

GEOMORFOLOGIA E OS SERVIÇOS ECOLÓGICOS COMO FUNDAMENTOS PARA A GESTÃO INTEGRADA DA PLANÍCIE COSTEIRA DE ICAPUÍ, CEARÁ, NORDESTE DO BRASIL

*GEOMORPHOLOGY AND ECOLOGICAL SERVICES AS THE FOUNDATIONS OF
THE INTEGRATED COASTAL PLAIN MANAGEMENT IN ICAPUÍ, STATE OF
CEARA, BRAZILIAN NORTHEAST*

*GÉOMORPHOLOGIE ET SERVICES ÉCOLOGIQUES COMME FONDAMENTAUX
POUR LA GESTION INTÉGRÉE DE LA PLAINE CÔTIÈRE D'ICAPUÍ, CEARÁ,
NORD-EST DU BRÉSIL*

ANTONIO JEOVAH DE ANDRADE MEIRELES¹
WALLASON FARIAS DE SOUZA²
ANDRÉ LUIZ BRAGA SILVA³
ANA PAULA DA SILVA LIMA⁴
JOSÉ DE ARIMATEA DA SILVA⁵

¹Departamento de Geografia da Universidade Federal do Ceará (UFC). Programas de Pós-Graduação em Geografia PPGeo/UFC e em Desenvolvimentos e Meio Ambiente ProdeMa/UFC. Pesquisador 1B/CNPq. E-mail: meireles@ufc.br.

²Geógrafo, mestre e doutorando (PPGeo/UFC).

³Biólogo, mestre pelo Programa de Pós-graduação em Ciências Naturais pela Universidade Estadual do Rio grande do Norte (UERN). Doutorando no PPGeo/UFC.

⁴Socióloga, especialista em Gestão Pública Municipal (UECE), mestra em Ciências Sociais e Humanas (UERN).

⁵Geógrafo, mestre e doutorando (PPGeo/UFC).

Recebido 30/06/2020

Enviado para correção 10/07/2020

Aceito 22/07/2020

RESUMO

Foi possível constatar um ritmo crescentes e contínuos da erosão costeira entre os anos de 1985 e 2018. De a erosão demonstrar uma certa convergência com as previsões do IPCC (2019), e como a primeira e segunda décadas amostradas o litoral apresentou pontuais intervenções humanas, o ecossistema manguezal foi bastante alterado. E, dessa forma, não foi possível afirmar com maior segurança a relação da erosão costeira e a salinização do lençol freático com a subida do nível do mar. Entretanto, devido recuos da linha de costa em até 150 metros (destruição de moradias na última década), é extremamente prudente utilizar os dados da pesquisa devido demonstrar a erosão contínua em praias arenosas e rochosas e na base das falésias vivas. A salinização do aquífero, pelo menos, foi intensificada nos últimos 25 anos. Os componentes do relevo da planície costeira foram analisados de modo a vincular os processos morfológicos aos ecossistemas. O resultado de 13 oficinas realizadas com 34 comunidades de pescadores e camponesas, evidenciou os vínculos dos processos geomorfológicos e ecológico com o modo de vida comunitários, etapa que definiu os serviços ecológicos da planície costeira, importantes para a gestão costeira integrada de Icapuí, Ceará, Nordeste do Brasil.

Palavras-chaves: Geomorfologia costeira. Geomorfologia e sociedade. Serviços ecológicos. Erosão e mudanças globais.

ABSTRACT

A growing and continuous pace of coastal erosion were evident between 1985 and 2018. Despite a certain convergence of the erosion with the IPCC forecasts (2019), and as there were occasional human interventions in the coastline during the first and second decades sampled, the mangrove ecosystem underwent serious changes. Thus, one can not safely affirm the relationship between the coastal erosion and water table salinization with the rising sea level. However, due to losses to the coast of up to 150 meters (household destruction), it would be extremely prudent to use the research data, as it attests to the ongoing erosion on sandy and rocky beaches as well as at the base of active cliffs. There is evidence that aquifer salinization, at least, has intensified in the last 25 years. The components of the coastal plain relief were analyzed to link the morphological processes to the ecosystem. The results of 13 workshops carried out with local fishermen and farming communities provided evidence regarding the links of the geomorphological and ecological processes with the community's lifestyle. This phase has defined the coastal plain ecological services, which are important to the integrated coastal management in Icapuí, State of Ceara, Brazilian Northeast.

Keywords: Coastal Geomorphology. Geomorphology and society. Ecological services. Erosion and global changes.

RÉSUMÉ

Il a été possible d'observer un rythme croissant et continu d'érosion côtière entre les années 1985 et 2018. L'érosion a montré une certaine convergence avec les prévisions du GIEC (2019), et les première et deuxième décennies échantillonnées, la côte présentait des interventions humaines spécifiques, l'écosystème de la mangrove a été considérablement modifié. De cette manière, il n'a pas été possible d'affirmer avec plus de certitude la relation entre l'érosion côtière et la salinisation de la nappe phréatique avec l'élévation du niveau de la mer. Cependant, en raison du recul de la ligne côtière jusqu'à 150 mètres (destruction des maisons au cours de la dernière décennie), il est extrêmement prudent d'utiliser les données de l'enquête car elles démontrent une érosion continue sur les plages de sable et de rochers et au pied des falaises vivantes. La salinisation de l'aquifère, au moins, s'est intensifiée au cours des 25 dernières années. Les composantes du relief de la plaine côtière ont été analysées afin de relier les processus morphologiques aux écosystèmes. Le résultat de 13 ateliers organisés avec 34 communautés de pêcheurs et de paysans, a mis en évidence les liens des processus géomorphologiques et écologiques avec le mode de vie communautaire, une étape qui a défini les services écologiques de la plaine côtière, importants pour la gestion intégrée du littoral d'Icapuí, Ceará, Nord-est du Brésil.

Mots clés: Géomorphologie côtière. Géomorphologie et société. Services écologiques. Érosion et changements globaux.

INTRODUÇÃO

A mudança climática provocada pela ação humana é incontável e acelerada. Foram essas as principais conclusões do relatório especial do Painel Intergovernamental sobre as Mudanças Climáticas (IPCC, 2019). A dinâmica global encontra-se influenciada pelo elevado volume de dióxido de carbono emitido pela queima dos combustíveis fósseis e pelo desmatamento das florestas. As consequências relacionadas com a erosão costeira, salinização dos aquíferos e a perda de biodiversidade são impulsionadas pelo aumento da temperatura e do nível dos oceanos, alterando a dinâmica global do nosso Planeta.

A participação de 192 representações comunitárias das 34 localidades de Icapuí, da administração municipal, pesquisadores, estudantes e professores, contribuiu para a formulação de um plano participativo para enfrentar os processos erosivos generalizados no litoral. A evolução espaço-temporal da faixa de praia e as diversas formas de ocupação e usos dos sistemas naturais foram analisados de modo a proporcionar indicadores geoambientais para a gestão costeira. Foram definidos os vínculos entre as comunidades litorâneas com a diversidade de relevo e caracterizados os Serviços Ecológicos (SE) que dão suporte à qualidade de vida.

O diagnóstico socioambiental, a elaboração dos mapas temáticos, a análise estatística da evolução da erosão costeira, prognóstico e proposta de monitoramento emitidos, proporcionaram as informações técnico-científicas necessárias para contribuir com as ações e medidas para o poder público formular políticas com a centralidade climática. Cada comunidade definiu as relações socioambientais, culturais e econômicas vinculadas à diversidade do relevo costeiro e dos ecossistemas, para a proteção, preservação, conservação e recuperação dos sistemas ambientais municipais e da qualidade de vida de todas as espécies.

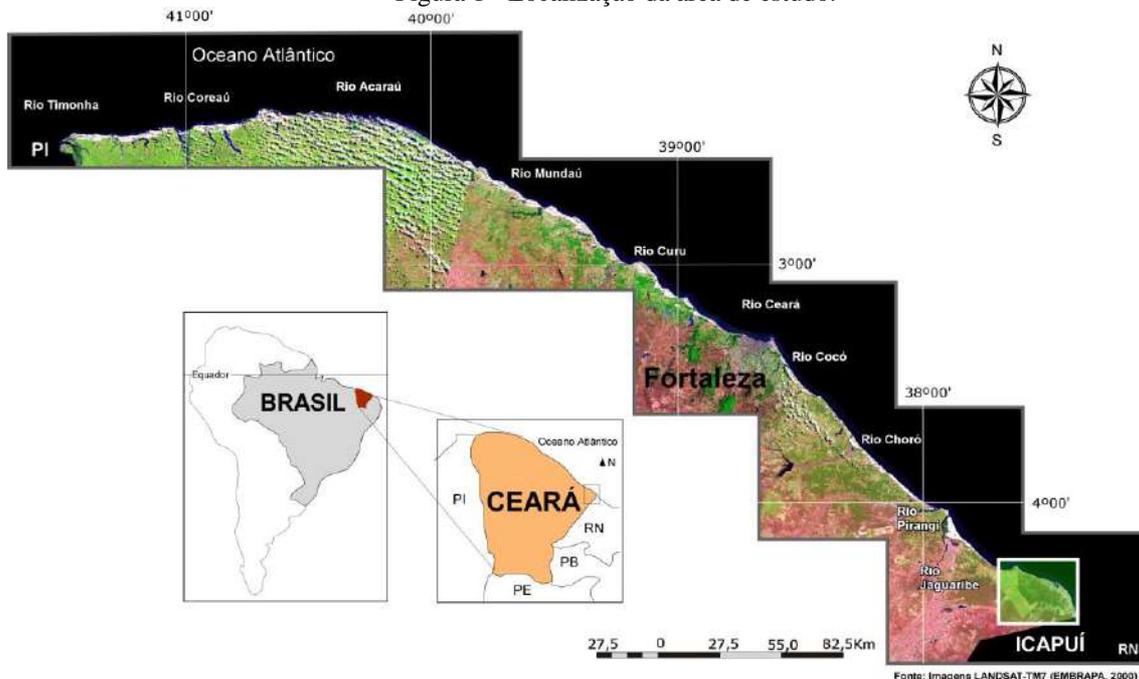
O objetivo principal deste artigo foi o de apresentar os fundamentos básicos para abordagem geoambiental integrada, tendo como ponto de partida os processos dinâmicos do relevo costeiro. Nesse sentido, iremos abordar os componentes geomorfológicos da planície costeira de Icapuí, costa leste cearense, nordeste do Brasil. À continuação, aplicar e rever metodologias das ciências geográficas que definiram a evolução da linha de costa nos últimos 31 anos. Ao final, relacionar o modelo evolutivo proposto para fundamentar planos municipais para o enfrentamento às mudanças climáticas. E, em seu conjunto, fundamentar a gestão costeira participativa e integrada aos SE para orientar a formulação de políticas públicas.

