

## **A herança geológico-geomorfológica e o comportamento da linha de costa: diagnóstico no contexto do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul (RJ)**

Figueiredo, M.S. (UFF/IFRJ) ; Weinstein, L.V. (UFF) ; Rocha, T.B. (UFF) ; Fernandez, G.B. (UFF)

### **RESUMO**

A configuração geomorfológica dos ambientes costeiros é influenciada por diferentes processos, como ondas, variações do nível do mar, estrutura geológica e intervenções humanas. O mapeamento geomorfológico é uma ferramenta essencial para compreender a morfologia e os processos que atuam nas áreas costeiras enquanto a análise da linha de costa é utilizada como indicador de mudanças na dinâmica sedimentar, sendo importante para identificar áreas em risco de erosão. Este estudo caracteriza a geomorfologia com base em fotografias aéreas e imagens de satélite e analisa o comportamento da linha de costa utilizando a ferramenta CASSIE no Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul. Os resultados indicam a presença de feições originadas por processos marinhos, fluviais e lagunares, com variações ao longo da costa. A análise da linha de costa revela diferentes tendências de erosão, estabilidade e acreção em quatro períodos.

### **PALAVRAS CHAVES**

*Mapeamento geomorfológico; Linha de costa; Erosão costeira; Rio Paraíba do Sul; Normal Difference Water Index (ND)*

### **ABSTRACT**

The geomorphological configuration of coastal environments is influenced by different processes, such as waves, sea level variations, geological structure and human interventions. Geomorphological mapping is an essential tool to understand the morphology and processes that act in coastal areas while the analysis of the coastline is used as an indicator of changes in sedimentary dynamics, being important to identify areas at risk of erosion. This study characterizes the geomorphology carried out based on aerial photographs and satellite images and analyzes the behavior of the coastline using the CASSIE tool in the Paraíba do Sul River Deltaic Complex. The results indicate the presence of morphologies originated by marine, fluvial and lagoon processes, with variations along the coast. Coastline analysis reveals different erosion, stability and accretion trends in four periods.

### **INTRODUÇÃO**

Os ambientes costeiros apresentam sua configuração geomorfológica em função da atuação de diferentes processos que operam desde a escala instantânea, quando as ondas alteram continuamente a morfologia da face de praia, por exemplo, até a escala geológica, onde as variações do nível do mar são capazes de submergir ou expor grandes áreas, construindo a paisagem costeira. É notório que tal configuração é delineada em virtude da atuação conjunta da estrutura geológica, condicionantes tectônicos, aporte sedimentar, bem como do transporte litorâneo, atuação dos ventos e da drenagem local (Carter e Woodroffe, 1994). De fato, as áreas costeiras são caracterizadas por uma complexidade, uma vez que sobre elas atuam os sistemas e processos do continente, do ambiente marinho e da atmosfera, bem como por um dinamismo, dado que tais processos ocorrem e alteram a paisagem continuamente. O contexto descrito influencia o balanço sedimentar no litoral e conseqüentemente pode resultar em condições de acreção, estabilidade ou erosão. Se a erosão costeira pode ser compreendida como uma resultante na paisagem oriundas de fases de déficit sedimentar, é importante reconhecer que essas podem tanto ter origem geológico-geomorfológica que expressam alterações no litoral bem como serem frutos de intervenções antrópicas que influenciam o balanço sedimentar local (Bulhões, 2020). Desta forma, torna-se importante caracterizar as áreas costeiras em termos das feições geomorfológicas que as compõem bem como compreender sob quais forçantes tais áreas encontram-se submetidas, ou seja, observar aspectos dinâmicos responsáveis por cenários de acreção, estabilidade ou erosão. Para os

estudos geomorfológicos de áreas costeiras a identificação da presença e também da abrangência de feições como barreiras costeiras, deltas, dunas, lagunas ou planícies de maré, entre outras, é o primeiro passo no sentido de se compreender as características da morfologia como também os processos que atuam sobre uma determinada área. A elaboração de mapeamentos geomorfológicos traz como contribuição a possibilidade de se determinar unidades espaciais que são definidas e delimitadas a partir de critérios como morfologia (forma), genética (processo), composição e estrutura. São, portanto, essenciais em estudos que tenham por objetivo tanto a caracterização como a evolução geomorfológica. É importante, ainda, ressaltar que os mapeamentos podem ser realizados em diversas escalas, sendo então necessário um exercício crítico para a sua elaboração com o intuito de verificar as feições de interesse, sua distribuição e suas características (Bishop et al., 2012). As pesquisas que buscam identificar cenários de acreção, estabilidade e erosão costumam utilizar o deslocamento da linha de costa (LC) como um indicador, uma vez que essas feições respondem diretamente às alterações da dinâmica sedimentar costeira. Tais pesquisas encontram-se atualmente em expansão, principalmente em virtude da crescente disponibilização de imagens orbitais com revisitas contínuas e pelos registros feitos de qualquer parte da superfície terrestre (Figueiredo, Rocha e Fernandez, 2022). É necessário mencionar que identificar áreas que estejam sob condições de erosão é de extrema relevância, em especial no contexto das consequências das mudanças climáticas. O recuo da linha de costa representa um risco costeiro e pode estar relacionado tanto a mudanças graduais, como o aumento do nível do mar, bem como a ocorrência de eventos como as tempestades (Salmon, Duvat e Laurent, 2019). Deste modo, o objetivo do presente trabalho proposto é realizar a caracterização geomorfológica consorciada a análises do comportamento da linha de costa nas últimas décadas em trechos selecionados do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul.

