

Paper do NAEA

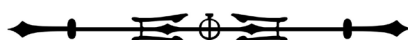
Volume 30, Número 1, Edição 530

Geotecnologias na análise da dinâmica costeira do estuário do Rio Caeté – Pará

Francisco Davy Braz Rabelo¹

Edson Vicente da Silva²

Adryane Gorayeb³



RESUMO

A área de estudo é o estuário do Rio Caeté (costa amazônica), localizado em uma área caracterizada por condições de macromarés, fortes correntes de maré, moderadas ondas de energia em seu setor inferior e alta precipitação pluviométrica na primeira metade do ano. O objetivo do estudo foi identificar mudanças no litoral deste estuário ao longo de cinco décadas através de dados orbitais. A metodologia baseou-se no uso de técnicas de processamento digital de imagens com dados de sensoriamento remoto, gerando uma análise multitemporal que abrange o período de cinco décadas (1973 a 2018). Imagens de plataformas orbitais passivas com a menor cobertura de nuvens possíveis foram obtidas por meio de pesquisas nos repositórios do Earth Explorer Geological Survey (USGS) e no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no Brasil (INPE), processo seguido de a montagem do banco de dados geográficos e a composição colorida de imagens de diferentes sensores. Através da ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS), que consiste na definição de transectos lineares retirados de uma única linha de base aplicada na avaliação de mudanças no litoral através de análises de imagens, diferentes áreas com sedimentação e erosão foram calculadas, identificadas e mapeadas, apontando para variações relacionadas a perdas sedimentares na zona intermaré e ganhos sedimentares (progradação) causados pelo transporte do material através das marés de sizígia. Embora as imagens de sensores passivos da costa amazônica apresentem uma cobertura de nuvens significativa, o uso da ferramenta DSAS na análise de tais imagens em um período de tempo maior e com um sistema de escala adequado provou ser bem-sucedido, o que ajuda na caracterização da investigou áreas e aponta para as mudanças observadas.

Palavras-chave: Geotecnologias. Linha de costa. Balanço sedimentar. Dinâmica costeira.

1 Mestre em Geografia e Professor da Universidade do Estado do Amazonas – UEA. E-mail: frabelo@uea.edu.br.

2 Doutora em Geografia e Professora da Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: adryanegorayeb@yahoo.com.br.

3 Doutor em Geografia e Professor da Universidade Federal do Ceará – UFC. E-mail: cacauceara@gmail.com.

ABSTRACT

The study area is the estuary of the Caeté River (Amazon coast), which is located in an area characterized by conditions of macro tides, strong tidal currents, moderate energy waves in its lower sector, and high rainfall precipitation in the first half of the year. The objective of the study was to identify changes in the coastline of this estuary in the course of five decades through remote sensing. The methodology was based on the usage of digital image processing techniques with remote sensing data, generating a multitemporal analysis that encompasses the period of five decades (1973 to 2018). Images of passive orbital platforms with the lowest possible cloud cover were acquired through research in the Earth Explorer repositories of the United States Geological Survey (USGS) and in the Image Catalog of the National Institute of Space Research in Brazil (INPE), process followed by the assembly of geographical data and the color composition of images of different sensors. Through the Digital Shoreline Analysis System (DSAS) tool, which consists of the definition of linear transects taken from a single base line applied in the evaluation of changes in the coastline through image analyses, different areas with sedimentation and erosion were calculated, identified, and mapped, pointing to variations related to sedimentary losses in the intermarine zone and sedimentary gains (progradation) caused by the transportation of the material via the tides of syzygy. Even though passive sensor images from the Amazon coast presented a significant cloud coverage, the usage of the DSAS tool in the analysis of such images in a larger time frame and with an adequate scale system proved to be successful, which helps in the characterization of the investigated areas and points to the observed changes.

Keywords: Geotechnologies. Coastline. Sedimentary balance. Coastal dynamics.

INTRODUÇÃO

A dinâmica costeira e os efeitos da erosão e progradação do litoral do Pará vêm sendo estudados por diferentes autores nas últimas décadas (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2000), com diversos trabalhos consolidando um panorama sobre a temática, elencando diversas teorias e evidências sobre as transformações ocorridas e suas consequências nas atividades antrópicas.

A zona costeira brasileira é assinalada por uma complexidade de formas e de interpretação sobre as mesmas; tradicionalmente, é caracterizada como litoral de rias, apresentando os denominados vales fluviais afogados ou reentrâncias, que são tipologias de estuários invertidos, formados pela oscilação das macromarés que erodem a margem do continente, formando uma série de reentrâncias (AB’SABER, 2000; AB’SABER, 2004). Alguns autores denominam de falsas-rias (EL-ROBRINI *et al.*, 2006; SOUZA FILHO *et al.*, 2000), por suas características climáticas e oceanográficas locais e em até em litoral com presença de penínsulas (COHEN, 2005).

Diversos fatores condicionam a dinâmica costeira, como variações do nível do mar, movimentos tectônicos, ação antrópica, balanço sedimentar (EL-ROBRINI *et al.*, 2006), sendo estes os agentes da progradação e erosão em diferentes pontos da costa. Os processos oceanográficos dominam a dinâmica da região, através da modelagem da costa brasileira, por meio de macromarés; um dos principais indicadores dessas oscilações são os manguezais (SOUZA FILHO *et al.*, 2006).

Existem diferentes elementos que podem ser utilizados para o estudo da dinâmica costeira, dentre estes a linha de costa é um dos mais utilizados como alusivo dessas variações (CALLIARI *et al.*, 2003). Mueher (1998) define linha de costa como um elemento que representa espacialmente as várias condicionadas pelas marés. Este é um importante indicativo no sistema praia das variações, por conta da posição da linha de costa ao longo do tempo, mas, ao mesmo tempo, sua delimitação constitui-se um desafio para os pesquisadores (MUEHER, 1998; CALLIARI *et al.*, 2003).

Segundo Boak e Turner (2005), existem diferentes elementos que são parâmetros para esses indicadores de variações, estando agrupado em três tipos: delimitado por alguma feição visível; delimitado pela variação do nível de água; ou delimitadas através de processamento digital de imagem, enfatizando elementos que não são visíveis ao olho humano.

Para a identificação dessas feições lineares às plataformas satélites os dados de sensoriamento remoto são importantes registros históricos da dinâmica dos ambientes costeiros, apesar das diferentes limitações muitas vezes apresentadas é possível sua utilização principalmente para a análise de tempo mais amplo.