METODOLOGIA

As tarefas para a elaboração do modelo evolutivo da linha de costa em um trecho com 45km (Figura 1) foram realizadas em duas etapas. A primeira foi relacionada com a aplicação de ferramentas quantitativas envolvendo a definição do comportamento da faixa de praia

(avanços e recuos da linha de costa), com a superposição de imagens de satélites, tratamentos estatísticos do banco de dados proporcionado pela aplicação do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAR). A segunda etapa foi a realização de 13 oficinas (entre agosto de 2018 e novembro de 2019), com representação de 34 comunidades tradicionais pesqueiras e camponesas, totalizando a participação de 192 agentes, entre lideranças comunitárias, gestores municipais, professores, estudantes e pesquisadores.

Figura 1 - Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Foram utilizados métodos indiretos para analisar a evolução da linha de costa, tendo como principal meio o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) versão 4.3 (extensão do *ArcGIS 10.1*, elaborada pelo *United States Geological Survey USGS*, Tabela I). Essa ferramenta possui seis procedimentos que geraram valores de variações absolutas, médias e estatísticas da linha de costa: i) *Shoreline Change Envelope (SCE)*; ii) *Net Shoreline Movement (NSM)*; iii) *End Point Rate (EPR)*; iv) *Linear Regression Rate (LRR)*; v) *Weighted Linear Regression (WLR)* e vi) *Least Median of Squares (LMS)* (Himmelstoss, 2009). A ferramenta foi utilizada em pesquisas sobre variadas regiões costeiras no mundo, como em Bheeroo *et al.* (2016); Mageswaran *et al.* (2015), Suhaimi, Jamal e Ahmad (2018), Bhatti *et al.* (2018), Salauddin *et al.* (2018); Mahapatra *et al.* (2014), Kabuth *et al.* (2014), Pérez-Alberti *et al.* (2013) e estudos realizados no Brasil como os de Serafim e Bonetti (2017) e Souza *et al.* (2016).

O banco de dados foi constituído por imagens de alta resolução espacial de 1987 a 2018, como as *QuickBird* (2004 e 2009), *CBERS 2b* (2009), *Worldview II* (2011), *RapidEye* (2013), fotografias aéreas dos anos de 1980 e imagens de vários satélites disponibilizadas no *Google Earth Pro*. Não há imagens de alta resolução da década de 1990 disponíveis para a área. O banco de dados foi registrado no *Datum SIRGAS 2000* e em Sistema de Coordenadas UTM zona 24 Sul. As imagens foram georreferenciadas a partir de uma ortofoto de 2013, com resolução espacial de 20 cm, utilizando pontos de controle semelhantes com o método suavizador de lâminas finas e com um erro aceitável inferior a um metro.

Tabela 1 - Síntese dos métodos estatísticos utilizados DSAS.

Método e descrição	Vantagens	Desvantagens
<i>Shoreline Change Envelope</i> (SCE). Distância máxima (m) entre as linhas de costa no período analisado.	Permite ter noção da instabilidade total no período de análise.	Considera somente duas linhas de costa (extremas espacialmente). É sempre um valor positivo (em metros), o que não permite identificar se variação se refere a erosão ou deposição.
<i>Net Shoreline Moviment</i> (NSM). Distância (m) da linha de costa mais recente para a mais antiga.	Permite verificar a variação total em metros (positiva ou negativa) no período da análise.	Considera somente duas linhas de costa (extremas temporalmente). Pode mascarar ciclos ou tendências evolutivas.
<i>End Point Rate</i> (EPR). Média de variação anual (m/ano).	Permite ter uma média de variação anual em metros (positiva ou negativa) por ano ao longo do período analisado. Pode servir como parâmetro para projeção de cenários.	Considera somente duas linhas de costa (extremas temporalmente). Pode mascarar ciclos ou tendências erosivas e/ou deposicionais ao longo do período.
<i>Linear Regression Rate</i> (LRR). Variação em metros por ano baseada na inclinação de uma linha de tendência estimada a partir dos dados inseridos.	Método estatístico que considera todas as linhas de costa inseridas. Permite visualizar ciclos e tendências erosivas e/ou deposicionais. Gera um valor de variação anual em m (positiva ou negativa). Pode ser parâmetro para projeção de cenários. A r^2 que indica o quanto a linha de tendência se adequa ao modelo.	Não considera o valor de incerteza atribuído a cada linha de costa. Susceptível a desvios extremos. Tende a subestimar a taxa de variação anual em relação a outras estatísticas como o EPR.
<i>Weighted Linear Regression</i> (WLR). Semelhante ao LRR, mas considera a precisão atribuída a cada linha de costa inserida.	Considera todas as linhas de costa identificadas. Possibilita utilizar fontes de coleta com distintos níveis de precisão e compatibilizar os dados. Dá maior ênfase/peso aos dados mais confiáveis atribuídos pelo usuário a cada linha de costa.	Grande número de variáveis e cálculos para gerar a estatística. Cálculo de compreensão difícil. O uso de dados com baixa precisão pode ser um risco dada a escala de análise necessária, o que pode comprometer a análise, mesmo com a taxa ponderada.
<i>Least Median of Squares</i> (LMS). A linha de melhor ajuste é colocada através dos pontos de modo a minimizar a soma dos quadrados dos resíduos.	Cálculo robusto. Calcula a linha de regressão de modo que fique posicionada o mais próximo possível dos pontos. Minimiza a influência de ponto anômalos na regressão total.	O cálculo é bastante complexo, dificultando a compreensão do procedimento realizado pelo SIG para adequar a linha de regressão.

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como síntese dos processos geoambientais e ecodinâmicos foram realizados mapas para orientar a gestão costeira em um litoral repleto de componentes morfológicos relacionados com os eventos eustáticos ocorridos durante o Holoceno (MEIRELES; RUBIO, 1999). O banco de dados da pesquisa foi alimentado de modo a disponibilizar para a sociedade um poderoso conjunto de informações para a gestão adequada da zona costeira, em tempos de urgência climática (IPCC, 2019 a, b): Atlas de Icapuí (MEIRELES *et al.*, 2015) e Atlas Socioambiental de Icapuí (MEIRELES *et al.*, 2018) que culminaram com a elaboração do Plano Municipal Participativo para o Enfrentamento às Mudanças Climáticas de Icapuí (MEIRELES *et al.*, 2020).

AS MUDANÇAS CLIMÁTICAS E AS CONEXÕES LOCAIS COM O RELEVO

Para evidenciar as possíveis interferências da elevação do nível do mar na costa icapuiense, analisou-se somente as alterações do relevo frente os processos erosivos na linha de costa (método quantitativo) e a salinização do lençol freático (métodos direto e indireto). A evolução espaço-temporal definida pelo DSAR e as análises físico-químicas da água através das entrevistas semiestruturadas). Dessa forma, uma análise compartimentada diante dos complexos processos ecológicos, oceanográficos, atmosféricos e sociais relacionados.

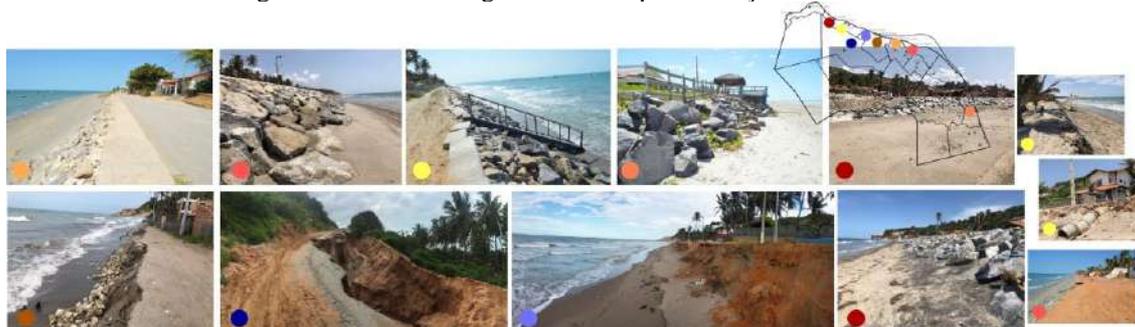
Globalmente, as atividades humanas causaram e continuarão a causar avanço contínuo da erosão no litoral e perda de biodiversidade devido, entre outras coisas, a mudanças no uso e cobertura dos solos, poluição e degradação dos solos e dos águas (incluindo desertificação) e poluição do ar, o desvio das águas para os ecossistemas intensamente ocupados e para as áreas urbanas, a fragmentação de habitat, a exploração seletiva de espécies, a introdução de espécies exóticas, e o esgotamento do ozônio estratosférico. O relatório do IPCC publicado em setembro de 2019 expõe que a subida do nível do mar “é incontrolável e está se acelerando” (IPCC, 2020).

O aumento dos eventos extremos, da acidificação dos oceanos (ocorrida quando as emissões de CO₂ alteram as propriedades físicas e bioquímicas da água do mar), e a diminuição do volume da água doce armazenada nas geleiras, imprimem alterações na dinâmica dos processos morfogenéticos na borda dos continentes em contato como a plataforma continental. Os gases emitidos pela humanidade que incrementaram o efeito estufa promovem o degelo e aumento do nível do mar (PIRAZZOLI, 1989, ÂNGULO; LESSA, 1997; BEZERRA *et al.*, 2006; CLAUDINO-SALES, 2019). Ademais as atuais previsões asseveram que nosso planeta continuará a perder água das geleiras, e a aumentar o nível dos oceanos além deste século.

O avanço e o recuo da linha de costa, aliado às ações dos agentes morfogenéticos proporcionados pelos eventos eustáticos, originaram a planície costeira brasileira. No estado do Ceará, os terraços marinhos holocênicos e pleistocênicos, paleofalésias (especialmente as de Icapuí), foram inicialmente descritos por Morais e Meireles (1992), Sousa (2003), Sousa e Antunes (2008), Meireles *et al.* (2008), Meireles (2014). Trataram de evidenciar os indicadores morfológicos, geológicos e paleontológicos de níveis do mar mais elevados do que o atual, desde Icapuí, no extremo leste (divisa com o estado do Rio Grande do Norte), até a região de Camocim, limite oeste com o estado do Piauí.