## **MATERIAL E MÉTODOS**

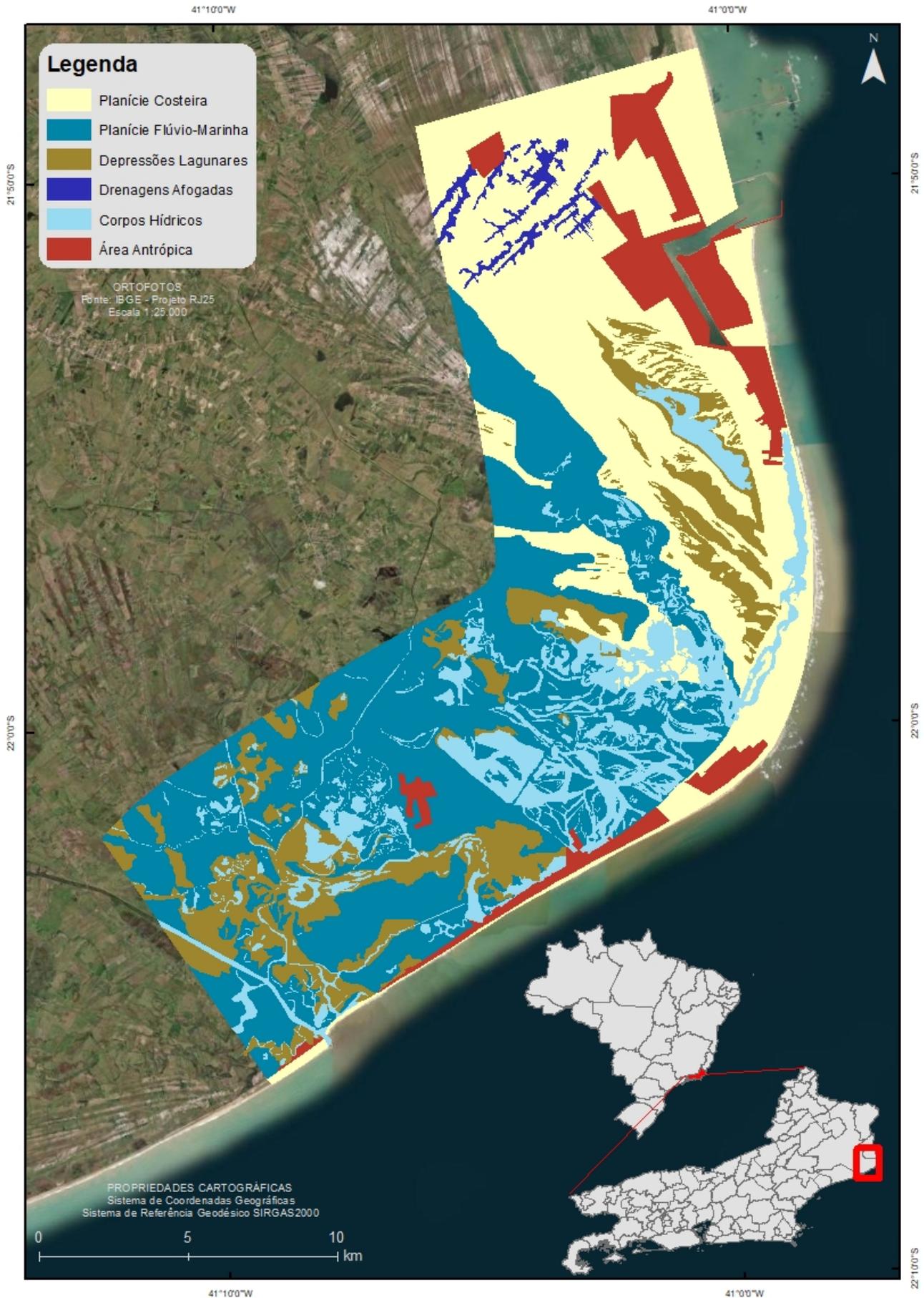
O mapeamento geomorfológico apresentado neste trabalho foi realizado utilizando como referência as fotografias aéreas ortorretificadas do Projeto RJ-25, desenvolvido pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) no ano de 2005. No Projeto RJ-25, as fotografias aéreas condizem especialmente para mapeamentos na escala de detalhe de 1:25.000, em composição colorida (RGB), com resolução de em média 5m por pixel, projetadas no sistema de coordenadas UTM fusos 23 e 24, e referenciadas no sistema geodésico SIRGAS 2000. Para a área de estudo do mapeamento geomorfológico foram utilizados oito ortofotomoisacos, de modo a cobrir toda a planície costeira localizada entre as localidades de Porto do Açu e a Barra do Furado. Como medida de auxílio, os compilados de imagens de satélite gratuitas provenientes da Maxar Technologies também foram utilizados por meio do software do Google Earth 7.3.6, dessa forma foi possível interpretar as mudanças recentes ocorridas na paisagem da região em decorrência da instalação de toda a infraestrutura que envolve o Porto. Para processamento dos dados vetoriais e matriciais, foi utilizado o software QGIS 3.16 Hannover, adotado para execução de todas as etapas referentes ao mapeamento, desde o tratamento das ortofotos, passando pela delimitação das feições identificadas à edição e confecção do layout final do mapa. O comportamento da linha de costa apresentado neste trabalho foi analisado através da ferramenta web de código aberto CASSIE - Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (Almeida et al., 2021). A interface do CASSIE possibilita o processamento em nuvem de um conjunto de imagens LANDSAT identificando o posicionamento da linha de costa mediante o cálculo do índice Normal Difference Water Index (NDWI) em cada imagem e realizando o cálculo da distância (positiva ou negativa) com a LC da imagem subsequente. Foram utilizadas 428 imagens LANDSAT, sendo 261 referentes ao trecho Porto do Açu e 167 ao trecho Barra do Furado, entre os anos de 1984 e 2022. Os parâmetros de análise utilizados foram: espaçamento entre os transectos de 500 metros, extensão dos transectos de 1000 metros, coeficiente de limiarização 0 e percentual de nuvens de 0%. Os dados referentes à análise da linha de costa foram realizados em quatro períodos, cada um com a disponibilização de uma quantidade específica de imagens.