Em produtos de sensoriamento remoto para determinação da linha de costa, pode-se basear através do limite existente entre a praia alta (“praia-verdadeira”) e a vegetação dunar ou mangue, sendo este um dos principais indicadores proposto por Boak e Turner (2005), pois é o limite de mais fácil identificação nas fotografias e responde bem à evolução de médio termo ou curto período (DUARTE *et al.*, 2018). Os melhores resultados são encontrados com produtos de altíssima resolução espacial (SEKOVSKI *et al.*, 2014).

Dessa forma, a avaliação das variações na linha de costa pode ser utilizada como ferramenta de prognóstico (SOUZA *et al.*, 2018), permitindo ações de planejamento e ordenamento costeiro, especialmente em áreas com ocupação intensa.

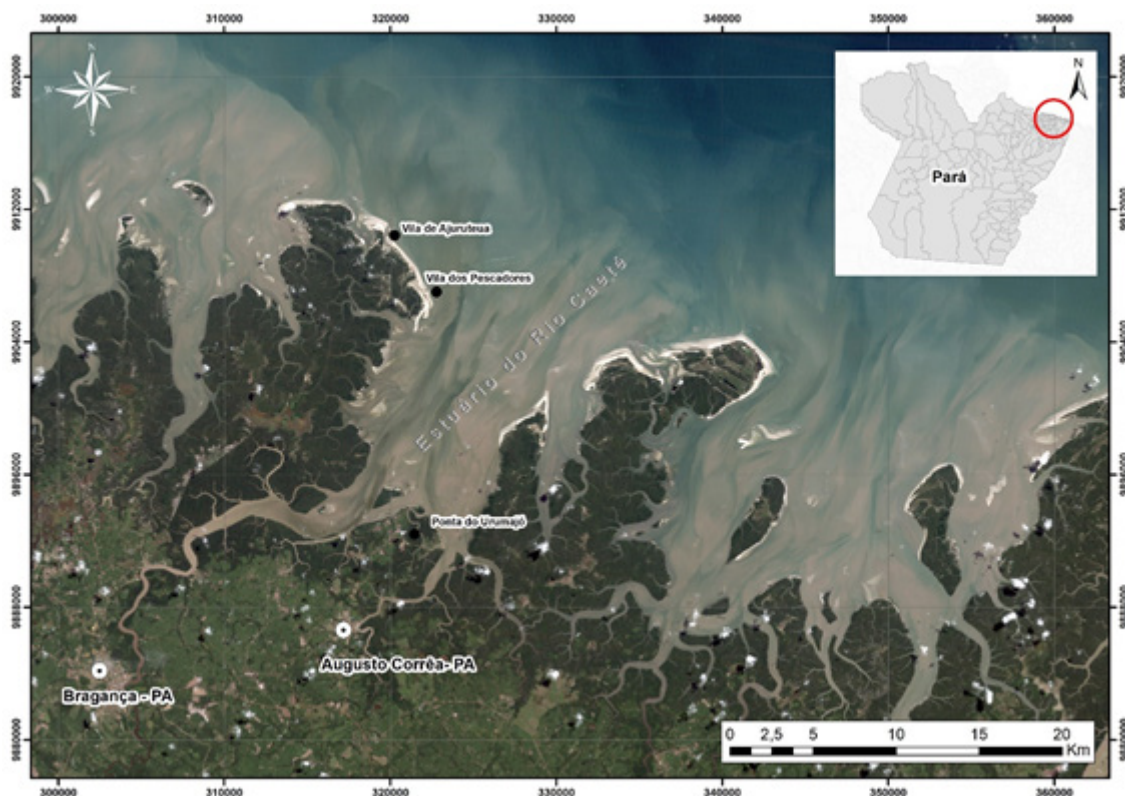
Normalmente, é utilizada na identificação da dinâmica em ambiente de morfologia praial, contudo, existem trabalhos que a utilizam em ambiente fluvial e estuarino (MILIGAN et al., 2010). Hunt (2018) e Biron et al. (2014) utilizam as variações históricas de linha de costa para mapear as variações no interior dos rios e nas planícies fluviais.

Nessa perspectiva, o objetivo do estudo foi identificar mudanças em alguns setores deste estuário, ao longo de cinco décadas, através de produtos de sensoriamento remoto, sendo este um método indireto por meio da ferramenta Digital Shoreline Analysis System (DSAS).

ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no nordeste do Estado do Pará, na região Bragantina, cerca de 210 km de Belém no Estuário do rio Caeté, situada na costa amazônica (Figura 01). Diversos estudos foram realizados caracterizando as condições ambientais da bacia hidrográfica e sua ocupação histórica (GORAYEB, 2008; GUIMARÃES et al. 2009; GORAYEB et al., 2009; GORAYEB et al., 2011). Condicionado por fatores oceanográficos o ambiente estuarino apresenta salinidade da água, com condições de macromarés e fortes correntes de maré, moderadas ondas, com elevada energia em seu setor inferior e fatores climatológicos como ventos, alta precipitação pluviométrica, apresentando chuvas abundantes de dezembro a maio, 70% do total anual, tendo como consequência a intensidade do intemperismo e da erosão nas praias locais (SOUZA FILHO et al., 2000; LIMA et al., 2000; EL-ROBRINI et al., 2006).

Figura 01: Mapa de localização do Estuário do Rio Caeté



Abreu (2008) realizou a modelagem pioneira no estuário do rio caeté, alertando a complexidade da modelagem estuarina da região, por conta da sua extensão, bancos de areis e manguezais. Foram caracterizadas a influência de macromarés semidiurnas com amplitude média de 5,6 m, apresentando correntes com 0,46 m/s de velocidade média e presença de ventos alísios com direção preferencial de NE com 7,5 m/s, sendo importantes variáveis no comportamento hidrodinâmico do estuário.

Do ponto de vista geológico, apresenta sedimentos quaternários (holocênico / pleistocênico), com ambientes inundáveis de sedimentação recente, enquanto os terraços são correlativos ao período pleistoceno superior, ou seja, quaternário antigo (BRASIL, 1973).

O quadro geomorfológico apresenta diferentes feições, em que sua formação e modelado estão condicionadas aos processos morfodinâmicos continentais, estuarinos e oceânicos, com estruturas denominadas de planície amazônica, litoral de rias e mangues e planícies e terraços costeiros (BRASIL, 1973; GORAYEB, 2008).

