

DOI: 10.25100/eg.v0i26.13087
Espacios y Territorios

**Análise da variação da linha de costa com uso da ferramenta cassie:
um estudo de caso no arco praial barra da lagoa – Moçambique em
Florianópolis, Santa Catarina, Brasil¹**

*Analysis of shoreline variation using the cassie tool: a case study in the
barra da lagoa - Mozambique beach arc in Florianópolis, Santa
Catarina, Brazil*

*Análisis de la variación de la línea de costa con el uso de la herramienta
CASSIE: un estudio de caso en el arco playero Barra da Lagoa –
Moçambique en Florianópolis, Santa Catarina, Brasil*

Liliana Sayuri Osako

Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, Brasil. liliana.osako@ufsc.br |
0000-0002-0635-4833

Jeuid Oliveira Junior

Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União do Ministério da Economia. Florianópolis,
Brasil. jeuid.oliveira@gestao.gov.br | 0009-0002-2167-404X

Para citar este artículo: Osako, L y Oliveira, J. (2023). Análise da variação da linha de costa com uso da ferramenta cassie: um estudo de caso no arco praial barra da lagoa – Moçambique em Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. *Entorno Geográfico*, (26), e22713087. <https://doi.org/10.25100/eg.v0i26.13087>

Resumo

A quantificação da variação da linha de costa é de fundamental importância para o estudo dos processos dinâmicos que moldam a interface Terra-Mar. Recentemente, a ferramenta Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (CASSIE) foi desenvolvida na plataforma Google Earth Engine (GEE) para a quantificação automática da variação da linha de costa com base em imagens multiespectrais dos programas espaciais Landsat e Copernicus. O presente trabalho tem como objetivo apresentar os procedimentos metodológicos envolvidos no uso da ferramenta CASSIE com o intuito de fornecer apoio técnico à Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União do Ministério da

¹ Trabalho apresentado no VII Workshop da Rede Ibero-americana de Observação Territorial (RIDOT), realizado nos dias 27 a 29 de março de 2023, em Curitiba, Brasil, no eixo temático 3 - Ferramentas e sistemas de apoio para à tomada de decisão, gestão e ordenamento territorial.



Economia (SPU/ME) do Brasil na gestão de áreas denominadas de terrenos de marinha e seus acrescidos. No estudo de caso, o Arco Praial Barra da Lagoa – Moçambique (APBM) mostra no período de 2016 a 2022 o predomínio de zonas de acreção com valor médio de 2,565 m/ano para a taxa de regressão linear (LRR), e com menor frequência zonas de estabilidade com 0,16 m/ano. A taxa de variação da linha de costa em escala de eventos (dias e anos) para o APBM foi obtida de forma sistemática, rápida e consistente com o uso da ferramenta CASSIE.

Palavras-chave: NDWI, limiarização de Otsu, Sentinel-2, terrenos de marinha e GEE.

Abstract

The quantification of shoreline variation is of fundamental importance for the study of the dynamic processes that shape the land-sea interface. Recently, the Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (CASSIE) tool was developed in Google Earth Engine (GEE) platform for the automatic quantification of shoreline variation based on multispectral images from the Landsat and Copernicus space programs. The present work aims to present the methodological procedures involved in the use of the CASSIE tool to provide technical support to the Secretariat for Coordination and Governance of the Union's Patrimony of the Ministry of Economy of Brazil in the management of areas called marine lands and their additions. In the case study, the Barra da Lagoa - Moçambique Beach Arc (BMBA) presents in the period from 2016 to 2022 a predominance of accretion zones with an average value of 2.565 m/year for the linear regression rates (LRR), and less frequently stability zones with 0.16 m/year. The event-scale (days and years) shoreline change rate for the BMBA was obtained systematically, quickly and consistently using the CASSIE tool.

Keywords: NDWI, Otsu's thresholding algorithm, Sentinel-2, marine lands and GEE

Resumen

La cuantificación de la variación de la línea de costa es de importancia fundamental para el estudio de los procesos dinámicos que conforman la interfaz tierra-mar. Recientemente, se desarrolló la herramienta Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (CASSIE) en la plataforma Google Earth Engine (GEE) para la cuantificación automática de la variación de la línea de costa, utilizando imágenes multiespectrales de los programas espaciales Landsat

y Copernicus. El presente trabajo tiene como objetivo presentar los procedimientos metodológicos involucrados en el uso de la herramienta CASSIE para brindar soporte técnico a la Secretaría de Coordinación y Gobernanza del Patrimonio de la Unión del Ministerio de Economía de Brasil en la gestión de las áreas denominadas terrenos de marinha y sus adiciones. En el estudio de caso, el arco playero Barra da Lagoa - Moçambique (BMBA) presenta, en el período de 2016 a 2022, un predominio de zonas de acreción con un valor medio de 2,565 m/año para las tasas de regresión lineal (LRR), y con menor frecuencia, zonas de estabilidad con 0,16 m/año. La tasa de cambio de la línea de costa a escala de eventos (días y años) para el BMBA fue obtenida de forma sistemática, rápida y consistente mediante el uso de la herramienta CASSIE.

