

ANÁLISE DA GEODINÂMICA COSTEIRA ATRAVÉS DE SENSORIAMENTO REMOTO NA BAÍA DO TUBARÃO – MARANHÃO, BRASIL

ANALYSIS OF COASTAL GEODYNAMICS THROUGH REMOTE
SENSING IN TUBARÃO BAY - MARANHÃO, BRAZIL

ANÁLISIS DE LA GEODINÁMICA COSTERA MEDIANTE
TELEDETECCIÓN EN LA BAHÍA DE TUBARÃO - MARANHÃO, BRASIL

Deuzanir da Conceição Amorim Lima¹

 0009-0009-8432-5016
deuzaniroceano@gmail.com

Marco Aurélio Neri Torres²

 0000-0002-1114-518X
marco.torres.geo@gmail.com

José Mauro Palhares³

 0000-0001-9311-1049
jmpalhares@gmail.com

Ano XXVII - Vol. XXVII - (3): Janeiro/Dezembro - 2023

www.agbauru.org.br
ISSN Online: 2675-5122 • ISSN-L: 1413-7461
Geográfica

CIÊNCIA

1 Mestre em Geografia, Natureza e Dinâmica do Espaço. Pesquisadora no Laboratório de Geociências e no Grupo de Pesquisa em Geomorfologia e Mapeamento da Universidade Estadual do Maranhão. ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-8432-5016>. E-mail: deuzaniroceano@gmail.com.

2 Mestre em Geografia pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciência e Tecnologia de Presidente Prudente - SP. Professor Substituto da Educação Básica, Técnica e Tecnológica (EBTT) do Instituto Federal do Maranhão - Campus de Pedreiras. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1114-518X>. E-mail: marco.torres.geo@gmail.com.

3 Doutor em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. Professor vinculado a Pós-graduação Lato Sensu em Geografia Oiapoque e do Programa de Pós-Graduação em Geografia (mestrado) PPGeo/UNIFAP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9311-1049>. E-mail: jmpalhares@gmail.com.

Artigo recebido em abril de 2023 e aceito para publicação em julho de 2023.



Este artigo está licenciado sob uma Licença
Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional.

RESUMO: A geomorfologia costeira é definida por vários fatores geodinâmicos que atuam sobre a zona costeira, dentre os principais influenciadores, estão a pluviosidade, a descarga fluvial, a corrente litorânea e outros. O trabalho teve como intuito realizar uma análise temporal da área norte da Baía de São José. Para isso, foram adquiridas imagens do satélite da série Landsat 05 e 08 dentro do intervalo de 1988 a 2015, com a menor cobertura de nuvens possível para que o trabalho não fosse comprometido. As imagens adquiridas e depois tratadas passaram pela análise integrada dos fatores atuantes na geomorfologia. Foram identificados 7 pontos de alteração, dos quais as maiores partes indicam fortes processos de sedimentação. Essas alterações podem causar consequências danosas a longo prazo para as comunidades locais.

Palavras-chave: Geomorfologia Costeira. Geodinâmica. Sensoriamento Remoto. Baía do Tubarão.

ABSTRACT: Coastal geomorphology is defined by several geodynamic factors that act on the coastal zone, among them the main influencers are rainfall, river discharge, coastal current and others. The objective of this work was to carry out a temporal analysis of the northern area of the São José Bay. For this, satellite images of the Landsat 05 and 08 series were acquired within a range from 1988 to 2015, with the lowest possible cloud cover for that the work was not compromised. The images acquired and then treated went through the integrated analysis of the factors acting in geomorphology. 7 alteration points were identified, of which the major parts indicate strong sedimentation processes. Such changes can have harmful long-term consequences for local communities.

Keywords: Coastal Geomorphology. Geodynamics. Remote Sensing. Tubarão Bay.

RESUMEN: La geomorfología costera se define por varios factores geodinámicos que actúan sobre la zona costera, entre los principales influenciadores se encuentran las precipitaciones, la descarga de ríos, la corriente costera y otros. El estudio tuvo como objetivo realizar un análisis temporal de la zona norte de la bahía de São José. Para ello, se adquirieron imágenes satelitales de las series Landsat 05 y 08 dentro del rango de 1988 a 2015, con la menor cobertura de nubes posible para que el trabajo no se viera comprometido. Las imágenes adquiridas y luego tratadas pasaron por el análisis integrado de los factores que actúan en la geomorfología. Se identificaron 7 puntos de alteración, de los cuales las partes más grandes indican fuertes procesos de sedimentación. Estos cambios pueden tener consecuencias perjudiciales a largo plazo para las comunidades locales.

