



ISSN:1984-2295

Revista Brasileira de Geografia Física

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



Evolução da linha de costa no município de São Gonçalo do Amarante-CE no período de 1984 a 2020

Débora Nogueira Lopes¹, Cynthia Romariz Duarte², Maykon Targino da Silva³, Alfredo Marcelo Grigio⁴, Eduardo Viana Freires⁵, Luzia Suerlange Araújo dos Santos⁶

¹Doutorando no Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará – UFC, Departamento de Geologia, Bloco 912, Campus do Pici, CEP: 60440-554, Fortaleza/CE, deboranogueira@hotmail.com.br; ²Docente na Universidade Federal do Ceará – UFC, Departamento de Geologia, Bloco 912, Campus do Pici, CEP: 60440-554, Fortaleza/CE, cynthia.duarte@ufc.br; ³Doutorando no Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará – UFC, Departamento de Geologia, Bloco 912, Campus do Pici, CEP: 60440-554, Fortaleza/CE, maykontargino@hotmail.com; ⁴Docente na Universidade Estadual do Rio Grande do Norte – UERN, Departamento de Gestão Ambiental, Rua Prof. Antônio Campos, s/n, Costa e Silva, CEP: 59625-620, Mossoró/RN, alfredogrigio1970@gmail.com; ⁵Pós-doutorando no Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará – UFC, Departamento de Geologia, Bloco 912, Campus do Pici, CEP: 60440-554, Fortaleza/CE, eduardovgeo@gmail.com; ⁶Doutorando no Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Ceará – UFC, Departamento de Geologia, Bloco 912, Campus do Pici, CEP: 60440-554, Fortaleza/CE, luzia.santos@nutec.ce.gov.br

Artigo recebido em 23/03/2021 e aceito em 19/04/2021

RESUMO

As variações da linha de costa podem ocasionar prejuízos para o desenvolvimento do Estado e para projetos de engenharia. Dessa maneira os planos de gerenciamento costeiro devem levar em consideração as informações referentes ao posicionamento da linha de costa no passado para entender o comportamento atual e futuro. Neste contexto, esse presente estudo teve por finalidade analisar o comportamento da linha de costa em resposta a dinâmica natural e as ações antrópicas no município de São Gonçalo do Amarante, no estado do Ceará, através de análise multitemporal de imagens de satélite da série Landsat em um intervalo de 36 anos (1984-2020) com auxílio da extensão DSAS do *software* ArcGis por meio do método Linear Regression Rate. Na qual, foi possível interpretar duas fases bem marcantes: durante a construção do porto, marcado pela ação intensa da erosão que ocasionou diversos prejuízos ambientais e, após a construção do porto, manifestou-se os processos deposicionais. Dessa forma, esse estudo enfatiza que o município de São Gonçalo do Amarante, tem sofrido alterações na dinâmica local costeira e afetado a capacidade natural dos sistemas em responder efetivamente a eventos climáticos extremos, tornando assim essas regiões mais vulneráveis.

Palavras-chaves: Linha de costa, Porto do Pecém, DSAS, dinâmica costeira.

Analysis of the evolution of the coast line in the municipality of São Gonçalo do Amarante/CE in the period from 1984 to 2020

ABSTRACT

Variations of the coastline can cause losses for the development of the State and for engineering projects. Thus, coastal management plans should take into account information regarding the positioning of the coastline in the past for current and future behavior. In this context, this study has to analyze the behavior of the coastline in response to natural dynamics and anthropic actions in the municipality of São Gonçalo do Amarante, in the state of Ceará, through multitemporal analysis of Landsat series satellite images in a 36-year interval (1984-2020) with the aid of the DSAS extension of the ArcGis software. In which, it was possible to interpret two very striking phases: during the construction of the port, marked by the intense action of erosion that caused several environmental damages and after the construction of the port, the depositional processes that have led the local sedimentary balance to balance. Therefore, it is essential to monitor the evolution of the coastline, as it will generate essential information to understand the local coastal dynamics and how it influences the natural environment.

Keywords: Coast line, Port of Pecém, DSAS, coastal dynamics.

Introdução

As alterações na linha de costa em geral são resultantes de processos erosivos, transporte e sedimentação, combinados com a configuração e orientação da costa, com os tipos de materiais que constituem os substratos costeiros, com a vegetação e com a presença de desembocaduras, refletem uma resposta integrada do comportamento da costa aos processos e agentes dinâmicos (Souza-Filho, 2000; Souza-Filho e Paradella, 2002), agora em grande parte intensificada devido às atividades humanas.

Essas variações da linha de costa podem ocasionar prejuízos para o desenvolvimento do Estado e para projetos de engenharia. Mas, apesar de alguns projetos de engenharia visarem solucionar a problemática da erosão, muito se sabe que a construção de empreendimentos também pode favorecer para a criação de problemas em outras localidades próximas, conforme retrato em estudo ao redor do terminal portuário de Freeport, Texas, EUA (Luijendijk *et al.*, 2018); no porto de Mucuripe em Fortaleza que desencadeou processos erosivos que praticamente destruíram as praias da cidade (Bezerra, Pinheiro, Morais, 2007) e estudos no entorno do terminal portuário do Pecém (Duarte *et al.*, 2018).

Dessa maneira, a variação da linha de costa deve ser analisada com um espaçamento temporal que seja possível observar os fenômenos atuantes naquela localidade, assim como determinar os padrões de modificação na largura, volume de praias, e quantificar taxas históricas de migração (Araujo *et al.*, 2009).

Em países como o Brasil, onde a faixa litorânea é muito longa, o mapeamento dos recursos naturais costeiros por técnicas convencionais é uma tarefa difícil, principalmente devido à sua grande extensão. O emprego de imagens de satélites de sensoriamento remoto é uma das ferramentas mais eficazes que podem ser utilizados para o mapeamento desses recursos naturais de uma maneira rápida e precisa (Boori & Amaro, 2010).

Portando, baseado na definição de linha de costa proposta por Dolan *et al.* (1980), que consiste na demarcação do limite das áreas entre a interface física da terra e da água, além das informações que se pretende extrair, a escala de trabalho, disponibilidade e qualidade de dados definiu-se a utilização de imagens oriundas de satélites imageadores (Boak e Turner, 2005) para observar a variação da linha de costa no município de São

Gonçalo do Amarante, localizado no estado do Ceará.

