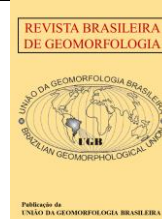




<https://rbgeomorfologia.org.br/>  
ISSN 2236-5664



Artigo de Pesquisa

## Dinâmica da linha de costa no flanco meridional do delta do rio Paraíba do Sul entre 1954-2018: considerações sobre o fenômeno da erosão costeira em Atafona (RJ) e diferentes métodos de análise

*Shoreline dynamic on the southern zone in the Paraíba do Sul River delta between 1954-2018: considerations about coastal erosion in Atafona and different analysis methods*

Beatriz Abreu Machado <sup>1</sup>, Thaís Baptista da Rocha <sup>2</sup> e Guilherme Borges Fernandez <sup>3</sup> e Silvio Roberto de Oliveira Filho

<sup>1</sup> Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geografia, Niterói, Brasil. Email: [Abreu\\_beatriz@id.uff.br](mailto:Abreu_beatriz@id.uff.br).  
ORCID: 0000-0002-1146-6012

<sup>2</sup> Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geografia, Niterói, Brasil. Email: [thaisbaptista@id.uff.br](mailto:thaisbaptista@id.uff.br)  
ORCID: 0000-0002-5268-8009

<sup>3</sup> Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geografia, Niterói, Brasil. Email: [guilhermefernandez@id.uff.br](mailto:guilhermefernandez@id.uff.br)  
ORCID: 0000-0003-4217-9021

<sup>4</sup> Universidade Federal Fluminense, Departamento de Geografia, Niterói, Brasil. Email: [silviooliveira@id.uff.br](mailto:silviooliveira@id.uff.br)  
ORCID: 000-0001-8923-285

Recebido: 23/07/2022; Aceito: 11/12/2023; Publicado: 10/02/2024

**Resumo:** O comportamento da linha de costa (LC) reflete os limites entre o continente e o oceano, tornando-se um importante indicador para o entendimento de processos costeiros associados a erosão e sedimentação. Ao longo da costa fluminense, especificamente no Delta do Rio Paraíba do Sul (DRPS), o comportamento da LC nas últimas décadas mostrou-se erosivo na localidade de Atafona, e ao mesmo tempo tendeu a sedimentação em Grussaí. Embora existam trabalhos documentados sobre a dinâmica costeira, ainda há lacunas quanto às taxas de erosão e sedimentação, assim como padrões de classificação dos processos erosivos e deposicionais, os quais permanecem incertos. Neste sentido, o objetivo principal deste trabalho foi analisar a dinâmica da LC no DRPS, em uma escala interdecadal, identificando taxas e padrões de comportamento da LC, para se determinar as tendências de evolução nas últimas décadas. Os resultados mostraram que Atafona apresenta padrões de erosão extrema e severa, com uma tendência de aumento da área erosiva em direção ao sul. Por outro lado, a área de sedimentação e estabilidade mostrou-se mais homogênea em Grussaí. Os resultados obtidos foram comparados com dados globais, mostrando que mesmo com a detecção automática, em função das taxas locais observadas, os padrões globais foram aceitáveis.

**Palavras-chave** Análise interdecadal, Praias arenosas, DSAS, Aqua Monitor, Perfis de Praia.

**Abstract:** The shoreline reflects the intersection between the continent and the sea, becoming a useful indicator for detected medium-term coastal process regarding to erosion and sedimentation. In Rio de Janeiro coast, specifically along Paraíba do Sul River Delta (PSRD), the shoreline behavior impacted directly Atafona Beach causing coastal erosion, and at the same time scale, the adjacent Grussaí beach experience sedimentation. Even with well documented coastal dynamics in PSRD, some issues regarding to coastal behavior rates, and patterns in coastal erosion and sedimentation classification remains unclear.

Thus, the aim of this study is analyzing the coastline dynamics of the southern PSRD describing the characteristics of shoreline behavior in an interdecadal scale, to identify rates and the classification of coastal processes associated with coastal erosion, based in different shoreline indicators and methods. The results showed that the PDRD present erosional rates associated with extreme to severe erosion, trending to spread this pattern to the southern part. On the other hand, stable and sedimentation rates were cleared mapped in Grussaí Beach, showing a homogenous distribution. These results increase the knowledge about coastal erosion and sedimentation, showing the confidence between local and global algorithms.

**Keywords:** Interdecadal Analysis, Sandy beaches; DSAS, Aqua Monitor, Beach Profile.

## 1. Introdução

A zona costeira é caracterizada pela sua complexidade e dinamismo, representando uma área que está em constante mudança em resposta às forças naturais, como a ação das ondas, das marés e dos ventos; e às atividades humanas (BIRD, 2007; DAVIDSON-ARNOTT, 2010; SHERMAN, 2013; BOSBOOM e STIVE, 2022). Atualmente, cerca de 1,2 bilhões de pessoas, o que representa 23% da população mundial, vivem em até 100km da costa (NGUYEN e BONETTI, 2016). Neumann *et al.* (2015) apontam que em 2030 aproximadamente 50% da população mundial irá residir nas zonas costeiras. Recentemente Bosboom e Stive (2021) atualizaram essa métrica e estimaram que aproximadamente três bilhões de pessoas, ou seja, metade da população mundial já reside ou trabalha na zona costeira. Além disso, o litoral apresenta recursos fundamentais para a sociedade, principalmente no que tange a exploração de recursos econômicos, seja no extrativismo, em atividades relacionadas ao turismo, atividades pesqueiras e outros (BOSBOOM e STIVE, 2021).

Ainda que viver próximo a zona costeira se torne vantajoso em função do potencial econômico, o litoral apresenta influência direta de processos hidro e aerodinâmicos (atuação de ondas e ventos), o que torna a costa em constante alteração morfológica, de maneira que esse dinamismo expõe seus habitantes a um número crescente de impactos, principalmente aqueles atrelados a maior exposição a eventos de tempestade e às alterações do nível médio do mar (NMM) (COCO *et al.* 2014; NGUYEN e BONETTI, 2016; COOPER *et al.* 2020). Nesse sentido, as discussões acerca da vulnerabilidade e da resiliência desse ambiente ganharam destaque nas últimas décadas, especialmente após o aumento das publicações sobre as projeções de aumento do nível do mar e os impactos na linha de costa, em particular no contexto das praias arenosas (LUIJENDIJK *et al.* 2018; VOUSDOSKAS *et al.* 2018; MENTASCHI *et al.* 2018; COOPER *et al.* 2020).

Dentro desta lógica de vulnerabilidade e adaptação das praias arenosas, a linha de costa (LC) aparece como um elemento de mapeamento capaz de refletir as variações morfológicas e os processos costeiros de erosão e acreção, sobretudo nas escalas interanual e interdecadal. Segundo Boak e Turner (2005), a linha de costa pode ser definida como um limite ou uma interseção entre dois ambientes: o oceano e o continente, a partir de uma série de diferentes indicadores, e representa uma feição suscetível a modificações morfológicas geradas através de processos naturais e antropogênicos (CASTELLE e MASSELINK, 2023). Sua posição espacial é variável em diversas escalas temporais, o que a transforma num limite móvel e, por vezes, difícil de ser definido e mapeado (MAIA e FARIAS, 2010; ROCHA e FERNANDEZ, 2020). Portanto, a escolha do indicador adequado de análise da LC se torna um elemento metodológico primordial, tanto na detecção da feição quanto na análise da sua dinâmica.

Segundo Boak e Turner (2005) são definidos dois grupos de indicadores de linha de costa: (a)feições costeiras discerníveis visualmente; e (b)baseadas em datum vertical de maré e nível médio do mar. No primeiro grupo os indicadores podem ser representados pelo limite da vegetação, pela base da escarpa da duna frontal, pela base ou topo da falésia, pelo contato úmido/seco. De acordo com Rocha e Fernandez (2020), a escolha do indicador geralmente depende dos materiais e dos métodos disponíveis para o mapeamento e para as análises que, também

dependem da escala espaço-temporal analisada. Ainda assim, os autores ressaltam a possibilidade de equívocos na interpretação da dinâmica da LC, sobretudo devido a não clareza do papel das escalas interdecadal e interanual dos processos costeiros e seus efeitos na LC; ou mesmo à dificuldade de aquisição dos dados em diferentes temporalidades que agregue, por exemplo, os monitoramentos *in situ* da zona costeira e imagens de satélite e/ou fotografias aéreas (ALMEIDA *et al.* 2021).

Ao longo das últimas décadas, a detecção e a avaliação do comportamento da LC frequentemente eram obtidas através de monitoramentos *in situ* (perfis de praia), aquisição por Sistema de Posicionamento Global – *Global Positioning System*- (GPS) ou GPS Diferencial (DGPS) e mapeamento em fotografias aéreas (BAPTISTA *et al.* 2011). No entanto, a partir do desenvolvimento de novos sensores e técnicas de processamento digital de imagem, o Sensoriamento Remoto (SR) potencializou a detecção dessa feição a partir de uma visão multiescalar e multitemporal, sobretudo a partir do desenvolvimento do *Google Earth Engine* (GEE), e das técnicas de detecção automática da linha de costa (LUIJENDIKJ *et al.* 2018; ALMEIDA *et al.* 2021; TAYLOR *et al.* 2021). Tais avanços metodológicos têm permitido uma melhor avaliação do fenômeno da erosão costeira em praias arenosas, que geralmente ocorre como reflexo de um balanço sedimentar negativo de causas naturais e/ou antrópicos (SOUZA *et al.* 2005). Recentemente, Luijendikj *et al.* (2018) atribuiu, a partir de análises da LC via SR no GEE, que aproximadamente 24% das praias arenosas do globo sofreram com um processo de erosão costeira, entre o período de 1984-2016.