Palabras clave: Geomorfología costera. Geodinámica. Teledetección. Bahía de Tubarão.

INTRODUÇÃO

No Brasil e no mundo têm-se desenvolvido inúmeros trabalhos científicos para entender os processos geodinâmicos que incidem sobre a costa dos continentes, uma vez que estes alteram a configuração morfológica das zonas costeiras. O Brasil em particular possui uma extensa região litorânea ainda pouco explorada se comparada à quantidade de área a ser trabalhada. Há uma escassez, inclusive, de trabalhos simples de caracterização, seja no âmbito da Geografia, da Geologia, da Oceanografia, da Biologia ou de quaisquer outras ciências que possam explorar nesses ambientes.

A zona costeira é um ambiente predominantemente dinâmico, fato que se dá principalmente por conta da ação de elementos como a maré, o vento, a declividade, a batimetria e a presença ou ausência de vegetação. Segundo Cardoso (2015) a dinâmica costeira provoca constantes modificações geomorfológicas na linha de costa com o passar do tempo. Essas modificações estão principalmente associadas a processos de erosão e sedimentação que podem facilmente ser observadas através de sensoriamento remoto. O uso das técnicas de sensoriamento remoto para monitoramento de áreas costeiras tem ganhado espaço no âmbito da pesquisa científica uma vez que reduz custos e permite monitorar áreas de grandes extensões. Além de poder servir de subsídio para o gerenciamento de zonas costeiras prevenindo consequências danosas à sociedade e ao ambiente e prevenindo um planejamento deficiente do manejo de ecossistemas.

É possível observar, por exemplo, alterações na geomorfologia costeira a curto, médio e longo prazo dependendo da resolução temporal do satélite selecionado para adquirir as imagens. A resolução espectral e espacial do sensor a bordo do satélite também é importante para contextualizar as modificações detectadas pelo observador, pois a refletância da água é alterada quando há o acúmulo de material em suspensão facilitando assim a detecção de pontos de sedimentação em corpos d'água. Essas alterações geomorfológicas podem ser causadas tanto por fatores antrópicos quanto por fatores naturais, ou ainda pela ação integrada dos dois.

O presente trabalho objetivou fazer uma análise multitemporal da geodinâmica costeira da Baía do Tubarão através de sensoriamento remoto identificando pontos de erosão e sedimentação a fim de associar estes aos processos geodinâmicos relacionados.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

A geodinâmica trata, como o próprio nome sugere, da dinâmica da Terra. Na Geologia e Geofísica é normal utilizar o termo geodinâmica externa para se referir a processos geomorfológicos de um modo geral em que ocorrem na superfície da crosta terrestre e o termo geodinâmica interna para transformações que ocorrem no interior da Terra. Para este trabalho entende-se que, considerando a etimologia da palavra, sendo *Geo = Terra, Dinâmica = Transformações e Costeira = Processos que ocorrem na área costeira do continente*, a geodinâmica costeira é a área da ciência que abarca as pesquisas que estudam a dinâmica da Terra no ambiente da zona costeira.

Os processos dinâmicos responsáveis pela evolução das feições que integram as unidades de paisagem na zona costeira são bastante incisivos e agem de forma integrada na modelagem da linha de costa. Os movimentos externos que atuam na superfície da Terra caracterizando esses processos são chamados de processos exógenos e englobam, além do intemperismo físico, químico e bioquímico, a erosão que se refere à remoção do material intemperizado e a acumulação na qual o material removido e transportado pela erosão é depositado (FLORENZANO, 2008).

De acordo com o estudo socioambiental feito por Soares (2017) na Baía do Tubarão para a construção de uma Reserva Extrativista (Resex), a Baía envolve 13 comunidades que vivem em sua área. Ainda segundo Soares (2017) os pescadores e marisqueiras nativos da Baía estão distribuídos tanto em terra firme como nos apicuns e nas ilhas. Diante disso, fica claro que quaisquer alterações geomorfológicas atingem diretamente essas comunidades.

Além disso, a biodiversidade é exuberante e relativamente preservada nessa área se considerarmos, por exemplo, o frequente avistamento de peixe boi levantado pelo estudo, que é considerada a maior população já registrada no Nordeste desde 1999 (ALVITE, 2006).

