ufg.br/index.php/atelie>. Acesso em: 04 dez. 2018.

PINHEIRO, L. S.; MORAIS, J. O.; MEDEIROS, C. Mudanças da linha de praia e feições morfológicas em cascavel, Estado, do Ceará. **Arquivo de ciências do mar**, Fortaleza, 2001.

PINHEIRO, L. D; MORAIS, J. O. Interferências de barramentos no regime hidrológico do estuário do rio Catu – Ceará – nordeste do brasil. **Sociedade & natureza**, Uberlândia, 22 (2): 237-250, (2010).

PINHEIRO, L.S, MORAIS, J.O. de, MAIA, L.P. The Beaches of Ceará, In: **Brazilian Beach Systems.**Volume 17 of the series Coastal Research Library ; pp 175-199 DOI. 10.1007/978-3-319-30394-9_7 Springer International Publishing, 2016.

PINHEIRO, L.S; XIMENES NETO, A.; MEDEIROS, D.H.; PESSOA, P.R.; MORAIS, J.O. A Plataforma Continental semiárida do Brasil. In. **Geografia Marinha (Livro Eletrônico):** Oceanos e costas na perspectiva de geógrafos / organização Dieter Muehe, Flávia Morais Lins-de-Barros, Lidriana de Souza Pinheiro – 1 ed. Rio de Janeiro, 2020 ISBN 978-65-992571-0-0. (2020).

SOUZA, C.R. de G.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ESTEVES, SL.; VITAL, H. DILLENBURG, S.R.; PATCHINEELAM, S.M. & ADDAD, J.E. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. Souza et al. (eds.). **Quaternário do Brasil.** Holos, Editora, Ribeirão Preto (SP). p. 130-152, 2005.

SOARES, M. O., TEIXEIRA, C.E.P., FERREIRA, S.M.C., GURGEL, A.L.A.R., PAIVA, B.P., MENEZES, M.O.B., DAVIS, M., TAVARES, T.C.L., Thermal stress and tropical reefs: mass coral bleaching in a stable temperature environment? **Mar. Biodivers**. 49, 2921–2929,2019. https://doi.org/10.1007/s12526- 019-00994-4