Neste contexto, o presente estudo tem por finalidade analisar o comportamento da linha de costa em resposta a dinâmica natural e as ações antrópicas, através de análise multitemporal de imagens do satélite da série Landsat em um intervalo de 36 anos (1984-2020), e a partir dos resultados obtidos, gerar informações essenciais para o planejamento e gestão costeira da região

Área de estudo

O município de São Gonçalo do Amarante, distante 60 km da capital Fortaleza, está localizado na porção Norte do Estado do Ceará (Figura 1), inserida na mesorregião Metropolitana de Fortaleza e na microrregião de Fortaleza (IPECE, 2014). Constituído por 7 distritos: Pecém, Taíba, Siupé, Umarituba, Croatá, Serrote, Cágado e a sede do município. Sendo a área de estudo apenas os distritos situados no litoral (que possuem praia): Pecém (praia da Colônia) e Taíba que apresentam uma extensão de 18,5 km de faixa praial com larguras variadas e com declives muito suave para o mar.

As médias de temperaturas registradas na região são de aproximadamente 27 °C, com regimes climáticos secos com variações de subúmidos e semiáridos, caracterizando-se como Litoral Setentrional do Nordeste (LSN) (Ab'saber, 2001 e 2006). Mas, apesar de estar inserido nesse regime, a influência da porção oceânica eleva em até duas vezes as precipitações médias anuais dessa região, atingindo precipitações superiores a 750 mm anuais.

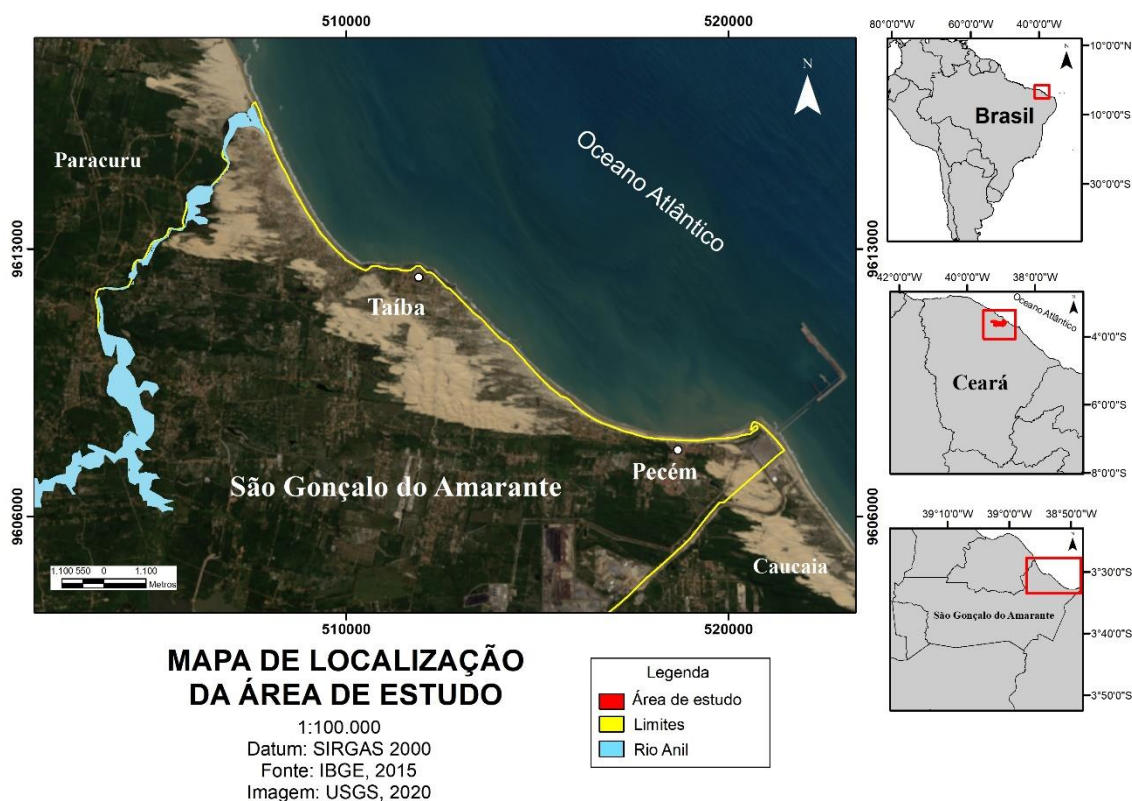
A área é caracterizada como clima tropical, tipo Aw (Koppen, 1928) com estações chuvosas no verão (de novembro a abril) e inverno seco (de maio a outubro), e com ventos alísios de NE, E e SE.

O litoral do município de São Gonçalo do Amarante possui uma zona costeira formada basicamente por depósitos eólicos costeiros Holocênicos (IBGE, 2019), compostos por sedimentos de origem continental e marinha que foram depositados através dos processos deposicionais (Santos, 2006) nas proximidades das praias ao longo da costa (dunas, praias e pós-praias), além de unidades do embasamento cristalino (quartzo e gnaíse) e rochas sedimentares.

Esse material rochoso em parte é recoberto por solos Gleissolos que são formados em sua maioria a partir de sedimentos nas proximidades

dos cursos d'água ou em área de relevo plano de terraços marinhos, fluviais ou lacustres, e por solos classificados de Neossolos Quartzarênicos que são

fundamental nos processos erosivos e deposicionais da área de estudo.



constituídos por material mineral, ou por material orgânico pouco espesso, equivalente as areias de origem marinha depositadas pela ação dos ventos, denominada de dunas móveis (IBGE, 2015).

Em parte, esses solos são encobertos por vegetação do tipo Pmb (Formação Pioneira com influência marinha arbustiva) como, restingas, arbustiva das dunas e herbácea das praias. (IBGE, 2013).

