

## ANÁLISE DA VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA EM ÁREAS COM RISCO À EROSÃO COSTEIRA, COSTA NORDESTE DO ESTADO DO PARÁ

Sheila Gatinho Teixeira <sup>1</sup>

**Resumo** – A avaliação multitemporal da posição da linha de costa permite verificar a variação desta ao longo do tempo e assim identificar os processos atuantes, como acreção, erosão e estabilidade. E a quantificação da variação através das taxas de recuo são essenciais para uma gestão adequada e desenvolvimento de soluções que levem em consideração as características locais e o uso sustentável. Dentro desse contexto, o presente estudo teve por objetivo quantificar as taxas de recuo da linha de costa em dois setores de risco à erosão costeira na região Nordeste do Pará, através da análise multitemporal de imagens de satélite de alta resolução e da ferramenta DSAS (*Digital Shoreline Analysis System*), uma extensão do ArcMap 10.7. Para a praia do Crispim a taxa de recuo médio nos últimos 11 anos foi de - 9,8m/ano, enquanto que para a Praia do 40 do Mocoóca o recuo médio foi de -1,8m/ano nos últimos 10 anos. Verificou-se que o comportamento da linha de costa nesses dois setores é extremamente influenciado pelas características geomorfológicas, geológicas, localização no estuário e também pela ocupação humana.

**Abstract** – The multitemporal assessment of the position the shoreline allows to verify its variation over time and thus to identify the active processes, such as accretion, erosion and stability. And the quantification of the variation through the retreat rates are essential for proper management and development of solutions that take into account local characteristics and sustainable use. Within this context, the present study aimed to quantify the retreat rates of the shoreline in two sectors at risk of coastal erosion in the Northeast region of Pará, through the multitemporal analysis of high resolution satellite images and the DSAS tool (*Digital Shoreline Analysis System*), an extension of ArcMap 10.7. For Crispim beach the average retreat rate in the last 11 years was - 9.8m / year, while for 40 do Mocoóca beach the average retreat was -1.8m / year in the last 10 years. It was found that the behavior of the coastline in these two sectors is extremely influenced by the geomorphological, geological characteristics, location in the estuary and also by human occupation.

**Palavras-Chave** – Erosão costeira; Linha de Costa; DSAS.

---

<sup>1</sup> Geóloga. Dra., Serviço Geológico do Brasil: Belém-PA, (91) 3182-1318, sheila.teixeira@cprm.gov.br

## 1. INTRODUÇÃO

A zona costeira pode ser considerada como uma das áreas mais dinâmicas do planeta, na qual um sistema complexo de processos de marés, ondas e ventos interagem com o meio físico, como o substrato costeiro, formas de relevo e vegetação e essa interação reflete mudanças morfológicas, como a posição da linha de costa. As mudanças da linha de costa refletem assim, padrões de acreção, erosão e estabilidade, além das intervenções antrópicas, as quais atuam em uma variedade de escalas espaço-temporais (Rudorff e Bonetti, 2010).

O processo de erosão costeira, ocorre quando o balanço sedimentar, que é a relação entre perdas/saídas e ganhos/entradas de sedimentos na praia for negativo e o balanço negativo é registrado pelo recuo da linha de costa. A erosão costeira passa a ser considerada problemática quando é severa e ameaça áreas de interesse socioeconômico.

E uma forma de realizar o monitoramento da variação da linha de costa é a utilização de imagens de sensores remotos de diferentes épocas, o que permite fazer uma análise multitemporal, assim possibilitando verificar as tendências de processos costeiros predominantes na área estudada.

Dentro desse contexto, o presente trabalho, teve por objetivo determinar as taxas de recuo de duas áreas com risco à erosão costeira, mapeadas pelo projeto Setorização de Risco do Serviço Geológico do Brasil, na costa nordeste do Pará, a partir da análise multitemporal de imagens de sensoriamento remoto com o auxílio de técnicas de geoprocessamento, visando contribuir para o entendimento e projeção do comportamento da linha de costa, como auxílio a tomada de decisões pelos gestores públicos.