Palabras clave: NDWI, algoritmo de umbralización de Otsu, Sentinel-2, terrenos de marinha y GEE.

Recibido: 24 de julio de 2023

Aceptado: 11 de julio de 2023

Publicado: 25 de julio de 2023

1. Introdução

A quantificação da variação da linha de costa é de fundamental importância para o estudo dos processos dinâmicos que moldam a interface terra-mar. A evolução de tais processos dinâmicos em escalas de eventos (dias a anos) ou de longo prazo (décadas a séculos) pode ser analisada com o uso da série temporal de imagens de satélite ou fotografias aéreas. A metodologia Digital Shoreline Analysis System (DSAS) é considerada uma referência na quantificação da variação da linha de costa e na obtenção de taxas de erosão e acreção da linha de costa a partir de produtos obtidos por sensores remotos (Danforth & Thieler, 1992; Himmelstoss et al., 202; Thieler & Danforth, 1994a, 1994b). Recentemente, Almeida et al. (2021) desenvolveram a ferramenta Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (CASSIE) de código aberto integrada a plataforma Google Earth Engine (GEE), possibilitando o uso de imagens dos programas espaciais Landsat e Copernicus para a análise da variação da linha de costa de qualquer área geográfica do globo terrestre.

Com o objetivo de dar apoio técnico à Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União do Ministério da Economia (SPU/ME) do Brasil para a gestão de

áreas denominadas de terrenos de marinha e seus acrescidos, este trabalho apresenta os procedimentos metodológicos para a obtenção da taxa de erosão e acreção ao longo do arco praiar Barra da Lagoa – Moçambique, SC, utilizando a plataforma CASSIE.

2. Método

A metodologia empregada para análise da variação da linha de costa pela ferramenta CASSIE é baseada no fluxo de etapas descritas em Almeida et al. (2021) e no seu manual de uso básico (Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine, 2021). Para o presente estudo, a abordagem metodológica foi adaptada para a SPU/MME, principalmente em relação à definição da linha de costa e do retângulo envolvente da área geográfica analisada. Nesse contexto, sugere-se o uso de feições vetoriais da linha de costa (primitiva geométrica linha) e do retângulo envolvente (primitiva geométrica polígono) em formato KML obtidos no arquivo digital da planta cadastral da SPU/ME em escala 1:1.000. Com o intuito de sistematizar o processo de análise da variação da linha de costa definiu-se: i) tipo de imagem de satélite, ii) janela temporal, iii) porcentagem de cobertura de nuvens, e iv) distância da linha de base (Figura 1).