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

O mapeamento geomorfológico indica que a área de estudo é caracterizada pela presença de morfologias originadas por processos marinhos, fluviais e lagunares. Dessa forma, a legenda foi

elaborada contemplou as classes Planície Costeira, Planície Flúvio-marinha, Depressões lagunares, além dos Corpos hídricos e das Drenagens afogadas. Ainda, foi delimitada uma classe de Área Antrópica, referente a interferências humanas na paisagem como núcleos de ocupação e o Porto do Açu, por exemplo. No trecho sul, entre as localidades de Barra do Furado a Farol de São Tomé, a área de estudo apresenta o predomínio de depósitos originados pela ação fluvial e lagunar, representados nas classes de Planície Flúvio-marinha e de Depressões lagunares. Nesse trecho há apenas uma estreita faixa de cristas de praia da Planície Costeira, revelando o papel discreto da ação marinha no local. No trecho central, próximo a localidade de Farol de São Tomé, as cristas de praia passam a ser mais expressivas, gerando uma planície de cerca de 1,5 de extensão (do interior ao litoral, aproximadamente no sentido ONO-ESE). Interessante notar que as cristas se desenvolvem a partir de um episódio erosivo bem marcado na paisagem, uma vez que truncam os Corpos hídricos e a Planície Flúvio-marinha existentes em seu reverso. Tal dinâmica é associada ao deslocamento da foz do Rio Paraíba do Sul, que migrou em direção a norte conforme discorrido por Silva (1987). No trecho norte, entre as localidades de Farol de São Tomé a Porto do Açu, os depósitos originados pela ação marinha passam a dominar a paisagem, juntamente com os processos lagunares, evidenciados pela presença da classe de Depósitos lagunares. Nessa área são encontradas as classes de Cristas de praia e Esporões de forma intercalada, que indicam a alternância ora do predomínio de transporte litorâneo perpendicular, ora do predomínio do transporte litorâneo transversal à costa, conforme discorrido por Figueiredo et al. (2022). Os resultados referentes ao comportamento da linha de costa para o litoral analisado serão apresentados de acordo com as suas tendências gerais expressas em cada um dos períodos estabelecidos para as localidades de Barra do Furado e Porto do Açu. No primeiro período analisado (de maio de 1984 a junho de 1994) os transectos na localidade de Barra do Furado apresentam-se majoritariamente sob as condições de erosão crítica, com exceção apenas de quatro na parte sul que mostraram-se sob condições de erosão ou estabilidade. No segundo período analisado (junho de 1994 a julho de 2004) o local deixa de ser majoritariamente caracterizado pelos transectos com erosão crítica e passa a apresentar transectos com estabilidade na parte norte e acreção na parte sul. No terceiro período analisado (julho de 2004 a setembro de 2014), o panorama se mostra similar ao do período anterior, porém não há mais transectos de erosão crítica na parte sul. Finalmente, no quarto período analisado (setembro de 2014 a setembro de 2022), a parte norte possui transectos com erosão e erosão crítica enquanto a parte sul possui apenas transectos em acreção ou estabilidade. No primeiro período analisado (de maio de 1984 a junho de 1994) os transectos na localidade de Porto do Açu apresentam-se majoritariamente sob as condições de estabilidade ou acreção, com exceção apenas de três na parte sul que mostraram-se sob condições de erosão. No segundo período analisado (junho de 1994 a julho de 2004) a parte norte continua apresentando condições de acreção entretanto a parte sul mostra que o litoral passa a estar sob condições de erosão crítica. No terceiro período analisado (julho de 2004 a setembro de 2014), o panorama se mostra similar ao do período anterior, com a presença de um transecto no setor norte sob condições de erosão crítica. Finalmente, no quarto período analisado (setembro de 2014 a setembro de 2022), o cenário se altera novamente, quando se observa um quadro de acreção na parte sul que se mostrava em condições de erosão crítica nos dois períodos anteriores. Quanto a parte norte, que mostra um cenário de estabilidade, não se deve levar em consideração esse resultado visto que em todos os testes realizados os cálculos realizados pela ferramenta retornaram dados vazios, o que significa que o resultado qualitativo da estabilidade apontada não corresponde a uma identificação de manutenção da linha de costa neste setor durante o período em questão.