Especificamente no estado do Rio de Janeiro, processos de erosão costeira decorrentes de déficit sedimentar e/ou impactos de tempestade ocorrem em alguns pontos do litoral (MUEHE *et al.* 2018), como é o caso do distrito de Atafona, localizado próximo à foz do delta do rio Paraíba do Sul. Este delta é considerado uma importante feição geomorfológica que foi construída aproximadamente nos últimos 5.000 anos, a partir do abaixamento do nível médio do mar e do aporte sedimentar do rio Paraíba do Sul (DIAS e GORINI, 1980; DOMINGUEZ *et al.* 1981; MARTIN *et al.* 1993; DIAS e KJERFVE, 2009). Embora seja uma feição que representa o processo predominante de progradação na escala do Holoceno, o fenômeno da erosão costeira que ocorre próximo à foz, tem sido historicamente mapeado por monitoramento de perfis de praia e mapeamento da linha de costa a partir de fotografias aéreas.

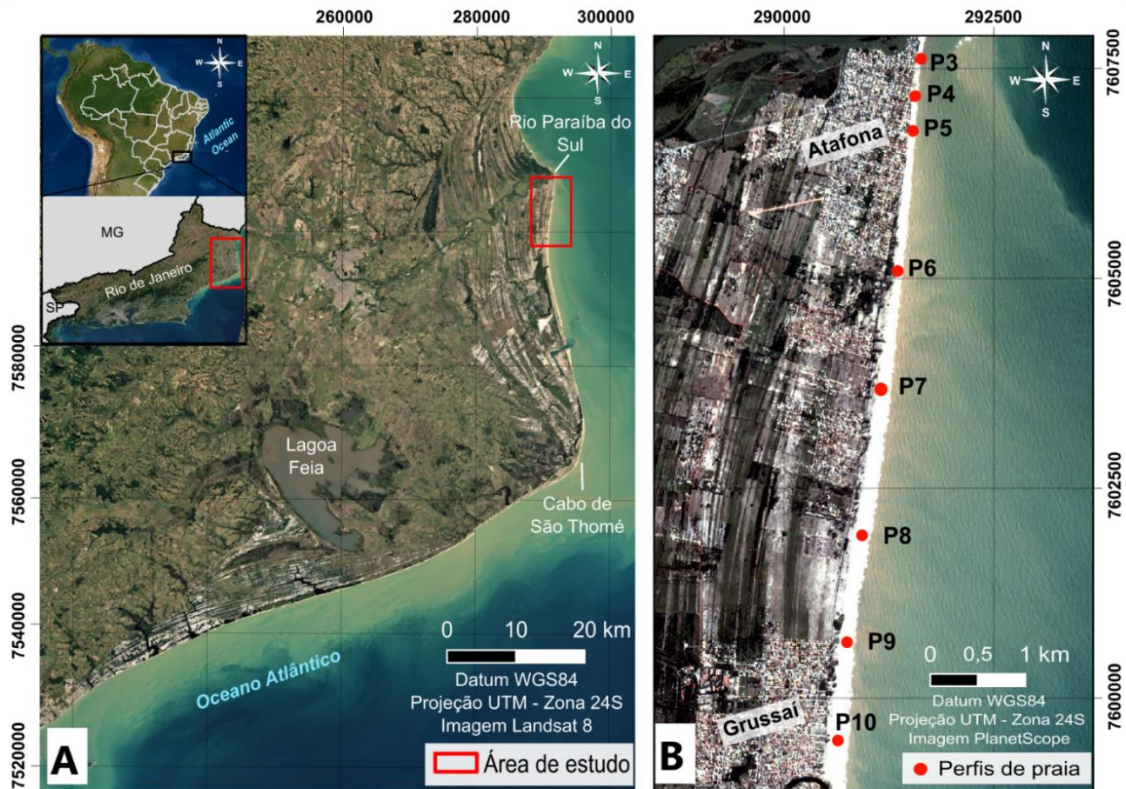
A erosão costeira em Atafona é abordada na literatura desde a década de 1990 do século XX por Bastos (1997), através da análise da LC por perfis de praia. Posteriormente, Santos (2006), a partir de processamento de dados de LC por fotografias aéreas; e mais recentemente Rocha *et al.* (2018), Silva (2019) e Vasconcelos *et al.* (2021) analisam dados temporais mais recentes, sem necessariamente considerar elementos de classificação quantitativa em relação a erosão, estabilidade e acreção, que possam discernir padrões de distribuição espacial destas classes, ao longo do trecho entre Grussaí e Atafona, e mesmo quais são os efeitos da erosão sobre a urbanização na área. Desta forma, o objetivo principal deste artigo é analisar a dinâmica da linha de costa no flanco sul do delta do rio Paraíba do Sul, em uma escala interdecadal (intervalo de 1954 e 2018) identificando padrões de comportamento da linha de costa, classificando quais são os trechos em erosão, estabilidade e acreção. Buscou-se, ainda, comparar e validar essas análises com dados de perfis de praia (de 2005 a 2018), que tem escala de maior detalhe, e também relacionar os resultados com dados globais descritos na Plataforma *Deltares Aqua Monitor* (LUIJENDIKJ *et al.* 2018). A partir dos resultados obtidos buscou-se avaliar os impactos da erosão costeira sob a ocupação urbana a partir de uma proposta de quantificação dos efeitos erosivos sobre os padrões de urbanização na área; bem como buscou-se discutir o significado do fenômeno da erosão costeira no contexto geológico-geomorfológico do delta do rio Paraíba do Sul.

## 2. Área de Estudo

A área de estudo faz parte do Complexo deltaico do rio Paraíba do Sul (CDRPS), mais especificamente no flanco meridional do delta do rio Paraíba do Sul (Figura 1A), abarcando as localidades de Atafona e Grussaí, no município de São João da Barra (Figura 1B). De acordo com Dias (1981), o CDRPS pode ser definido como um conjunto de ambientes sedimentares relacionados a diferentes fases de deltação do rio Paraíba do Sul (RJ), sendo limitado ao sul por planícies fluvio-lagunares; e ao norte, por Tabuleiros do Grupo Barreiras, além da presença do domínio suave colinoso em direção oeste da planície.

O CDRPS, ao sul do Cabo de São Tomé (Figura 1A), é formado por uma planície costeira de idade pleistocênica e uma estreita barreira transgressiva holocênica que trunca uma série de sistemas lagunares, que estão inseridos em grande parte no Parque Nacional de Restingas de Jurubatiba (ROCHA *et al.* 2013). Já ao norte do Cabo de São Tomé, a principal feição que marca o CDRPS é o delta do rio Paraíba do Sul, onde se localiza efetivamente a área de estudo. Este delta faz parte da bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul (RPS), no qual apresenta aproximadamente 1150 km de extensão e abrange os estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais, ocupando uma área equivalente a 62.000km<sup>2</sup> (ANA, 2016). Em função da sua localização, próxima às principais metrópoles da região Sudeste, o rio Paraíba do Sul e seus tributários apresentam vários trechos controlados por sistemas complexos de operações hidráulicas, que visam suprir a necessidade hidroelétrica de grande parte da população do seu entorno (SILVA, 2019).

Já com relação aos aspectos geológico-geomorfológicos do delta do rio Paraíba do Sul (DRPS), este é formado por uma extensa planície costeira que se desenvolveu sob condições de abaixamento do nível relativo do mar regionalmente identificado por Angulo *et al.* (2006) no Holoceno Superior em função do aporte sedimentar do rio Paraíba do Sul (p ex.: DOMINGUEZ *et al.* 1981; ROCHA *et al.* 2019 e FIGUEIREDO *et al.* 2021). Em termos geomorfológicos esta planície é formada por uma sucessão de feixes de cristas de praia e representa um processo evolutivo de progradação da linha de costa com episódios truncamentos erosivos que marcariam fases de interrupção no processo de progradação da planície deltaica, especificamente no flanco sul da fase mais recente de deltação (DIAS, 1981; BASTOS, 1997, ROCHA *et al.* 2017, ROCHA *et al.* 2019).



**Figura 1.** (A) Mapa de localização da área de estudo. (B) Os pontos numerados representam a rede de monitoramento de perfis de praia, realizados pelo Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense (LAGEF) desde 2005. Os perfis 1 e 2 foram perdidos em função da erosão costeira.

Em relação aos padrões climáticos, o CDRPS está inserido numa área de clima tropical úmido, com temperatura média de 22°C (ROCHA, 2009). Apresenta ainda, uma estação chuvosa no verão e uma estação seca no inverno, cuja precipitação média anual é de aproximadamente 900 mm (BASTOS, 1997; ROCHA *et al.* 2016). Os ventos de Nor-Nordeste (NNE) são predominantes da região, em função da influência do sistema de alta pressão do Atlântico Sul (ASAS), atuando com velocidades entre 4 a 13 m/s, segundo os dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 2006 a 2018; e Souza e Bulhões (2011). Já os ventos de Sul (S) e de Sudoeste (SO) também atingem a região, em função das passagens de sistemas frontais.

Como o padrão de ondas está associado à incidência dos ventos, Vasconcelos *et al.* (2016), Souza (2011) e Souza e Bulhões (2011) indicam um padrão bimodal de ondas atuando neste litoral, com predominância de ondas dos quadrantes Leste-Nordeste (ENE), associados ao ASAS; e do quadrante Sul (S), associados à passagem de sistemas frontais. As ondas de NE tendem a apresentar em média 1,0 m de altura, enquanto ondas advindas dos quadrantes S e SE, tendem a ultrapassar 3,0m (SOUZA, 1988). Ainda assim, Souza e Bulhões (2011) chamam atenção para ventos intensos oriundos do quadrante Leste-Nordeste (ENE) ou Leste-Sudeste (ESE) que promovem forte agitação marítima e tendem a atingir mais especificamente o litoral do distrito de Atafona. Em relação ao regime de maré, segundo a DHN (1979), predomina-se um regime de micro-maré mista, com amplitudes próximas a 1,2 m.