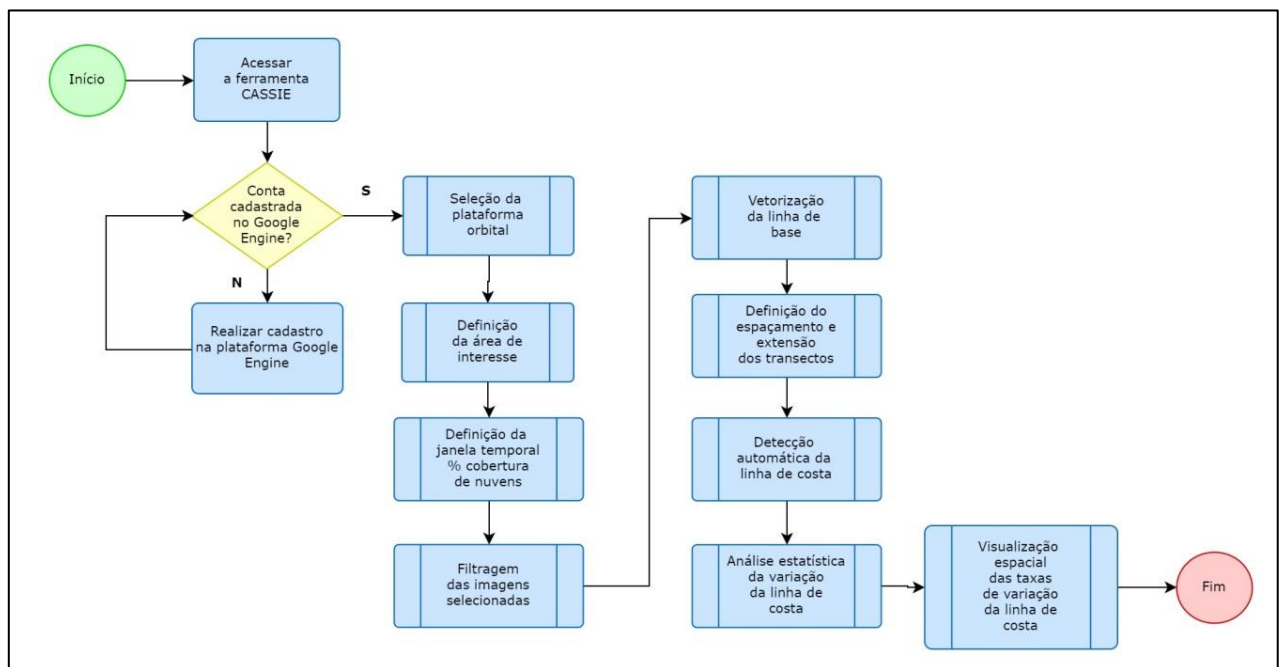


Figura 1. Fluxograma para análise da variação da linha de costa na ferramenta CASSIE

Fonte: Elaboração própria

O acesso à ferramenta CASSIE é realizado pelo usuário cadastrado na plataforma GEE (<https://cassieengine.org/>). As orientações para cadastro e instalação do GEE são obtidas no manual de uso básico (Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine, 2021).

Seleção da plataforma orbital

A ferramenta CASSIE utiliza imagens dos programas espaciais Landsat (National Aeronautics and Space Administration - NASA) e Copernicus (European Space Agency - ESA) disponibilizadas pela plataforma GEE. Em relação ao Landsat estão disponíveis as séries temporais de imagens dos satélites Landsat5 (TM), Landsat 7 (ETM+) e Landsat 8 (OLI) obtidas entre 1984 até os dias atuais. O programa Copernicus disponibiliza as imagens multiespectrais do satélite Sentinel-2 (sensor MSI) obtidas a partir de 2013 (Figura 2). As informações sobre as características das imagens multiespectrais do Landsat e Sentinel-2 devem ser consultadas nos sítios eletrônicos da NASA e da ESA.

Na etapa de seleção da plataforma orbital recomenda-se a escolha de imagens do Sentinel-2 em razão da resolução espacial de 10 metros e resolução temporal de cinco (05) dias de revisita.

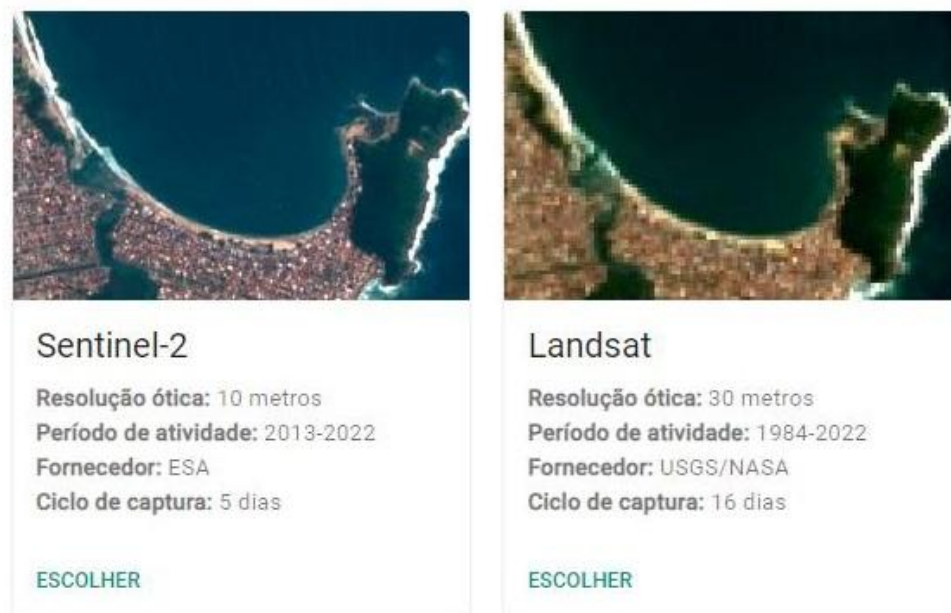


Figura 2. Escolha do satélite orbital Sentinel-2 e/ou Landsat

Fonte: Ferramenta Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (2021)