METODOLOGIA

Para fins de melhor aplicabilidade da ferramenta de avaliação foi selecionado o setor estuarino esquerdo do Rio Caeté, pois apresenta uma maior variedade de praias e formações arenosas, além de ter sua ocupação histórica mais acentuada e atividade econômica mais desenvolvida.

A metodologia baseou-se no uso de técnicas de processamento digital de imagens com dados de sensoriamento remoto, gerando uma análise multitemporal que abrange o período de cinco décadas (1973 a 2018), através da extensão Digital Shoreline Analysis System (DSAS).

Inicialmente, foram selecionadas imagens de plataformas orbitais passivas, com a menor cobertura de nuvens possíveis, obtidas por meio de pesquisas nos repositórios do Earth Explorer Geological Survey (USGS) e Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais no Brasil (INPE).

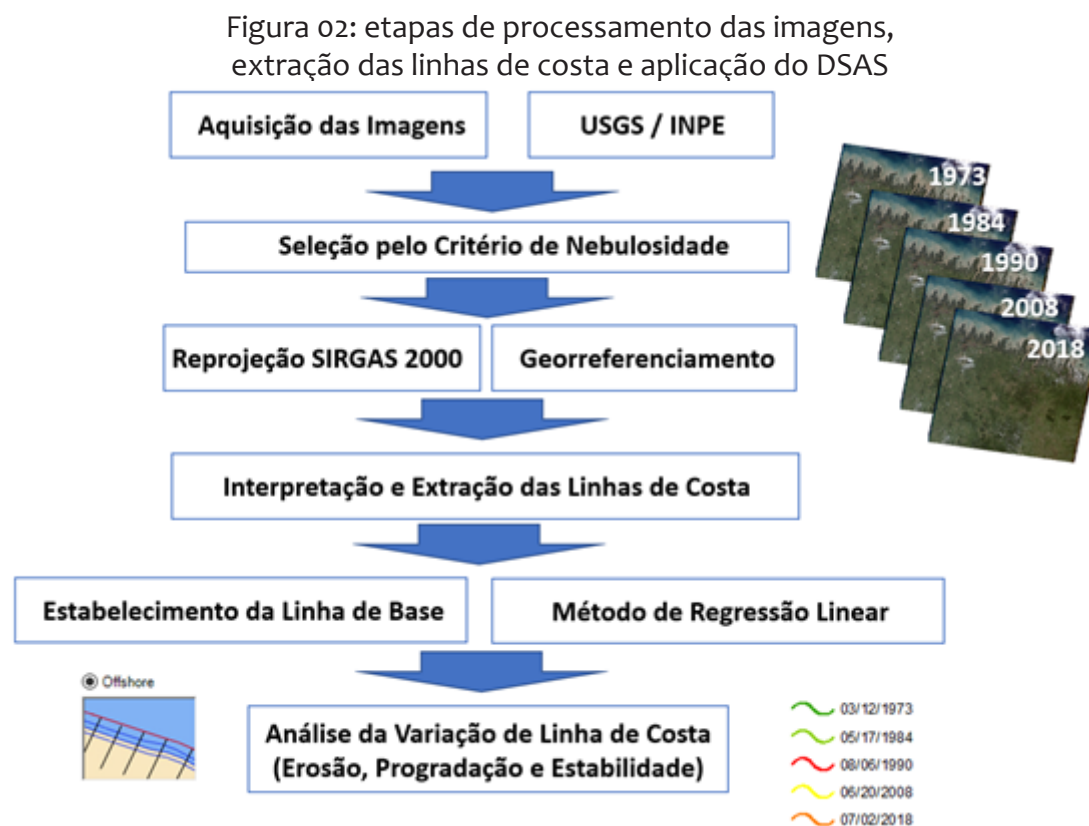
Foi realizado o processo de montagem do banco de dados geográficos, georreferenciamento das imagens que apresentavam algum descolamento evidente, utilizando-se como parâmetro o Erro Quadrático Médio (EQM) menor que 5,0. Por fim, com a composição de cores de imagens em falsa cor, ou no infravermelho para melhor interpretação das linhas de costa, define-se o parâmetro da linha de transição entre praia seca-molhada (BOAK e TURNER, 2005).

Nessa perspectiva, foram definidos os períodos de 1973, 1984, 1990, 2008 e 2018, (Quadro 01, Figura 02), por meio da seleção baseada na ausência ou menor incidência de nuvens disponíveis nos períodos de menor precipitação pluviométrica.

Quadro 01: Detalhamento dos sensores utilizados e hora de aquisição

Plataforma	Operação	Sensor	Resolução	Orbita	Ponto	Data	Horário
Landsat	1	MSS	80	222	61	12-03-73	12:37:05
Landsat	5	TM	30	222	61	27-03-84	12:37:52
Landsat	5	TM	30	222	61	06-08-90	12:47:20
Landsat	5	TM	30	222	61	20-06-08	12:47:57
Landsat	8	OLI	30	222	61	02-07-18	12:47:18

Abaixo, o fluxograma metodológico ilustra melhor o processo de elaboração do trabalho.



Adaptado de Himmelstoss, 2009.

O Digital Shoreline Analysis System (DSAS) é uma extensão desenvolvida pelo Earth Explorer Geological Survey (USGS), para o programa ArcGIS da empresa ESRI, em que são definidos transectos lineares paralelos a uma única linha de base, e são avaliadas as mudanças no litoral através linhas de costa extraídas da interpretação e análises de imagens; existem diferentes métodos estatísticos para essa análise (HIMMELSTOSS, 2009). Para a pesquisa em questão, foram utilizados o Ponto extremo (End Point Rate - EPR) e a Regressão linear (Linear Regression - LRR).

Os trechos de praia foram elaborados a partir da interpretação visual da faixa de praia no seu máximo de espraiamento da onda sobre a face praial registrada na imagem, sendo este o elemento que separa a areia úmida da areia seca a linha de costa, conforme metodologia proposta por Boak e Turner (2005). Importante destacar que por ser um elemento de interpretação, sua delimitação torna-se, de certo modo, subjetiva e algumas vezes sua delimitação não é possível de forma clara, pois normalmente está relacionada a algum problema na aquisição da imagem ou presença de elementos como nuvens e sombra de nuvens.

Posteriormente, foi definida a linha de base fora da costa (off shore), tendo em vista a configuração da ria, abrangendo toda a ocorrência dos transectos que correspondem às faixas de ocupação da praia.