## 2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA ESTUDADA

### 2.1. Localização da área de estudo

A área de estudo corresponde as praias do Crispim e do 40 do Mocoóca, localizadas respectivamente nas baías de Marapanim e de Maracanã, na costa nordeste do Pará (Figura 1), que está inserida no segmento da mais extensa faixa contínua de manguezais do planeta, denominada por Souza Filho (2005) como Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA). A praia do Crispim possui uma direção de aproximadamente NW-SE e é voltada para o Oceano Atlântico, possui região central retilínea com as bordas recurvadas, e o ocorre na porção externa do estuário do Rio Marapanim. A zona de intermarés possui uma largura de aproximadamente 140m e ocorre bordejando manguezais, cordões litorâneos e dunas fixas. A Praia do 40 do Mocoóca localiza-se na porção intermediária do estuário do Rio Maracanã e ocorre ao longo de falésia ativa do Grupo Barreiras, com cerca de 7m de altura, associada às plataformas de abrasão, que ocorrem imediatamente na base da falésia e são originadas pelos processos de erosão que ocorre na mesma. Podem formar zonas descontínuas de blocos, que se estendem na região de intermaré ou no estirâncio praiial, às vezes funcionando como um cordão de proteção às falésias (Silva, 1998).

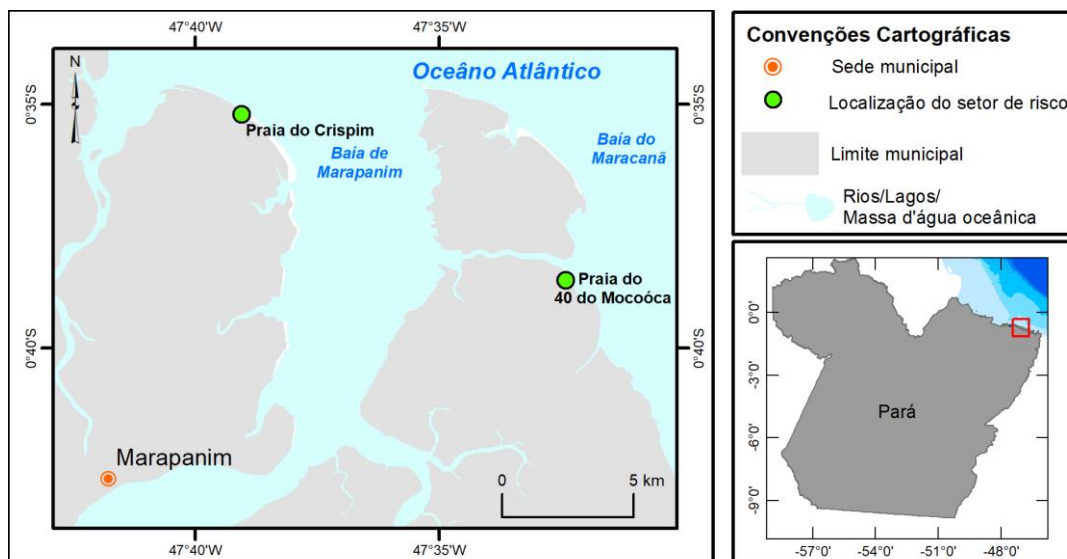


Figura 1. Localização da área de estudo.

## 2.2. Características oceanográficas

Esta região está sob influência de uma hidrodinâmica de maré com alta energia de regime de macromarés semidiurnas, pois as variações de amplitudes observadas são da ordem de 5m. As correntes induzidas pelos ventos alísios na direção NE e E transportam grandes quantidades de sedimentos pelíticos e arenosos da plataforma continental interna, em direção a costa e é responsável pela orientação das ondas, que atingem a linha de costa com um ângulo de 45°, estabelecendo um fluxo paralelo à linha de costa, gerando as correntes de deriva litorânea, que transportam sedimentos no sentido E-W. As ondas possuem altura inferior a 1 – 1,5 em mar aberto, conforme El-Robrini et al.(2006).

## 3. MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Materiais

Para análise foram utilizadas três imagens de alta resolução espacial (Tabela 1) para cada área, de três anos diferentes, com o objetivo de se verificar o recuo da linha de costa.