Área geográfica para a análise

A delimitação de uma área geográfica de interesse para a análise da variação da linha de costa de uma praia ou arco praial pode ser realizada a partir do retângulo envolvente da carta cadastral, cujo perímetro delimita a articulação do produto cartográfico. O retângulo envolvente deve ser importado para a ferramenta CASSIE em formato KML. A outra forma de definir a área de interesse para análise é a partir da ferramenta de vetorização manual de polígonos disponibilizada no CASSIE (Figura 3).

A área selecionada para o presente estudo foi o arco praial Barra da Lagoa – Moçambique localizada a leste da ilha de Santa Catarina no município de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil.

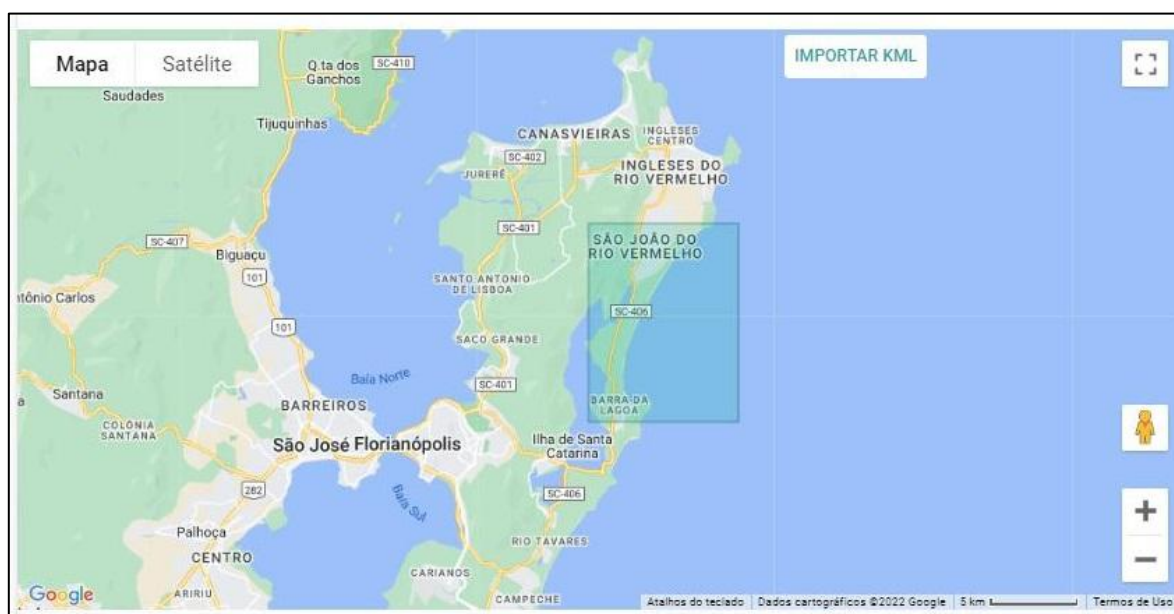


Figura 3. Delimitação da área do arco praial Barra da Lagoa - Moçambique localizado a leste da Ilha de Santa Catarina no município de Florianópolis, Santa Catarina, Brasil

Fonte: Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (2021)

Janela temporal e porcentagem de cobertura de nuvens

A janela temporal para a análise da variação da linha de costa deve compreender um período mínimo de 05 anos. O estabelecimento de 05 anos de janela temporal visa a

obtenção de taxas de variação da linha de costa em escala de eventos (dias a anos) a partir do uso de imagens do Sentinel-2 com melhor resolução espacial em relação as imagens do Landsat. Outro parâmetro que deve ser levado em consideração é a seleção de imagens com 0 (zero) % de cobertura de nuvens com o intuito de evitar a interferência de nuvens e névoas na análise da variação da linha de costa.

Filtragem das imagens orbitais

Essa etapa é voltada para filtragem das imagens de satélite sem cobertura de nuvens. Nessa etapa também se destaca a sistemática para seleção de pelo menos 02 imagens de satélite por ano considerando o período de inverno (junho a setembro) e verão (dezembro a março) no hemisfério sul.