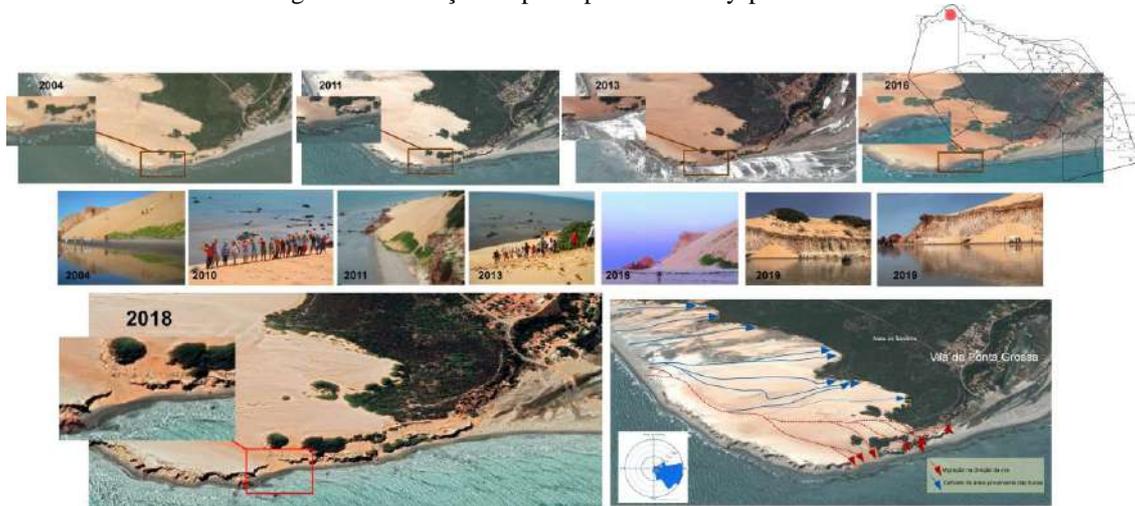
A erosão no litoral de Icapuí (Figura 2) encontra-se em um estágio crônico. Desde as praias de Retiro Grande até Barrinha de Manibu foi possível constatar erosão progressiva, acelerada localmente nos setores contíguos aos muros de rocha construídos nas praias da Barrinha, Barreiras, Vila Nova, Picos, Peroba e Redonda. A evolução da linha de costa entre os anos de 1989 e 2018, demonstrou processos erosivos contínuos, agravados atualmente com a retomada da erosão no único setor que conservava um volume importante de areia na praia, proveniente de um setor de *by-pass* de areia no campo de dunas de Ponta Grossa (Figura 3).

Figura 2 - Erosão ao longo da faixa de praia e voçorocas na falésia viva.



Fotos J. Meireles (2019).

Figura 3 - Evolução da principal zona de by-pass de sedimentos.



Fotos J. Meireles (2019).

A erosão no período de análise foi continuada e progressiva (mínima em setores com falésias vivas), com prejuízos econômicos, problemas sociais e culturais relacionados com a destruição de moradias e equipamento públicos (casas de pescadores, vias de acesso, áreas das barracas de apoio à pesca, locais dos estaleiros de barcos lagosteiros e jangadas, cacimbas, quintais produtivos e uma escola municipal). Entretanto, para afirmar categoricamente que a erosão está relacionada com a subida do nível do mar, ainda é necessário estabelecer um programa de monitoramento contínuo da linha de costa.

Ao analisar o Quadro 1, pode-se perceber que os seis procedimentos permitem obter informações relevantes para a compreensão do comportamento espaço-temporal da linha de costa, considerando as suas características específicas. O relacionamento entre os resultados obtidos pode ainda indicar tendências e servir para projeção de cenários.

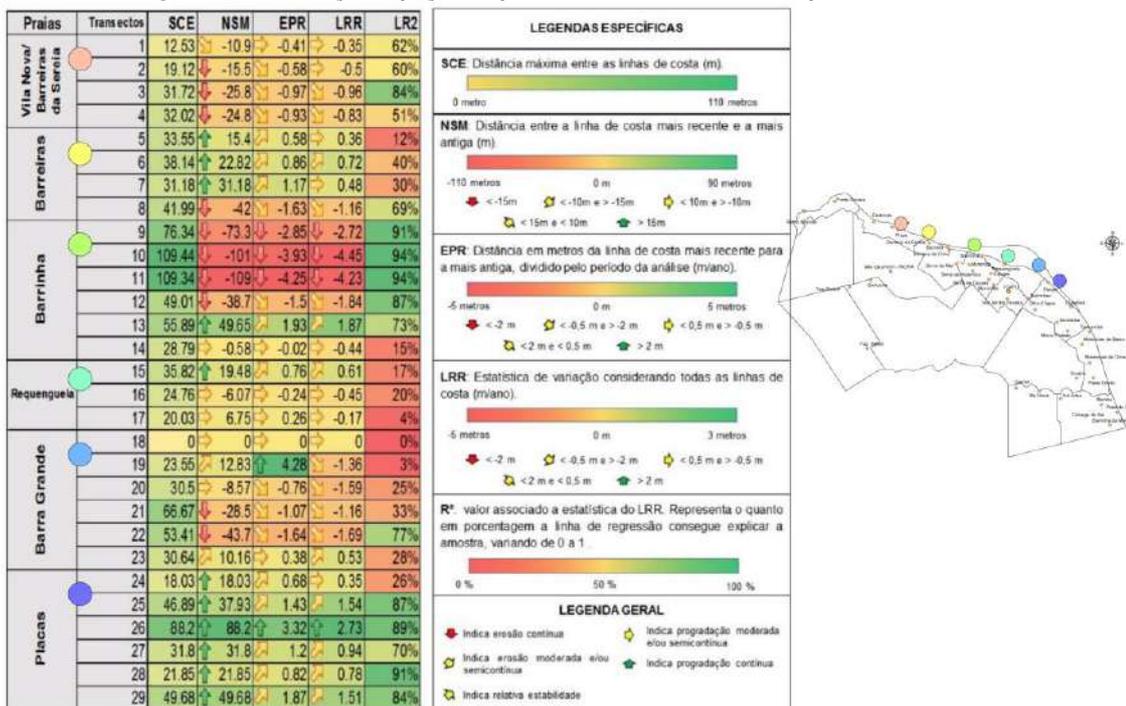
Utilizaram-se quatro dos seis cálculos fornecidos pelo DSAS - *Linear Regression Rate (LRR)*, *End Point Rate (EPR)*, *Shoreline Change Envelope (SCE)* e *Net Shoreline Movement (NSM)*. Entende-se que, apesar de os outros dois procedimentos serem mais completos no que se refere aos cálculos e regras adotadas para definir a variação da linha de costa, a qualidade dos dados de entrada (imagens com resolução espacial de no máximo 2,5 metros) possibilita que a Taxa de Regressão Linear Simples responda com precisão à tendência de evolução da linha de costa de Icapuí.

O procedimento SCE permitiu verificar a máxima variação da linha de costa em cada um dos transectos, o que pode indicar a instabilidade de determinados pontos da linha de costa. De modo geral, as variações estiveram entre 15 e 50 m, com alguns transectos e pequenos trechos com maiores variações, como nos transectos 9 ao 13, na praia de Barrinha, com variações de aproximadamente 110 m e nos transectos 21, 22 e 26, com variações um pouco superiores a 50 m, correspondendo à área a barlar do estuário da Barra Grande.

O NSM indicou a distância em metros entre as linhas mais antigas e mais recentes, indicando a variação absoluta da linha de costa, de acordo com os transectos no recorte temporal definido. Dos 29 transectos analisados, 14 apontaram progradação, compreendendo os trechos dos transectos 5 ao 7 e 23 ao 29, e os transectos 13, 15, 17 e 19, além do valor nulo referente ao transecto 18. As principais variações observadas neste procedimento, indicam um processo erosivo acentuado nos transectos 9 ao 12, correspondendo à praia da Barrinha com o recuo da

linha de costa em aproximadamente 110 m, e outros recuos de menor intensidade, mas também relevantes em Barreiras da Sereia (2 ao 4) e Barra Grande (21 e 22). Além destes comportamentos erosivos, foram observadas, também, movimentos que caracterizaram a deposição de sedimentos e a progradação considerável da linha de costa nos transectos 23 ao 29, com uma deposição de até 88 m no transecto 26. Além deste, outros trechos e transectos também apontaram acréscimo de menor relevância ao longo do setor central. Os resultados para o trecho central da planície costeira de Icapuí, individualizando-se os setores, transectos e os procedimentos adotados, estão dispostos no Quadro I. e Figura 4.

Quadro 1 - Evolução espaço-temporal dos setores centrais da planície costeira.



Fonte: Elaborado pelos autores.

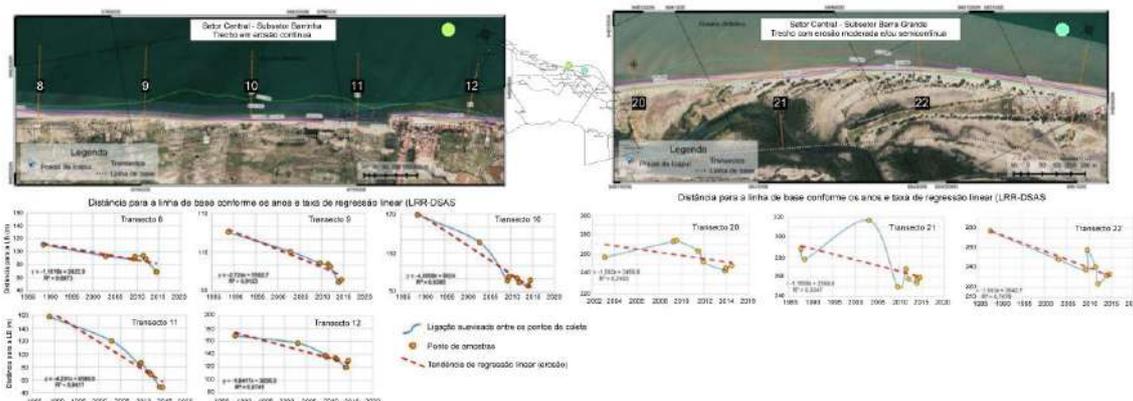
Por intermédio do procedimento EPR, obteve-se a média da variação da linha de costa em metros por ano para cada um dos 29 transectos. Este cálculo possibilitou estimar a média de variação tendo como base os dados inseridos. Então, observou-se que a média para todos os transectos está entre - 5 m/ano e +5 m/ano, destacando os valores negativos, ou seja, de erosão nos transectos 9, 10 e 11, correspondente à praia da Barrinha, com recuos de até -4,25 m/ano, e os valores positivos, ou seja, de acréscimo referente aos transectos 19 e 23 ao 29, relacionados com uma flecha litorânea a barlar do estuário da Barra Grande, com acréscimo de até 4,28 m/ano.