Diferentes áreas com sedimentação e erosão foram calculadas, identificadas e mapeadas, apontando para variações relacionadas a perdas sedimentares na zona intermarina e ganhos sedimentares (progradação) causados pelo transporte do material através das marés de syzygy.

Foram gerados 32 transectos ortogonais à linha de costa espaçados entre 500 metros, sendo possível verificar o comportamento da linha de costa nos anos supracitados. Através do modelo de regressão linear simples, é possível avaliar as mudanças na linha de costa, indicando as variações.

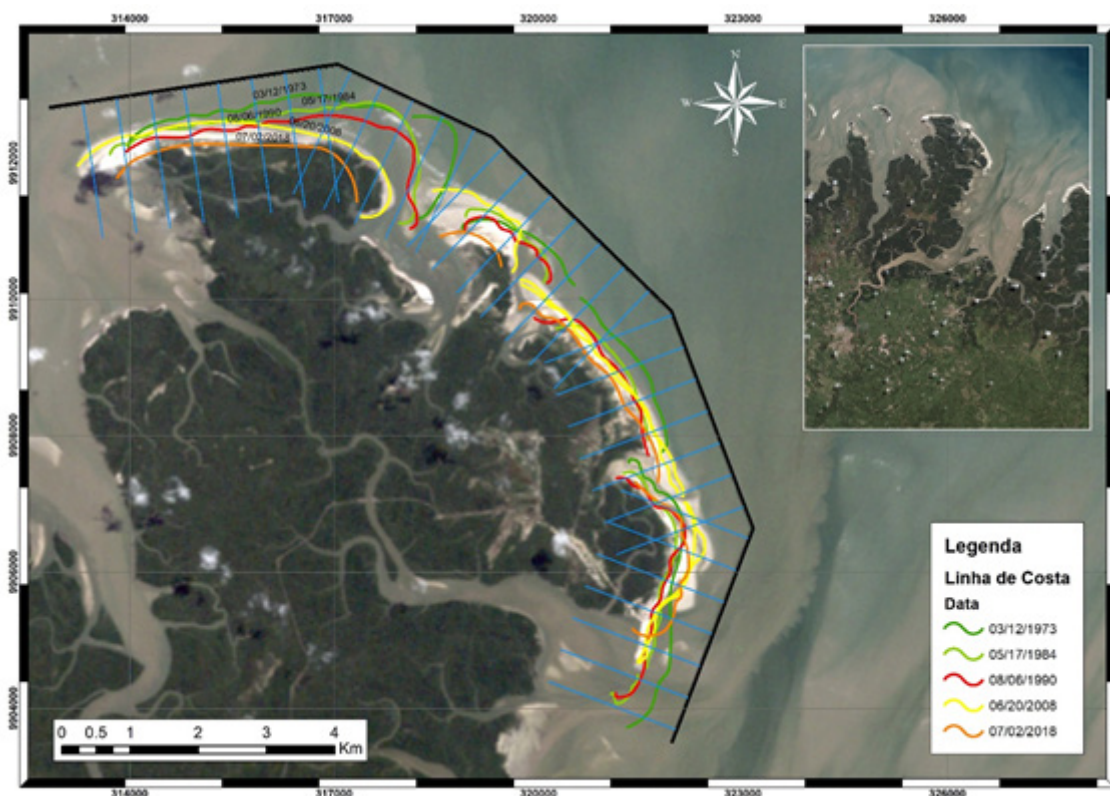
Associados à parte de processamento de imagens foram realizados trabalhos de campo em dezembro de 2018 e março de 2019 no estuário do Rio Caeté, realizando a verificação da verdade terrestre e evidenciando as modificações atuais na linha de costa.

Por fim, para uma melhor contextualização dos processos da dinâmica costeira, foram selecionadas algumas imagens de alta resolução espacial da plataforma Google Earth, em diferentes períodos, nas áreas que apresentaram maiores variações ao longo da série histórica, para fins de interpretação e corroborar melhor as evidências encontradas no processamento dos dados estatísticos com os processos acarretados nos ambientes estuários.

RESULTADOS

Tratando-se de um ambiente estuarino com morfologia estuarina, o indicador de linha de costa é complicado para ser estabelecido, em especial pela presença do manguezal. Para o trabalho, foi estimada a verdadeira posição da linha de costa.

Figura 03: Espacialização das linhas de costa dos anos interpretados com os respectivos transectos e a linha de base



Na interpretação das Linhas de costa sobrepostas à imagem de satélite do ano de 2008, através da composição colorida, é possível evidenciar o material arenoso nas bordas da

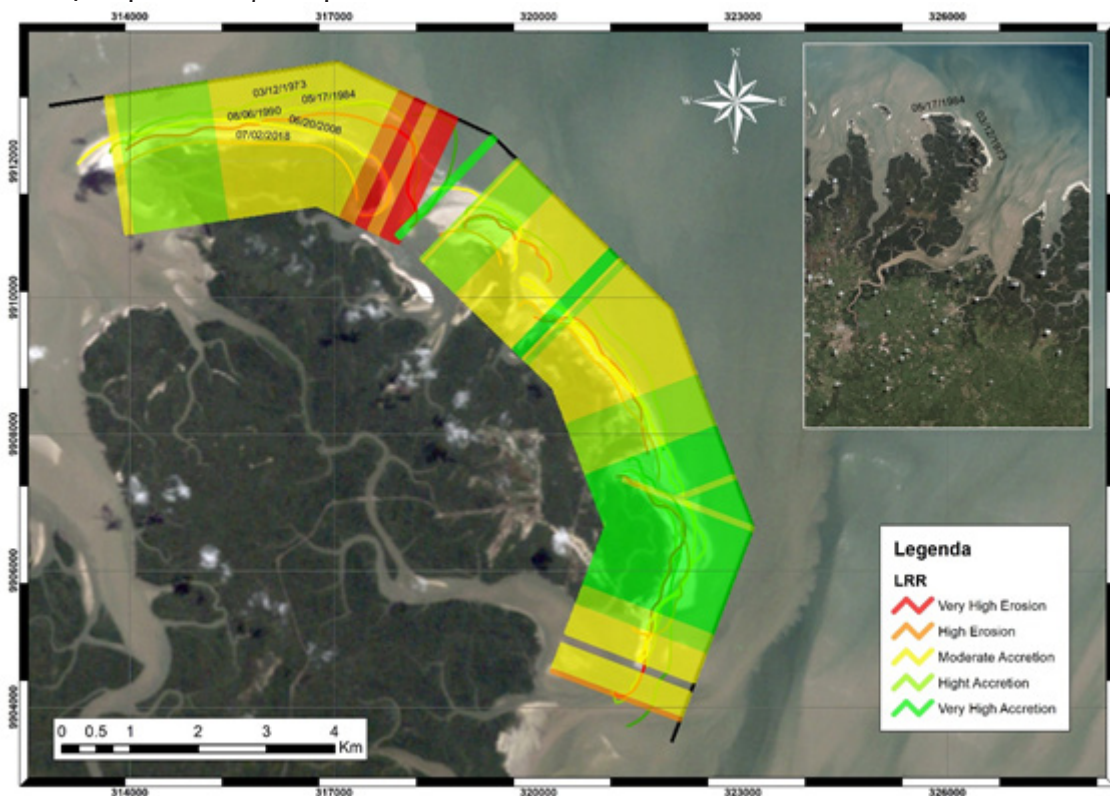
planície costeira e o material em suspensão ao longo do canal estuarino. Em destaque, são representados os 32 transectos, com espaçamento de 500 metros (Figura 03). A partir desses transectos, realizaram-se os cálculos estatísticos determinando as tendências de erosão e deposição em metros por ano.