As imagens de satélite multiespectrais obtidas no período de inverno no estado de Santa Catarina caracterizam-se pela pouca cobertura de nuvens. Por outro lado, durante o verão observa-se maior variação da condição meteorológica com alto índice pluviométrico na região. Nesse caso, as imagens multiespectrais podem registrar na interface terra-mar os vestígios associados a grandes eventos de tempestade e precipitação intensa.

Vetorização da linha de base

O cálculo da taxa de variação da linha de costa se baseia no método de distância da linha de base - baseline (Leatherman & Clow, 1983; Thieler et al., 1994a, 1994b). A linha de base pode ser inserida no CASSIE a partir de um arquivo em formato KML ou pode ser digitalizada manualmente pelo usuário. A linha de base deve ficar no lado terrestre a uma distância definida pelo usuário para que não ocorra intersecção da linha de base com as linhas de costa da série histórica analisada.

Para a geração da linha de base em formato KML recomenda-se o uso da ferramenta buffer do programa QGIS. Nesse caso, deve-se utilizar a linha de costa (primitiva geométrica linha) identificada na carta cadastral para a geração de um buffer com 250m de distância. O polígono do buffer gerado deve ser convertido para linha, e posteriormente, editado com o objetivo de manter apenas uma linha de base na parte da terra emersa e paralela a linha de

costa. A linha de base gerada pode ser importada em formato KML para a plataforma CASSIE.

Outra forma de gerar a linha de base é pela vetorização manual da primitiva geométrica linha sobre a imagem de satélite no CASSIE, considerando sempre que a linha de base deve ser vetorizada paralelamente a linha de costa e na parte da terra emersa.

Espaçamento e extensão dos transectos

Após a inserção ou digitalização da linha de base define-se o espaçamento e extensão dos transectos. O espaçamento corresponde à distância em metros entre os transectos gerados perpendicularmente a linha de base. A extensão dos transectos também é mensurada em metros e corresponde ao comprimento dos segmentos. A variação da linha de costa é calculada estatisticamente ao longo de cada transecto (Almeida et al., 2021; Himmelstoss et al., 2021).

Detecção automática da linha de costa

A metodologia adotada na ferramenta CASSIE segundo Almeida et al. (2021) emprega técnicas de detecção automática da linha de costa com base no índice normalizado de diferença de água (NDWI - Normalized Difference Water Index) e na classificação da imagem pelo algoritmo de limiarização de Otsu (1979), definindo-se o coeficiente de limiarização a partir das características do ambiente costeiro.

Índice normalizado de diferença de água - NDWI

O cálculo do índice normalizado de diferença de água se baseia na relação da subtração das bandas do verde visível e infravermelho próximo com a soma das bandas do verde visível e infravermelho próximo (Equação 1). O índice NDWI varia de -1 a 1, sendo que pixel com $NDWI > 0$ corresponde a área com cobertura de água e $NDWI < 0$ área sem cobertura de água (Ji et al., 2009; McFeeters, 1996). A partir dos valores dos índices NDWI as áreas com e sem cobertura de água são identificadas em imagens de satélite.

$$NDWI = (Green - NIR) / (Green + NIR) \quad (Eq. 1)$$

onde,

Green = banda do verde visível

NIR = banda do infravermelho próximo

Geralmente, o histograma da imagem NDWI de ambiente costeiro apresenta uma distribuição bimodal da frequência dos pixels representativos de áreas com e sem cobertura de água. Nesse caso, a classificação da imagem NDWI em classes água e terra é realizada com o algoritmo de limiarização de Otsu com o coeficiente de limiarização igual a zero (0).

No ambiente estuarino, cuja influência da ação da maré se faz presente, normalmente o histograma da imagem NDWI apresenta três picos de frequência associados às classes água, terra e zona de intermaré. Nessa situação, a classificação da imagem NDWI é realizada com o algoritmo de limiarização multinível de Otsu (Liao et al., 2001) com o coeficiente de limiarização igual a -1.

Classificação pelo método de limiarização de Otsu

A imagem com o índice NDWI é classificada pelo algoritmo de limiarização de Otsu (1979) com a geração de uma imagem binária onde os valores com pixel igual a zero (0) correspondem a classe água e pixel igual a um (1) a classe terra. A imagem classificada é convertida em um arquivo vetorial com a primitiva geométrica polígono com base nos valores de pixel. O limite entre os dois polígonos (classes água e terra) é identificada como linha de costa. A linha de costa é extraída de forma automática e processada posteriormente com o filtro de suavização gaussiana, para a remoção do efeito de escada induzido pelos pixels.