Tabela 1 – Características das imagens analisadas

Praia	Imagem	Resolução Espacial	Data de Aquisição	Disponível em:
Crispim	Geoeye	0,41m	28/07/2009	Software gratuito Google Earth
	Geoeye	0,41m	07/08/2015	Software gratuito Google Earth
	Imagem PAN cromática CBRES – 04A	2m	24/05/2020	Catálogo de Imagens gratuito do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais
40 do Mocoóca	Geoeye	0,41m	07/05/2010	Software gratuito Google Earth
	Plêiade	0,5m	10/10/2015	Software gratuito Google Earth
	Imagem PAN cromática CBRES – 04A	2m	24/05/2020	Catálogo de Imagens gratuito do Instituto Nacional de pesquisas Espaciais

Foram analisadas duas imagens para cada área, adquiridas gratuitamente do Software Google Earth. Em seguida estas imagens foram georreferenciadas no software ArcGis 10.7. Também foi analisada uma imagem PAN cromática do CBRES-04A com 2m de resolução, adquiridas no formato *geotiff* já georreferenciada, gratuitamente, no catálogo de imagens no INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais).

### 3.2 Delimitação da linha de costa

As imagens dos diferentes anos, para cada uma das áreas foram organizadas em planos de informações diferentes no ArcGis 10.7, a partir dos quais foram digitalizadas as linhas de costa para os anos de 2009, 2015 e 2020 para a Praia do Crispim e 2010, 2015 e 2020 para a Praia do 40 do Mocoóca. As linhas de costa foram traçadas seguindo a metodologia sugerida por França (2003) e adotada também por Ranieri (2014), para regiões de macromaré, que utilizam a linha de maré alta de sizígia, que corresponde: à linha de contato entre os manguezais e os cordões arenosos duna/praias; interface falésia e cordão arenoso praias e interface campo e cordões arenosos duna/praias.

### 3.3 Digital shoreline analysis system – DSAS

Com o objetivo de verificar a evolução da linha de costa, optou-se pelo uso do *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS 5), extensão do software *ArcGIS* 10.7, que permite calcular as variações da linha de costa em um dado período, através de procedimentos matemáticos e estatísticos em ambiente SIG (Thieler et al., 2005).

O DSAS necessita de transectos ortogonais a uma linha de base, paralela à linha de costa determinada pelo usuário (*baseline*) em um espaçamento definido e calcula então, as taxas de mudanças, entre os vetores de linhas de costa dos diferentes anos, utilizando diversos métodos estatísticos, que são apresentados em uma tabela de atributos. E neste trabalho as taxas de variação da linha de costa foram obtidas pelo método ponto de terminação (*end point rate* – EPR), pois se analisou um curto período de tempo 2009 a 2020 para a Praia do Crispim e o 2010 a 2020 para a Praia do 40 do Mocoóca. O método EPR considera apenas a linha de costa mais antiga e mais recente, ignorando os dados intermediários, que espacialmente podem ou não ter recuado ou avançado (Sheeja e Ajay Gokul, 2016). Esse método é obtido pela diferença, em metros, entre a linha de costa mais antiga e a mais recente, dividido pelo tempo. Onde as taxas são expressas em metros/ano (m/ano) podendo ser negativas, positivas e nulas, e indicam recuo, progradação e estabilidade da linha de costa, respectivamente (Galvano e Douglas, 2000).

### 3.4 Levantamento de Campo

As áreas escolhidas para investigação foram definidas como setores de risco pelo Projeto Setorização de Áreas de Risco Geológico, desenvolvido pelo Serviço Geológico do Brasil (SGB). A Praia do Crispim foi classificada como de risco muito alto à erosão costeira em 2016 e 2019 (Mello et al., 2016 e Teixeira e Melo Jr., 2019) e a Praia do 40 do Mocoóca foi classificada como de risco alto à erosão costeira em 2018 (Fonseca e Bandeira, 2018). As duas áreas foram revisitadas em 2019 nos meses de junho e agosto pelo Projeto Mapa da Geodiversidade da Costa Nordeste do Pará (Teixeira e Bandeira, 2019 e no prelo), onde foi possível verificar os processos e indícios de erosão costeira, bem como realizar o registro fotográfico da situação atual de risco.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 Praia do Crispim