Macedo (1989) explica ainda que o padrão de mistura desenvolvido nessas condições estuarinas propicia a formação do exuberante cinturão de vegetação arborescente que por sua vez desencadeia a alta produtividade e fertilidade no Golfão, contribuindo para o estabelecimento de uma cadeia biológica vasta e complexa.

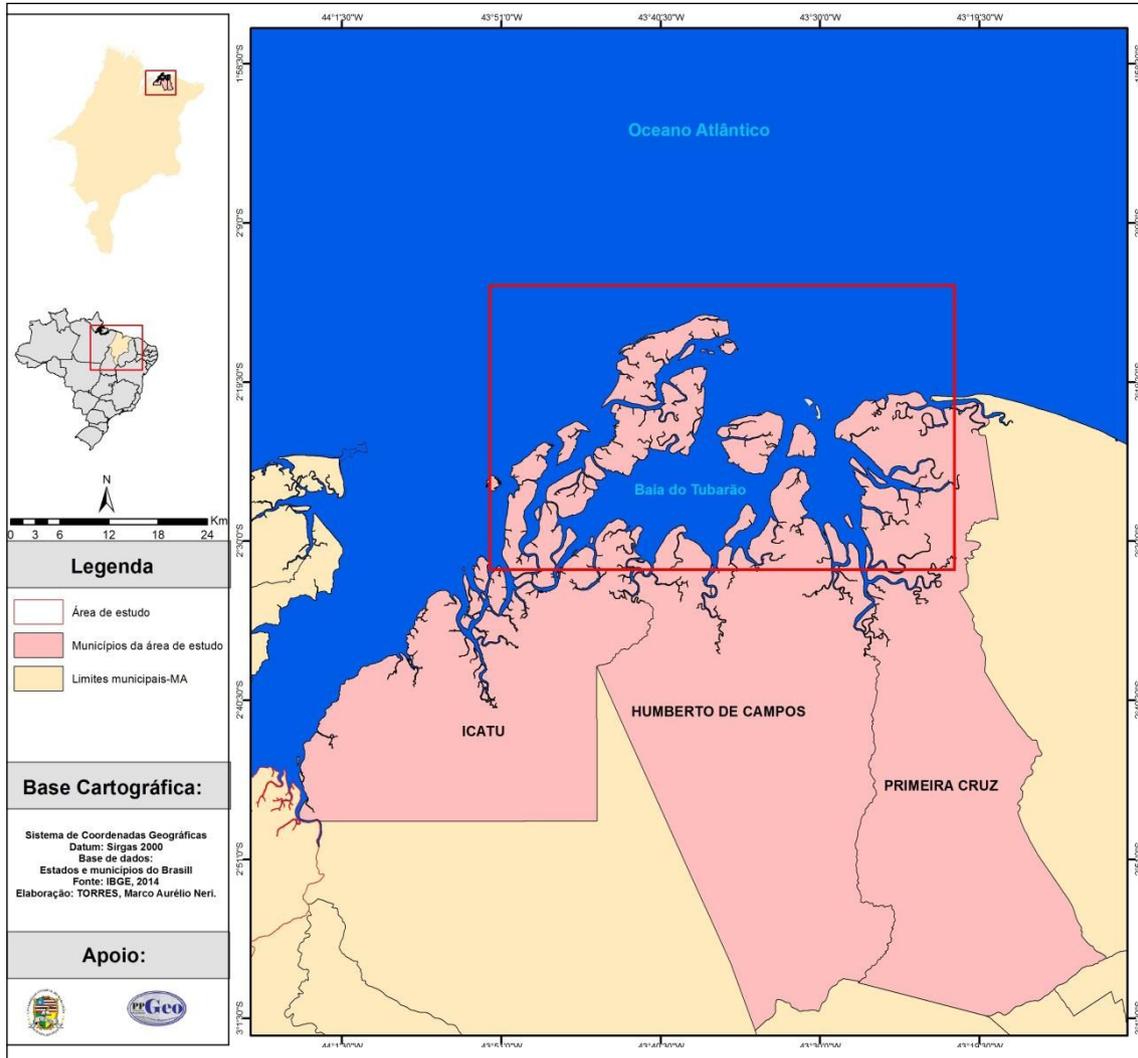
Por conta desses processos de interação típicos de ambientes costeiros, essas regiões litorâneas são alvo de interesse de muitos cientistas e planejadores, tornando assim indispensável conhecer as causas e avaliar os meios de mitigar os efeitos gerados pela erosão nessas áreas (SOUSA, 2007).