Análise estatística das taxas de variação da linha de costa

As linhas de costa identificadas em uma série temporal de imagens de satélite são analisadas estatisticamente para cada transecto (Almeida et al., 2021; Danforth & Thieler, 1992; Himmelstoss et al. 2021). Ao final do processamento das imagens de satélite são disponibilizados dados estatísticos da taxa de variação da linha de costa, localização dos transectos e período da série temporal analisado (Almeida et al., 2021) A ferramenta CASSIE fornece ainda para cada transecto analisado os valores de taxa de regressão linear

(Linear Regression Rate - LRR), coeficiente de correlação, Shoreline Change Envelope - SCE, Net Shoreline Movement - NSM, End Point Rate - EPR, classificação e tendência da variação da linha de costa (Tabela 1).

Tabela 1. Dados que compõem o relatório gerado na ferramenta CASSIE e a classificação da variação da linha de costa com base na taxa de regressão linear – LRR

Campos	Descrição
ID	Identificador do transecto
Coordenadas do início e fim de um transecto	Latitude e longitude
Data inicial e final	Série histórica de imagens de satélite
Inclinação	Inclinação do ajuste linear
R ² ou coeficiente de correlação do ajuste	R ² com valores próximos de 1, os valores X e Y são relacionados e não há variância residual
	R ² com valores próximos de 0, os valores X e Y não são relacionados
Linear Regression Rate - LRR	Taxa de variação da linha de costa (em metros/ano) baseado na inclinação da linha de regressão linear
Shoreline Change Envelope - SCE	Distância máxima em metros entre todas as linhas de costa que intersectam um determinado transecto
Net Shoreline Movement - NSM	Distância (em metros) entre a linha de costa mais antiga e a mais nova para cada transecto
End Point Rate - EPR	Taxa de variação da linha de costa (metros/ano) calculada pela divisão da distância entre as linhas de costa mais antiga e mais recente pelo tempo.
Classificação da variação da linha de costa com base na taxa de regressão linear - LRR (Almeida et al., 2021).	Acreção (Accreted) >0,5 m/ano
	Estabilidade (Stable) -0,5 a 0,5 m/ano
	Erosão (Eroded) -1 a -0,5 m/ano
	Erosão crítica (Critically eroded) < -1 m/ano

Campos	Descrição
Exportação dos dados	CSV – valores separados por vírgula; JSON - JavaScript Object Notation; SHP – ESRI shapefile

Fonte: Almeida et al. (2021), Danforth & Thieler (1992) e Himmelstoss et al. (2021)

3. Resultados e Discussões

A análise da variação da linha de costa do arco praial Barra da Lagoa – Moçambique foi realizada com base na seleção de 14 imagens multiespectrais do Sentinel-2 obtidas entre 09/06/2016 a 07/11/2022. O resultado da análise mostra que ao longo do arco praial Barra da Lagoa – Moçambique predomina zonas de acreção com taxas de regressão linear (LRR) apresentando valor médio de 2,565 m/ano, e com menor frequência zonas de estabilidade com valor médio de 0,16 m/ano no período analisado (Figura 4).