Para esta região foram utilizadas imagens dos anos de 2009, 2015 e 2020. Foram gerados e enumerados 89 transectos perpendiculares (Figura 2a), com comprimento de 250 metros e espaçados 10 metros paralelamente, a partir de uma *baseline offshore* para uma região de aproximadamente 700 m de comprimento. Em todos os transectos observou-se um forte caráter erosivo (Figura 2b), indicado através de uma média geral de recuo na ordem de -9,8 m/ano e máximos de -16,7 m/ano. Para o trecho estudado, foi observado que para um intervalo

de 11 anos a linha de costa já recuou aproximadamente 150 m em direção ao continente, provocando diversos prejuízos para a população local, como a destruição de um hotel (Figura 2c) e para os proprietários de casas de veraneio que já vem sendo atingidos por este fenômeno. A ocupação desordenada da praia, bem como, das dunas frontais, que também são fontes de sedimentos, vem promovendo um déficit no balanço sedimentar costeiro. No campo observa-se, além da destruição das estruturas urbanas, outros indícios de recuo como: migração dos cordões arenosos sobre os manguezais, acarretando a morte e tombamento de árvores do mangue e exposição e migração de canais de maré (Figura 2d) em direção às edificações.

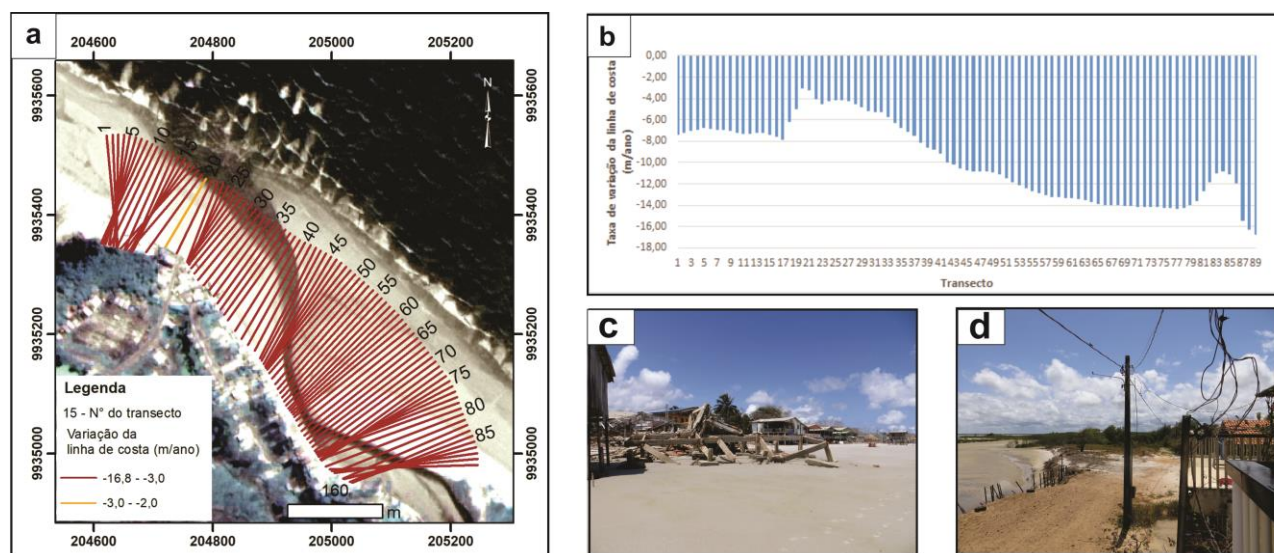


Figura 2. Praia do Crispim. **a** – localização dos transectos com as taxas de recuo em m/ano; **b** – gráfico mostrando os valores de recuo obtidos pelo método EPR; **c** – Hotel destruído pela erosão, situação em 2019 (transecto 30) ; **d**- Avanço do canal de maré sobre as edificações (transecto 70) .

#### 4.2 Praia do 40 do Mocoóca

Para esta praia foram utilizadas imagens dos anos de 2010, 2015 e 2020. Foram gerados e enumerados 113 transectos perpendiculares (Figura 3a), com comprimento de 150 metros e espaçados 10 metros paralelamente, a partir de uma baseline *offshore* para uma região de aproximadamente 1 km de comprimento. Em todos os transectos observou-se uma tendência erosiva (Figura 3b), indicado através de uma média geral de recuo na ordem de -1,8 m/ano e máximo de -6,4 m/ano. Para o trecho estudado, foi observado que os maiores recuos ocorrem entre os transectos 1 e 15, na porção noroeste da área, onde a praia ocorre bordejando o manguezal (Figura 3c), e entre os transectos 70 e 84, onde se observa recuo da falésia. No campo é possível observar que o recuo da falésia decorre da combinação de erosão pluvial, solapamento basal pelas ondas e marés, desmoronamentos e deslizamentos, além da ocupação desordenada do topo da falésia, onde há o despejo das águas servidas diretamente sobre a falésia, que é constituída no topo por material arenoso, friável de baixa resistência. (Figura 3d).