METODOLOGIA

Área de Estudo

A Baía do Tubarão localiza-se a leste do Golfão Maranhense e limita-se a oeste pelas ilhas que fazem divisa com a Baía de São José e a leste com bacia hidrográfica do Periá (Figura 01), abrangendo os municípios Icatu, Humberto de Campos e Primeira Cruz. Tem sido alvo de estudos a fim de estabelecer a Resex da Baía do Tubarão. Segundo Gonçalves (2005) está situado entre dois setores fisiograficamente bem distintos, sendo um a leste da Baía onde dominam praias arenosas e o outro a oeste onde predominam as planícies de maré lamosa.

De acordo com a classificação de Köppen (1928) apresenta clima do tipo Aw', sendo tropical chuvoso, quente e úmido, enquadrando-se entre os padrões equatorial e tropical, com a demarcação de duas estações bem distintas marcadas pelas precipitações, sendo um chuvoso (janeiro a junho) e outro de estiagem (julho a dezembro).



Fonte: Elaborado a Partir do IBGE (2010).

Figura 1. Mapa de localização da Baía do Tubarão.

Os povoados vivem em sua grande maioria da pesca, embora a produção de sal tenha significativa notoriedade em alguns povoados como São Lucas que se destaca com técnicas de produção mais desenvolvidas incluindo embalagens e Curralinho que ainda mantem a produção artesanal, apesar da diferença a produção, a fabricação nos dois é feita da mesma maneira, através de construção de tanques e sistemas de barragens *in situ* que são alimentados com águas da maré utilizando apenas a radiação solar como artifício de evaporação. Outra fonte de renda que se destaca nessa região é a extração de caranguejos que é tão significativa que sustenta toda uma economia local baseada na exportação de patas de caranguejos para abastecer restaurantes de outros municípios.

Alguns povoados não possuem energia, como é o caso da Ilha Grande onde foram instaladas placas solares. Muitos não possuem saneamento básico como sistema de esgotos, o que nos leva a sugerir um trabalho de invasão da cunha salina nos aquíferos locais e outro de qualidade da água subterrânea nas comunidades da Baía.

Aquisição das Imagens

Foram adquiridas imagens do satélite Landsat 5 do ano de 1988 através do catálogo de imagens no site eletrônico do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) (<http://www.inpe.br/>) e do Landsat 8 do ano de 2015 no site eletrônico da United States Geological Survey (USGS) - Earth Explore (<https://earthexplorer.usgs.gov/>). Ambas estão disponibilizadas gratuitamente pelos sites através de cadastro em seus bancos de dados. Foram adquiridos ainda os dados da tábua de maré referentes as datas e horários de passagens das cenas no site eletrônico da Marinha do Brasil disponibilizados pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (DNH) Centro de Hidrografia da Marinha (CHM) e Banco Nacional de Dados Oceanográficos (BNDO), que possuem 53 portos cadastrados, dos quais o mais próximo para considerar a influência na área de estudo é o de São Luís. As características individuais de cada imagem estão descritas no Quadro 1.

Quadro 1. Dados das imagens utilizadas.

Satélite	Landsat_5	Landsat_8
Sensor	TM	OLI/TIRS
Órbita/Ponto	220/62	
Data	21/03/1988	12/07/2015
Hora	12h40min	17h46min
Maré	Maré alta	Maré baixa
Resolução Espacial (m)	30m	
Bandas	3 (vermelho visível) 4 (infravermelho próximo) 5 (infravermelho médio)	4 (vermelho) 5 (infravermelho próximo) 6 (infravermelho médio)

Fonte: Adaptado a partir de CARDOSO (2015).

Processamento Digital das Imagens (PDI)

Foram adquiridas 2 Imagens LandSat dentro de uma escala temporal de 30 anos para a criação de um banco de dados da área com um projeto de 1988 (Land_5 Sensor TM) e outro de 2015 (Land_8 Sensor OLI). Para o presente trabalho utilizou-se uma composição colorida das bandas 3, 4 e 5 da imagem do LandSat 5 e as bandas 4, 5 e 6 da imagem do LandSat 8 e que representam, respectivamente, as faixas Vermelho visível, Infravermelho-médio e Infravermelho-próximo do espectro. Foi aplicado um contraste linear banda por banda no monocromático através da manipulação do histograma de frequência de cada banda espectral para melhor análise dos pontos da Baía mais afetados pela dinâmica costeira. Foi realizada ainda uma classificação supervisionada de Máxima Verossimilhança com limiar de aceitação de 99.9 % no intuito de promover a discussão da perda de ecossistemas ou ganhos de área em algumas classes temáticas; no entanto, o

resultado das imagens classificadas não se mostrou satisfatório para embasar a discussão pretendida, embora tenha atingido uma confusão média muito inferior a 1%. Desta forma, não se utilizou esta rotina para este trabalho.