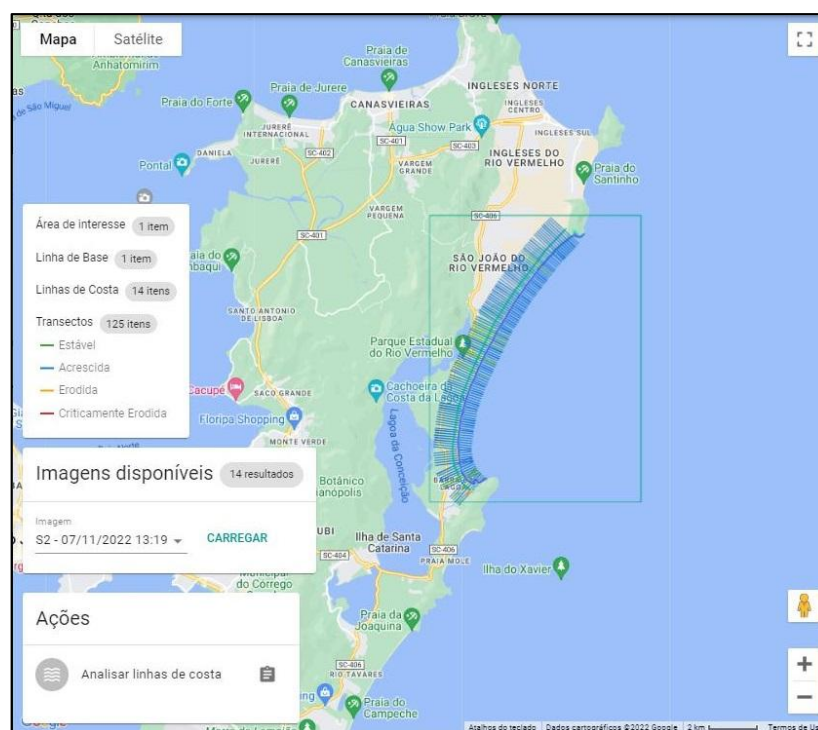


Figura 4. Distribuição de 125 transectos ao longo do arco praial Barra da Lagoa – Moçambique

Fonte: Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (2021)

A região sul e norte do arco praial Barra da Lagoa – Moçambique destaca-se pela predominância de zonas de acreção. A análise em detalhe de um transecto localizado na porção norte do arco praial destaca tendência positiva para a variação da linha de costa entre 2016 a 2022, com valor da taxa de regressão linear igual a 3,6572 m/ano (Figura 5A).

A região central do arco praial Barra das da Lagoa – Moçambique destaca-se pela predominância de zonas de estabilidade. Um transecto localizado nessa porção mostra ampla variação da linha de costa em relação a linha de base entre o período de 2016 a 2022, com taxa de regressão linear igual a -0,3551 m/ano (Figura 5B).



Figura 5. Exemplos de tendência da variação da linha de costa entre 2016 a 2022 de transectos em zonas de acreção (A) e de estabilidade (B) no arco praial Barra da Lagoa – Moçambique, Florianópolis, Brasil

Fonte: Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine (2021)

Os trabalhos prévios de quantificação da variação da linha de costa no arco praial Barra da Lagoa – Moçambique efetuados com o uso de fotografias aéreas, ortofotos e imagens de satélite de 1938 a 2020 mostram taxas de regressão linear com valores médios de $-0,32 \pm 0,18$ m/ano (Klein et al., 2016), $-0,26 \pm 0,29$ m/ano (Da Silva et al., 2016) e $-0,41$ m/ano (Marins, 2020), e taxa média de regressão linear ponderada (Weighted Linear Regression

Rate – WLR) de $0,16 \pm 0,01$ m/ano (Silva, 2022). Com base nas taxas de variação da linha de costa (LRR e WLR) obtidas entre 1938 a 2020 e na classificação da variação da linha de costa estabelecida na ferramenta CASSIE (Almeida et al., 2021), o arco praial Barra da Lagoa – Moçambique apresenta zonas de estabilidade (-0,5 a 0,5 m/ano).

Analisando as taxas de regressão linear (LRR e WLR) das janelas temporais de 1938 a 2020 e de 2016 a 2022, nota-se valores médios distintos, mas não discrepantes em relação a variação da linha de costa ao longo do tempo. Em uma análise em escala de longo prazo de 1938 a 2020 (82 anos) observa-se um cenário de estabilidade da variação da linha de costa para o arco praial Barra da Lagoa – Moçambique, migrando para uma tendência de acreção em escala de eventos de 2016 a 2022 (06 anos).

4. Conclusões

A análise da variação da linha de costa na ferramenta CASSIE pode ser realizada com a seleção de imagens obtidas pelos satélites do programa Landsat visando obter taxas de variação da linha de costa em escala de longo prazo (décadas). No entanto, é importante destacar que há uma significativa diferença na resolução espacial das imagens de satélite Landsat (≥ 30 m) e Sentinel-2 (10m), o que pode trazer resultados distintos para taxa de variação da linha de costa ao longo do tempo. Mesmo com a possibilidade de se obter resultados diferentes em razão da diferença na resolução espacial das imagens de satélite, a análise da variação da linha de costa efetuada com a ferramenta CASSIE permite obter a taxa de variação da linha de costa de forma sistemática, rápida e consistente.