O transporte litorâneo no flanco sul do delta, segundo Dias e Gorini (1980), Cassar e Neves (1993), apresenta sentido predominante voltado para Sul. A partir da reconstrução do clima das ondas para o período de 2004 e 2007, Vasconcelos *et al.* (2016) também calcularam um transporte residual predominante em direção ao Sul do rio Paraíba do Sul. No entanto, o transporte de Sul para Norte também já foi discutido por Dominguez (1996) e, segundo o autor, esse transporte levaria ao desenvolvimento do efeito do “molhe hidráulico”. De acordo com

este autor, esse efeito poderia explicar as fases de formação de pontais arenosos próxima a foz, intercaladas por fases de erosão em cenários de redução de descarga líquida fluvial.

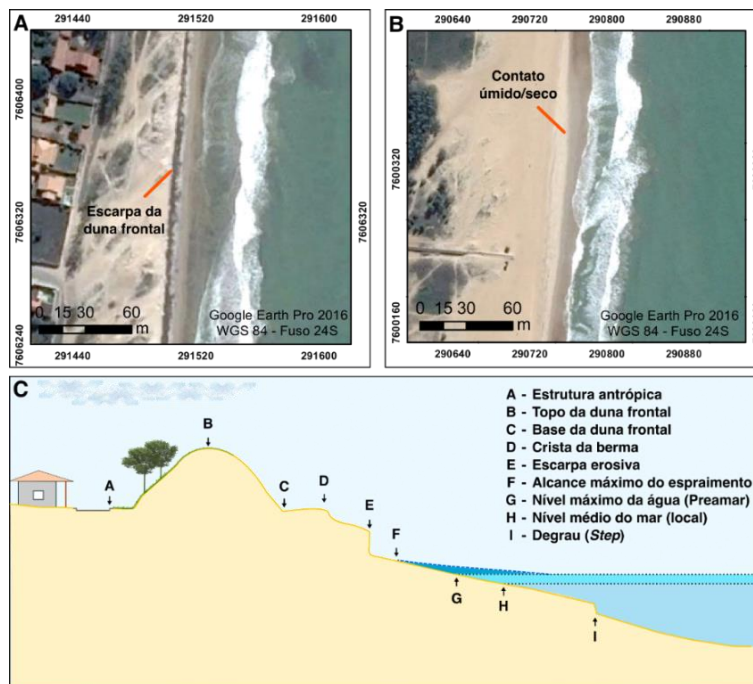
### 3. Materiais e Métodos

#### 3.1. Delimitação da linha de costa

Para a determinação da linha de costa (LC) foi realizada a vetorização de indicadores pré estabelecidos (figura 2), nas seguintes imagens: (i) fotografia aérea do ano de 1954 (Fonte DRM - resolução espacial de 3,8m); (ii) fotografias dos anos de 1976 e 2002 (Fonte DRM – resolução espacial 0,86m); (iii) Ortofoto do ano de 2005 (Fonte IBGE - resolução espacial 1m); (IV) Imagem de satélite do ano de 2016 (Fonte: acervo Google Earth Pro – resolução espacial de aproximadamente 0,65m). Todas as imagens foram georreferenciadas a partir da Ortofoto do IBGE do ano de 2005 (disponível em <https://www.ibge.gov.br/geociencias/imagens-do-territorio/imagens-corrigidas/10852-ortomosaicos.html?=&t=downloads>) no programa ArcMap™ 10.4. Quadros (2015) realizou uma avaliação geométrica do posicionamento das Ortofotos de 2005 para Quissamã (RJ) e Macaé (RJ), dentro do CDRS e a 90km de distância, e identificou um erro médio de 2,26m, classificando-a como classe A de padrão de exatidão cartográfica (PEC). Também foi utilizada uma linha de costa correspondente ao ano de 2018, obtida através de caminhamento com auxílio de GPS., modelo GPSmap 64Sx, que registra coordenadas não somente no sistema GPS, mas também no sistema GLONASS.

Em função da facilidade de identificação nas diferentes imagens temporais, definiu-se o contato úmido/seco como indicador de linha de costa, o que corresponderia ao indicador F e G, na Figura 2C. Porém, cabe ressaltar que, principalmente no setor mais erosivo, esse contato se sobrepôs ao contato da base da escarpa da duna frontal (figura 2A e 2B), correspondente ao indicador E (figura 2). Muehe e Klumb-Oliveira (2014) apontam para o cuidado com a utilização do indicador do contato úmido/seco, principalmente quando se emprega apenas duas imagens como indicação de tendência, uma vez que tal contato possa apenas representar variabilidade morfodinâmica da praia, não necessariamente a projeção da própria LC. Esse não é o caso do presente trabalho, que utilizou 6 momentos temporais, de maneira que as flutuações morfodinâmicas não seriam esperadas em um número maior de amostragens.

Com relação ao erro estimado do mapeamento, foi considerado o efeito da maré que influencia o mapeamento do indicador da LC. Para isso, foi assumido o valor encontrado por Quadros (2015) que identificou, a partir de pesquisas empíricas envolvendo a amplitude da maré sizígia no norte fluminense, que a variação dessa forçante pode deslocar o indicador de LC em até aproximadamente 10 m. Considerando o maior intervalo temporal de análise (1954 – 2018), o erro estimado é de aproximadamente  $\pm 0,15$  m/ano, o que não altera os intervalos de classificação utilizados nesse trabalho ou a resultante do processo, uma vez que as classes de erosão e acreção são separadas pelo intervalo de -0,5m/ano a 0,5m/ano, relativos à classe de estabilidade.



**Figura 2.** Indicador de linha de costa utilizado no mapeamento em planta: (A) indicador da escarpa da duna frontal;(B) contato úmido seco; (C) indicadores de LC discerníveis visualmente, proposto por Boak e Turner (2005) e utilizados na avaliação dos perfis de praia.

As taxas de variação de linha de costa foram estimadas a partir do auxílio do *plugin* Digital Shoreline Analysis System (DSAS) para ArcMap™ 10.4, desenvolvido por Thieler *et al.* (2009), e atualizado por Himmelstoss *et al.* (2018). O método consistiu na geração de transectos transversais à praia (espaçados em 50m entre si) que foram gerados a partir de uma linha de base definida (*baseline*) e da vetorização de linhas de costa em diferentes datas (*shoreline*). Após a criação da linha de base, das LC e dos transectos, gerou-se no DSAS as taxas de variação de LC para cada recorte temporal (1954 a 1976; 1976 a 2002; 2002 a 2005; 2005 a 2016; 2016 a 2018 e 1954 a 2018).

Objetivando caracterizar o comportamento da linha de costa, gerou-se uma classificação pautada na relação m/ano, conforme apontado nos trabalhos de Esteves e Finkl (1998), Rader *et al.* (2018), e Rocha *et al.* (2021). Na tabela 1, os autores propuseram as seguintes classes a partir do cálculo do End Point Rate (EPR) que consiste na variação espacial (metro) entre a LC mais antiga e a mais recente sobre a variação temporal (ano) da LC mais antiga para a mais recente. Luijendikj *et al.* 2018, também propôs as seguintes classes, entretanto os autores se basearam em cálculos de regressão linear (LRR). Desta forma, ao se utilizar dos intervalos de classificação na Tabela 1, buscou-se padronizar os resultados obtidos para a literatura internacional, de maneira a se permitir análises comparativas em áreas litorâneas distintas.

**Tabela 1.** Tabela com as classes e taxas utilizadas no mapeamento de LC para a área de estudo.

	Classes	Taxas
<b>Intervalo 1</b>	Acréção	>0,5m/ano
<b>Intervalo 2</b>	Estabilidade	-0,5m/ano a 0,5m/ano
<b>Intervalo 3</b>	Erosão	-0,5m/ano a -1,0m/ano
<b>Intervalo 4</b>	Erosão severa	-1,0m/ano a -3,0m/ano
<b>Intervalo 5</b>	Erosão extrema	<-3,0m/ano

A partir da aplicação do DSAS gerou-se em torno de 180 transectos ao longo dos 10 km de linha de costa, entre os anos de 1954 e 2018, incluindo as variações temporais de 1954-1976, 1976-2002, 2002-2005, 2005-2016 e 2016-2018. Nesse sentido, cabe destacar que a interpretação da LC na escala interdecadal (1954 a 2018) buscou inferir padrões e, portanto, indicar tendências erosivas e/ou de acreção para a área discutida, com intervalos pré-definidos. Para isso, definiu-se um EPR, a mesma métrica estatística utilizada por Esteves e Finkl (1998) e Rader *et al.* (2018) e Rocha *et al.* (2021) para cada perfil de praia. A partir disso, calculou-se as taxas de variação de linha de costa para cada transecto. Ainda assim, cabe ressaltar que a não padronização dos intervalos temporais de análise se deve à preferência pela utilização de imagens de alta resolução espacial neste trabalho e, portanto, tais materiais não necessariamente são obtidos com regularidade temporal.

### 3.2. Validação da linha de costa e análise comparativa com perfis de praia

O Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense (LAGEF) conta com uma rede de monitoramento contínua de perfis de praia (8 pontos) na área de estudo que se iniciou em 2005. Anteriormente eram 10 pontos de monitoramento, mas os perfis 1 e 2, foram perdidos em função da erosão costeira, por estarem muito próximo à foz (ROCHA *et al.* 2018). Os perfis foram obtidos, em campo, a partir do uso de diferentes técnicas de topografia e em seguida os dados e gráficos foram plotados no programa Microsoft Office Excel. O ponto de partida da coleta de cada perfil seguiu os Referenciais de Níveis (RNs) pré-estabelecidos até pelo menos o recuo máximo das ondas, e não raramente se estendendo para a zona submarina. As cotas dos RNs foram ajustadas ao nível médio do mar, segundo o método proposto por Muehe *et al.* (2003). Esses perfis balizaram a validação das taxas geradas pela ferramenta DSAS para o período de 2005 a 2018.