O tratamento das imagens foi realizado no software Spring na sua versão 5.4.1 que também é gratuitamente disponibilizado pelo INPE (<http://www.inpe.br/>).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através das imagens tratadas foi feita uma análise comparativa, onde foram identificados e mapeados 7 pontos de alteração (Figuras 2 e 3) que indicam modificações na geomorfologia costeira ao longo dos anos analisados. Essa análise resultou na construção de cartas imagens da Baía do Tubarão dos anos de 1988 e 2015 que foram as imagens mais viáveis com relação à cobertura de nuvens dentro da escala temporal de 30 anos pré-definida pelo presente trabalho.

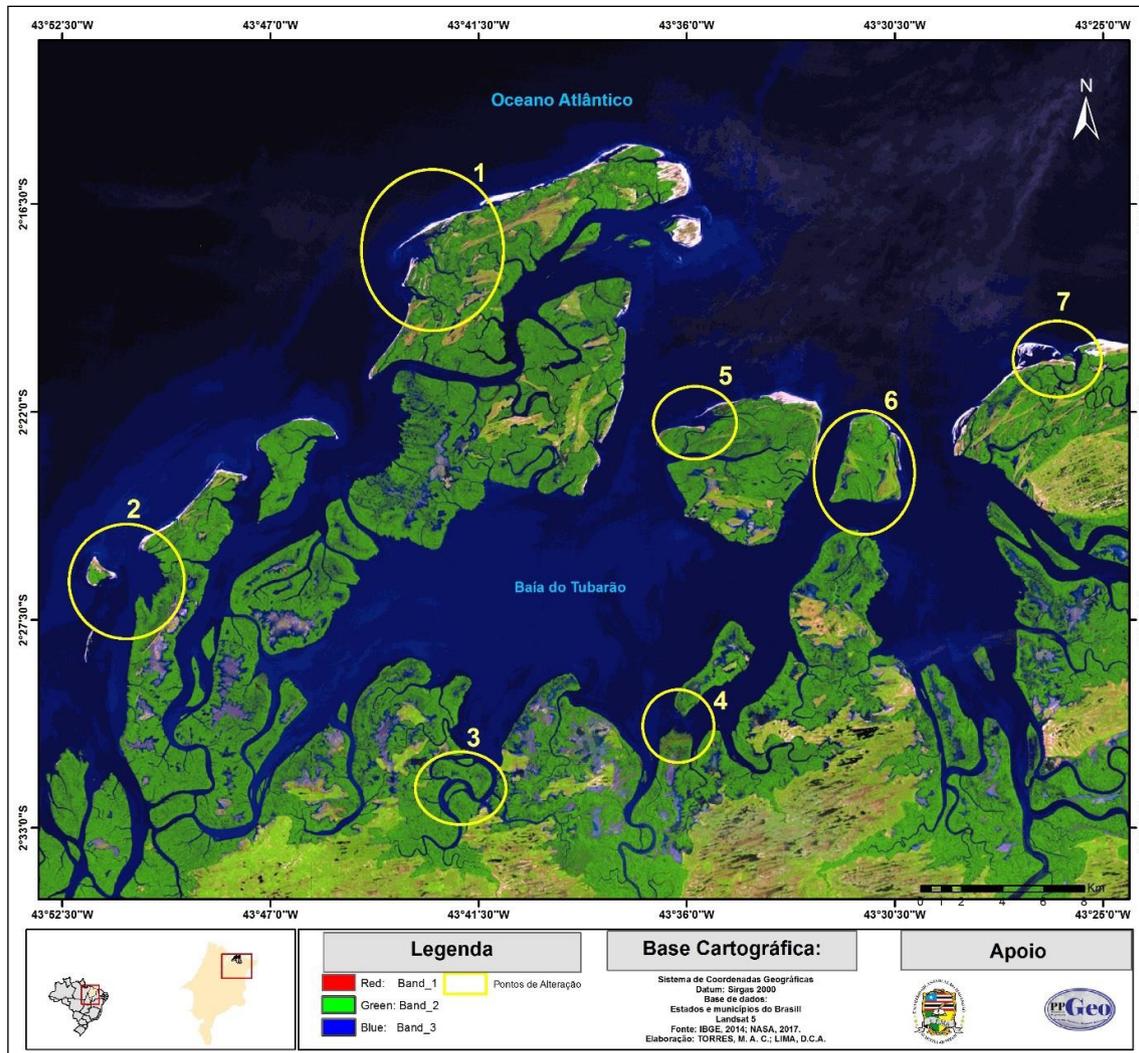
Em nível de atmosfera, os principais agentes transformadores da geomorfologia costeira são o vento e a pluviometria. Pedrosa *et al.* (2019, p. 1124) apontou os ventos como “importante componente da dinâmica da paisagem e fundamental para o entendimento da geodinâmica do campo de dunas”, por exemplo. Bonilha e Sato (2020, p. 166) destacam ainda os “usos do solo, como ocupação urbana, portuários, industriais, agrícolas e exploração turística, enquanto fatores que provocam a descaracterização do ambiente costeiro”. Esta já não é a realidade da área de estudo, que é pouco urbanizada, possui portos pesqueiros de pequeno porte, tem pouca visitação turística e a atividade antrópica mais comum na região é o aproveitamento e estruturação das salinas que se formam entre os manguezais.