*Mapeamento Geomorfológico entre as localidades de Barra do Furado e Po*



Comportamento da linha de costa entre as localidades de Barra do Furado



## **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

Os ambientes costeiros são influenciados por diversos processos e fatores, como a atuação das ondas, variações do nível do mar, estrutura geológica, condicionantes tectônicos, aporte sedimentar, transporte litorâneo, ventos e drenagem local. A configuração geomorfológica dos ambientes costeiros é resultado da interação desses processos e fatores, e pode variar ao longo do tempo. O mapeamento geomorfológico revelou o predomínio dos processos marinhos, fluviais e lagunares em cada trecho da área de estudo, com destaque para as classes de Planície Costeira, Planície Flúvio-marinha e Depressões lagunares. O deslocamento da linha de costa é frequentemente usado como indicador de acreção, estabilidade ou erosão costeira. A disponibilidade de imagens orbitais e ferramentas de análise remota tem impulsionado o estudo dessas mudanças. A análise do comportamento da linha de costa revelou tendências de erosão, estabilidade e acreção ao longo dos períodos analisados. Merece destaque a tendência à erosão na parte norte e a tendência à acreção na parte sul tanto da localidade de Barra do Furado como também na de Porto do Açu ao longo dos quatro períodos analisados.

## **AGRADECIMENTOS**

A autora Mariana Silva Figueiredo agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa de Pós-Doutorado Junior (Processo nº: 152310/2022-3).

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICA**

- ALMEIDA, L. P. et al. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling and Software*, v. 140, n. March, p. 1-11, 2021.
- BISHOP, M. P. et al. Geospatial technologies and digital geomorphological mapping: Concepts, issues and research. *Geomorphology*, v. 137, n. 1, p. 5-26, 15 jan. 2012.
- BULHÕES, E. Erosão costeira e soluções para a defesa do litoral. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L. (Eds.). *Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos*. [s.l.: s.n.]. p. 655-688.
- CARTER, R. W. G.; WOODROFFE, C. D. Coastal evolution: an introduction. In: *Coastal Evolution*. [s.l.: s.n.].
- FIGUEIREDO, M. S. et al. Morphostratigraphy of barrier spits and beach ridges at the east margin of Salgada Lagoon (Southeast Brazil). *Journal of South American Earth Sciences*, v. 116, 2022.
- FIGUEIREDO, M. S.; ROCHA, T. B. DA; FERNANDEZ, G. B. COMPORTAMENTO DA LINHA DE COSTA NO LITORAL SUL DE SÃO JOÃO BARRA (RJ): ANÁLISES PRELIMINARES COM BASE DA FERRAMENTA WEB DE CÓDIGO ABERTO CASSIE - COASTAL ANALYST SYSTEM FROM SPACE IMAGERY ENGINE. *Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Anais...2022*
- SALMON, C.; DUVAT, V. K. E.; LAURENT, V. Human- and climate-driven shoreline changes on a remote mountainous tropical Pacific Island: Tubuai, French Polynesia. *Anthropocene*, v. 25, p. 100191, 2019.
- SILVA, C. G. *Estudo da Evolução Geológica e Geomorfológica da Região da Lagoa Feia*. [s.l.] Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1987.