Nos perfis praias foram identificados os indicadores discerníveis visualmente, proposto por Boak e Turner (2005) e os mesmos foram comparados na série temporal do monitoramento. Para os perfis 3, 4 e 5, foi considerado a base da escarpa erosiva como indicador de linha de costa (Indicador E, figura 2C); para o perfil 6, a base da escarpa da duna frontal (Indicador C, figura 2C); e para os perfis 8, 9 e 10, a crista da berma, relativo ao indicador D (figura 2C). No caso destes indicadores, assume-se que a variação da maré não influencia a resultante da LC mapeada e, conseqüentemente, das taxas identificadas, uma vez que a morfologia identificada se ajustaria às condições de ciclos completos de maré. Visando discutir os dados globais de LC propostos por Luijendijk *et al.* (2018), foram extraídos transectos e seus respectivos gráficos de regressão linear, na plataforma *Deltares Aqua monitor* para o setor dos perfis de praia. Dito isso, optou-se pela escolha dos setores referentes ao P3 e ao P9, por representarem os extremos do comportamento de LC, relacionados a erosão severa e acreção, respectivamente.

### 3.3. Quantificação do impacto da erosão costeira sob edificações

Com o objetivo de discutir os danos causados pela erosão costeira, foi realizado um mapeamento em planta do número de quadras/quarteirões perdidos para o período de 1976-2019. Para isso, foi utilizado como material: (1) fotografia aérea disponibilizada pelo DRM (1976); (2) Ortofoto do IBGE (2005) e; (3) imagem de satélite Worldview, disponibilizado pelo INEA (2019). Após a aquisição dos materiais, foi realizada uma vetorização dos arruamentos na imagem de 1976 no programa ArcMap 10.4™, tendo em vista que nas imagens de 1954 não é possível observar elementos de urbanização, pela simples ausência deste padrão de ocupação.

Para se quantificar os efeitos da erosão, propôs-se no mapeamento a identificação de: (1) áreas totalmente danificadas, ou seja, quarteirões que se tornaram inexistentes entre um recorte temporal e outro e (2) áreas parcialmente danificadas, quando o quarteirão se encontra parcialmente erodido e, portanto, sofre atualmente com o processo entre um recorte temporal e outro. A partir da sobreposição das camadas vetoriais de 1976 com as imagens de 2005 e 2019, foi feita uma quantificação do número de quadras perdidas e a partir disso, foram



comparados com os dados propostos por Azevedo (2004), Mello *et al.* (2018) e Vasconcelos *et al.* (2021) de perda de áreas e estruturas urbanas para o distrito de Atafona, para que a quantificação identificada fosse devidamente comparada com dados previamente medidos por diferentes autores.

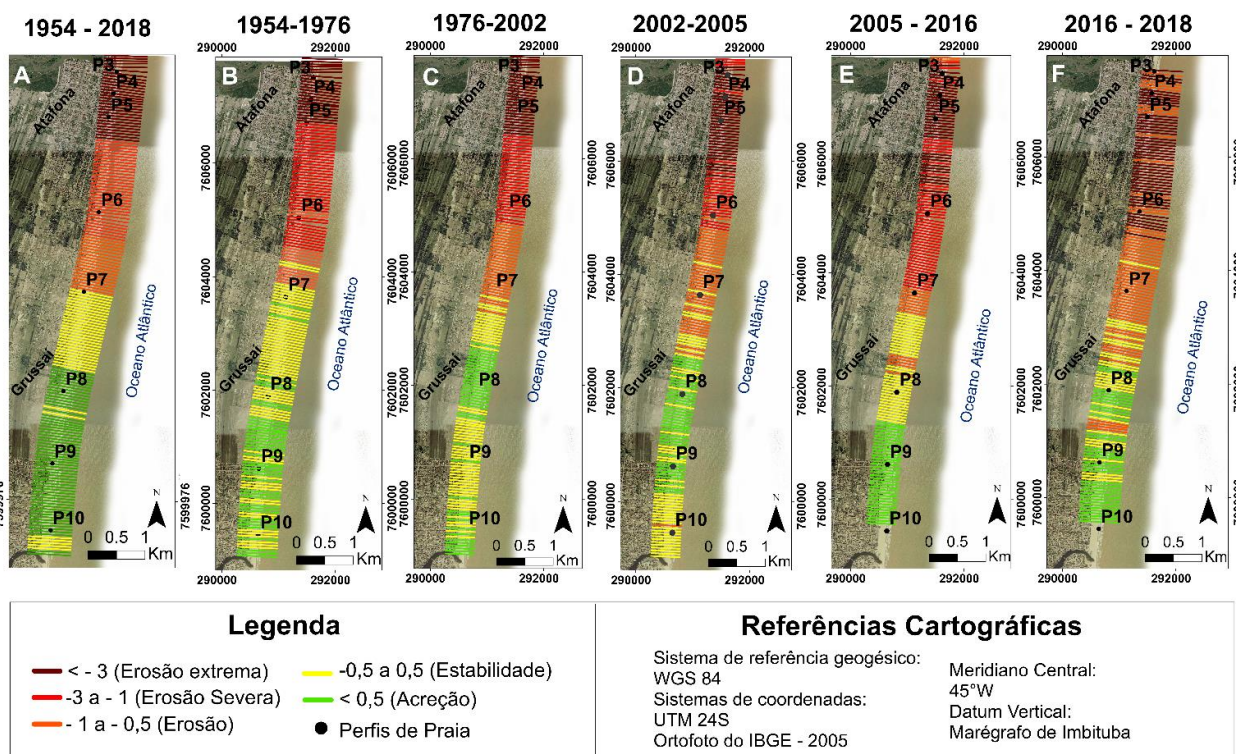
## 4. Resultados

### 4.1. Análise das taxas de linha de costa no DSAS

Durante o período de 1954-2018 o comportamento de linha de costa (figura 3A) observado na área de estudo mostra que todos os intervalos puderam ser identificados, e de maneira que a erosão extrema ficou concentrada nas proximidades da foz, em que as taxas superaram (-)3 m/ano, ajustados ao controle dos perfis de praia 3, 4 e 5. A erosão severa que prevê recuos da ordem entre (-)1 e (-) 3 m/ano, se mostrou prevalecente nos trechos ao sul do P5, até os limites do perfil 7. O trecho considerado estável (entre 0,5 tanto para erosão como para acreção) ficou restrito ao perfil 7 e o perfil 8. Entre o P8 e o P10, salvo alguns transectos de estabilidade, houve um sensível predomínio de taxas de acreção. Desta forma a figura 3A mostra que ocorre uma predominância dos processos erosivos ao norte na localidade de Atafona, entre os perfis P3 e o P7; enquanto ocorre o processo de acreção ao sul, em Grussaí, entre os perfis P8 e o P10. Detalhadamente, portanto, pode-se afirmar que o P3, P4 e P5 estão inseridos no setor de erosão extrema, pois os transectos apresentam taxas superiores a (-) 3,0 m/ano. Já o P6, encontra-se na classe de erosão, pois os transectos geraram taxas entre (-) 1,0 m/ano a (-) 0,5 m/ano. Por fim, o P8, P9 e P10 estão inseridos na classe de acreção, com taxas maiores de (+) 0,5 m/ano (figura 3A).

Se o comportamento geral ficou evidente, nas diferentes escalas de análise este padrão foi variável. Observando o intervalo de 1954-1976 e 1976-2002, identificados nas figuras 3B e 3C, nota-se que houve um ligeiro aumento do número de transectos, ao norte em Atafona, que sofrem com a erosão extrema, haja visto que linha com esta classificação se propagaram em direção ao norte do P5. Por outro lado, a faixa de erosão extrema se reduziu, passando para erosão entre o P6 e o P7. Isso indicaria que o processo de erosão costeira extrema se acentuou no período de 1976-2002, mesmo considerando o maior intervalo temporal entre essas imagens, quando comparado com o intervalo entre 1954-1976. Por outro lado, a partir do P7, em direção à Grussaí se mostrou mais estável, e não tão acrescional. Já para os intervalos de 2002-2005 e 2005-2016, um aumento expressivo da área de erosão extrema e severa em Atafona (figura 3D e E), em que a LC, nas proximidades do P7, estaria dentro de uma classificação de erosão severa, diferente da classificação determinada até, 2002 (figura 3C). Ao Sul, o comportamento aparentemente se consolidou com duas bem definidas faixas de estabilidade nas proximidades do P8, e de acreção, entre o P9 e o P10.

No intervalo mais recente, entre 2016-2018, nota-se a projeção da área de erosão extrema para o sul, entre o P3 e o P7, indicando uma intensificação do processo de erosão costeira nos anos mais recentes da análise. Além disso, os resultados dos últimos três intervalos temporais (Figuras 3D, E e F) mostram um aumento da abrangência espacial do processo de erosão, que passa a ocorrer até as proximidades do perfil P7, já próximo ao distrito de Grussaí.



**Figura 3.** Mapa com os transectos gerados pelo DSAS entre os intervalos sugeridos (1954-2018; 1954-1976; 1976-2002; 2002-2005; 2005-2016; 2016-2018) e a classificação do comportamento de linha de costa seguindo a quantificação proposta pelos autores citados acima para cada período. Notar que ocorre variações de LC ao longo dos diferentes recortes temporais e espaciais, no entanto, observa-se um predominantemente erosão ao Norte, em Atafona e acreção ao Sul em Grussaí.