Entretanto em nível de ambiente marinho e aquático é possível observar que atuam fatores modificadores ainda mais incisivos, como correntes de maré, erosão, assoreamento, transporte de sedimentos, descarga de rios e morfologia de fundo.

O principal propulsor dessas modificações na área de estudo, são os processos de sedimentação que se mostraram predominantes na região. Esses processos possuem fortes tencionantes naturais como a ação das marés e a descarga fluvial que não é dominante na Baía por causa da pouca extensão da bacia do Rio Peraiá, uma vez que, de acordo com o NUGEO (2009) é a bacia que representa menor área dentre todas as regiões hidrográficas do estado e está sob constante influência das marés. Considera-se ainda a erodibilidade do solo, a pluviosidade que no Maranhão é intensa durante os meses de janeiro a junho, a corrente litorânea e os ventos alísios que transportam sedimentos da plataforma continental e dos lençóis maranhenses para a região da Baía. Além dos fatores citados, a área de estudo está geoposicionada na Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) resultado dessa confluência dos ventos alísios do hemisfério norte com os ventos alísios do hemisfério sul que gera movimentação cíclica de grandes massas de ar, o que, por consequência, reforça o transporte de sedimentos na região. Não foi observado nenhum ponto com perda expressiva de sedimentos que pudesse indicar processos erosivos, embora o ponto seis (6) tenha perdido área de manguezal, o mesmo apresentou ganho de cordões arenosos. Essa ausência

de processos erosivos expressivos o suficiente para serem visualizados através de imagem de satélite pode estar relacionada com a distância entre a Baía e o talude continental.

A Baía esta assentada sobre uma extensa área de plataforma continental com baixa declividade, uma das maiores do litoral brasileiro, o que influencia fortemente para que a origem desse sedimento não seja oceânica e para que as correntes oceânicas não sejam um dos fatores que contribuem diretamente na alteração geomorfológica da Baía como ocorre em outros locais do mundo que possuem a linha de costa mais próxima do talude como a Austrália, por exemplo.