A taxa de regressão linear fornecida pelo procedimento LRR indicou com precisão a variação anual da linha de costa, considerando todos os vetores inseridos no banco de dados. Os resultados desse procedimento apontam um intervalo de variação de -5 m/ano a +3 m/ano, tendo a maioria dos transectos resultados próximos aos fornecidos pelo EPR. Assim, impõe-se o destaque nas tendências extremas observadas, sendo as mais negativas nos transectos 9 ao 11, com recuos de até -4,45 m/ano, e as tendências mais positivas identificadas nos transectos 13 e 25 ao 29, com acréscimo de até 2,72 m/ano.

O R², valor associado à estatística do LRR e que indica o quanto a linha de regressão responde aos dados da amostra, exibiu valores superiores a 50% em 16 transectos, sendo as tendências mais bem definidas aquelas entre os transectos 8 ao 13 e 25 ao 29, o que permite

relacionar o LRR e o R^2 e indicar uma tendência erosiva bem definida no primeiro caso e uma tendência progracional bem definida no segundo. Os outros transectos que apresentam percentual inferior a 50% indicam elevada variabilidade na posição da linha de costa, não se observando assim nenhuma tendência bem definida no recorte temporal analisado.

Figura 4 - Erosão continuada da faixa de praia e tratamento estatístico do banco de dados gerado pelo DSAR.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Evidenciou-se no próximo subsetor uma tendência erosiva predominante. Tal fato já havia sido previamente identificado nos trabalhos de campo iniciais e no levantamento de informações sobre a erosão costeira no Município junto ao poder público, visto que existe um muro de contenção com pedras na tentativa de diminuir a erosão costeira. Portanto, os dados fornecidos pelo DSAS neste trecho comprovaram a forte tendência erosiva ao longo dos anos em um trecho de aproximadamente 2,5 km. A erosão absoluta (NSM) no período 1987 – 2014 esteve entre -42 e -109 metros linear, sendo a média (EPR) e a tendência (LRR) entre -1,5 e -4,3 metros por ano. O valor do R^2 sempre esteve acima de 70% para este trecho, o que indica uma tendência evolutiva bem definida. De posse dessas informações e com o auxílio dos gráficos dos transectos 8 ao 12, indicando uma linha de tendência bastante inclinada na direção da linha de base, categorizou-se este subsetor como um trecho em erosão contínua.

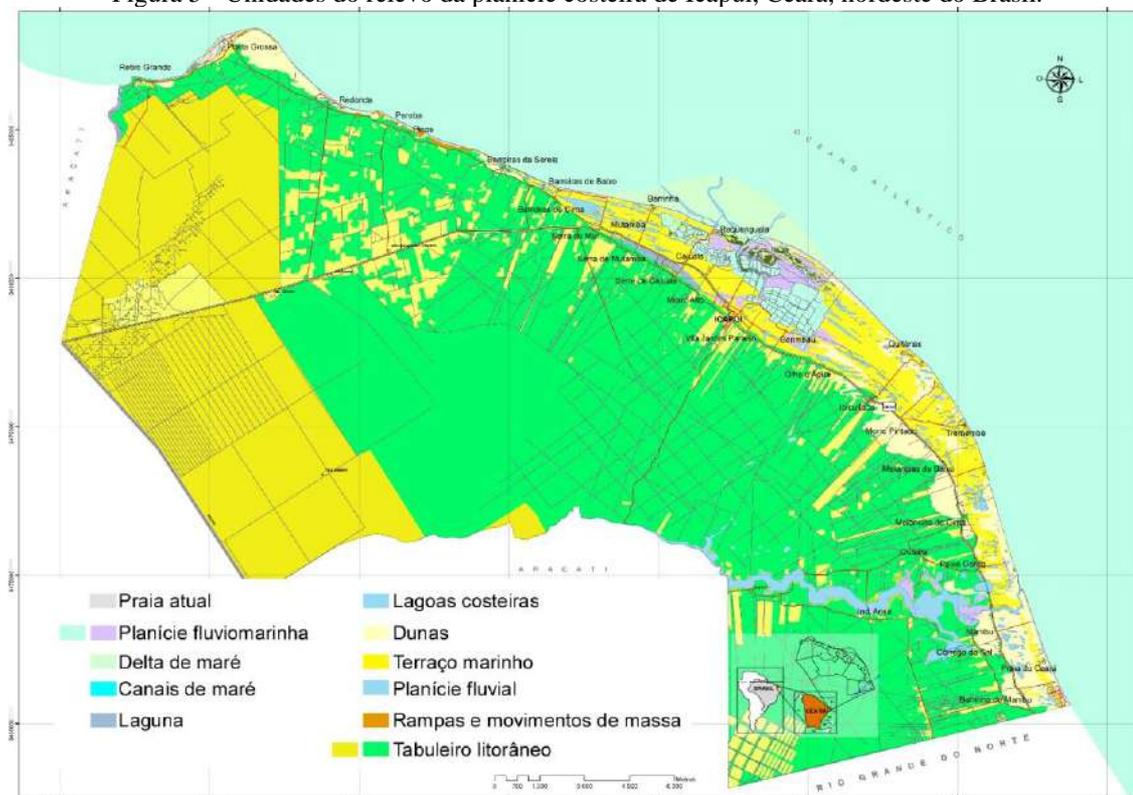
Deve-se destacar o fato de que este subsetor é caracterizado por uma flecha litorânea (*spit*) relacionada ao estuário da Barra Grande. Portanto, há uma intensa dinâmica sedimentar condicionada por um conjunto de morfologias litorâneas que fazem deste trecho altamente instável, como se pode observar na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**, o crescimento da flecha litorânea no sentido da deriva (leste - oeste) e a mudança da desembocadura do canal da Barra Grande superiores a 700 metros.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O relatório especial do IPCC (2019) publicado em setembro de 2019 foi categórico quanto às consequências ambientais, sociais e econômicas da urgência climática (termo utilizado para evidenciar a gravidade das alterações globais em andamento): “limitar o aquecimento global a 1,5°C exigirá mudanças de longo alcance e sem precedentes no comportamento humano.” Segundo o painel científico das Nações Unidas (IPCC, 2018), algumas das ações necessárias já estão em andamento, mas precisam ser dramaticamente ampliadas. Como recomendação geral, o relatório assevera: para não alcançar 2°C no final do século, exigirá uma ação climática coletiva e sem precedentes em todas as áreas. Não há tempo a perder”.

As consequências do aquecimento resultantes da queima de combustíveis fósseis e do desmatamento estão interferindo na dinâmica atual dos ecossistemas. Os extremos climáticos, a erosão costeira, a salinização dos aquíferos, as perdas de biodiversidade, as migrações forçadas (refugiados climáticos), o degelo no Ártico, entre outras mudanças, já está em andamento. E com reflexos nos biomas caatinga e mata atlântica.

Figura 5 - Unidades do relevo da planície costeira de Icapuí, Ceará, nordeste do Brasil.



Fonte: Elaborado pelos autores.

Os componentes do relevo da planície costeira de Icapuí (Figura 5) – praias arenosas e rochosas (plataformas de abrasão marinha), terraços marinhos holocênicos, delta de maré (MEIRELES; RÚBIO, 1999; BARBIER *et al.*, 2006; BHATTACHARYA; GIOSAN, 2003), planícies fluviomarinhas, dunas fixas e móveis e as falésias dependentes da dinâmica das marés (Figuras 6, 7 e 7) – foram afetados por processos erosivos possivelmente provocados pelo aquecimento global (MEIRELES, 2020; VOUSDOKAS *et al.*, 2020). Foram alterados os SE de provisão, regulação e culturais, os quais, no litoral em estudo, ao serem analisados de modo a resguardar as relações socioambientais interdependentes com os componentes do relevo, possibilitaram antecipar as estratégias para o enfrentamento das mudanças climáticas (ver Tabela II).

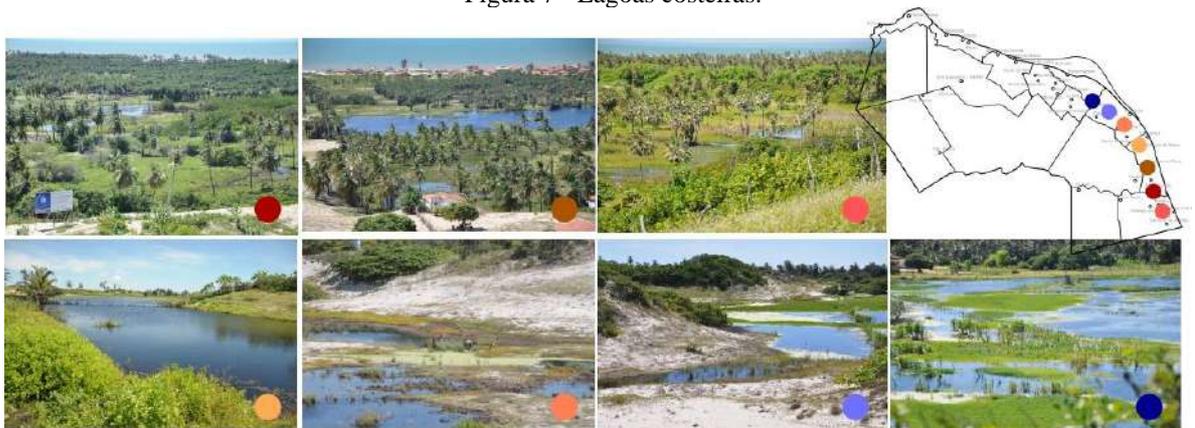
Foi possível demonstrar os valores de erosão continuados da faixa de praia (1985-2918) e caracterizar a salinidade dos aquíferos costeiros (especialmente os associados aos terraços marinhos que bordejam a linha de costa). Nesse sentido, foi possível analisar como os SE foram evidenciados levando em conta a dinâmica morfológica sedimentar e o fluxo do aquífero na direção do litoral. As tipológicas do relevo local foram analisadas de acordo com os serviços atribuídos aos ecossistemas correspondentes às unidades geomorfológicas (ver Figura 9).

