

AVALIAÇÃO DA LINHA COSTEIRA NOS ÚLTIMOS 20 ANOS (2000-2020) COM GOOGLE EARTH ENGINE: APLICAÇÕES NA COSTA ATLÂNTICA DA AMAZÔNIA PARAENSE

Kayque da Silva Dias ¹
Rafael Alexandre Alves Menezes ²
Eder Mileno Silva de Paula ³

INTRODUÇÃO

As áreas costeiras são sistemas complexos, resultantes da interação entre a hidrosfera, geosfera, atmosfera e biosfera, com alta variabilidade e diversas potencialidades (Dias, 2005). Sujeitas a estresses ambientais e intensas formas de uso do solo, essas regiões enfrentam desafios para a gestão costeira (Gruber *et al.*, 2003; Hapke *et al.*, 2013; Mentaschi *et al.*, 2018; Van Wesenbeeck *et al.*, 2015).

No Brasil, esses desafios são evidentes, especialmente no estado do Pará, onde a Lei Estadual nº 9604/2020 estabelece a Política Estadual de Gerenciamento Costeiro (PEGC/PA), segmentando a zona costeira em cinco setores. O Setor 5 (Costa Atlântica Paraense) sofre com processos de erosão (Baía; Ranieri; Rosário, 2021; Filho; Paradella, 2002; Ranieri; El-Robrini, 2015).

Entender essas flutuações é essencial para a gestão costeira integrada (Braga; Pimentel, 2019; Cohen; Lara, 2003; Ranieri; El-Robrini, 2016, 2020). Lima *et al.*, (2021) destaca que o GEE, com sua capacidade de processar grandes volumes de dados de alta resolução, aborda problemas de gestão costeira de uma nova perspectiva.

O GEE oferece recursos avançados para o processamento de dados geoespaciais, permitindo a análise eficiente de grandes áreas e a replicação de estudos em diferentes regiões, aumentando a confiabilidade dos resultados (Gorelick *et al.*, 2017).

Este estudo utiliza o GEE para analisar a dinâmica costeira da costa atlântica da Amazônia paraense entre 2000 e 2020, usando sensoriamento remoto e geoprocessamento semiautomático. A metodologia aplicada, validada pelo GEE, é replicável e útil em áreas com alta incidência de nuvens. Este trabalho contribui para a

¹ Graduando do Curso de bacharelado em Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, kayquedias093@gmail.com;

² Doutorando, programa de pós-graduação em Geografia da Universidade Federal do Pará - UFPA, rafa.menezes1996@gmail.com;

³ Professor orientador: doutorado, Faculdade de Geografia e Cartografia - UFPA, edermileno@ufpa.br.

compreensão das dinâmicas costeiras e reforça a importância dessas ferramentas para a gestão costeira integrada, promovendo práticas mais eficazes e sustentáveis na gestão das zonas costeiras.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de Estudo

A área de estudo se localiza sob as coordenadas latitude: $0^{\circ}35'12.5''S$, longitude: $47^{\circ}23'03.4''W$, latitude: $0^{\circ}58'47.5''S$, longitude: $46^{\circ}03'10.3''W$, latitude: $1^{\circ}28'00.4''S$, longitude: $47^{\circ}35'49.3''W$, latitude: $1^{\circ}31'32.4''S$, longitude: $46^{\circ}13'52.6''W$ (Figura 1).

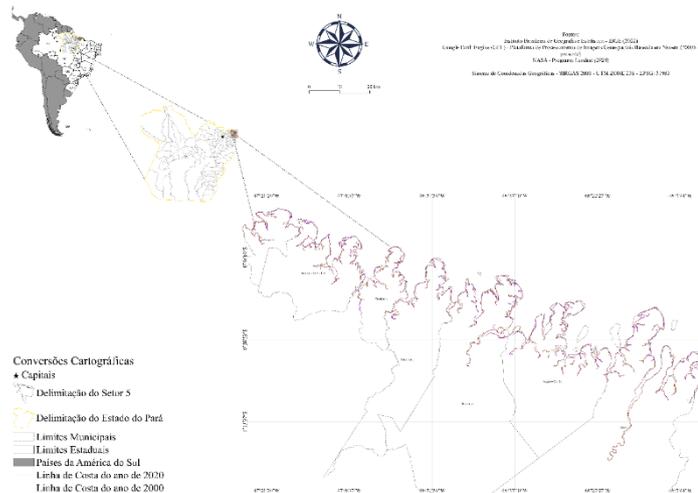


Figura 1. Mapa de localização da área de estudo. Organização: Autores (2024).