Na Ponta do Pecém, local caracterizado pelo acidente geográfico (promontório) que configura uma topografia mais elevada é constituída por rochas cristalinas do Grupo Ceará, recobertos por sedimentos do Grupo Barreiras e dunas móveis. Local esse, onde está localizado o Complexo Industrial e Portuário do Pecém (CIPP) em operação desde 2002, que segundo Magini, Martins e Pitombeira (2013) tem papel

Metodologia

O estudo da variação da linha de costa do município de São Gonçalo do Amarante foi baseado em Souza *et al.* (2005) que afirmam que os estudos da erosão costeira podem ser executados em intervalos de curto e longo prazo por métodos diretos e indiretos. Os métodos indiretos são empregados para análise de fenômenos estacionais que acarretam eventos erosivos de baixa periodicidade, observados por meio da integralização das características oceânicas, meteorológicas, da caracterização morfológica de praia e estudos sedimentológicos. Já o método direto, que é utilizado nesse estudo, consiste na análise da variação da linha de costa por imagens de satélites para um intervalo de 36 anos através de cálculos de progradação ou retrogradação.

Inicialmente, para a análise multitemporal da linha de costa selecionou-se cinco imagens de satélite da série Landsat disponibilizadas pelo *United State Geological Survey* (USGS, 1984; USGS, 1990; USGS, 2000; USGS, 2009 e USGS, 2020), com espaçamento temporal irregular de 6, 9, 10 e 11 anos, devido a indisponibilidade de imagens sem interferências climáticas (presença de nuvens) na estação seca da região (Quadro 1).

Data	Satélite/Sensor	Resolução espacial
19/09/1984	Landsat 5/TM	30m
19/08/1990	Landsat 5/TM	30m
02/11/2000	Landsat 5/TM	30m
11/11/2009	Landsat 5/TM	30m
02/11/2020	Landsat 8/OLI	30m

Com o intuito de realçar as feições superficiais foi feito o Processamento Digital das Imagens (PDI) no *software* Spring® 5.5.6 (INPE, 2020), onde as bandas verde (G) e infravermelho próximo (NIR) passaram por um realce de contraste linear. A razão dessas bandas foi realizada através do Índice Normalizado de Água

Quadro 1. Lista de imagens utilizadas para delimitação da linha de costa.

Diferente (NDWI) que se baseia nas suas respostas espectrais para ressaltar as feições da água e minimizar o restante da superfície (McFeetrs, 1996). E após um novo realce de contraste desse algoritmo foi feita a composição RGB NIR-G-NDWI Infravermelho-Verde-NDWI (Figura 2).

Após o PDI vetorizou-se as linhas de costa manualmente baseadas na demarcação entre as áreas úmidas e secas (Dolan *et al.*, 1980) dos anos 1984, 1990, 2000, 2009 e 2020. E ainda, gerou-se a linha de base tendo como referência a linha de costa atual (linha de base *offshore*).

Ulteriormente, utilizou-se para análise e

transectos perpendiculares as linhas de costas com espaçamento de 10 metros entre si.

Portanto, com os cinco vetores da linha de costa, a linha de base e os vários transectos gerados automaticamente pelo DSAS foi possível cruzar os vetores das linhas de costas e efetuar cálculo das variações ao longo desse intervalo de 36 anos (1984-2020) através de uma matriz numérica que determina o comportamento morfológico das linhas de costa em relação a linha de base, considerando as situações de erosão, acreção e equilíbrio (Quadro 2).

Classificação	Varição
Erosão	< -1 m/ano
Acreção	> +1 m/ano
Equilíbrio	entre -1 e +1 m/ano

Quadro 2. Comportamento morfológicos das linhas de costa.

O método estatístico puramente computacional selecionado no DSAS para calcular variação da linha de costa foi o *Linear Regression*

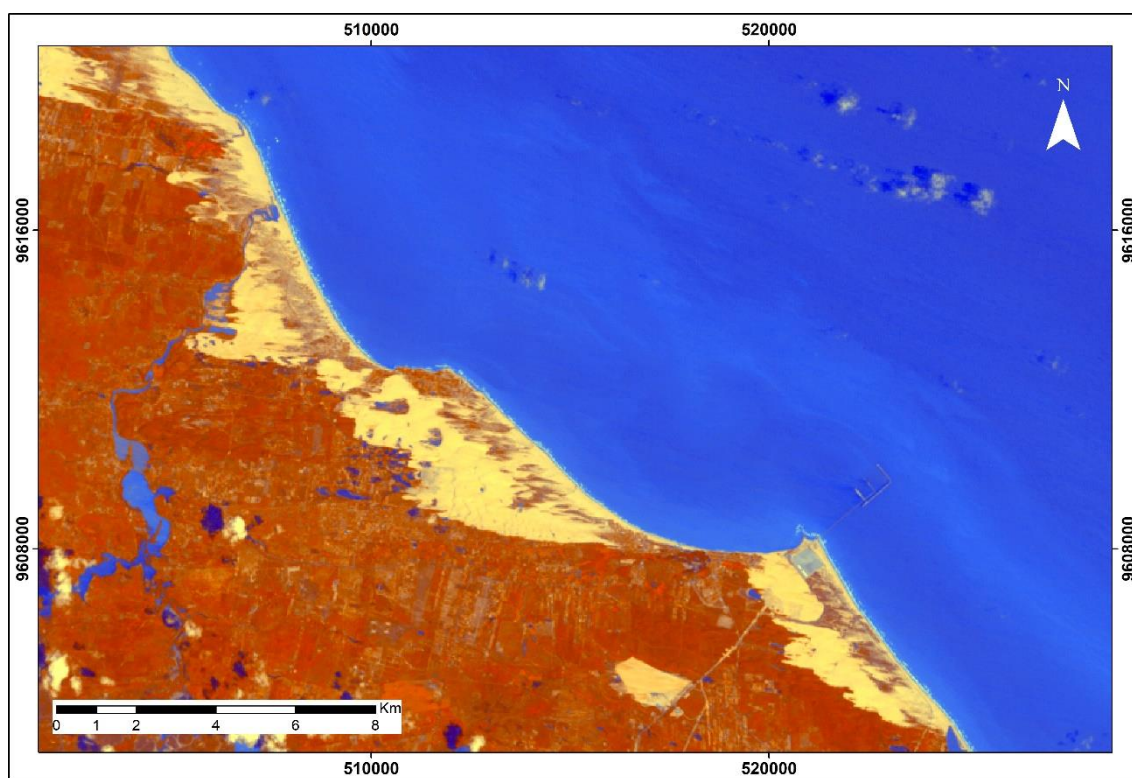


Figura 2. Composição NIR-G-NDWI em RGB.

quantificação da linha de costa a extensão do ArcGis® 10.8.1 (ESRI, 2019), o *Digital Shoreline Analysis System 5.0* (DSAS) (Himmelstoss *et al.*, 2018) para vetorizar as linhas de costa que gerou

Rate (LRR) que mede a distância entre a linha de base e cada intersecção da linha de costa ao longo de um transecto através de um cálculo de regressão linear simples que combina informações de data e a incerteza posicional para cada linha de costa

gerando uma variação em metros anuais (Himmelstoss *et al.*, 2018).