Figura 6 - Terraços marinhos holocênicos e as paleofalésias.



Fotos J. Meireles (2019).

Figura 7 - Lagoas costeiras.



Fotos J. Meireles (2019).

O município de Icapuí é o que mais agrupa diversidade de relevo do litoral cearense. As conexões dos fluxos de matéria e energia proporcionados pela ação das marés, ventos, fluviais e fluviomarinhos e os gravitacionais demonstraram a interdependência entre cada um dos componentes ambientais e, conseqüentemente, as condições primordiais para sustentar as primeiras ocupações desse setor do litoral cearense.

Figura 8 - Delta de maré (banco de algas do Cajuais).



Fotos J. Meireles (2019).

As comunidades tradicionais litorâneas foram brindadas com os benefícios da pesca, mariscagem, água subterrânea, as brisas dos ventos litorâneos, as nascentes de água doce no sopé das falésias e nos terraços marinhos (LIMA *et al.*, 2014). Os sistemas ambientais proporcionaram madeira para as embarcações, solos para a produção de alimento, e a planície de maré com os manguezais para a pesca, cata de caranguejos e mariscagem, além das relações simbólicas conduzidas pelas belezas das praias, dos bosques de manguezal, da mata de tabuleiro, a diversidade de dunas e o colorido das falésias. E as atividades de turismo comunitário, as pousadas, as trilhas ecológicas proporcionaram alternativas econômicas.

Os SE foram definidos como “os benefícios que brindam os ecossistemas para fazer a vida da humanidade não só fisicamente possível, mas também digna de ser vivida” (COSTANZA, 2000; MEA, 2005a; MEIRELES *et al.*, 2016). Esta definição, mesmo sendo básica em relação à complexidade dos processos e estruturas necessárias para que um serviço seja produzido (e possa ser aproveitado pela sociedade), demonstraram de forma explícita o vínculo entre sistemas biofísicos e sistemas humanos, ambos interagindo de forma dinâmica com os ecossistemas (BALVANERA; COTLER, 2009).

A interconexão entre os serviços ecossistêmicos foi definida localmente pela energia das ondas, das marés, dos ventos, do fluxo de água subterrânea e gravitacionais, e impulsionados continuamente pela energia solar. E foram relacionados com (MEIRELES *et al.*, 2016; MEA, 2005b; MEIRELES *et al.*, 2020) (Tabela II e Figura 9, 10, 11 e 12).

- i) *Serviços de provisão*: os variados recursos que a sociedade utiliza para se alimentar, obter uma variada gama de matérias-primas, água potável, remédios, entre outros;
- ii) *Serviços de regulação*: foram os que forneceram as condições naturais para a fauna, flora, solo, água, sedimentos, clima, entre outros. É a ecodinâmica que produz as chuvas, a recarga dos aquíferos, o transporte de sedimentos para a linha de costa, a formação do solo, a qualidade do ar, a polinização. O crescimento das árvores promove o sequestro dos gases de efeito estufa, as quais, através da evapotranspiração, regulam a umidade do solo e protegem as encostas contra deslizamentos e,
- iii) *Serviços culturais*: são os benefícios não materiais que os ecossistemas oferecem (lazer, ecoturismo, turismo comunitário e científico, pousadas, trilhas ecológicas, regatas, comidas típicas, artes de pesca, paisagens contemplativas e relações espirituais).

Tabela 2 - Os componentes do relevo e serviços ecológicos associados.

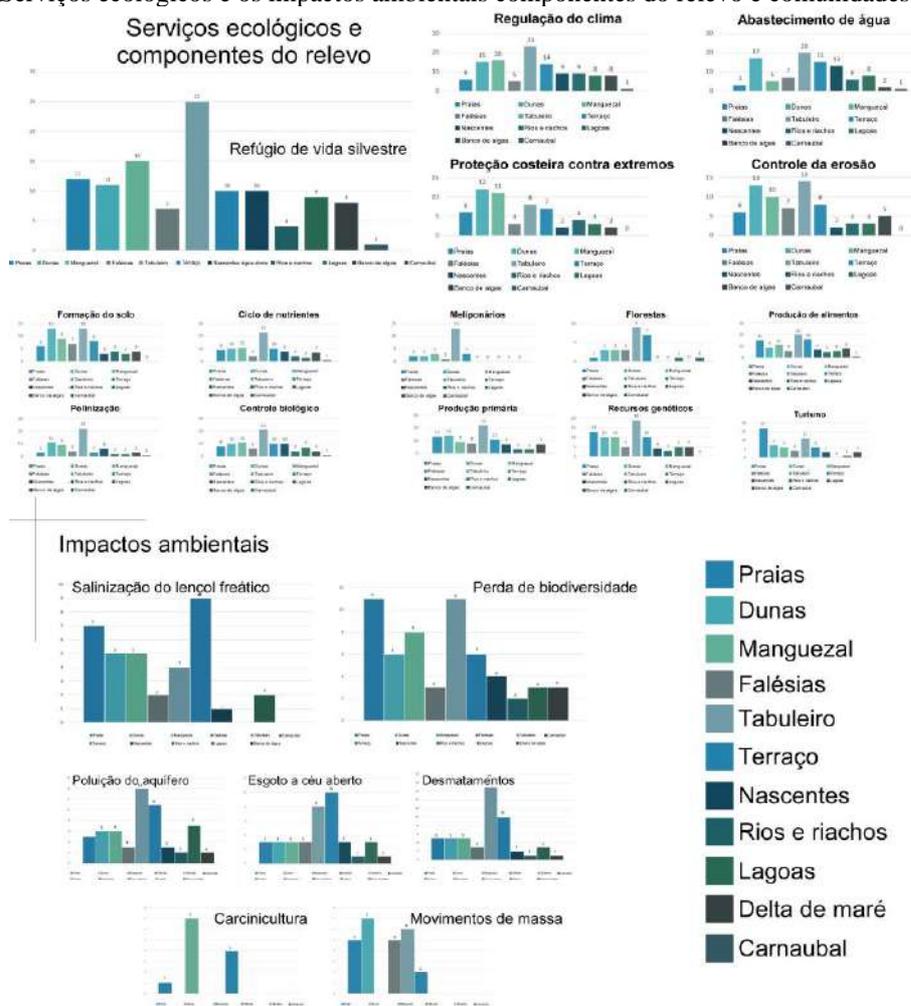
SERVIÇOS*	FUNÇÕES*	MANGUEZAL, BANCO DE ALGAS, PRAIAS, DUNAS, TERRAÇOS MARINHOS (coqueiral) E TABULERIOS (serras).
Regulação do clima	Temperatura global, precipitação e processos biológicos mediadores de fenômenos climáticos locais e globais.	Ameniza as condições climáticas locais através das rajadas de vento direcionadas pelo canal estuarino e bosque de mangue, influência no microclima, evapotranspiração e fotossíntese
Produção de alimento	Parte da produção primária bruta transformada em alimento.	Conjuntos de componentes morfológicos e ecológicos vinculados à produção de componentes bioquímicos e sedimentos arenosos e biodetríticos.
Segurança e soberania alimentar	Produção de alimento para as comunidades tradicionais litorâneas.	Plena inserção das comunidades no ecossistema manguezal com as atividades de pesca, coleta de caranguejos e mariscagem. Reserva fundamental de solo,

		água e biodiversidade para a soberania alimentar.
Polinização	Movimento de gametas para a reprodução de populações.	Os fluxos de matéria e energia são responsáveis pelas interconexões entre os ecossistemas, proporcionando elevado potencial de produção e distribuição de plântulas e polens, predominantemente pelos fluxos eólico, fluvial, lacustres (lagoas costeiras e interdunares), fluviomarinho e a deriva litorânea nas praias e banco de algas.
Suplemento de água	Armazenamento e retenção da água (dinâmica dos aquíferos e reservatórios). Conjunto de aquíferos associados aos componentes morfológicos do sistema costeiro.	Interconexões com o aquífero dunar, terraços marinhos e tabuleiro litorâneo. Disponível para as comunidades tradicionais através de poços e as lagoas interdunares e sobre os terraços marinhos e tabuleiro. Fluxo subterrâneo de água doce na direção dos vales estuarinos.
Proteção da costa contra extremos (climáticos, deslizamentos, enchentes)	Amortecimento e integridade das respostas morfológicas e ecossistêmicas associada às flutuações ambientais. Capacitância.	Conjunto de componentes integrados com a evolução dos bancos de areia, produção e distribuição de sedimentos areno-argilosos e dinâmica da cobertura vegetal. Fluxos de matéria e energia consumidos e dissipados através da relação com os demais componentes geoambientais e ecodinâmicos. Flechas de areia que induziram alterações morfológicas associadas à deposição de sedimentos no interior dos canis e na plataforma continental.
Regulação hidrológica	Atua nos fluxos hidrológicos integrados com a bacia hidrográfica (água para atividades agrícolas e industriais, transporte) e os aquíferos.	Eventos pluviométricos na primeiro semestre amortecidos e distribuídos sobre as dunas, terraços marinhos e o bosque de mangue e setores de apicum; sazonalidade climática integrada com as atividades de subsistência ao longo da bacia hidrográfica. As dunas e os terraços marinhos são os sistemas ambientais responsáveis pela recarga dos aquíferos da planície costeira.
Controle da erosão e retenção de sedimentos	Conservação do solo. Fonte de sedimentos para a deriva litorânea e amortecimento de eventos extremos.	Produção de sedimentos através da dinâmica interna dos canais com a evolução dos bancos de areia. Desenvolvimento das flechas de areia dispostas nas desembocaduras dos complexos estuarinos. Aporte de areia sazonal vinculado aos sistemas fluviomarinhos e praias.
Formação de solo	Matéria orgânica, areia e biodetrítos que regulam as atividades extrativistas e a produção de alimento.	Evolução pedológica relacionada com a dinâmica de aporte e distribuição de sedimentos provenientes da bacia hidrográfica e dos demais fluxos de matéria e energia definidos na planície costeira.
Ciclagem de nutrientes	Armazenamento, ciclagem interna, processamento e aquisição de nutrientes (fixação de N, P e outros elementos do ciclo de nutrientes).	Os complexos estuarinos, o delta de maré e o tabuleiro integram-se para a produção de nutrientes e representam a base da biodiversidade regional deste setor do litoral nordestino. do solo com os microrganismos).