Procedimento metodológico

O fluxo metodológico pode ser observado na (Figura 2).

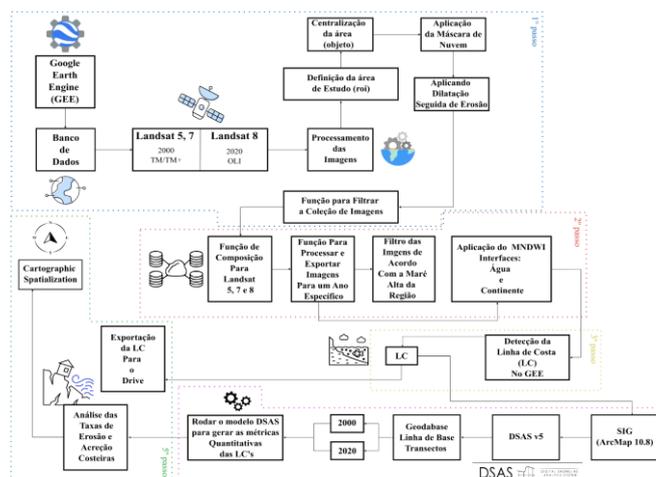


Figura 2. Condução metodológica. Organização: Autores (2024).

Google Earth Engine (GEE) e banco de dados (imagens e dados de maré)

Este projeto utilizou o GEE para processar imagens Landsat 5, 7 e 8, analisando mudanças na superfície terrestre no Setor 5 entre 2000 e 2020, EPSG: 31983. O código no GEE aplicou a metodologia de extração da LC, baseada em dados de maré alta (11:00 às 14:00) (Tabela 1) e nos produtos 'Water' e 'Land' do MNDWI, conforme adaptado de Xu, H. (2006).

Quantidade de Imagens Utilizadas	Satélite	Sensor	Órbita Ponto	Data de Aquisição	Data das marés	Cobertura de Nuvem (%)	Hora (Pm)	Hora das marés (Pm)	Resolução Espacial (m)	Combinação de Bandas	Resolução Radiométrica
Landsat 5: 36 imagens	LANDSAT 5	TM	222061	14/06/2000	02/01/2000	25%	12:53 PM	1:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	8 bits
	LANDSAT 5	TM	222061	30/06/2000	02/01/2000	46%	12:53 PM	2:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	8 bits
	LANDSAT 5	TM	222061	16/07/2000	15/01/2000	55%	12:53 PM	1:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	8 bits
Landsat 7: 62 imagens	LANDSAT 7	ETM+	222061	14/01/2000	02/04/2000	41%	1:09 PM	1:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	8 bits
	LANDSAT 7	ETM+	222061	30/01/2000	02/04/2000	39%	1:09 PM	2:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	8 bits
	LANDSAT 7	ETM+	222061	18/03/2000	15/04/2000	90%	1:09 PM	1:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	8 bits
Landsat 8: 94 imagens	LANDSAT 8	OLI	222061	01/03/2020	02/01/2020	83%	1:16 PM	1:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	16 bits
	LANDSAT 8	OLI	222061	17/03/2020	02/01/2020	57%	1:16 PM	2:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	16 bits
	LANDSAT 8	OLI	222061	02/04/2020	15/01/2020	88%	1:16 PM	1:00:00 PM	30x30	2, 3, 4, 5, 6, 7	16 bits

Tabela 1. Informações das imagens utilizadas e dados de marés. Fonte: USGS (2024), Marinha do Brasil (2024).

Exportação da LC e processamento em SIG

A exportação da LC é feita através de arquivos *Shapefile* (.SHP) (WGS 84 para SIRGAS 2000, UTM 23S) para o Google Drive. E utilizando o ArcGIS 10.8, para o DSAS v5.

A variação da LC é quantificada utilizando a ferramenta *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) versão 5.0, a partir da Taxa do Ponto Final (EPR) (Dolan *et al.*, 1991; Himmelstoss *et al.*, 2018). A fórmula que descreve o cálculo do EPR é dada pela equação:

$$EPR = \frac{d_2 - d_1}{t_2 - t_1}$$

onde:

- d_2 e d_1 representam as distâncias entre a linha costeira e a linha de base nas respectivas datas.
- t_2 e t_1 são as datas correspondentes às duas posições da linha costeira.