Posteriormente para que fosse possível quantificar o balanço sedimentar em área (m²) e analisar a formação de estruturas do tipo *spit* no extremo leste do CIPP, a linha de costa dessa porção foi vetorizada em forma de polígono em camadas separadas para cada ano.

Determinou-se a união de dois anos consecutivos: 1984-1990, 1990-2000, 2000-2009 e 2009-2020 que tem como produto a tabela constituída de duas colunas FID e FID 1 que correspondem por exemplo, aos polígonos vetorizados dos anos de 1984 (FID) e 1990 (FID 1) com valores de 0 ou -1 (Quadro 3), dessa maneira quando na primeira coluna possuir o número zero e na segunda coluna o valor um negativo, tem-se a predominância da erosão. Quando inverso, o valor -1 estiver na primeira coluna e o valor zero na segunda coluna a acreção é que atuou nesse intervalo. E quando as duas colunas apresentarem algarismos zero, significa que não houve modificação (Grigio *et al.*, 2005).

FID	FID 1	Classificação
0	-1	Erosão
-1	0	Acreção
0	0	Sem modificação

Quadro 3. União de anos consecutivos (exemplo para os anos de 1984-1990).

Resultados e discussão

A delimitação da linha de costa do município de São Gonçalo do Amarante e a integração dos dados através dos 1852 transectos gerados na extensão DSAS permitiu a obtenção uma boa visão da evolução costeira ao longo dos 36 anos (1984-2020) por meio da classificação dos processos erosivos, acrecionais e de equilíbrio (Figura 3).

Ao longo de toda a linha de costa nesse intervalo é possível determinar que as maiores porções relacionadas a erosão estão associadas ao Rio Anil e ao promontório da Taíba (Figura 4).

As praias próximas as desembocaduras fluviais ou canais de maré estão sujeitas a rápida modificação e a eventos erosivos ocasionados pela própria dinâmica fluvial, como é o caso do Rio Anil, que acomoda uma estreita faixa de praia em alguns períodos do ano, em um contexto que não apresenta um comportamento linear tornando-a mais vulnerável a um evento erosivo controlado (Addad, 1997) por fatores externos (pluviosidade,

transporte de sedimento fluvial, aporte sedimentar, etc.)

No promontório da Taíba é possível observar ao longo dos anos uma área de predominância de deposição após o pontal que apresenta uma forma curvada que propicia a redução de ação das ondas e transporte de sedimentos, e consequentemente acúmulo desse material. Já na área à sotamar tem-se a presença de erosão, pois a ação das ondas é mais acentuada e

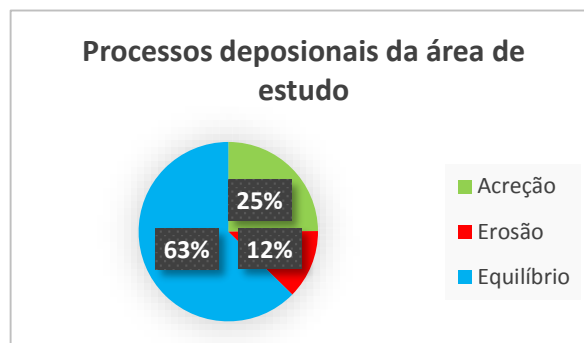


Figura 3. Processos deposicionais da área de estudo com base na integração dos dados através dos transectos gerados.

proporciona um transporte mais intenso de leste a oeste, conforme a deriva litorânea.

A fração com predomínio da deposição, localizado no extremo leste do município (Pecém) é interpretado por duas fases bem marcantes ao longo desse intervalo: durante a construção do porto, marcado pela ação intensa da erosão ao longo do intervalo de 1990 a 2000 e após a construção do porto, marcado por um grande potencial nos processos deposicionais de leste a oeste (anos 2000 a 2020).

A posição da linha de costa manifestou variações ao longo dos 36 anos (1984-2020), como é possível observar através do gráfico apresentado na Figura 5, que explicita o comportamento linear ao longo de toda a costa do município, com maior intensidade erosiva na porção a leste do promontório da Taíba, que correspondeu a aproximadamente 54 m erodido nesse intervalo. E a maior predominância deposicional da área de estudo ocorreu na localidade do Pecém, o que gerou uma progradação da linha de costa de aproximadamente 240 m ao longo desses 36 anos.