Controle biológico	Regulação da dinâmica trófica (cadeia alimentar) de populações.	Complexa cadeia alimentar com suporte para o peixe-boi marinho e aves migratórias e o banco de algas sobre o delta de maré. A biodiversidade associada às dunas, mata de tabuleiro e aos terraços marinhos sustentam regionalmente as maiores conexões, ao ser integradas com os demais ecossistemas costeiro e marinho.
Refúgio de vida silvestre	Habitat para as populações residentes e migratórias (acolhida de aves migratórias nas praias e no banco de algas). A maior área contínua de mata de tabuleiro no Ceará próxima do litoral.	Complexos estuarinos associados à elevada diversidade de avifauna; suporte ecossistêmico para as aves migratórias. Utilizado pelo peixe-boi marinho para alimentação, reprodução e refúgio. Os demais ecossistemas, integrados pelas abelhas, insetos, reptéis, aves, mamíferos e os microrganismos no solo são o universo da vida silvestre e da soberania ecológica de todas as espécies.
Produção primária	Parte da produção primária bruta transformada em matéria prima.	Reações geoambientais e ecodinâmicas associadas à formação, disseminação e consumo (produção de matéria orgânica), no bosque de mangue, mata de restinga e demais componentes florísticos; regulam a produção pesqueira, ambientes das aves migratórias, peixe-boi marinho e a diversidade de fauna e flora.
Recreação e cultura	Oportunidades para atividades recreacionais (ecoturismo, turismo de base comunitária, de aventuras e turismo científico. Pesca esportiva, trilhas ecológicas e outras atividades ao ar livre). atividades não comerciais, estéticas, artísticas, educacionais, espirituais e valor científico dos ecossistemas	Atividades de lazer e culturais desenvolvidas pelos núcleos urbanos e as comunidades tradicionais e camponeses com o extrativismo, produção de alimentos e as atividades culturais relacionadas com a diversidade de paisagens, ecossistemas marinhos, costeiros e continentais.
Amortecimento das consequências previstas pelo aquecimento global	Funções e serviços atribuídos pelo IPCC. Foram as funções definidas através dos processos geoambientais, ecológicos e socioeconômicos. A planície costeira inteiramente conectada com as ações globais para enfrentar a urgência climática.	Os componentes do relevo costeiro e os ecossistemas associados atuam como sistemas responsáveis pela manutenção das propriedades amortecedoras dos efeitos projetados pelo aumento da temperatura média e subida do nível do mar (erosão costeira, incremento dos extremos climáticos associados às precipitações pluviométricas, salinização do lençol freático e mudanças na dinâmica de produção e distribuição de nutrientes, entre outros).

Fonte: Modificados de Nóbrega, *et al.* (2019); Barbier *et al.* (1997); Costanza *et al.* (1997, 2007ab); Mcleod e Salm (2006); Rivera e Cortés (2007); Schaeffer-Novelli (1989); MEA (2005^a); Meireles e Campos (2010); FAO (2010); IPCC (2014); Queiroz *et al.* (2017).

Figura 9 - Serviços ecológicos e os impactos ambientais componentes do relevo e comunidades tradicionais.



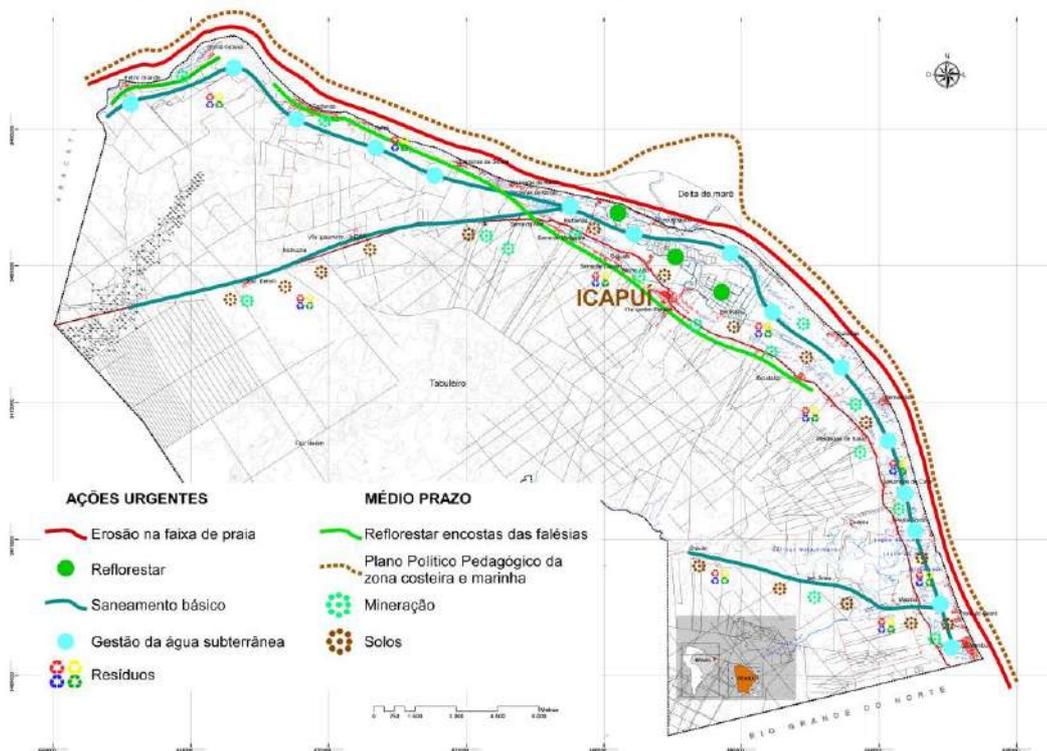
Fonte: Elaborado pelos autores.

Ressalta-se que a valoração global dos ecossistemas (COSTANZA et al., 2008; 2017), com levantamento de dados referente ao ano de 1994, para uma área total de manguezal de 165 hectares, alcançou um valor médio para cada hectare/ano de 9.990 dólares. Estudos realizados por Hernández et al. (2002), estimaram uma média de 13.000 dólares hectare/ano gerados em bens e serviços pelo ecossistema manguezal (evidenciaram que cada hectare gera entre 1.100 e 11.800 kg de capturas pesqueiras). Quando associado às relações com a produtividade marinha pode alcançar valores que superam os 16.750 dólares ha/ano (RÖNNBÄCK, 1999). No golfo da Califórnia a taxa anual de produtividade variou de 25.000 a 50.000 dólares, com média de 37.000 dólares ha/ano (ABURTO-OROPEZA et al., 2008; BARBIER et al., 2011) e mais de 91.000 dólares ha/ano por atuarem na captura de dióxido de carbono (MARTÍN-LÓPEZ, 1997).

Com os processos morfológicos litorâneos definidos ao longo da linha de costa e relacionados com a erosão costeira, com a salinização dos aquíferos mais próximos à faixa de praia e com os movimentos de massa nas falésias, foi possível constatar que a evolução espaço-temporal da linha de costa com a erosão nas praias evidenciou um comportamento progressivo em vários setores. Entre as praias de Barrinha e Redonda encontra-se o trecho mais grave (Figura 13 e 14). As consequências sociais, ambientais e econômicas foram relacionadas com a remoção de famílias, a destruição de moradias e escola, perda da balneabilidade e com perigos

de acidentes nas encostas das falésias vivas. Com a subida do nível do mar em andamento, esse cenário tenderá a se agravar (histograma).

Figura 10 - Serviços ecológicos e os impactos ambientais componentes do relevo e comunidades tradicionais.



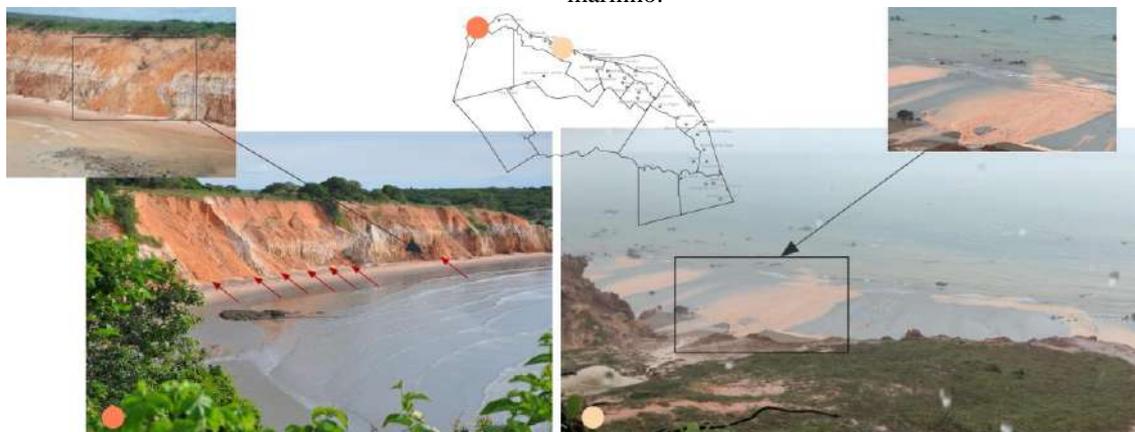
Fonte: Elaborado pelos autores.

Figura 11 - Síntese das principais ações para a gestão continental, costeira e marinha.



Fonte: Elaborado pelos autores

Figura 12 - Erosão na faixa de praia, movimentos de massa e salinização do aquífero associado ao terraço marinho.