O plugin DSAS gerou 2.542 transectos, espaçados a cada 200 metros e perpendiculares à linha de base, devido à extensão de ~188 km da LC.

REFERENCIAL TEÓRICO

A erosão costeira é um processo natural que afeta a morfologia das zonas litorâneas, influenciado por ondas, marés, correntes, ventos e chuvas, resultando em

modificações constantes do litoral (Ahmad; Lakhan, 2012; Muehe, 1994). No ambiente costeiro amazônico, a erosão tem resultados específicos devido às características únicas da região, como fatores tectônicos, climáticos e glaciais que afetam a dinâmica geológica a longo prazo. Climatologia e meteorologia influenciam a ação de ondas e correntes marinhas, impactando diretamente a erosão e acreção costeira (MMA, 2017). Embora grande parte do litoral amazônico permaneça preservado (Prost *et al.*, 2013), algumas áreas estão em retrogradação devido à erosão da linha de costa (França e Souza Filho, 2003; Souza Filho, 2005; El-Robrini *et al.*, 2006). Tecnologias como o *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS) e o *Google Earth Engine* (GEE) são usadas para monitorar e mitigar esses efeitos, aplicando técnicas avançadas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, essenciais para o estudo e preservação do litoral amazônico, especialmente em áreas de acesso restrito (Thieler *et al.*, 2017).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Detecção da LC no GEE

A extração da LC da área de estudo no GEE foi extraída a partir do MNDWI e os resultados podem ser identificados na figura 3.



Figura 3. Cartografia com imagens *landsat* dos anos de anos de 2000-2020 (A e B); “Water” e “Land” (“C” e “D”); LC (“E” e “F”). Quadros de 1-4 zoom para os municípios estudados, resultantes do MNDWI.

Organização: Autores (2024).

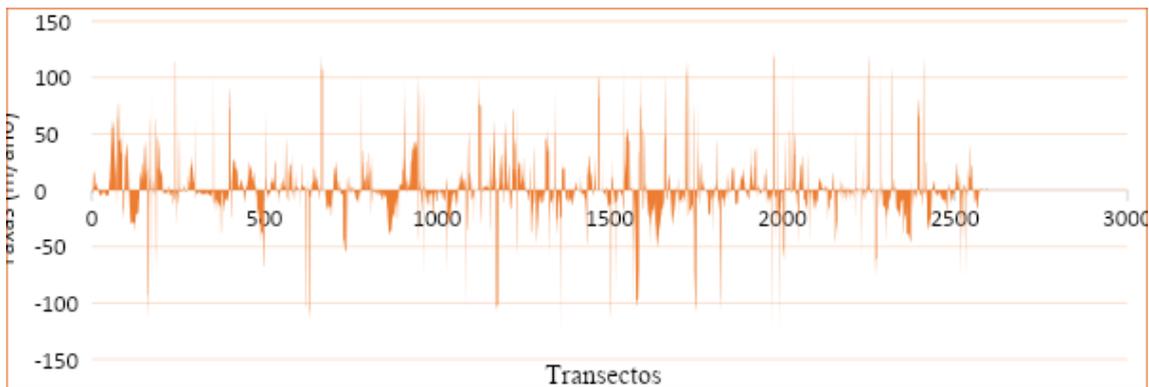
Variação da LC nos últimos 20 anos (2000-2020)

As taxas de variação utilizando o EPR na área costeira de estudo mostram as taxas de erosão e acreção na área figura 4. O EPR foi quantificado e gerado as métricas da variação da LC (gráfico 1).



Figura 4. Cartografia das Taxas do Ponto Final (EPR) obtidas a partir do DSAS v5.
Fonte: Autores (2024).

Gráfico 1. Variação da LC na área de estudo.



Fonte: Autores (2024).

As taxas médias do EPR para a área de estudo mostram uma semelhança e alternância de variação (erosão sucedida de acreção), ou seja, quando a erosão foi registrada numa área, as outras áreas também registraram acreção (figura 4, gráfico 1, tabela 3). Essa característica é marcada pelo controle geológico (rias paraenses) e pelos estuários presentes na região (Ranieri; El-Robrini, 2020).

Tabela 3. Métricas do EPR na área de estudo.

Intervalo de ano	ICE	Mudança média da LC (m/ano)	Mudança Erosiva máxima da LC (m/ano)	Mudança média Erosiva da LC (m/ano)	Mudança máxima Acreciva da LC (m/ano)	Mudança média Acreciva da LC (m/ano)	% do número total de transectos que registraram acréscimo	% do número total de transectos que registraram erosão
2000-2020	9,2	0,35	-123,04	-15,26	123,80	18,49	46%	54%

Fonte: Autores (2024).