A metodologia da ferramenta CASSIE integrada a plataforma GGE é baseada em conceitos muito bem estabelecidos na literatura, como o cálculo do índice normalizado de diferença de água (Normalized Difference Water Index - NDWI) e no emprego do método de limiarização de Otsu (1979) para a classificação das imagens de satélite e vetorização automatizada da linha de costa. Portanto, recomenda-se o uso da ferramenta CASSIE para o estudo preliminar da variação da linha de costa ao longo da zona costeira, para a identificação de regiões com tendência a erosão e/ou acreção da linha de costa no contexto da gestão do terreno de marinha e seus acréscimos. A partir da identificação de tais áreas é necessário realizar um estudo mais aprofundado sobre a evolução morfodinâmica do

ambiente costeiro com dados obtidos a partir do monitoramento contínuo da praia ou arco praial por imagens de satélite ou fotografias aéreas de alta resolução espacial para a quantificação mais precisa da taxa de variação da linha de costa.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Secretaria de Coordenação e Governança do Patrimônio da União do Ministério da Economia (SPU/ME) do Brasil pelo apoio financeiro para o desenvolvimento do projeto “Geotecnologias como instrumentos de gestão da geoinformação dos Bens Imóveis da União pela SPU”, desenvolvido por meio do Termo de Execução Descentralizada (TED) nº 06/2020 entre a SPU/ME e a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

6. Referências Bibliográficas

- Almeida, L., Oliveira, I., Lyra, R., Dazzi, R., Martins, V., & Klein, A. (2021). Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling and Software*, 140, 105033. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105033>
- Coastal Analysis via Satellite Imagery Engine. (2021, octubre). *Manual de uso básico* [archivo PDF]. <https://tinyurl.com/kf7a5k9c>
- Danforth, W., & Thieler, E. (1992). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) user's guide; version 1.0, 1-42. <https://doi.org/10.3133/ofr92355>
- Da Silva, G., Muler, M., Prado, M., Short, A., Klein, A., & Toldo, E. (2016). Shoreline Change Analysis and Insight into the Sediment Transport Path along Santa Catarina Island North Shore, Brazil. *Journal of Coastal Research*, 32(4), 863–874. <https://doi.org/10.2112/JCOASTRES-D-15-00164.1>

- Himmelstoss, E., Henderson, R., Kratzmann, M., & Farris, A. (2021). Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.1 user guide. *U.S. Geological Survey Open-File Report 2021-1091*, 104. <https://doi.org/10.3133/ofr20211091>
- Ji, L., Zhang, L., & Wylie, B. (2009). Analysis of dynamic thresholds for the Normalized Difference Water Index. *American Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 75(11), 1307–1317. <https://doi.org/10.14358/PERS.75.11.1307>
- Klein, A., Short, A., & Bonetti, J. (2016). Santa Catarina Beach Systems. *Brazilian Beach Systems* (465–506). Brazil: Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-319-30394-9_17
- Leatherman, S., & Clow, B. (1983). UMD shoreline mapping Project. *IEE Geoscience and Remote Sensing Society Newsletter*, 22(3), 5-8. <https://tinyurl.com/97wk8fyp>
- Liao, P., Chen, T., & Chung, P. (2001). A fast algorithm for multilevel thresholding. *Journal of Information Science and Engineering*, 17(5), 713-727. <https://doi.org/10.6688/JISE.2001.17.5.1>
- Marins, P. (2020). *Análise têmporo-espacial da urbanização sobre unidades geológicas da planície costeira e relação com a erosão costeira na costa oceânica da Ilha de Santa Catarina, SC, Brasil* [Tesis de maestría]. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).
- McFeeters, S. (1996). The use of the Normalized Difference Water Index (NDWI) in the delineation of open water features. *International Journal of Remote Sensing*, 17(7). <https://doi.org/10.1080/01431169608948714>
- Otsu, N. (1979). A threshold selection method from gray-level histograms. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, 9(1), 62-66. <https://doi.org/10.1109/TSMC.1979.4310076>

- Silva, F. (2022). *Análise histórica da variação de linha de costa do setor litorâneo compreendido entre as praias da Barra da Lagoa e Brava, ilha de Santa Catarina, SC, Brasil*. Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação em Geologia da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis (SC).
- Thieler, E., & Danforth, W. (1994a). Historical shoreline mapping (I): Improving techniques and reducing positioning errors. *Journal of Coastal Research*, 10(3), 549-563. <https://tinyurl.com/3fbh4b7j>
- Thieler, E., & Danforth, W. (1994b). Historical shoreline mapping (II): Application of the digital shoreline mapping and analysis systems (DSMS/DSAS) to shoreline change mapping in Puerto Rico. *Journal of Coastal Research*, 10(3) 600-620. <https://tinyurl.com/4cs83yzu>