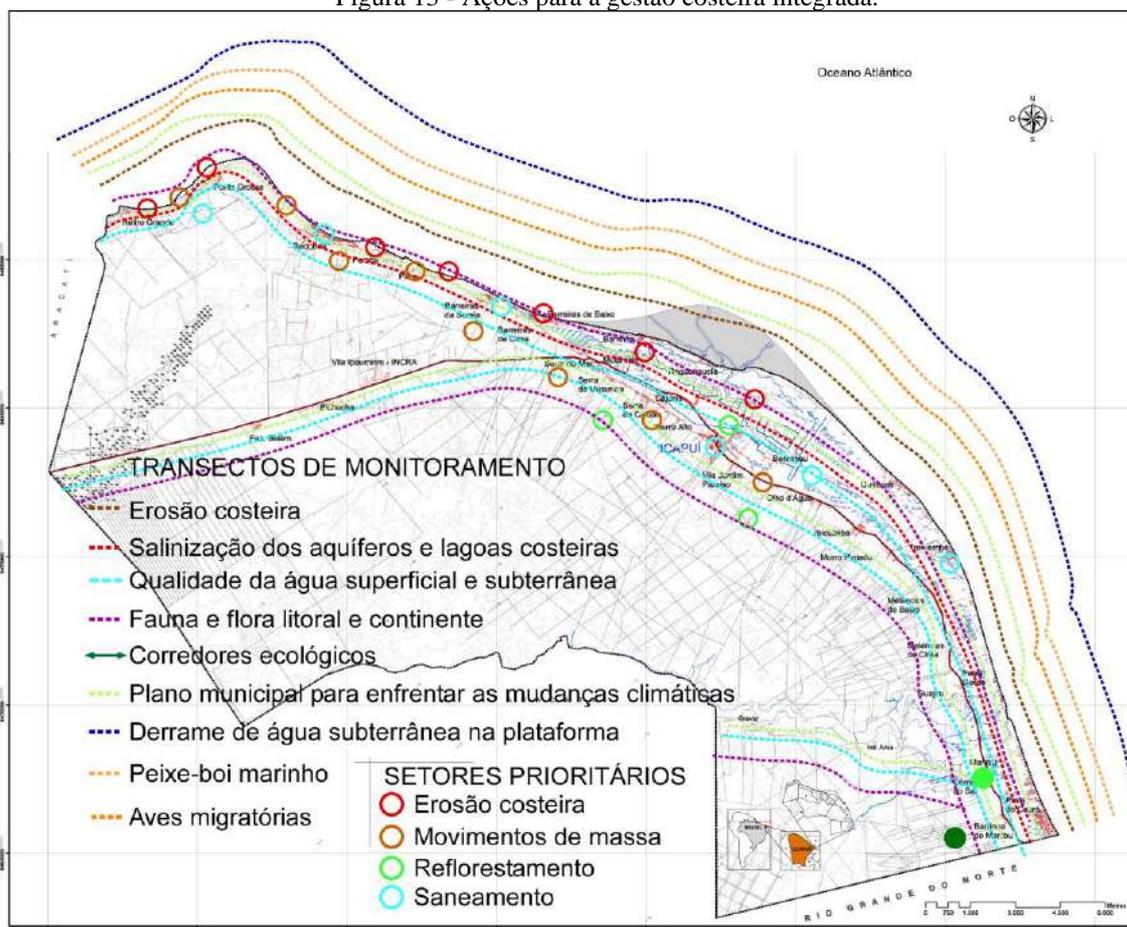
Fonte: Elaborado pelos autores

A disponibilidade de sedimentos para o transporte pelas ondas, que minimizou a erosão e proporcionou a engorda da praia, foi impactada pelo processo de ocupação da linha de costa, que resultou na edificação de estruturas urbanas sobre a zona de berma, dunas fixas, bordas das falésias vivas e sopé das paleofalésias, e desmatamento do manguezal (salinas e carcinicultura, MEIRELES, 2007). Levando em conta o ritmo de subida do nível do mar de $3,55\text{mm}\cdot\text{a}^{-1}$ (previsto alcançar 28,4 cm no final do século XXI), e a relação da linha de costa com o fluxo de deriva litorânea colapsado, é provável incrementar a erosão e alcançar os terraços marinhos.

Para avançar na gestão costeira integrada é fundamental recuperar e preservar o ecossistema manguezal e as dunas, especialmente as que estão sobre as falésias e o tabuleiro; não edificar e impermeabilizar na zona de berma (reserva estratégica de areia para as ondas), e proteger os recursos hídricos subterrâneos e superficiais. Os componentes do relevo regulam a força das marés ao absorver parte da energia das ondas (manguezais, praias rochosas e arenosas, delta de maré, flechas de areia, terraços marinhos e falésias), o aporte de sedimentos provenientes das dunas para a faixa de praia (*by-pass* de areia nos pontais) e a permeabilidade do solo para a contínua recarga dos aquíferos (que afloram em lagoas costeiras), demarcando o limite da salinização do lençol freático (impede a intrusão da água salgada continente adentro) (Figura 13).

A história recente das comunidades litorâneas está repleta de fatos relacionados com o deslocamento das moradias próximas à faixa de praia para setores mais interiores sobre os terraços marinhos, as dunas e para a borda das falésias (incrementadas as ravinas, voçorocas, deslizamentos com movimentos generalizados de areia e argila e queda de blocos). Foram induzidos processos erosivos pela construção em locais inadequados, precária drenagem pluvial e o desmatamento. Esses impactos ambientais provocaram e aceleraram os processos naturais de erosão nas encostas, impermeabilização das dunas e terraço marinho. O recuo das falésias pela ação das ondas é natural, entretanto esses impactos possivelmente foram relacionados com a erosão progressiva da linha de costa.

Figura 13 - Ações para a gestão costeira integrada.



Fonte: Elaborado pelos autores.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A abordagem interdisciplinar, participativa e relacionada com a evolução espaço-temporal da linha de costa, conseguiu definir as conexões entre os conhecimentos tradicionais e científicos e quantificar o comportamento e as consequências da erosão da faixa de praia. Foram nas oficinas que as representações dos variados segmentos da sociedade icapuiense evidenciaram os serviços e funções dos componentes do relevo e dos ecossistemas associados.

A evolução espaço-temporal da dinâmica morfológica da faixa de praia evidenciou trechos com erosão contínua e progressiva. Os valores de recuo da praia foram bem mais acentuados em setores com maior ocupação na zona de berma com gradação lateral para os terraços marinhos holocênicos. A erosão absoluta (NSM), no período de 1987 a 2014 esteve entre 42 e 109 metros, sendo a média (EPR) e a tendência (LRR) entre -1,5 e -4,3 metros por ano, respectivamente. Os valores do R^2 sempre estiveram acima de 70% para os trechos com erosão mais severa, o que indicou tendência evolutiva bem definida.

Os componentes do relevo foram afetados pela erosão. Os SE foram definidos de acordo com a percepção comunitária e relacionados com os dados quantitativos obtidos com a aplicação do DSAR. Foi possível constatar a salinização do aquífero associado ao terraço marinho holocênico, possivelmente relacionada com a erosão costeira. O processo erosivo possivelmente foi relacionado com as ocupações inadequadas sobre as dunas, na borda das

falésias vivas e paleofalésias (com desmatamento das encostas), e na zona de berma do perfil praiado atual.

Sobre a erosão se relacionar com os eventos globais de subida do nível do mar, é importante evidenciar, que ainda não foi possível constatar de forma direta tal influência no litoral icapuiense. Nesse sentido, foram evidenciados os indicadores locais para estruturar planos municipais para o enfrentamento às mudanças climáticas com a elaboração dos modelos evolutivos, setores mais críticos ao longo da linha de costa e plano de monitoramento para a elaboração de políticas públicas para o gerenciamento costeiro integrado.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Fundação Brasil Cidadão para Educação, Cultura, Tecnologia e Meio Ambiente (FBC), pelo financiamento do Plano Participativo de Icapuí para Enfrentar as Mudanças Climáticas. Aos projetos de pesquisa CAPES/PGPSE Proc. 88887.123947/2016-00: Sistemas Ambientais costeiros e ocupação econômica do Nordeste; CAPES/PRINT Proc. 88887.312019/2018-00: *Integrated socio-environmental technologies and methods for territorial sustainability: alternatives for local communities in the context of climate change*; Programa CAPES/FUNCAP Proc. 88887.165948/2018-00: Apoio às Estratégias de Cooperação Científica do Programa de Pós-Graduação em Geografia – UFC”.

REFERÊNCIAS

ABURTO-OROPEZA, O.; EZCURRA, E.; DANEMANN, G.; VALDEZ, V.; MURRAY, J. e SALA, E. Mangroves in the Gulf of California increase fishery yields. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United State of America (PNAS)**. n.30, v. 105 p. 10456-10459, 2008.

ANGULO, R. J.; LESSA, G. C. The Brazilian sea-level curves: a critical review with emphasis on tre curves from Paranaguá and Cananeia regions. **Marine Geology**, Florida, v. 140, n. 1, p. 141-166, 1996.

BALVANERA, P.; H. COTLER. Los servicios ecosistémicos. CONABIO. Biodiversitas, 2011, v.94, 7-11p. Disponível em <https://www.uv.mx/personal/asuarez/files/2011/01/Servicios-ecosistemicos.pdf>. Acesso em: nov. 2019.

BARBIER, E.B.; ACREMAN, M.; KNOWLER, D. Economic valuation of wetlands: a guide for policy makers and planners. **Ramsar Convention Bureau**, Gland, 1997. 116p. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/246010067_Economic_valuation_of_wetlands_a_guide_for_policy_makers_and_planners. Acesso em: jan. 2020.

BARBIER, E.B.; HACKER, S.D.; KENNEDY, C.; KOCH, E. W.; STIER, A. C.; SILLIMAN, B. R. The value of estuarine and coastal ecosystem services. **Ecol. Monogr.** v. 81, n.2, p. 169–193, 2011.

BARNHARDT, A. W.; SHERROD, L. B. Evolution of a Holocene delta driven by episodic sediment delivery and coseismic deformation, Puget Sound, Washington, USA. **Sedimentology**, Virginia, USA, p. 1211–1228, v. 53, n.6, 2006.

BEZERRA, F. H. R.; FERREIRA, J. M.; SOUSA, M. O. M. Review of seismicity and neogene tectonics in northeastern Brazil. **Revista de la Asociación Geológica Argentina**, v. 61, n.4, 2006, p. 525-535.

BHATTACHARYA, J.; GIOSAN, L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. **Sedimentology**, Virginia, USA. v. 50, n.1, p. 187–210, 2003.

BHATTI, H.; RAMAKRISHNAN, R.; SHARMA, A. K.; RAJAWAT, A. S. Incessant erosion of high tidal mudflats in the northern Gulf of Khambhat. **Current Science**, v. 114, n.12, p. 2554-2558, 2018. Disponível em: <https://www.currentscience.ac.in/Volumes/114/12/2554.pdf>. Acesso em: jan. 2020.

BHEEROO, R. A.; CHANDRASEKAR, N.; KALIRAJ, S.; MAGESH, N. S. Shoreline change rate and erosion risk assessment along the Trou Aux Biches–Mont Choisy beach on the northwest coast of Mauritius using GIS-DSAS technique. **Environmental Earth Sciences**, v. 75, n. 444, 2016. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s12665-016-5311-4>. Acesso em: 2 fev. 2019.

CLAUDINO-SALES, V. **Coastal World Heritage Site**. 1 ed. Amsterdam: Springer, 2019. v. 1. 651p.