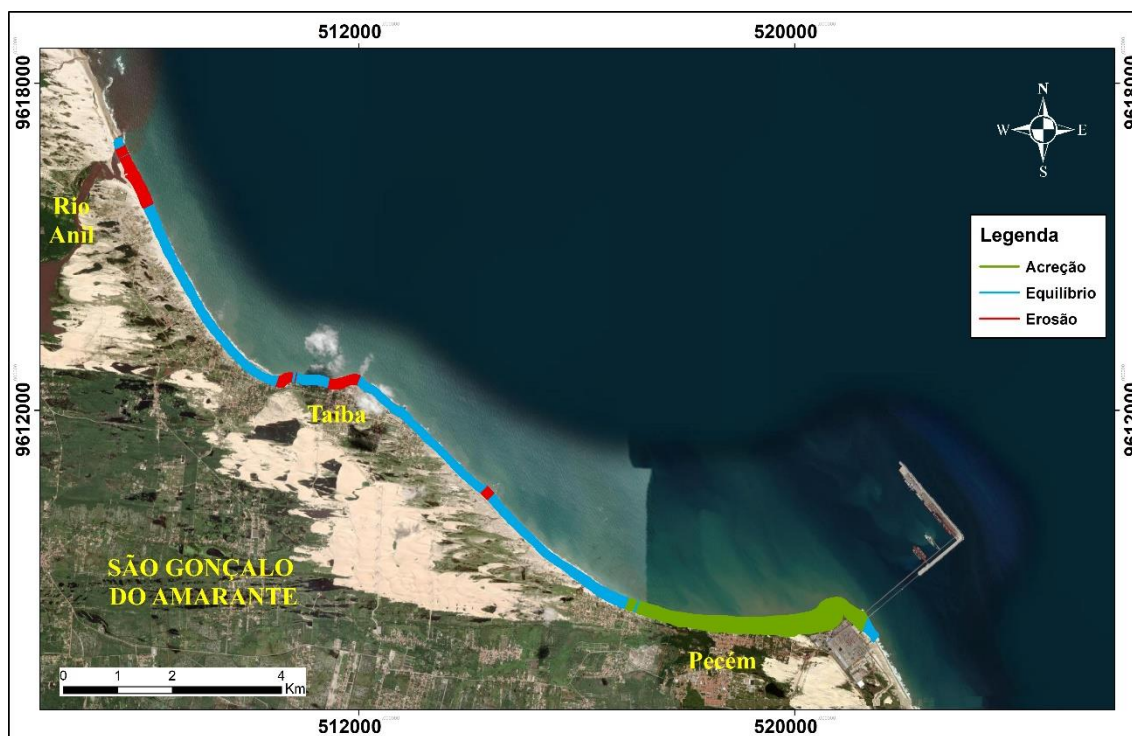


Figura 4. Variação da linha de costa do município de São Gonçalo do Amarante (1984-2020).

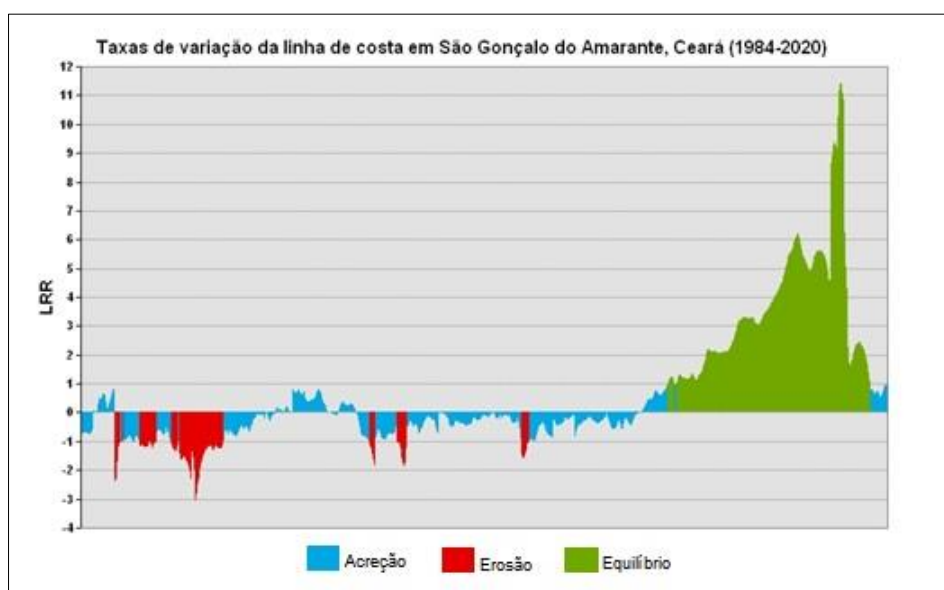


Figura 5. Taxa de variação da linha de costa pelo método da *Linear Regression Rate* (LRR).

Para compreender melhor toda essa dinâmica costeira e a influência da construção do Complexo Industrial e Portuário do Pecém na linha de costa adjacente, utilizou-se metodologia de vetorização dos polígonos para quantificar o balanço sedimentar em área (m^2) apenas do distrito do Pecém, sendo possível então analisar o seu comportamento deposicional e o surgimento de feições nessa linha de costa.

Para isso, observou-se os quatro intervalos ao longo desses 36 anos, no qual, o primeiro período analisado compreende o intervalo de 6 anos entre os anos de 1984 e 1990, onde foi possível observar que houve um predomínio de acreção na porção oeste do Pecém e ação erosiva na fração leste (Figura 6). Esse fluxo natural de sedimentos da porção leste para a porção oeste era controlado pela velocidade dos ventos, da corrente equatorial, das características granulométricas dos

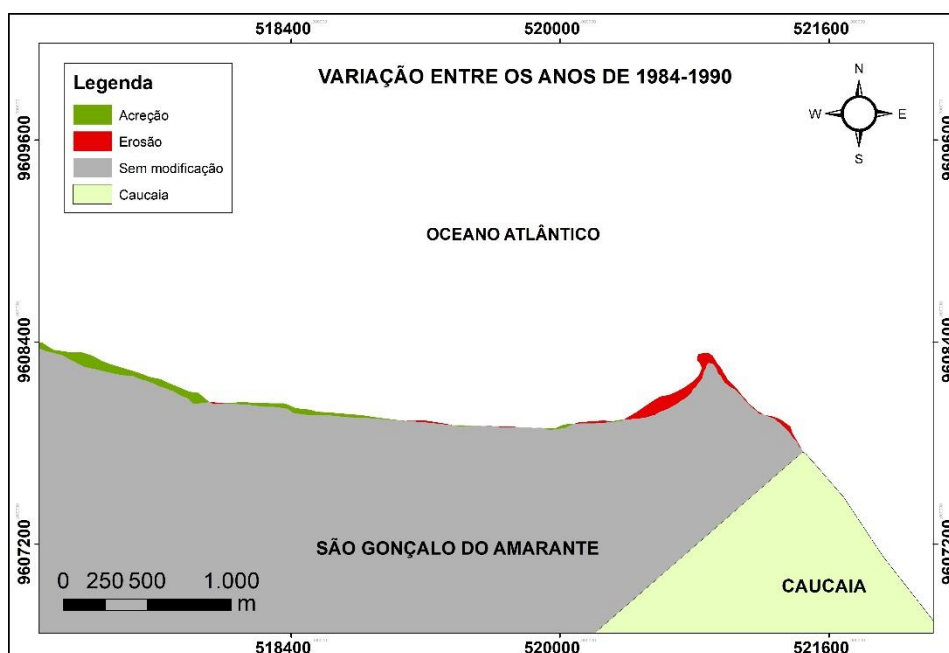


Figura 6. Evolução da linha de costa do Pecém no intervalo de 1984 a 1990.

sedimentos, somado ao embasamento cristalino que gera estruturas do tipo promontório que possibilitam um intenso transporte de sedimentos de leste a oeste.