Já a classificação da linha de costa numa escala temporal maior, como por exemplo, a análise do período de 1954 a 2018 (figura 3A), proporciona uma investigação mais assertiva no que diz respeito a indicação de tendências dos fenômenos e das taxas de comportamento da LC. De acordo com a tabela 2, as taxas de erosão costeira no distrito de Atafona chegaram à (-) 5,39 m/ano (próximo ao perfil P3). Já em Grussaí, as taxas de acreção chegaram à (+) 3,43 m/ano (próximo ao perfil P9).

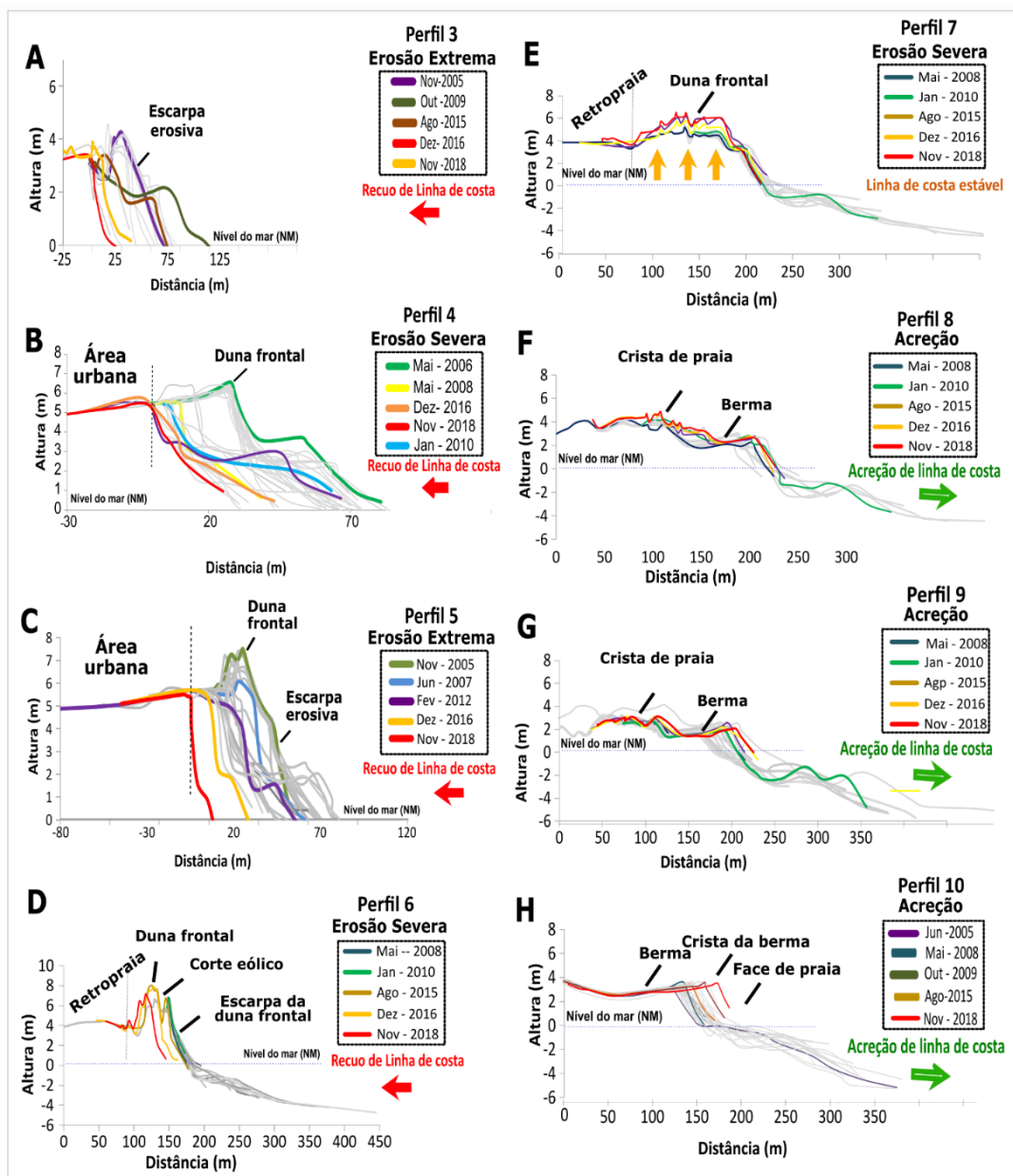
#### 4.2. Perfis de praia e validação das taxas do DSAS

O comportamento da LC observado nos perfis de praia foi condizente com comportamento da LC observado nas imagens, sobretudo para o intervalo temporal envolvendo toda a série temporal 1954-2018 (figura 4). Os perfis P3 e P5 foram aqueles que apresentaram os maiores índice de erosão, sendo determinados por erosão extrema. Os perfis, P4, P6 e P7 mostraram também comportamento de recuo da linha de costa, porém enquadradas na classe de erosão severa. A partir do perfil 8, os perfis P9 e P10 se mostraram com padrão de comportamento de acreção, nos 15 anos monitoramento (Figura 4). É interessante que o perfil P7, foi o único que apresentou uma sensível diferença em relação à classificação envolvendo a resultante do envelope de perfis e a classificação determinada pelo DSAS, uma vez que pelos perfis o ponto seria classificado como erosão severa, enquanto pelo algoritmo apresentaria padrões de estabilidade (Figura 4F e Tabela 2).

Na Tabela 2 estão expostos os resultados comparativos entre o DSAS e os perfis de praia. Especificamente no perfil P3, considerando a escarpa erosiva como indicador de linha de costa, foi identificado um recuo para o

período de 2005-2018 de aproximadamente 50 metros, o que representa uma taxa de (-) 3,84m/ano (figura 4A). Extrapolando a análise temporal, a taxa adquirida pelo DSAS para o período de 1954-2018 para o mesmo setor do perfil P3 foi de (-) 5,39m/ano, o que representa um recuo de 345 metros (Figura 3A e Tabela 2).

Já no perfil P4 e P5, é possível observar a presença de dunas frontais até 2008 e como reflexo da erosão costeira, essa feição geomorfológica foi completamente erodida (Figuras 3B e 3C), assim como também observado por Rocha *et al.* (2018) e mais recentemente Machado (2020). Também considerando a base da escarpa erosiva como indicador, o P4 apresentou um recuo de aproximadamente 30 metros, representando uma taxa de 2,30 m/ano (figura 4B) e para o P5 um recuo de 45 metros e uma taxa de 3,46 m/ano (figura 4C). Enquanto na escala de 1954-2018 da análise no DSAS, o P4 apresentou um recuo de 301 metros, totalizando uma taxa de (-) 4,71m/ano, o P5 demonstrou um recuo de 248 m, ou seja, uma taxa de (-) 3,88m/ano (Tabela 2).



**Figura 4.** Rede de monitoramento de perfis de praia para o período de 2005-2018 entre Atafona e Grussaí. Notar que o P3, P4, P5 e P6, encontram-se em área de erosão costeira, variando entre extrema e severa, e os P8, P9 e P10 em área de acreção de linha de costa. Os indicadores de LC utilizados também estão marcados nos perfis bidimensionais, como (1) escarpa erosiva; (2) base da duna frontal, (3) crista da berma.

**Tabela 2.** Tabela com as taxas de variação de linha e costa em cada intervalo temporal e métodos abordados (todas as taxas encontram-se em metro/ano).

Taxas de variação da LC (m/ano): Transectos DSAS								
Perfil/Recorte temporal	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
1954-1976	- 5,83	- 4,42	- 3,13	- 0,05	2,09	2,06	2,34	2,1
Classe	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão	Acreção	Acreção	Acreção	Acreção
1976-2002	- 5,37	- 5,31	- 4,08	- 0,63	2,26	3,99	3,50	3,65
Classe	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão	Acreção	Acreção	Acreção	Acreção
2002-2005	- 12,29	- 9,98	- 10,34	- 4,04	- 1,5	3,84	4,14	2,04
Classe	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão severa	Acreção	Acreção	Acreção
2005-2016	- 2,12	- 2,69	- 2,45	- 0,14	0,61	1,64	3,46	3,81
Classe	Erosão severa	Erosão severa	Erosão severa	Estabilidade	Acreção	Acreção	Acreção	Acreção
2016-2018	- 2,82	- 1,79	- 2,68	- 1,31	4,52	8,87	9,58	-
Classe	Erosão severa	Erosão severa	Erosão severa	Erosão severa	Acreção	Acreção	Acreção	
1954-2018	- 5,39	- 4,71	- 3,88	- 0,42	1,87	3,22	3,43	3,32
Classe	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão extrema	Erosão	Acreção	Acreção	Acreção	Acreção
Taxas de variação da LC (m/ano): Perfis de monitoramento de praia								
Perfil/Recorte temporal	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10
2005-2018	-3,84	-2,30	-3,46	-2,43	-1,53	3,38	3,43	2,54
Indicador de LC	Escarpa erosiva	Escarpa erosiva	Escarpa erosiva	Escarpa da DF	Escarpa da DF	Crista da berma	Crista da berma	Crista da berma
Classe	Erosão extrema	Erosão severa	Erosão extrema	Erosão severa	Erosão severa	Acreção	Acreção	Acreção

## 5. Discussão

### 5.1. A erosão costeira em Atafona: discussões e perspectivas futuras

Os processos de erosão costeira em Atafona foram documentados por diversos autores no Brasil (BASTOS, 1997; AZEVEDO, 2004, SANTOS, 2006; ROCHA, 2009; *et al.* 2018, MACHADO, 2020; VASCONCELOS *et al.* 2021). Os dados analíticos identificando as taxas de recuo de linha de costa (Tabela 2 e Figura 4), e indicadores geomorfológicos (Figura 3), faz com que o trecho de Atafona seja considerado um ponto proeminente de erosão costeira (*hot spot*). Esse termo pode ser atribuído às praias que sofrem com taxas de recuo severo de LC, quando comparado com o seu entorno (KRAUS e GALGANO 2001; BENEDET *et al.* 2007). Luijendikj *et al.* (2018), para uma escala global, consideraram como *hot spot* de erosão costeira, áreas que compreendem pelo menos 5 km em erosão,

a uma taxa maior que (-) 0,5 m/ano ao longo do período de análise de 1984-2016, compreendendo, portanto, o trecho costeiro de Atafona.