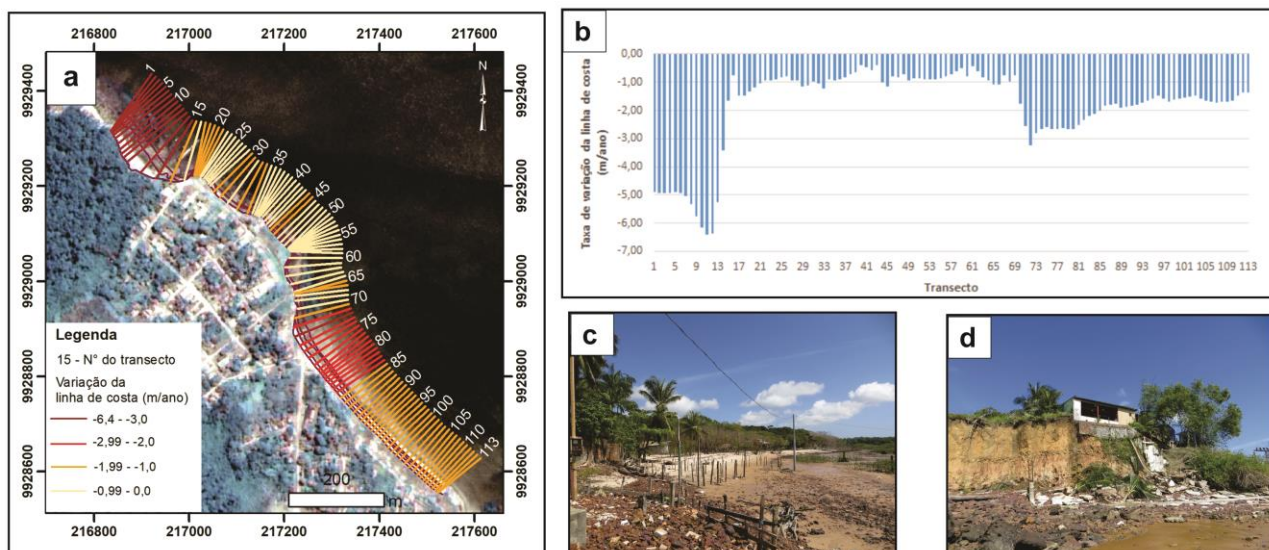


Figura 3. Praia do 40 do Mocoóca. **a** – localização dos transectos com as taxas de recuo em m/ano; **b** – gráfico mostrando os valores de recuo obtidos pelo método EPR; **c** – Migração dos cordões arenosos sobre os manguezais, provocando a destruição da estrutura urbana (transecto 14); **d**- Recuo da falésia com destruição de edificação localizada no topo (transecto 27).

## 5. CONCLUSÕES

O presente trabalho forneceu, de forma quantitativa e qualitativa, a análise da variação e do comportamento da linha de costa das praias do Crispim e do 40 do Mocoóca, na costa nordeste do Pará. As duas praias apresentaram tendência erosiva, porém os valores das taxas de variação da linha de costa foram discrepantes entre as duas praias. Os maiores valores ocorreram na praia do Crispim, com média de recuo de -9,8m/ano enquanto que na Praia do 40 do Mocoóca esse valor médio foi de -1,8m/ano. Os valores corroboram com a ideia de que praias arenosas expostas a mar aberto, com elevada energia de ondas que chegam até a linha de costa, como é o caso da Praia do Crispim, são muito mais dinâmicas e a ocupação antrópica dessa faixa dinâmica acabou também potencializando o déficit sedimentar na praia, acarretando um processo severo de erosão costeira, principalmente nos últimos 10 anos. Já a praia do 40 do Mocoóca, que ocorre em uma porção mais abrigada do estuário do Rio Maracanã apresenta valores de recuo menor. Acredita-se que isso ocorre em função da sua localização e da presença da falésia, que acaba se tornando um obstáculo para o avanço da erosão, ocorrendo assim de maneira mais lenta, no entanto, a ocupação do topo potencializa o surgimento de ravinas com o despejo de águas servidas diretamente na vertente das falésias, que possuem um substrato no topo formado por material arenoso friável, associado a isso ocorre a erosão da base da falésia por ação das ondas e marés.