O segundo intervalo observado abrange 10 anos, compreendido entre os anos de 1990 e 2000, onde ocorreu a dominância da erosão a oeste e, no extremo leste, atuação da acreção. Esses processos marcados anteriormente por uma dinâmica natural atuante no litoral do Pecém passaram a partir de 1991 a sofrer alterações antrópicas promovido pelo processo de urbanização da região que passou a ocupar mais intensamente as dunas e a berma (Meireles, Silva e Thiers, 2006), provocando

modificação do processo natural de transporte de sedimentos que alimentava a praia, o que impulsionou a remoção dos sedimentos mais a jusante pela ação das ondas, provando um processo erosivo intenso naquela localidade.

E somado a esses processos de urbanização, no ano de 1998 com a implantação do Terminal Portuário Provisório (TEP), obra que acarretou o bloqueio *bypass* de sedimentos (Meireles, Silva e Thiers, 2006), promovendo o acúmulo de sedimentos na porção a leste do TEP e erosão a oeste, observado com o recuo da linha de costa nessa porção (Figura 7).

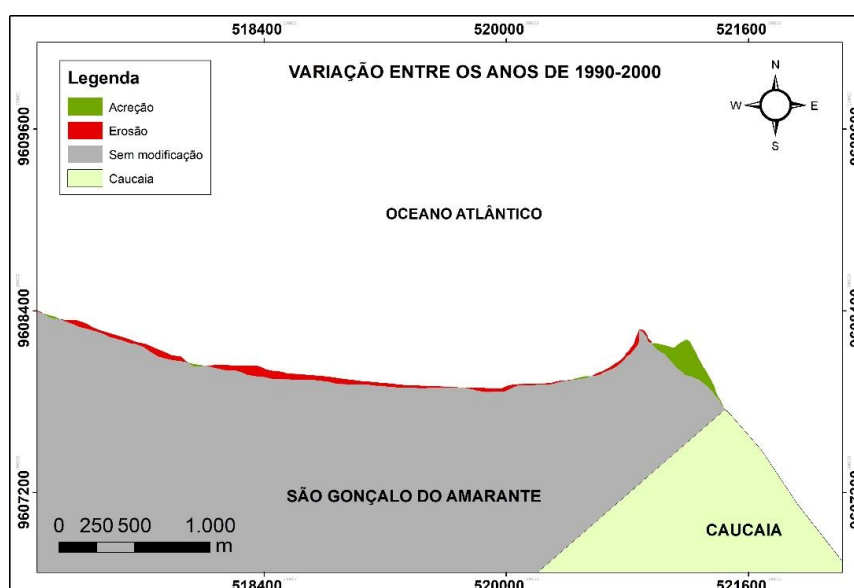


Figura 7. Evolução da linha de costa do Pecém no intervalo de 1990 a 2000.

O terceiro espaçamento engloba o intervalo de 9 anos (2000-2009), onde é possível determinar a presença de erosão nos extremos leste e oeste do CIPP e progradação na porção oeste (Figura 8). Essas mudanças significativas na linha de costa foram causadas após a conclusão da construção do porto com a remoção do TEP no ano 2001 propiciando um maior aporte sedimentar, antes interrompidas por essa estrutura.

Após essa remoção também se iniciou o processo de desenvolvimento da estrutura do tipo barreira *spit* (barreira costeira) conectada a linha de costa, gerada devido ao elevado transporte de sedimentos paralelos a linha de costa pela ação da deriva continental (Davis e Duncan, 2004).

Já o intervalo compreendido nos últimos 11 anos (2009-2020) desta análise, teve influência da acreção (Figura 9), que ocasionou um maior aporte sedimentar na região a sotamar do

região do promotório são intensos acarretou-se um transporte de sedimentos de leste a oeste formando promontório provocando a engorda da faixa de praia e consequentemente como os ventos na regiões de dunas. Em estudo, de intervalos menores (anos de 2011 a 2014) para a mesma região, Duarte *et al.* (2018) confirmam essa mesma tendência geral de acúmulos de sedimentos nessa localidade.

Assim, a posição da linha de costa do Pecém demonstra variações ao longo dos 36 anos (1984-2020), com maior intensidade erosiva entre os anos de 1984 e 1990 que correspondeu a aproximadamente 303.120 m². E no intervalo de 2009-2020 teve-se uma deposição aproximada de 558.159 m² caracterizando a maior progradação da área de estudo, o que leva a caracterizar o processo sedimentar dessa localidade ao longo desses 36

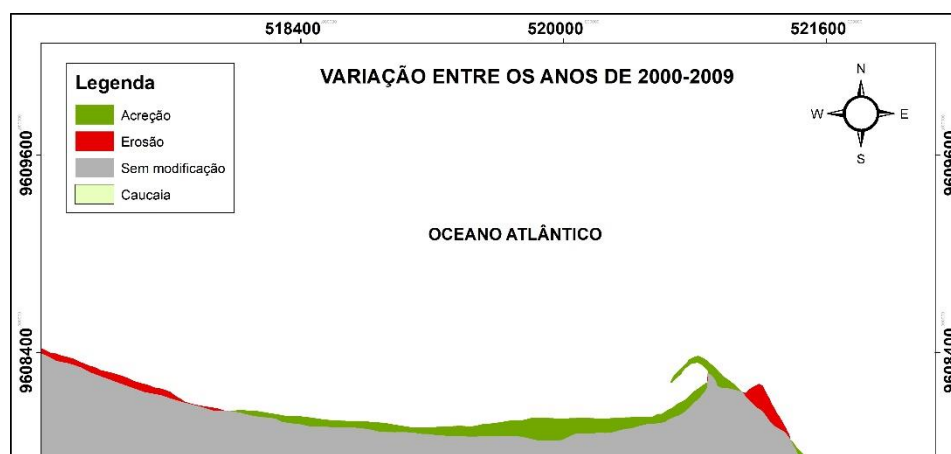


Figura 8. Evolução da linha de costa do Pecém no intervalo de 2000 a 2009.