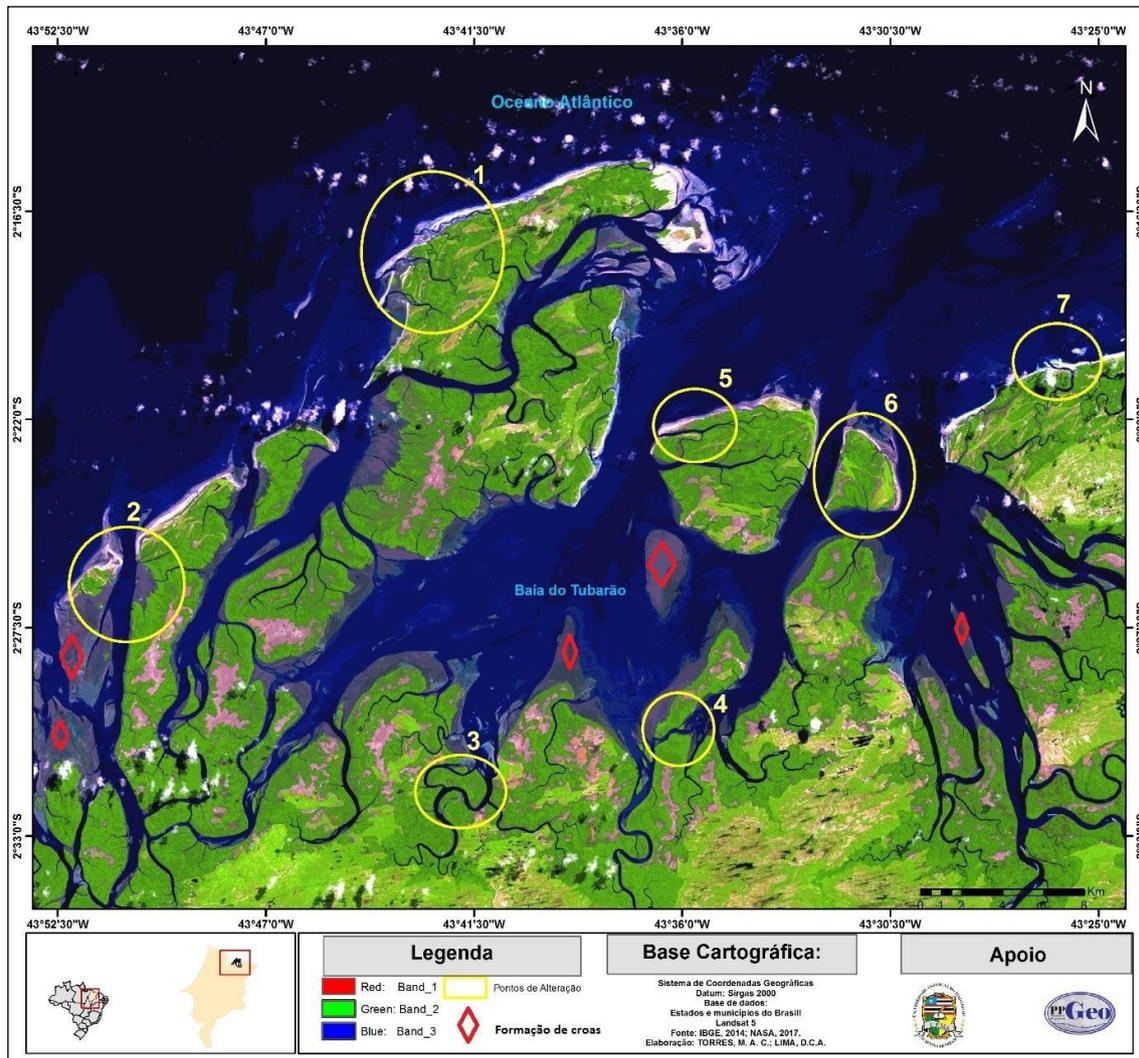


Fonte: Elaborado a partir de dados da NASA (2017).

Figura 2. Carta-Imagem Landsat_5 1988 com pontos de alteração – Baía do Tubarão.

A imagem do ano de 2015 (Figura 3) foi capturada pelo satélite durante o período de maré baixa, o que permitiu a visualização de manchas de sedimentação decorrentes de processos deposicionais intensos no interior da Baía que causaram inclusive a junção de alguns trechos como nos pontos 1 e 3. No entanto, as ilhas que mais sofreram modificações

foram a Ilha incluída no ponto 5, que teve expressivo aumento de área na região norte, e a Ilha incluída no ponto 6 que teve seu formato espacial completamente modificado pela dinâmica da Baía.



Fonte: Elaborado a partir de dados da NASA (2017).

Figura 3. Carta-Imagem LandSat 2015 com pontos de alteração e formação de cruas – Baía do Tubarão.

Em contrapartida, de acordo com Gonçalves (2005) a Baía do Tubarão serve como obstáculo para a corrente litorânea por ser o ponto de transição do regime de mesomaré para o de macromaré além da contribuição sedimentar significativa da plataforma continental considerando que os ventos de nordeste são dominantes ao longo do ano. O que confirma a hipótese de transporte de sedimentos oriundos da região dos lençóis maranhenses.