Posteriormente, foram comparadas as imagens de alta resolução, disponíveis na plataforma Google Earth, com os recortes com variações mais extremas, ou seja, com significante erosão ou progradação.

Gráfico 01: tabulação dos dados pelos métodos EPR e LRR



Figura 04: Representação espacial do LRR definindo as áreas com maior erosão e sedimentação



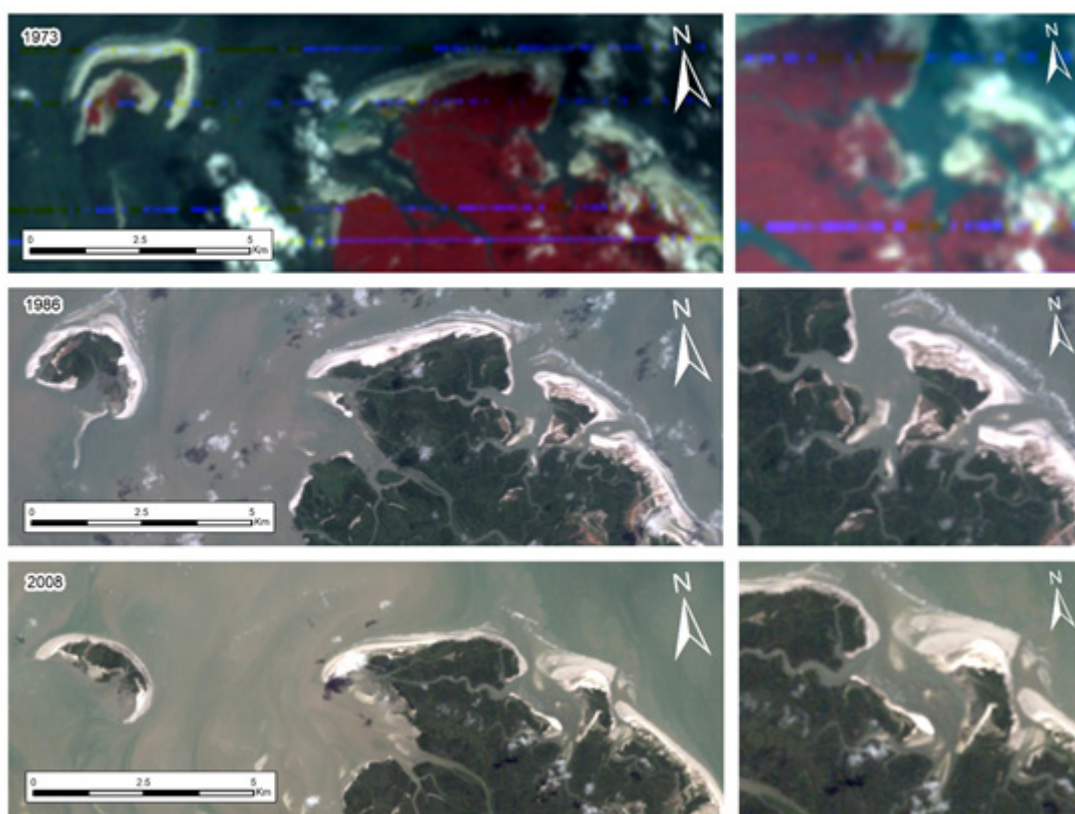
A comparação dos transectos nos diferentes métodos estatísticos (EPR e LRR) foi feita entre as linhas delimitadas de 1973, 1984, 1990, 2008 e 2018 (Gráfico 01 e Figura 04).

Após a análise dos resultados, foram observados máximos erosivos variando de 10 a 72 metros por ano. Foram também verificados, na parcela central e nordeste da área de estudo, dois picos deposicionais variando de 5 a 20 metros por ano. No método EPR, as taxas de variação em metros/ano consideram a linha de costa de 1987 e 2018, não levando em conta os períodos intermediários.

Já no método LRR por conta da regressão linear, a taxa é relacionada com a inclinação da reta obtida por meio da linha de base, levando-se em conta as variações interanuais (Figura 04).

As maiores variações de tendência nos métodos encontram-se na Praia de Ajuruteua e Vila dos Pescadores. Indicando elevada variabilidade entre a erosão / deposição em praticamente todo o setor estudado, contudo, há um predomínio da progradação em ambos os métodos EPR e LRR.