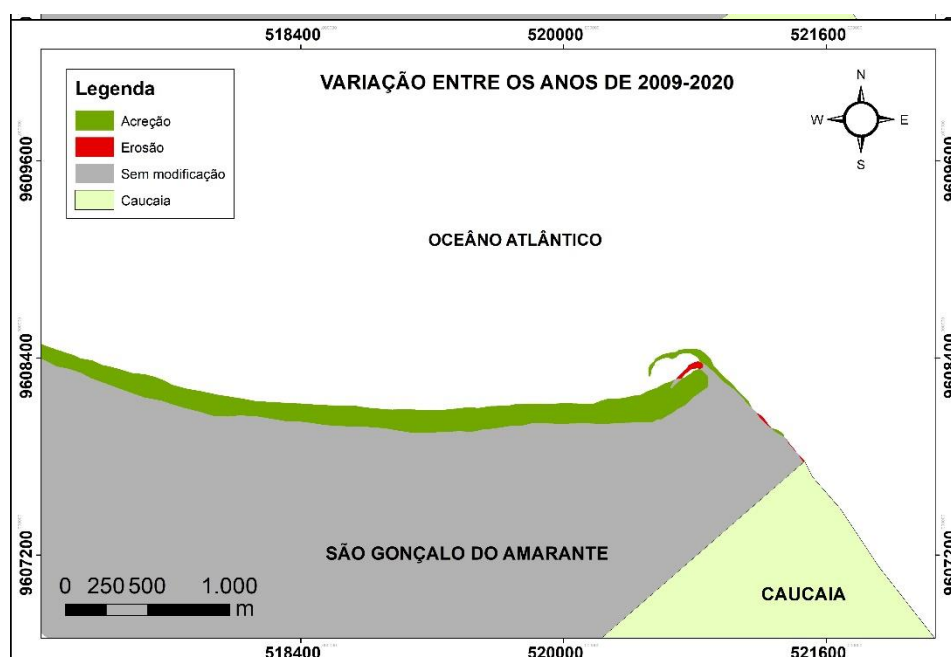


Figura 9. Evolução da linha de costa do Pecém no intervalo de 2009 a 2020.

anos com acentuados processos deposicionais atuantes (Figura 10).

Conclusão

Ao longo dos 36 anos analisados, com base na metodologia de processamento digital de

O fato é que a realidade presente no município de São Gonçalo do Amarante, bem como em vários outros municípios portuários do Brasil, tem-se observado alterações na dinâmica local costeira que vêm afetando a capacidade natural dos sistemas em responder efetivamente a

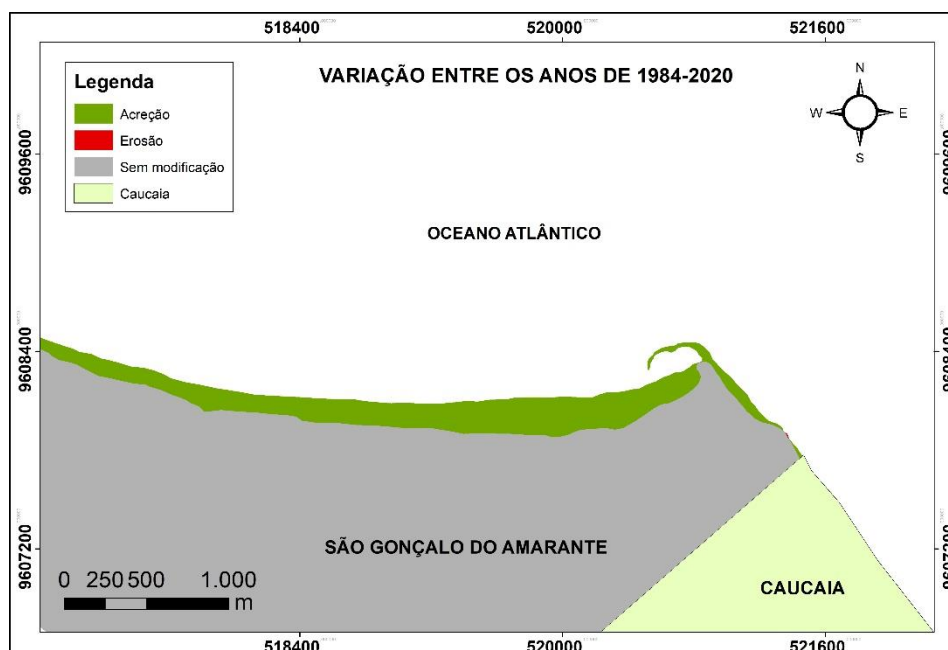


Figura 10. Evolução da linha de costa do Pecém no intervalo de 1984 a 2020.

imagens de satélite para realçar as feições úmidas da área estudada e da vetorização da linha de costa e do emprego do DSAS, foi possível quantificar e qualificar as alterações costeiras do município de São Gonçalo do Amarante, identificando ao longo da costa as regiões que sofrem erosão, acresção e o papel relevante que as ações antrópicas tem nessa dinâmica.

A dinâmica da linha de costa do município pode ser explicada mediante aos processos dinâmicos costeiros da região do Pecém e da Taíba, para a região do Pecém tem-se duas fases bem marcantes: durante a implantação do Terminal Portuário Provisório (TEP), marcado pela ação intensa da erosão que provocou um recuo da linha de costa que ocasionou diversos prejuízos ambientais e após conclusão do porto com a remoção do TEP, manifestou-se os processos deposicionais. Já para a Taíba, marcada pela estrutura do promontório que controla a ação das ondas, tem-se uma redução do transporte de sedimentos após a estrutura e consequentemente há um maior aporte sedimentar, e na porção a sotamar da estrutura, o transporte de sedimentos é mais intenso de leste a oeste devido ação intensa das ondas.

eventos climáticos extremos, tornando assim essas regiões mais vulneráveis.

Para uma melhor compreensão é necessário o acompanhamento da evolução da linha de costa, que irá gerar informações imprescindíveis para a definição de políticas públicas de planejamento e ordenamento territorial, permitindo compreender a dinâmica costeira local e como esta influencia no meio natural.

Agradecimentos

Ao apoio financeiro a pesquisa pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao laboratório GEOCE do Departamento de Geologia na Universidade Federal do Ceará.

Referências

- Ab' Sáber, A. N. 2006. Brasil: Paisagens de Exceção: o litoral e o Pantanal Mato – grossense: patrimônios básicos. Ateliê Editorial, Cotia.
- Ab'Sáber, A. N. 2001. Litoral do Brasil. Metalivros., São Paulo.