Ainda assim, considerando o contexto geológico-geomorfológico, chama à atenção a ocorrência de um “*hot spot*” de erosão em um ambiente deltaico que, comumente é caracterizado pela progradação do prisma deposicional. A identificação do trecho de ‘*hot spot*’ só foi possível de determinar em função do cálculo das taxas de erosão em escala decadal, feitas utilizando os dados de DSAS e comparadas com as classes de erosão descritas, o que mostra avanços em relação ao entendimento dos processos não somente erosivos, mas também deposicionais mais recentemente feitos por Vasconcelos *et al.* (2021), que identificou as áreas de erosão e acreção, sem definir classes relacionados ao comportamento da linha de costa.

Quando se olha para o interior da planície costeira o que se observa é que esses processos podem ter ocorrido em outras escalas temporais sendo, portanto, recorrentes no processo de evolução da planície deltaica do rio Paraíba do Sul, na escala do Holoceno (ROCHA *et al.* 2019). Também notado por Dias (1981); Bastos (1997); Rocha *et al.* (2017) as cristas no flanco sul do rio apresentam uma direção predominante NE-SW, a mesma direção da atual linha de costa, e algumas destas cristas encontram-se separadas por truncamentos erosivos. Na escala do Holoceno, esses truncamentos distribuídos pela planície deltaica podem futuramente demonstrar a influência de oscilações climato-oceanográficas.

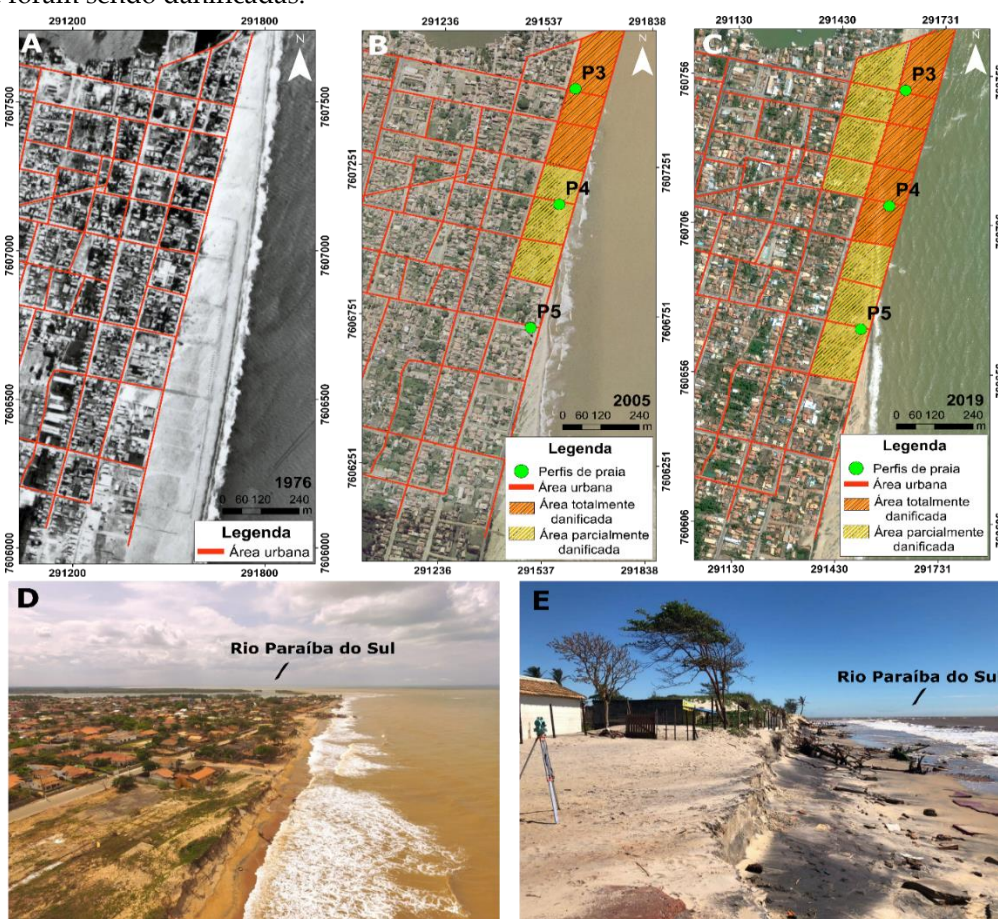
De maneira comparativa a outros deltas no mundo, Besset *et al.* (2019) avaliaram os processos de erosão e progradação também na escala interdecadal no delta do rio Paraíba do Sul. De acordo com o mapeamento da área deltaica realizada pelos autores, a porção subaérea do delta do rio Paraíba do Sul ainda apresenta resultante de ganho de área emersa. Por outro lado, em outros deltas do mundo, as intervenções antropogênicas nas bacias de drenagem e os impactos das mudanças climáticas globais já têm resultado em processos erosivos mais generalizados (BESSET *et al.* 2019).

Embora não se deva desconsiderar o papel das intervenções na bacia de drenagem e a possível redução da descarga sedimentar como influência do processo de erosão costeira, a causa efetiva mais provável pode ter relação com a atuação da convergência de ortogonais de ondas (BASTOS, 1997; ROCHA *et al.* 2018). Este fenômeno tenderia a concentração de energia no processo de propagação de ondas, resultado da interação entre as ondas oblíquas de direção NE e da configuração morfológica em formato de cúspide, encontrada na desembocadura fluvial. Considerando a característica morfodinâmica do delta do Paraíba do Sul, classificado como “delta assimétrico dominado por ondas” (BHATTACHARYA e GIOSAN, 2003; ASHTON e GIOSAN, 2011), ainda são necessários mais estudos sobre simulações de propagação de ondas na respectiva área. No tocante aos estudos sobre as ondas e distribuição sedimentar na foz, Cassar e Neves (1993) mostram que a partir da desembocadura o volume distribuído para sul atinge aproximadamente 4400 m<sup>3</sup>/dia, o que aparentemente não é suficiente de retardar a erosão costeira. Por outro lado, o rio Paraíba do Sul registrou uma redução da vazão no baixo-curso em torno de 35% entre os anos de 1934-2015 (ROCHA *et al.* 2022).

Apesar da dimensão espacial do fenômeno de erosão costeira estar restrito a localidade de Atafona, os efeitos dessa erosão na região têm causado impactos significativos em edificações e estruturas urbanas, totalizando em termos de área 1.031.238,59 m<sup>2</sup>, entre 1954-2019. Vasconcelos *et al.* (2021) foram bastante assertivos na identificação das áreas em que ocorrem erosão e progradação, porém não classificaram comparativamente o comportamento da linha de costa e os efeitos diretos sobre as edificações. Neste particular, Azevedo (2004) realizou a quantificação dos impactos diretos sobre Atafona, através de imóveis cadastrados pela Secretaria de Fazenda para o período de 1975 a 2004, estimando a perda de 183 imóveis. Já mais recentemente, entre 2005 e 2016, Mello *et al.* (2018) verificaram uma perda de mais de 40 imóveis, correspondendo um total de 7 quadras, mostrando a continuidade das perdas de benfeitorias.

Considerando a área urbana de Atafona entre 1976-2019 (Figura 5A, B e C), atribuiu-se uma perda completa de 5 quadreiros, enquanto 7 ficaram parcialmente danificados, ou seja, foram atingidos indiretamente por processos da erosão costeira e/ou pelo processo do avanço transgressivo das dunas frontais, já mencionado em Fernandez (2008), Rocha *et al.* (2018). Na avaliação sobre os efeitos diretos da erosão sobre a área urbana, o fenômeno atingiu um total de 12 quadras ao longo de 43 anos, totalizando uma área de 215.539,059m<sup>2</sup> o que representa, aproximadamente a perda de 1 quadreiro a cada 3 anos e meio (Figura 5). Entre 1976 e 2005, notou-se uma perda completa de 3 quadras e 3 parcialmente danificadas, ou seja, ao longo de 29 anos, 6 quadras foram atingidas totalizando uma taxa de 1 quadra a cada 5 anos, em média, totalizando uma área de 103.162,11 m<sup>2</sup>. De fato, entre 2005 e 2019, notou-se uma aceleração desse processo, tendo em vista, que se perdeu aproximadamente 1 quadra a cada 2 anos e meio, fato também observado na área de erosão que dobrou no período.

A partir destes dados, a figura 5 apresenta uma avaliação que classifica os efeitos da erosão costeira sob as estruturas urbanas. Entre os anos de 2005 e 2019, observou-se que a erosão severa (figura 3) projetou-se para o sul, e, portanto, projetou também a área totalmente danificada, assim como propagou para posições mais meridionais as áreas definidas como parcialmente danificadas. Isso mostra que, conforme os efeitos erosivos foram se acentuando e se projetando, as edificações que anteriormente estariam afastadas da LC e fora do alcance da erosão gradualmente foram sendo danificadas.