Figura 05: Setor leste da ria



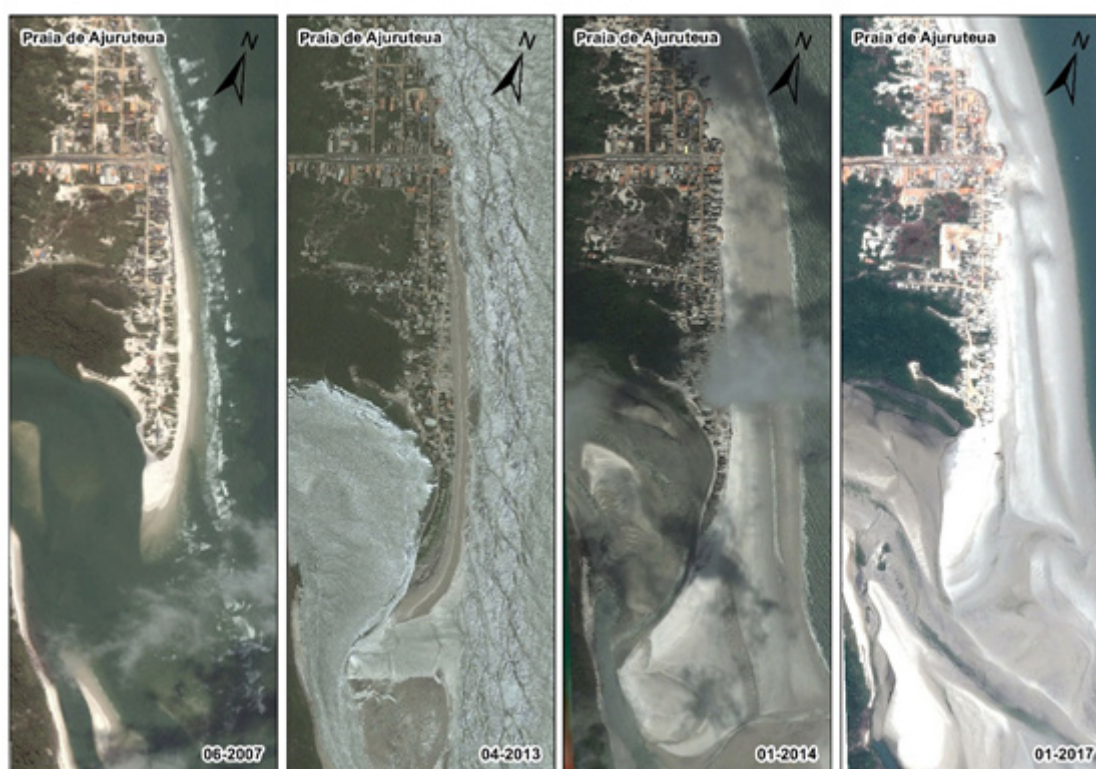
Essas alterações e o comportamento encontrados, possivelmente, estão relacionados com a morfologia de ria da área estudada, com sua dinâmica local através das variações de marés, eventos extremos relacionados ao aporte de água doce pelo canal estuarino, sedimentos associados ao balanço sedimentar e consequente evolução dos cordões arenosos / praia, justificando, sobretudo, os máximos e mínimos encontrados.

Três áreas dentro do contexto do estudo foram selecionadas para um maior detalhamento e interpretação dos resultados.

No contexto, apresentaram as maiores variações próximo à margem leste (Figura 05), associadas a um ambiente bastante complexo, com canais de marés, bancos de areia, ilhas, e apresenta as mais elevadas taxas de erosão de todo o setor estudado. Na figura é possível visualizar a dinâmica das formas ao longo do tempo, em que são alterados a direção e sentido das praias.

Do ponto de vista da ocupação, este setor não é habitado, provavelmente por conta do conhecimento histórico dos moradores e pela intensa dinâmica na sua morfologia com presença de ilhas, além de densa cobertura vegetal com mangue.

Figura 06: Praia de Ajuruteua

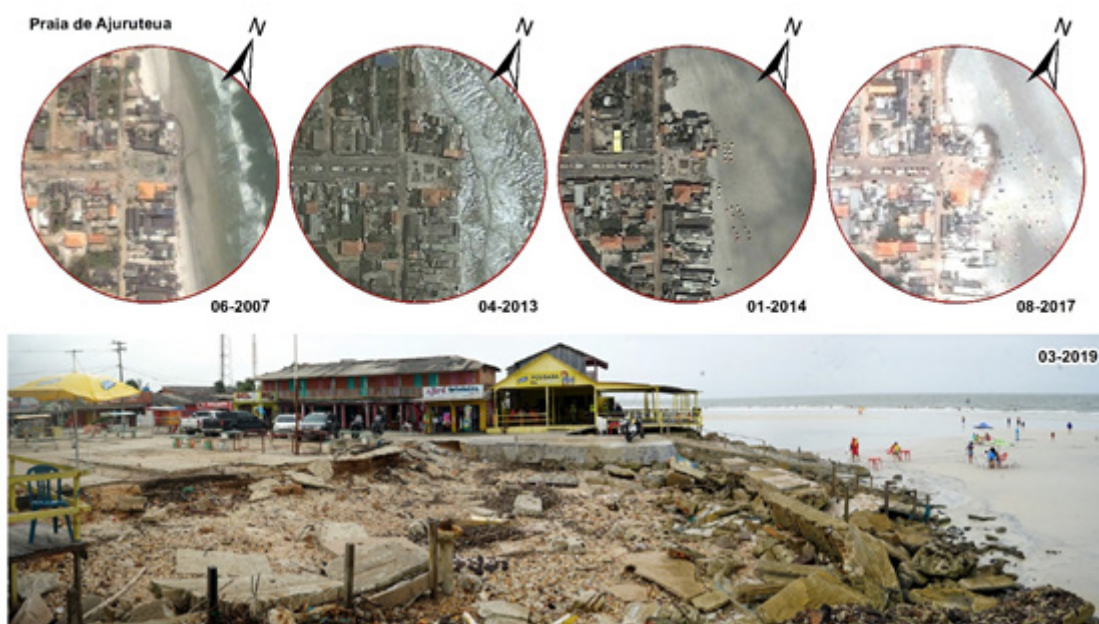


No segundo setor, correspondente à praia de Ajuruteua (Figura 06), sua ocupação ocorreu de forma desordenada a partir dos anos 1980, com ocupações ligadas ao comércio e à pesca (PEREIRA *et al.*, 2006), sendo uma das áreas mais turísticas do nordeste do Pará, importante para a economia local. Caracterizada como uma praia com padrão sazonal dissipativo (ALVES, 2001a), diversos trabalhos (ALVES, 2001b; SOUZA FILHO *et al.*, 2003; ALVES e EL-ROBRINI, 2006; PEREIRA *et al.*, 2006) destacam os processos dinâmicos e os problemas ocorridos ao longo dos anos na praia de Ajuruteua.

Nas imagens de alta resolução, é visível o processo de progradação no setor oeste do cortão arenoso com presença de dunas frontais que formam a praia de Ajuruteua, provavelmente indicando retirada de material de setor leste, alimentado pelo balanço sedimentar local. Foi possível verificar as mudanças na linha de costa com progressivo avanço no setor nordeste da ria, com cerca de 350 m metros (Figura 06).