- Addad, J. 1997. Alterações fluviais e erosão costeira. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* 2, p. 21-44. Disponível: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/57/e880b8870ab74e58628c8746c6880108_163d73ef3e390f6d81370616a8654993.pdf. Acesso: 10 jan. 2020
- Araujo, R.S., Silva, G.V., Freitas, D., Klein, A. H. F. 2009. Georreferenciamento de Fotografias Aéreas e Análise da Variação da Linha de Costa. In: J. Alcántara, C., Arango, I. D. C., Mendy F. I. I., Ortega, M. A., Klein, A. H. F. A. C., Barlow, H. R. S. (Eds.). *Métodos en Teledetección Aplicada a la Prevención de Riesgos Naturales en el Litoral. Programa Iberoamericano de Ciencia y Tecnología para el Desarrollo-CYTED*, Espanha pp. 123-138.
- Bezerra, M.O., Pinheiro, L., Morais, J.O., 2007. Shoreline Change of the Mucuripe Harbour Zones (Fortaleza-Ceará, Northeast of Brazil) 1972 - 2003. *Journal of Coastal Research* 50, 1163-1167.
- Boak, E.H., Turner, I.L. 2005. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research* 21, 688-703.
- Boori, M. S., Amaro, V. E. 2010. Land use change detection for environmental management: using multi-temporal, satellite data in Apodi Valley of northeastern Brazil. *Applied GIS International Journal* 6, 1-15. Disponível: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/31112/1/LandUseChange_AMARO_2010.pdf. Acesso: 12 dez. 2020
- Davis, Jr R. A., Duncan, M. F. 2004. *Beaches and coasts*. Blackwell Publishing, Oxford.
- Dolan, R., Hayden, B.P., Rea, C., Heywood, J., 1979. Shore-line erosion rates along the middle Atlantic coast of the United States. *Geology*, 7, 602–606.
- Duarte, C. R., de Miranda, F. P., Landau, L., Souto, M. V. S., Sabadia, J. A. B., Neto, C. A. da S., Rodrigues, L. I. de C., Damasceno, A. M., 2018. Short-time analysis of shoreline based on RapidEye satellite images in the terminal area of Pecém Port, Ceará, Brazil. *Int. J. Remote Sens.* 39 (13), 4376–4389. Disponível: <https://doi.org/10.1080/01431161.2018.1457229>. Acesso: 10 jan. 2020
- ESRI. Environmental Systems Research Institute. 2019. Software ArcGis Desktop, License Type Arcinfo, version 10.8.1
- Grigio, A. M. Amaro, V. E., Vital, H., Diodato, M. A. 2005. A method for Coastline Evolution Analysis Using GIS and Remote Sensing: a case study from the Guamaré City, Northeast Brazil. *Journal of Coastal Research* 42, 412-421.
- Himmelstoss, E. A., Henderson, R. E., Kratzmann, M. G., Farris, A. S. 2018. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 user guide: U.S. Geological Survey Open-File Report
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2019. Banco de Dados de Informações Ambientais (BDiA). Rio de Janeiro. Disponível: <https://bdiaweb.ibge.gov.br>. Acesso: 02 dez. 2020.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2013. Manual Técnico de Uso da Terra. Rio de Janeiro.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2015. Manual Técnico de Pedologia. Rio de Janeiro.
- INPE. Instituto Nacional de Pesquisa Espacial. 2020. SPRING 5.5.6. São José dos Campos. Disponível: <http://www.dpi.inpe.br/spring>. Acesso: 12 jan. 2021
- IPECE. Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará. 2014. Perfil Básico Municipal. Fortaleza. Disponível: http://www.ipece.ce.gov.br/publicacoes/perfil_basico/perfil-basico-municipal-2015. Acesso: 08 ago. 2020
- Koppen, W., Geiger, R. 1928. *Klimate der Erde*. Gotha: Verlag Justus Perthes. Wall-map 150cmx200cm.
- Luijendijk, A., Hagenaars, G., Ranasinghe, R., Baart, F., Donchyts, G., Aarninkhof, S. 2018. The state of the world's beaches. *Nature Scientific Reports* 8. <https://doi.org/10.1038/s41598-018-24630-6>
- Magini, C., Martins, A. H. O., Pitombeira, E. S. 2013. A Infraestrutura Portuária e suas Influências na Sedimentação Costeira na Vila do Pecém, Ceará, Brasil. *Geociências: UNESP, São Paulo* 32, 532-546. Disponível em: <http://ppegeo.igc.usp.br/index.php/GEOSP/article/view/7297>. Acesso: 01 jan. 2021.
- McFeeters, S.K. 1996. The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features.

- International Journal of Remote Sensing 17 (7), 1425-1432.
- Meireles A.J.; Silva, A. E.; Thiers, P.R.L. 2006. Os campos de dunas móveis: fundamentos dinâmicos para um modelo integrado de planejamento e gestão da Zona Costeira, Revista GEOUSP 20, 101-119. Disponível: <https://www.revistas.usp.br/geousp/article/view/74010>. Acesso: 12 dez. 2020.
- Santos, J. O. 2006. Vulnerabilidade Ambiental e Áreas de Risco na Bacia Hidrográfica do Rio Cocó–Região Metropolitana de Fortaleza–Ceará. Núcleo de Pós-graduação em Desenvolvimento Regional e meio Ambiente-PRODEMA. Universidade Federal do Ceará - UFCE. Dissertação (Mestrado em Meio Ambiente).
- Souza, C. R. De G., Suguio, K., Oliveira, A. M. S., Oliveira, P. E. 2005. Quaternário do Brasil. Holos Editora, Ribeirão Preto.
- Souza-Filho, P. W. M. 2000. Avaliação e aplicação de sensores remotos no estudo de ambientes costeiros tropicais úmidos, Bragança, norte do Brasil. Tese (Doutorado em Geologia e Geoquímica), Belém, UFPA.
- Souza-Filho, P. W. M; Paradella W. R. 2002. Recognition of the main geobotanical features along the Bragança mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. Wetlands Ecology and Management 10 (2), 121-130.
- USGS. United States Geological Survey. 2016. Using the USGS Landsat 8 Product. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 01 dez. 2020.
- USGS. United States Geological Survey. 2006. Using the USGS Landsat 5 Product. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso: 01 dez. 2020.
- USGS. United States Geological Survey. 1999. Using the USGS Landsat 7 Product. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Acesso em: 01 dez. 2020.