Para trabalhos futuros, recomenda-se fazer uma avaliação do recuo da linha de costa em todos os setores de risco à erosão costeira mapeados pelo Serviço Geológico do Brasil, para se definir as taxas de recuo. Além disso, recomenda-se o monitoramento das praias, para verificar o comportamento da linha de costa durante o ano, fornecendo assim dados importantes para a tomada de decisão de remediação por parte órgão gestores, auxiliando o ordenamento territorial.

## AGRADECIMENTOS

A autora agradece ao Serviço Geológico do Brasil pelo suporte oferecido para o desenvolvimento da pesquisa.

## REFERÊNCIAS

- EL-ROBRINI, M., SILVA, M. A., SOUZA FILHO, P. W. M., ELROBRINI, M. H. S., SILVA JR., O. G., FRANÇA, C. F. Pará. In: MUEHE, D. (org.). *Erosão e progradação do litoral brasileiro*. Brasília: MMA, 2006. p. 45-86.
- FONSECA, D.D.F., BANDEIRA, I.C.N. 2018. *Setorização de áreas de alto e muito alto risco a movimentos de massa, enchentes e inundações no município de Maracanã, Estado do Pará*. Belém, CPRM, 17 p.
- FRANÇA C.F. 2003. *Morfologia e mudanças costeiras da margem leste da Ilha de Marajó (PA)*. Tese de doutorado, Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, 144 pg.
- GALGANO, F.A; DOUGLAS, B.C. *Shoreline position prediction: method sand erros*. Environmental Geosciences, v. 7, n.1, p. 23-31, 2000. DOI: 10.1046/j.1526-0984.2000.71006.x
- MELLO L.B., SIMÕES P.L., AZAMBUJA, A.M.S. de, MORENO, M. 2016. *Ação emergencial para delimitação de áreas de alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa no município de Marapanim do Pará, Estado do Pará*. Belém, CPRM, 26 p.
- RANIERI, L.A. 2014. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará, Brasil)*. Belém, 195p. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará.
- RUDORFF, F.M.; BONETTI, J. *Avaliação da suscetibilidade à erosão costeira de praias da Ilha de Santa Catarina*. Brazilian Journal of Aquatic Science and Technology, v. 14, p.9-20, 2010.
- SHEEJA, P.S; AJAY GOKUL, A. J. *Application of Digital Shoreline Analysis System in coastal erosion assessment*. International Journal of Engineering Science and Computing, v. 6, n. 6, p. 7876-7883, 2016. DOI: 10.4010/2016.184.
- SILVA, C. A. *Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará*. 1998. 133 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Centro de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 1998.
- SOUZA FILHO, P. W. M. *Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos*. Revista Brasileira de Geofísica, v. 23, p. 427-435, 2005.
- TEIXEIRA, S. G., BANDEIRA, I. C. N. 2019. *Mapa Geodiversidade da costa nordeste do Pará, PA*. [S. l.]: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 1 mapa, color. Escala 1:100.000. Disponível em: <http://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/handle/doc/21510>. Acesso em: 18 jan. 2020.
- TEIXEIRA, S. G.; MELO JÚNIOR, H. R. 2019. *Ação emergencial para delimitação de áreas em alto e muito alto risco a enchentes e movimentos de massa: município de Marapanim – Pará*. Belém: Serviço Geológico do Brasil – CPRM. 18 p.
- TEIXEIRA, S. G., BANDEIRA, I. C. N. *Geodiversidade da costa nordeste do Pará, Nota Explicativa*: Serviço Geológico do Brasil – CPRM, no prelo.
- THIELLER, E. R., MARTIN, D., ERGUL, A. *The Digital Shoreline Analysis System, version 2.3. Shoreline change measurement software extension ArcMap 9.1*. USGS Open-File. 2005.