Os trabalhos de Alves (2001) e Braga *et al.* (2007) elucidam que essas mudanças morfológicas são controladas pela sazonalidade climática e pelos processos costeiros, corroborando a evidência encontrada nas análises das imagens.

Figura 07: Evidências do processo erosivo na orla de Ajuruteua, calçadão e estrutura de coreto para visitantes foram destruídos pela ação das marés



Apesar de em uma escala mais amplas ocorrerem processos de deposição, em níveis locais os impactos dessas variações constantes são evidentes pela erosão em trechos com construção ou algum tipo de intervenção antrópica, como fica evidente ao final da via principal da praia onde haveria uma praça e um antigo coreto (Figura 07). Possivelmente, os níveis de progradação e erosão demonstram as varrições relacionados ao nível relativo do mar e do balanço sedimentar da área, além da configuração extensa da praia em períodos de macromarés, que atualmente encontram-se ocupadas.

Na terceira área da série histórica analisada no DSAS, foi possível verificar uma mudança significativa no setor da Vila dos Pescadores entre 1973 e 2018. Na Figura 08, são destacados alguns recortes representativos com imagens de alta resolução extraídas do Google Earth.

Figura 08: Cordão arenoso em 2007, formação de bancos de areia nos anos de 2015 e 2018. No círculo vermelho é possível observar área com sedimentação e mortandade de mangue



Durante trabalho de campo, foi possível verificar in loco a região em destaque no círculo vermelho em dezembro de 2018 (Figura 09). As áreas com progradação são evidenciadas pela acumulação de material arenoso em setores ocupados por bosques de manguezal, sendo evidente a mortandade relacionada aos processos deposicionais.

Figura 09: Vila dos Pescadores, setor nordeste da ria, apresentando área com sedimentação arenosa e mortandade de manguezal



O setor estuarino da margem direita, que não foi enfatizado na análise, apresenta pequenas praias arenosas e a formação de algumas ilhas pela ocupação de bosque de mangue em bancos arenosos.

Figura 10: Outro setor que não foi analisado foi na Ponta do Urumajó



Uma das áreas verificadas para trabalhos futuros foi o banco de areia a leste da comunidade de Ponta do Urumajó. Atualmente constituindo uma ilha fluvial, na Figura 10 é destacada a inexistência da mesma em 1973; sua consolidação ocorreu em 2010 e em 2019, e foi realizado um campo em uma área que está sendo colonizada por novas espécies de mangue.

Os resultados alcançados permitiram evidenciar espaço-temporalmente o comportamento da linha de costa de alguns trechos do estuário do rio Caeté que exibem faixas de praias mais significativas, sendo por fim um dos principais destaques de mudança o balanço sedimentar resultante de processos costeiro de curto, médio e longo prazo. As áreas que apresentam intervenções antrópicas são impactadas principalmente por conta da construção de estruturas inadequadas em ambientes de praia e ou banco de areias, que muitas vezes são submersos nos períodos de marés mais intensas. Algumas hipóteses foram levantadas e possíveis evidências de modificações foram apresentadas através das ferramentas dispostas.

Em suma, embora as imagens de sensores passivos da costa amazônica apresentem uma cobertura de nuvens significativa, o uso da ferramenta DSAS na análise de tais imagens em um período de tempo maior e com um sistema de escala adequado provou ser bem-sucedido quando associado aos trabalhos de campo e outros produtos de sensoriamento remoto, o que ajuda na caracterização da investigação ou de áreas e aponta para as mudanças observadas.

CONCLUSÕES

Na carência de métodos de levantamento direto, que utilizam técnicas como nível topográfico, estação total multicaminhamento com receptor GNSS etc. Os produtos disponibilizados pelas missões do Landsat são alternativas viáveis, resguardando-se as limitações já citadas e as mais básicas ligadas à escala, resolução e disponibilidade dos dados.

Dessa forma, o método indireto, através de dados de sensoriamento remoto passivo, apesar das limitações ligadas ao processo de aquisição influenciada em grande parte pela interação entre a energia, superfície terrestre e sensor, apresenta grande potencial nas escalas temporais mais amplas. Todavia, em áreas intertropicais, elementos como a nebulosidade, evapotranspiração e demais condicionantes limitam a disponibilidade de um acervo mais amplo de imagens.

Portanto, são necessários estudos relacionados ao balanço sedimentar da baía do caeté, para uma melhor compreensão de forma mais efetiva do papel da descarga de sedimentos ao longo do rio no setor do baixo curso.

Outra questão é o Monitoramento em escala de detalhe através de produtos de sensoriamento remoto com escala grande e levantamentos em campo com instrumentos mais precisos na área da baía. Além do monitoramento em escala de detalhe através de produtos de sensoriamento remoto de alta resolução espacial e temporal, associados com levantamentos em campo com instrumentos mais precisos na área.

Por fim, a compreensão da dinâmica costeira, mesmo que por métodos indiretos, é uma importante ferramenta para o diagnóstico dos processos atuantes e suas repercussões nas diversas atividades que são desenvolvidas na zona costeira bragantina, seja por sua ocupação histórica ou, pela sua importância econômica na região e os serviços ecossistêmicos prestados pelo ecossistema manguezal.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Fundação Cearense de Apoio ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico (FUNCAP), através da concessão de bolsa de estudo, e do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro do projeto de pesquisa MCTI/CNPq/Universal N° 01/2016.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB’SABER A.N. *Amazônia: Do Discurso à Práxis* – 2ed. – São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo, 2004.

AB’SABER. A.N. Fundamentos de geomorfologia costeira do Brasil atlântico Inter e Subtropical. *Revista brasileira de geomorfologia*, volume 1 nº1(2000) 27-43.

ALVES, M.A.M.S. (2001). *Morfodinâmica e Sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará*. Belém: Universidade Federal do Pará. Centro de Geociências. Dissertação de Mestrado. 104pp.

ALVES, M.A.M.S.; EL-ROBRINI, M. (2006). *Morphodynamics of the Macrotidal Beach: Ajuruteua, Bragança – North Brazil*. *Journal of Coastal Research*, SI 39 (Proceedings of the 8th International Coastal Symposium), pp. 1848–1850.

BIRON, Pascale M. Thomas Buffin-Be´langer • Marie Larocque • Gue´nole´ Chone´ • Claude-Andre´ Cloutier • Marie-Audray Ouellet • Sylvio Demers • Taylor Olsen • Claude Desjarlais • Joanna Eyquem. Freedom Space for Rivers: A Sustainable Management Approach to Enhance River Resilience. *Environmental Management* (2014) 54:1056–1073 DOI 10.1007/s00267-014-0366-z

BOAK, E.H. TURNER, I.L. Shoreline definition and detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, v.21, n. 4, p. 688-703. 2005.