**Figura 5.** (A) Imagem do DRM de 1976 e sua área urbana. (B) Ortofoto do IBGE de 2005 e a área urbana de 1976. Notar a perda de 3 quadras por completo em função da erosão costeira. (C) Representa a perspectiva mais atual do processo, na imagem de 2019 do INEA. É possível verificar que 12 quadreiros foram atingidos desde 1976. (D) Foto oblíqua do distrito de Atafona. Notar a escarpa erosiva, bem como as edificações e arruamento destruídos e/ou danificados (Fonte: acervo fotográfico do LAGEF - UFF. Ano de obtenção: 2018). (E) Fotografia do ano de 2020, próximo ao perfil P3, no distrito de Atafona (Fonte: acervo fotográfico do LAGEF – UFF).

Como forma de mitigar esses impactos, em 2015, o Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias (INPH) criou um projeto que sugere ao município de São João da Barra a construção de um “campo de espigões” perpendiculares a LC, a um custo estimado entre R\$ 50 a R\$ 100 milhões (Neto, 2019). No entanto, é importante considerar que estruturas rígidas como essas tendem a impactar significativamente o transporte lateral dos sedimentos, além de causar prejuízos estéticos à praia. Como alternativa, outras ações, como a “alimentação/transposição artificial de areias” têm sido defendidas como solução de mitigação alternativa, sobretudo por também apresentar um custo mais reduzido, estimado em cerca de R\$ 20 milhões (NETO, 2019).

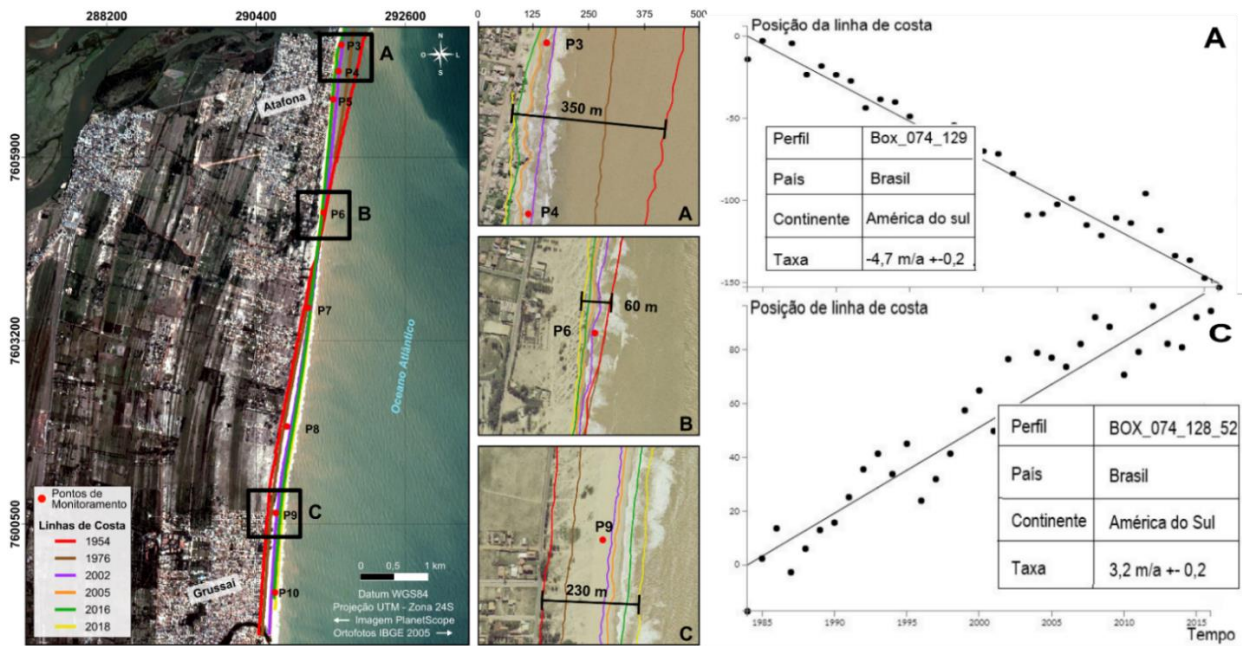
### 5.2. Potencialidades e desafios da detecção de LC através do Sensoriamento Remoto (SR): do comportamento local à detecção em escala global

Recentemente, diferentes trabalhos incorporaram o SR como ferramenta para detecção de linha de costa (p. ex.: LUIJENDIKJ *et al.* 2018, VOS *et al.* 2019; VOUDOUSKAS *et al.* 2020; ALMEIDA *et al.* 2021 e BISHOP-TAYLOR *et al.* 2021). Segundo Weckmüller e Vicens (2018), nas últimas décadas houve uma crescente disponibilidade de imagens de satélite, desenvolvimento de novos sensores, além do desenvolvimento de computadores com capacidade de processar um maior número de informações, e tal fato deve ser interpretado com o aumento dos trabalhos relativos a LC. Nestes trabalhos, embora apresentem classificadores distintos de detecção de LC, praticamente todos os métodos estão submetidos a detecções automáticas a partir de modelos pré-programados de identificação de indicadores discerníveis visualmente, conforme proposto por Boak e Turner (2005), onde destaca-se o contato da linha d’água.

Diferentemente da detecção automática baseada em Índices de Água de Diferença Normalizada (NDWI), o mapeamento de LC realizado na área de estudo foi feito através da vetorização do indicador do contato úmido-seco e/ou limite da vegetação para o intervalo de 1954-2018, possibilitado pela alta resolução espacial das imagens utilizadas. Tal fato garante um maior controle sobre a determinação do indicador de LC, favorecendo interpretações mais robustas pelo supervisionamento direto do traçado desejado pra comparações subsequentes. Já Luijendikj *et al.* (2018), Vos *et al.*, (2019); Voudouskas *et al.* (2020); Almeida *et al.* (2021) e Bishop-Taylor *et al.* (2021) apresentam análises regionais e globais de comportamento de LC, frequentemente privilegiando a utilização de imagens de média resolução espacial, como a da coleção LANDSAT, com resolução espacial de 30m.

Embora a resolução espacial dessas imagens pareça ser um elemento limitante ao mapeamento de uma “linha” de costa, os métodos que realizam mosaicos de imagens tendem a minimizar erros de mapeamento decorrentes da cobertura de nuvens e do efeito da variação das marés, cujos erros totais podem chegar a cerca de 40 m (LUIJENDIKJ *et al.* 2018). Além disso, a resolução temporal dessas imagens também é considerada uma vantagem, uma vez que tende a “diluir” possíveis erros de mapeamento e também fornecem melhor compreensão da dinâmica dos fenômenos espaciais, já que a regularidade temporal ocorre num intervalo menor que 1 mês.

Ainda assim, tais mapeamentos que utilizam imagens de média resolução espacial e abordagem metodológica de detecção automática da linha de costa, necessitariam da validação a partir de mapeamentos realizados na escala de detalhe, sejam por meio de imagens de alta resolução espacial e/ou por meio de rede de monitoramento de perfis de praia (ALMEIDA *et al.* 2021; BISHOP-TAYLOR *et al.* 2021). Visando uma análise comparativa e de validação, foi feita uma correlação das taxas encontradas no presente trabalho e as atribuídas por Luijendikj *et al.* (2018), encontradas na plataforma *Deltares AquaMonitor* (Fig. 6).



**Figura 6.** Mapeamento de linha de costa realizado entre o período de 1954 e 2018 a partir da utilização do indicador contato úmido/seco. As figuras A e C no canto direito são referentes ao gráfico linear de posição de linha de costa retirados do trabalho publicado por Luijendikj et al (2018) para o período de 1985 a 2015 (obtido em <https://aqua-monitor.appspot.com/?datasets=shoreline>). Notar a tendência de recuo para o perfil P4 e de acreção para o perfil P9.

Conforme mostra a figura 6, a análise do gráfico de posição de linha de costa obtido no *Aqua Monitor* mostra uma tendência contínua de recuo de LC ao longo do tempo, o que reflete no processo de erosão costeira similarmente observado pelos perfis de praia localizados no distrito de Atafona e pelas imagens de alta resolução espacial utilizadas nesse trabalho. No exemplo comparativo nas proximidades do P4, a taxa de erosão costeira é de cerca de (-) 4,7 m/ano, considerando o período entre 1984 e 2016 (Figura 6A). Esse valor foi semelhante ao identificado no P4 no presente trabalho (Tabela 2), embora represente um intervalo temporal maior de mapeamento. Já nas proximidades do P9 (Figura 6C), o gráfico de posição da linha de costa extraído do *Aqua Monitor* mostra um comportamento contínuo de acreção da linha de costa, com taxa de (+) 3,2 m/ano, também bastante próxima à obtida pelas imagens de alta resolução espacial no presente trabalho (Tabela 2).

No geral, a plataforma da *Deltares Aqua Monitor* representa um grande potencial dentro das pesquisas para as geociências, mas ela não está livre de erros principalmente porque o processamento é feito de forma automática. A escala espacial de análise da plataforma apresenta uma perspectiva de identificar padrões de LC numa escala global o que pode induzir a erros locais, conforme também apontado por Rocha e Fernandez (2020). Como exemplo disso, os dados se mostram contraditórios em alguns pontos do litoral do Rio de Janeiro, como apontado no trabalho de Magalhães (2018) e Rocha *et al.* (2021) para a área de Rio das Ostras (RJ). Estes autores identificaram para essa área de estudo, taxas próximas a estabilidade de LC; enquanto o *Deltares Aqua Monitor* mostrou dados referentes a uma erosão severa. No entanto, para a área do presente trabalho, os dados de Luijendikj *et al.* (2018) encontram-se coerentes com o observado em outras escalas temporais e espaciais, possivelmente em função das altas taxas de erosão em Atafona e acreção em Grussaí.