COSTANZA, R.; de GROOT, R.; BRAAT, L.; KUBISZEWSKI, I.; FIORAMONTI, L.; SUTTON, P.; FARBER, S. e GRASSO, M. Twenty years of ecosystem services: How far have we come and how far do we still need to go? **Ecosystem Services**, n.28, p. 1-16, 2017.

COSTANZA, R.; FISHER, B. Quality of life: An approach integrating opportunities, human needs, and subjective well-being. **Ecological Economics**, v.61, p. 267-276, 2007.

COSTANZA, R. Social goals and the valuation of ecosystem services. **Ecosystems**, v.3, n.1, p. 4-10. 2000.

COSTANZA, R.; D'ARGE, R.; de GROOT, R. S.; FARBER, S.; GRASSO, M.; HANNON, B.; LIMBURG, K.; NAEEM, S.; O'NEILL, R. V.; PARUELO, J.; RASKIN, R. G.; SUTTON, P.; VAN DEN BELT, M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature**, n.387, p. 253-260, 1997.

COSTANZA, R.; PÉREZ-MAQUEO, O.; MARTINEZ, M. L.; SUTTON, P.; ANDERSON, S. J.; MULDER, K. The value of coastal wetlands for hurricane protection. **AMBIO: J. Hum. Environ.** v.37, p. 241-248. 2008.

FAO - Food & Agriculture Organization of the United Nations. **The State of World Fisheries and Aquaculture**. Rome. 2010, 197 p.

HERNANDÉZ, E.; HAGLER, M.; LÓPEZ, E. **Financiación del Banco Mundial a la camaricultura em America Latina. Estudio de casos**. Greenpeace, 2002, 57p. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/raw/content/espana/reports/financiacion-del-banco-mundial.pdf> Acesso em: mar. 2020.

HIMMELSTOSS, E. A. DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide. *In*: THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; AND ERGUL, AYHAN. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 - An ArcGIS extension for calculating shoreline change**: U.S. Geological Survey, 2009. *updated for version 4.3. Disponível em: <http://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/images/pdf/DSASv4.pdf>. Acesso em: 16 ago. 2014.

IPCC, 2018: Summary for Policymakers. *In*: [MASSON-DELMOTTE, V.; P. ZHAI, H. -O.; PÖRTNER, D.; ROBERTS, J.; SKEA, P. R.; SHUKLA, A.; PIRANI, W.; MOUFOUMA-OKIA, C.; PÉAN, R.; PIDCOCK, S.; CONNORS, J. B. R.; MATTHEWS, Y.; CHEN, X.; ZHOU, M. I.; GOMIS, E.; LONNOY, T.; MAYCOCK, M.; TIGNOR, AND T. WATERFIELD (eds.)]. **Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty**. In Press. Disponível em: https://archive.ipcc.ch/pdf/special-reports/sr15/sr15_spm_final.pdf. Acesso em: nov. 2019.

IPCC. 2017. **How does the IPCC work?** Arquivado em 20 de julho de 2017, no Wayback Machine. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/documentation/procedures>.

IPCC. 2019. **Fifth Assessment Report (AR5)**: Authors and Review Editors. Disponível em: <https://www.ipcc.ch/report/2019-refinement-to-the-2006-ipcc-guidelines-for-national-greenhouse-gas-inventories>. Acesso em: nov./2019.

IPCC. Synthesis Report. Summary for Policymakers. *In*: IPCC. **Climate Change 2014**. Disponível em: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/AR5_SYR_FINAL_SPM.pdf. Acesso em: abril de 2020.

KABUTH, Alina K.; KROON, Aart; PEDERSEN, Jørn BT. Multidecadal shoreline changes in Denmark. **Journal of Coastal Research**, v. 30, n. 4, p. 714-728, 2014.

KITTINGER, J. N.; FINKBEINER, E. M.; GLAZIER, E.W.; CROWDER, L. B. Human dimensions of coral reef social-ecological systems. **Ecol. Soc.** 17 (4), 17, 2012.

LIMA, A. P. S.; CARNEIRO, R. N.; MEIRELES, A. J. A. Ecosistema banco de algas e identidade territorial no município de Icapuí/CE: comunidade tradicional pesqueira e meio técnico-científico-informacional. **Revista Eletrônica do Prodema Rede**: v. 8 n. 2, 2014, p. 35-49.

MAHAPATRA, Manik; RATHEESH, R.; RAJAWAT, A. S. Shoreline change analysis along the coast of South Gujarat, India, using digital shoreline analysis system. **Journal of the Indian Society of Remote Sensing**, v. 42, n. 4, p. 869-876, 2014.

MCLEOD, E.; SALM, R. V. **Managing Mangroves for Resilience to Climate Change**. IUCN, Gland, Switzerland, 2006, 64p.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis (Millennium Ecosystem Assessment Series)**. The Millennium Ecosystem Assessment series Island Press, Washington, DC, 2005a, v.2, cap. 9, 135p. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.333.aspx.pdf>. Acesso em: nov. 2019.

MEA - Millennium Ecosystem Assessment. **Ecosystems and Human Well-being: Wetlands and Water Synthesis (Millennium Ecosystem Assessment series)**. World Resources Institute, Washington, DC., 138p. 2005b. Disponível em: <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>. Acesso em: set. 2019.

MEIRELES, A. J. A. Impactos ambientais decorrentes das atividades da carcinicultura ao longo do litoral cearense, Nordeste do Brasil. **Revista Mercator**, Fortaleza, n. 12, p.83-106, 2007.

MEIRELES, A. J. A.; RUBIO, R. P. Geomorfologia litoral: una propuesta metodológica sistémica en la llanura costera de Ceará, nordeste de Brasil. **Revista de Geografía**, Universidad de Barcelona, España, v.33, n.1, p. 165-182, 1999.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. M. F. dos. **Atlas de Icapuí: paisagens e ecossistemas**. 1. ed. Fortaleza Ceará: Fundação Brasil Cidadão, 2012. v.1. 158p.

MEIRELES, A. J. A.; SOUZA, W. F.; LIMA, A. P. S. **Atlas socioambiental de Icapuí**. 1. ed. Fortaleza/CE: Fundação Brasil Cidadão, 2016. v.1. 145p.

MEIRELES, A. J. A.; CAMPOS, A. A. Componentes Geomorfológicos, Funções e Serviços Ambientais de Complexos Estuarinos no Nordeste do Brasil. **Revista da ANPEGE** n.4, p.89-107 2010.

MEIRELES, A. J. A. **Geomorfologia costeira: funções ambientais e sociais**. Universidade Federal do Ceará (UFC), Edições UFC, 465p. 2014.

MEIRELES, A. J. A.; SANTOS, A. F. Evolução geomorfológica da planície costeira de Icapuí, extremo leste do Ceará, nordeste do Brasil. **Revista da Associação de Geografia Teórica** - Rio Claro-SP; v. 36, n. 3, p. 519-534, set./dez. 2011.

MEIRELES, A. J. A.; ARRUDA, M. G. C.; GURAYEB, A.; TRHIERS, P. R. L. Integração dos indicadores geoambientais de flutuações do nível relativo do mar e de mudanças climáticas no litoral cearense. **Revista Mercator**, Fortaleza, v.4, n.8, nov. 2008. Disponível em: <http://www.mercator.ufc.br/mercator/article/view/103>. Acesso em: jul. 2020.

MORAIS, J. O.; MEIRELES, A. J. A. Riscos geológicos associados a dinâmica costeira na praia de Caponga, município de Cascavel/CE. **Revista de Geologia**, v. 5, n.4 , p. 139-144, 1992.

PÉREZ-ALBERTI, A.; PIRES, A.; FREITAS, L.; CHAMINÉ, H. Shoreline change mapping along the coast of Galicia, Spain. *In: Proceedings of the Institution of Civil Engineers-Maritime Engineering*. Thomas Telford Ltd, 2013. p. 125-144.

PIRAZZOLI, P. A. Present and near future global sea-level changes. **Paleogeography, Paleoclimatology, Paleoecology**, Holanda, v.75, p. 241-258, 1989.

QUEIROZ, L.; ROSSI, S.; CALVET-MIR, L.; RUIZ-MALLEN, I.; GARCIA-BETORZ, S.; SALVA-PRAT, J.; MEIRELES, A. J. A. Neglected ecosystem services: Highlighting the socio-cultural perception of mangroves in decision-making processes. **Ecosystem Services**, n. 26 p. 137-145. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoser.2017.06.01>.

RIVERA, E. S.; CORTÉS, I. S. Las experiencias del Instituto Nacional de Ecología en la valoración económica de los ecosistemas para la toma de decisiones. Instituto Nacional de Ecología, México. **Gaceta ecológica**. 2007, n. 84, p. 93-105.

RÖNNBÄCK, P. The ecological basis for economic value of seafood production supported by mangrove ecosystems. **Ecological Economics**, n.29, p. 235-252, 1999.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. Perfil dos ecossistemas litorâneos brasileiros, com especial ênfase sobre o sistema manguezal. **Revista do Instituto Oceanográfico**, São Paulo. v. 7, p. 1-16, 1989.

SOUSA, D. C; ANTUNES, A. F. Deformação neógena e suas implicações na estruturação dos campos de petróleo na região de Icapuí-Ponta Grossa (CE), Bacia Potiguar emersa. **Brazilian Journal of Geology** June 2008. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/270273260_Deformacao_neogena_e_suas_implicacoes_na_estruturacao_dos_campos_de_petroleo_na_regiao_de_Icapui-Ponta_Grossa_CE_Bacia_Potiguar_emersa/figures?lo=1. Acesso em: 2020.

SOUSA, D. C. **Litoestratigrafia e deformação cenzóica na região de Icapuí, Ceará, e implicações para a estruturação de campos de petróleo na borda ocidental da bacia Potiguar (NE do Brasil)**. 2003. 222 f. Tese (Doutorado em Geodinâmica; Geofísica) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.

SOUZA, W. F.; LEITE, N. S.; MEIRELES, A. J. A.; SILVA, E. V. 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 (RCGS)**, v.18, n.2, p. 20-35, 2016. Disponível em: <http://www.uvanet.br/rcgs/index.php/RCGS/article/view/298>. Acesso em: 28 jan. 2019.

SUHAIMI, H. M.; JAMAL, M. H.; AHMAD, A. Assessment of river bank erosion at Kilim River, Langkawi using geospatial technique. *In: IOP conference series: earth and environmental science*. 2018.

VOUSDOKAS, M. I.; RANASINGHE, R.; MENTASCHI, L. *et al.* Sandy coastlines under threat of erosion. **Nat. Clim. Chang.** v.10, p.260–263, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0697-0>.