BRAGA, F.P.S.; SOUZA FILHO, P.W.M.; ALVES, M.A.M.S.; PEREIRA, L.C.C. (2007). Morfologia e sedimentologia da praia de macromaré de Ajuruteua, Amazônia, Norte do Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, 60-61, pp. 11-30.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. *Projeto Radambrasil*. Levantamento de recursos naturais. v. 3, folha SA. 23, São Luís e parte da folha SA 24 Fortaleza. Rio de Janeiro, 1973. Escala 1: 250.000.

COHEN MCL, Souza Filho PWM, Lara RJ, Behling H, Angulo RJ. A model of Holocene mangrove development and relative sea-level changes on the Bragança Peninsula (Northern Brazil). *Wetlands Ecology and Management* 2005;13:433–43.

DUARTE, Cynthia Romariz, MIRANDA, Fernando Pellon de. Luiz Landau, Michael Vandesteen Silva Souto, José Antonio Beltrão Sabadia, Claudio Ângelo da Silva Neto, Linara Ivina de Castro Rodrigues & Aline Moreira Damasceno (2018): Short-time analysis of shoreline based on RapidEye satellite images in the terminal area of Pecém Port, Ceará, Brazil, *International Journal of Remote Sensing*, 2018. DOI: 10.1080/01431161.2018.1457229

EL-ROBRINI, M. SILVA, M..M.A.da. SOUZA FILHO, P. W. M e. EL-ROBRINI, M. H.S. SILVA JR, O.G.da. FRANÇA, C. F. de. Pará. In. MUEHE, Dieter [Org]. *Erosão e Progradação no Litoral Brasileiro*. Brasília: MMA, 2006. 476 p.

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Condições Ambientais em áreas urbanas da bacia hidrográfica do rio Caeté, Amazônia Oriental, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 9, 2, 59-70, 2009.

GORAYEB, A.; LOMBARDO, M. A.; PEREIRA, L. C. C. Natural conditions and environmental impacts in a coastal hydrographic basin in the Brazilian Amazon. *Journal of Coastal Research*, Sl. 64, 1340-1344, 2011.

GUIMARÃES, D. O.; PEREIRA, L. C. C.; MONTEIRO, M. C.; DA COSTA, R. M. Aspectos Socioeconômicos e Ambientais das Comunidades Rurais da Bacia Hidrográfica do Rio Caeté (Pará-Brasil). *Revista da Gestão Costeira Integrada*, 9, 2, 71-84, 2009.

HIMMELSTOSS, E.A. *DSAS 4.0 Installation Instructions and User Guide* in: THIELER, E.R., HIMMELSTOSS, E.A., ZICHICHI, J.L., and ERGUL, AYHAN. 2009 Digital shoreline analysis system (DSAS) version 4.0 — An ArcGIS extension for calculating shoreline change: U.S. Geological Survey Open-File Report 2008-1278. v. 4.3. 2009.

HORN, N. Ilha de Santa Catarina In: MUEHE, D. (Org.). (2006) - *Erosão e progradação do litoral brasileiro*, 476 p., Brasília: Ministério do Meio Ambiente. Brasil. 85-7738-028-9.

IBGE. *Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil / IBGE, Diretoria de Geociências*. 173p. ISBN: 9788524042195. Rio de Janeiro. 2011.

JENSEN, J. R. *Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres*. John Jensen; Tradução: José Carlos Neves Epiphanyo (coordenador – São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009.

MIRANDA, L. B., CASTRO, B. M., KJERFVE, B. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo: Ed. da Universidade de São Paulo, 2002.

MMA, MISTERIO DO MEIO AMBIENTE. *Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil*. Orgs. Zamboni, A; Nicolodi, J. L. 242p. ISBN 978-85-7738-112-8. Brasília. 2008.

MUEHE, D. *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. 476p. ISBN 85-7738-028-9. Brasília. 2006.

MUEHE, D.1998. *O litoral brasileiro e sua compartimentação*. In: Cunha, S. B.& Guerra, A. J. T. (Orgs). *Geomorfologia do Brasil*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. p.273-349.

SOUZA FILHO PWM, Paradella WR. Recognition of the main geobotanical features along the Braganca mangrove coast (Brazilian Amazon Region) from Landsat TM and RADARSAT-1 data. *Wetlands Ecology and Management* 2002;10:123–32.

SOUZA FILHO PWM, Paradella WR. Use of Synthetic Aperture Radar for Recognition of Coastal Geomorphological Features, Land-Use Assessment and Shoreline Changes in Bragança coast, Pará, Northern Brazil. *Annals of the Brazilian Academy of Science* 2003, 75:341–56.

SOUZA FILHO, P. W. M.; MARTINS, E.S.F. ; COSTA, F.R. Using mangroves as geological indicator of coastal changes in the Bragança macrotidal flat, Brazilian Amazon: an approach from remote sensing data and GIS. *Ocean & coastal management*, Netherlands, v. 49, n. 7-8, p. 462-475, 2006.

SOUZA FILHO, P.W.M.; EL-ROBRINI, M. (1996). Morfologia, Processos de Sedimentação e Litofácies dos Ambientes Morfo-Sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil”. *Geonomos*, 4 (2), pp. 1-16.

SOUZA FILHO, P.W.M.; TOZZI, H.A.M.; EL-ROBRINI, M. (2003). “Geomorphology, Land-use and Environmental Hazards in Ajuruteua Macrotidal Sand Beach, Northern Brazil”. *Journal of Coastal Research*, 35, pp. 580-589.

SOUZA, C. R. G. A Erosão Costeira e os Desafios da Gestão Costeira no Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. 2009.

VILES, H. SPENCER, T. *Coastal problems: geomorphology, ecology and society at the coast*. London: Edward Arnold. pp 352. ISBN: 0340 62540 6. 1995

WILLAMYS R. N. de Sousa, MICHAEL V. S. Souto, Stefanny S. Matos, Cynthia R. DUARTE, Ana R. G. N. L. SALGUEIRO & Cláudio A. da Silva NETO. Creation of a coastal evolution prognostic model using shoreline historical data and techniques of digital image processing in a GIS environment for generating future scenarios, *International Journal of Remote Sensing*, 2018. DOI: 10.1080/01431161.2018.1455240.