O entendimento desse complexo a partir da linguagem de programação é um indicador positivo no avanço dos estudos costeiros, pois pratica uma abordagem coesa a partir das flutuações da LC.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O uso do GEE e da programação em *JavaScript* permitiu um processamento eficiente e preciso dos dados de LC, facilitando a análise das estatísticas erosivas e acrecionais na região de estudo. Esta abordagem inovadora serve como um modelo valioso para futuras pesquisas em outras áreas costeiras, permitindo a replicação do método e a comparação de resultados em diferentes contextos geográficos.

A disseminação deste trabalho é crucial para a comunidade científica, pois demonstra uma metodologia robusta e acessível para o monitoramento costeiro. A replicação do estudo por outros pesquisadores pode ajudar a validar os métodos e expandir o entendimento das dinâmicas costeiras globais. Este trabalho contribui significativamente para o avanço dos estudos costeiros, promovendo uma abordagem integrada e coesa que pode ser amplamente adotada, beneficiando tanto a pesquisa científica quanto a gestão costeira.

Palavras-chave: Dinâmica costeira; Sensoriamento remoto; Google Earth Engine; Erosão e acreção; Monitoramento costeiro.

AGRADECIMENTOS

A Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) e ao Observatório de Gestão Costeira do Estado do Pará (OGC-PA/UFGA/CAPES).

REFERÊNCIAS

- AHMAD, S. R.; LAKHAN, V. C. GIS-Based Analysis and Modeling of Coastline Advance and Retreat Along the Coast of Guyana. **Marine Geodesy**, v. 35, n. 1, p. 1–15, 1 jan. 2012.
- APOSTOLOPOULOS D. N., NIKOLAKOPOULOS K. G. Assessment of the shoreline evolution using the CORONA declassified images. A case study in the North of Ilia prefecture, Peloponnese, Greece. **J. Appl. Remote Sens.**, 16 (2022).
- BAÍA, L. B.; RANIERI, L. A.; ROSÁRIO, R. P. Análise multitemporal da variação da linha de costa em praias estuarinas do Nordeste do Pará. **Geociências**, v. 40, n. 1, p. 231–244, 2021.
- BRAGA, R. DA C. *et al.* Vulnerabilidade diante da ação energética do mar: Estudo de caso no Município de Salinópolis, Zona Costeira Amazônica, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 19, n. 4, p. 245–264, nov. 2019.
- COHEN, M. C. L.; LARA, R. J. Temporal changes of mangrove vegetation boundaries in Amazonia: Application of GIS and remote sensing techniques. **Wetlands Ecology and Management**, v. 11, n. 4, p. 223–231, 2003.
- El-Robrini, M.; Silva, M. A. M. A.; Souza Filho, P. W. M.; Silva Júnior, O. G.; França,