As manchas de sedimentação evidenciadas na imagem de 2015 estão desencadeando a formação de cruas no interior da Baía o que remete a provável e consequente diminuição da profundidade da coluna d'água na Baía e implica em consequências na navegação tanto pesqueira como de simples transporte.

Cardoso (2016) aponta algumas alterações no cotidiano da população pesqueira decorrentes dessas transformações no ambiente relacionadas à sedimentação, como a mudança de rotas de navegação, que pode causar o aumento no consumo de combustível das embarcações, um maior gasto com suprimentos em detrimento de uma viagem mais longa e ainda um possível reajuste no valor de revenda do pescado, além da modificação nos aspectos biológicos do ambiente.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os processos sedimentares são predominantes na Baía do Tubarão e tendem a se intensificar, mesmo sendo a parte do Golfão Maranhense mais exposta ao Oceano Atlântico, possivelmente por conta do padrão fechado a que os processos geodinâmicos externos condicionaram à configuração morfológica da Baía, o que corrobora para o acúmulo de sedimentos e consequente formação de croas no seu interior. Isso implica em consequências diretas nas comunidades pesqueiras, no entanto, não de forma expressiva, já que as comunidades que vivem na região da Baía possuem fontes de renda diversificadas.

Apesar disto, é importante observar que, segundo as informações levantadas pelo presente trabalho, a Baía tende a gradativa diminuição de profundidade o que pode tornar essas consequências significativamente danosas para a economia local em longo prazo, uma vez que desencadeia o comprometimento da navegabilidade, problemática essa que afeta negativamente as atividades pesqueiras. Nesse sentido, uma alternativa preventiva viável é fazer o monitoramento *in loco* da batimetria da Baía e construir um plano de manejo dos recursos naturais envolvendo, por exemplo, sugestões de cultivo como alternativa de renda para pescadores, marisqueiras e quaisquer outros que se beneficiem destes recursos.

REFERÊNCIAS

- ALVITE, C. M. C. **Indicadores populacionais e ecológicos de peixes-bois-marinheiros (*Trichechus manatus manatus*) em duas áreas de manguezais e marismas no Maranhão**. São Luís – MA, 2008, p. 75.
- BONILHA, G. O.; SATO, S. E. Análise da dinâmica temporal do uso e cobertura da terra como subsídio ao planejamento do município do Rio Grande - RS. **GeoUECE** (online), v. 09, n. 16, p. 165-180, 2020.
- CARDOSO, C. I. **Análise multitemporal por sensoriamento remoto da geodinâmica costeira e sua influência sobre a sustentabilidade socioambiental do município Apicum Açú/MA**. Maranhão. 2016.
- DHN. **Tábua de Maré, 1988-2015**. Diretoria de Hidrografia e Navegação, Ministério da Marinha – Maranhão.
- FLORENZANO, T. G. **Geomorfologia: Conceitos e Tecnologias atuais**. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p: 31-37.
- GONÇALVES, R. A. et al. O papel da dinâmica costeira no controle dos campos de dunas

eólicas do setor leste da planície costeira do Maranhão – BR – Lençóis Maranhenses. In: **X Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário**. Guarapari-ES. Abequa. 2005. 5 p (CD-ROM).

KOPPEN, W.; GEIGER, R. **Klimate der Erde**. Gotha: Verlag Justus Perthes Wall-map b150cmx200cm. 1928.

MACEDO, L. A. A. 1989. Controle ambiental do Golfão Maranhense. São Paulo: **DAE**, vol.49, nº155.

Núcleo Geoambiental da Universidade Estadual do Maranhão. **Regiões Hidrográficas do Maranhão**. Disponível em: <http://www.nugeo.uema.br/?page_id=233>. 2009. Acessado em 29 de agosto de 2017.

PEDROSA, A. A.; SALES, V. C. de C.; CAVALCANTE, I. N.; CARVALHO, A. M. de. Morfogênese e Geodinâmica das Dunas Costeiras de Canoa Quebrada, Ceará, Brazil. **Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)**, [S. l.], v. 21, n. 2, p. 1119–1131, 2019. DOI: 10.35701/rcgs.v21n2.493.

SOARES, A.K.A. **Reserva extrativista Baía do Tubarão: Estudo Socioambiental**. Maranhão. 2017.

SOUSA, P.F.R. 2007. **Circulação hidrodinâmica na região costeira dos municípios de Recife e Jaboatão dos Guararapes durante o verão austral**. Recife.