- C. F. (2006) - Erosão e progradação no Pará. In: Muehe, D (org.), **Ministério do Meio Ambiente**, Brasília, Brasil. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/publicacoes/gestao-territorial/category/80-gestao-costeira-gerosao-e-progradacao.html>. Acesso em: 12 de maio 2024.
- FILHO, P. W. S.; PARADELLA, W. R. Estudo da Geomorfologia de Ambientes Costeiros Tropicais Úmidos a partir de Imagens de Sensores Remotos. **Pesquisas em Geociências**, v. 28 (2), 2002.
- FRANÇA, C. F. DE; SOUZA FILHO, P. W. M. E. Análise Das Mudanças Morfológicas Costeiras De Médio Período Na Margem Leste Da Ilha De Marajó (Pa) Em Imagem Landsat. **Revista Brasileira de Geociências**, v. 33, n. 2, p. 127–136, 2003.
- DIAS, J. A. Evolução Da Zona Costeira Portuguesa: Forçamentos Antrópicos E Naturais. **Tourism & Management Studies**, N. 1, P. 7-27, 2005.
- DOLAN R., FENSTER M. S., HOLME S. J. **Temporal analysis of shoreline recession and accretion**. *J. Coast. Res.* (1991), pp. 723-744.
- GORELICK, N.; HANCHER, M.; DIXON, M.; ILYUSHCHENKO, S.; THAU, D.; MOORE, R. Google Earth Engine: Planetary-Scale Geospatial Analysis For Everyone. **Remote Sensing Of Environment**, Vol. 202, P. 18–27, Dec. 2017. Disponível Em: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>. Acesso Em 16 De Jun. 2024.
- GRUBER, Nelson Luiz Sambaqui; Barboza, Eduardo Guimarães; Nicolodi, João Luiz. Geografia Dos Sistemas Costeiros E Oceanográficos: Subsídios Para Gestão Integrada Da Zona Costeira. **Gravel**, V. 1, N. 1, P. 81-89, 2003.
- HAPKE, C., KRATZMANN, M., HIMMELSTOSS, E., 2013. **Geomorphic and human influence on large-scale coastal change**. *Geomorphology* 199, 160–170. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.11.025>. Acesso em: 12 de jun. 2024.
- HIMMELSTOSS E. A., HENDERSON R.E., KRATZMANN M. G., FARRIS A. S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide: Open-File Report 2018–1179**. US Geological Survey, Reston, VA, USA (2018).
- MENTASCHI, L., VOUSDOKAS, M.I., PEKEL, J.-F., VOUKOUVALAS, E., FEYEN, L., 2018. **Global long-term observations of coastal erosion and accretion**. *Sci. Rep.* 8, 12876. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-018-30904-w>. Acesso em: 15 de jun. 2024.
- MMA. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Brasília, DF: Ministério do Meio Ambiente, 2017.
- MUEHE, D. Geomorfologia costeira. In: CUNHA, S. B. DA; GUERRA, A. J. T. (Eds.). **Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos**. Rio de Janeiro, Brasil: Bertrand Brasil, 1994. p. 253–308.
- MUEHE, D., NICOLODI, J. (2008) - Geomorfologia. In: MMA (Org), **Macrodiagnóstico da Zona Costeira e Marinha do Brasil**, pp.23-40, Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis, Brasília, Brasil. ISBN 978-85-7738-112-8.
- PROST, M. T.; MENDES, A. C.; FAURE, J. F.; BERRÊDO, J. F.; SALES, M. E. C.; FURTADO, L. G.; SILVA, M. G. S.; SILVA, C. A.; NASCIMENTO, I.; GORAYEB, I.; SECCO, M. F. V. E LUZ, L. M. (2013) – Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: **Ecosistemas costeiros: impactos e gestão ambiental**. **Museu Paraense Emílio Goeldi**. Belém, PA, Brasil. Disponível em: <https://www.museu-goeldi.br/assuntos/publicacao/catalogo-de-publicacoes/ecossistemas-costeiros-impactos-e-gestao-ambiental>.
- RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Evolution of the salinópolis shoreline, Northeastern

- of Pará, Brazil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207–226, 2015.
- RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Condição Oceanográfica, Uso e Ocupação da Costa de Salinópolis (Setor Corvina-Atalaia), Nordeste do Pará, Brasil. **Journal of Integrated Coastal Zone Management**, v. 16, n. 2, p. 133–146, 2016.
- RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Morfologia e Sedimentação em Praias Oceânicas da Amazônia Oriental durante a Variação Anual de Chuvas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2086, 2020.
- RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. **Pesquisas em Geociências**, v. 42, n. 3, p. 207, 2015.
- SOUZA-FILHO, P. *et al.* Sistema de Observação Costeira e o Papel dos Sensores Remotos no Monitoramento da Costa Norte Brasileira, Amazônia. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 2, n. 57, p. 79–86, 2005.
- SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE DO ESTADO DO PARÁ (SEMAS)**. (2020). Gerenciamento costeiro no estado do Pará: Orientações para o ordenamento ambiental. Governo do Pará.
- THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E.A.; ZICHICHI, J.L.; ERGUL, A. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0—An ArcGIS extension for calculating shoreline change (ver. 4.4, July 2017)**. Disp. em: <https://woodshole.er.usgs.gov/project-pages/DSAS/version4/images/pdf/DSASv4.pdf>. Acessado em: 10 maio de 2024.
- VAN WESENBEECK, B.K., Balke, T., Eijk, P. Van., Tonneijck, F., Siry, H.Y., Rudianto, M.E., Winterwerp, J.C., 2015. Aquaculture induced erosion of tropical coastlines throws coastal communities back into poverty. **Ocean Coast. Manag.** 116, 466–469.
- XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**, vol. 27, no. 14, p. 3025–3033, 20 Jul. 2006. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/01431160600589179>. Acesso em 22 de fev. 2024.