Recentemente Bishop-Taylor *et al.* (2021), discutiram que embora o uso do SR na detecção automática de LC represente um salto no monitoramento da zona costeira, é preciso que este esteja ajustado a um sistema de monitoramento contínuo *in situ*, mesmo que apresente disparidades temporais e espaciais. No presente trabalho, foi possível fazer essa validação do comportamento de LC, adquirida através de técnicas de mapeamento e a



comparação com os dados adquiridos via rede de monitoramento disponível desde 2005. Portanto, a utilização das técnicas envolvendo o uso do DSAS também se mostrou um método eficaz na detecção de comportamentos de linha de costa. A utilização conjunta de perfis de praia e imagens permite uma análise multiescalar na análise da linha de costa (interanual e interdecadal). Entretanto essa capacidade de dialogar com diferentes escalas ainda aparece como um desafio dentro das geociências, conforme apontaram Rocha e Fernandez (2020).

## 6. Conclusões

O trecho costeiro que vai de Atafona até Grussaí se consolida como talvez o um dos mais emblemáticos trechos do litoral brasileiro, no qual os processos relacionados a erosão costeira têm desempenhado um papel significativo, resultando na remodelação de todo o tecido urbano da localidade. Esse fenômeno desperta continuamente interesse e curiosidade científica, que vem avançando sobre o melhor entendimento de como a linha de costa evoluiu no tempo e no espaço. No sentido de aprimorar o conhecimento sobre o comportamento da LC, a combinação de imagens de alta resolução e dados topográficos pontuais dos perfis de praia permitiram uma maior clareza sobre o comportamento dos indicadores de erosão a serem utilizados e ajudam no melhor entendimento da evolução da LC.

A dinâmica da LC identificada neste trabalho reflete processos de erosão e acreção no setor meridional do delta do rio Paraíba do Sul, entre o período de 1954 a 2018. Em Atafona, próximo à foz, nota-se um processo contínuo de erosão costeira, com uma taxa aproximada de (-) 5,0 m/ano. Já em Grussaí, entre o setor P7 e P10, observa-se taxas significativas de acreção da LC, com uma taxa aproximada de (+) 3,0 m/ano para o setor. As taxas encontradas na Plataforma *Aqua Monitor* foram semelhantes às encontradas no DSAS, mostrando uma boa correlação dos processos mapeados em imagens com alta resolução espacial e intervalo temporal irregular; e imagens de média resolução espacial (LANDSAT) e sequência temporal contínua. Esses processos foram também identificados no monitoramento dos perfis de praia, ainda que as taxas destes reflitam mais os processos numa escala temporal de uma década, aproximadamente. No mais, a dinâmica geomorfológica observada nos perfis de praia em Atafona, como a migração das dunas costeiras em direção ao continente e o recuo da escarpa de pós-praia, também valida o processo de erosão costeira, identificado nas imagens.

O processo de erosão costeira do delta tem levado a um realinhamento da linha de costa; tem causado influência na dinâmica das dunas costeiras; e gerou um impacto nas edificações numa área equivalente a 12 quadras, entre os anos de 1976-2019. Ainda que na escala do Holoceno o fenômeno da erosão costeira possui recorrência na história de construção da planície deltaica, os cenários das mudanças climáticas e as intervenções na bacia de drenagem do rio Paraíba do Sul podem intensificar o processo e alterar a dinâmica deposicional do delta (FERNANDEZ e ROCHA, 2022). Além disso, cabe destacar a necessidade de maior detalhamento de modelos de refração de ondas na área a fim de avaliar a influência no processo de erosão costeira, bem como de uma ampliação das investigações acerca da interação dos impactos antropogênicos na bacia de drenagem e os reflexos na zona costeira.

Por fim, em termos de perspectivas futuras, é importante monitorar a evolução de linha de costa uma vez que a compreensão de sua dinâmica represente um instrumento fundamental para a elaboração de planos de gestão costeira (COOPER, 2004). Dentro deste cenário, o Ministério do Meio ambiente, em parceria com a Secretaria de Recursos Hídricos e Qualidade Ambiental e Departamento de Gestão Ambiental Territorial, propôs a criação do Programa Nacional para a conservação da linha de costa, o Procosta. Esse projeto busca preencher uma lacuna da falta de dados confiáveis em escala nacional sobre o comportamento da zona costeira. Espera-se que a partir da efetivação do programa seja possível realizar previsões de possíveis alterações na zona costeira, proporcionando assim um prognóstico mais adequado dessa região.

**Contribuições dos Autores:** Beatriz Abreu Machado, Thaís Baptista da Rocha e Guilherme Borges Fernandez contribuíram na coleta, processamento e escrita do documento. Silvio Roberto de Oliveira Filho contribuiu na elaboração das figuras e mapas do presente artigo; Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

**Financiamento:** Esta pesquisa foi financiada pelos projetos do CNPq nº 43280820183 e nº 311761/2021-6, pelo edital PROEX/POSGEO-UFF e pela CAPES, com a implementação de bolsa de pós-graduação.

**Agradecimentos:** Os autores agradecem a contribuição dos avaliadores. A primeira autora também deixa um agradecimento especial para todos aqueles que fazem parte do Laboratório de Geografia Física da Universidade Federal Fluminense, pois de alguma forma sempre contribuíram no desenvolvimento das pesquisas.

**Conflito de Interesse:** Os autores declaram não haver conflito de interesse.

## Referências

1. ANGULO, R. J.; LESSA, G. C.; DE SOUZA, M. C. A critical review of mid-to late-Holocene sea-level fluctuations on the eastern Brazilian coastline. *Quaternary science reviews*, v. 25, n. 5-6, p. 486-506, 2006.
2. ALMEIDA, L.P.; OLIVEIRA, I. E., LYRA, R., DAZZI, R. L. S., MARTINS, V. G., e KLEIN, A. . Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling & Software*, v. 140, p. 105033, 2021.
3. ASHTON, A. D.; GIOSAN, L. Wave-angle control of delta evolution. *Geophysical Research Letters*, v. 38, p. 1- 6. 2011.
4. AZEVEDO, M.V.H. Atafona, Patrimônio Mar Adentro: Formação, Planejamento e Destruição do Balneário de Atafona - RJ. Dissertação de Mestrado em Planejamento Regional e Gestão de Cidades, Universidade Cândido Mendes. 2004, 107p.
5. BASTOS, A. C. Análise morfodinâmica e caracterização dos processos erosivos ao longo do litoral norte fluminense, entre Cabiúnas e Atafona. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha), Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói. 1997. 133 p
6. BHATTACHARYA, J. P. e GIOSAN, L. Wave-influenced deltas: geomorphological implications for facies reconstruction. *Sedimentology*, 50, p.187-210, 2003
7. BENEDET, L.; FINKL, C. W.; HARTOG, W. M. Processes controlling development of erosional hot spots on a beach nourishment project. *Journal of Coastal Research*, v. 23, n. 1, p. 33-48, 2007.
8. BESSET, Manon; ANTHONY, Edward J.; BOUCHETTE, Frederic. Multi-decadal variations in delta shorelines and their relationship to river sediment supply: An assessment and review. *Earth-science reviews*, v. 193, p. 199-219, 2019.
9. BIRD, E. Coastal Geomorphology. John Wiley & Sons Ltd, England, 2007. 436p.
10. BISHOP-TAYLOR, R; NANSON, R., SAGAR, S., e LYMBURNER, L. Mapping Australia's dynamic coastline at mean sea level using three decades of Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 267, p. 112734, 2021.
11. BOAK, E. H. e TURNER, I.L. Shoreline Definition and Detection: A Review. *Journal of Coastal Research*, Vol. 21, No. 4, p. 688-703, 2005.
12. BOSBOOM, Judith; STIVE, Marcel JF. Coastal dynamics. 2021.
13. BOTHA, G. PORAT, N., HALDORSEN, S., DULLER, G. A., TAYLOR, R., & ROBERTS, H. M . Beach ridge sets reflect the late Holocene evolution of the St Lucia estuarine lake system, South Africa. *Geomorphology*, v. 318, p. 112-127, 2018.
14. CARTER, R. W. G., Nordstrom, K. F., & Psuty, N. P. The study of coastal dunes. *Coastal dunes: form and process*, 1-14, 1990.

15. CASSAR, J. C. M.; NEVES, C. F. Aplicação das rosas de transporte litorâneo à costa norte fluminense. *Revista Brasileira de Engenharia, Caderno de Recursos Hídricos*. Associação Brasileira de Recursos Hídricos – ABRH, São Paulo, SP, v. 11, p. 81-106, 1993.
16. CASTELLE, Bruno; MASSELINK, Gerd. Morphodynamics of wave-dominated beaches. *Cambridge Prisms: Coastal Futures*, v. 1, p. e1, 2023
17. COCO, G; SENECHAL, N; REJAS, A; BRYAN, K.R; CAPO, S; PARISOT, J.P; BROWN, J.A; MACMAHAN, J.H.M. Beach response to a sequence of extreme storms. *Geomorphology*, v. 204, p. 493-501, 2014.
18. COOPER, J. A. G.; PILKEY, O. H. Sea-level rise and shoreline retreat: Time to abandon the Bruun Rule. *Global and Planetary Change*, v. 43, p. 157–171, 2004.
19. COOPER, J. A. G. MASSELINK, G., COCO, G., SHORT, A. D., CASTELLE, B., ROGERS, K., ... & JACKSON, D. W. T. Sandy beaches can survive sea-level rise. *Nature Climate Change*, v. 10, n. 11, p. 993-995, 2020.
20. DAVIDSON-ARNOTT, R. *An Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press, New York, 2010. 458 p.
21. DIAS, G.T.M. 1981. O Complexo Deltáico do Rio Paraíba do Sul. In: *Simpósio do Quaternário no Brasil*. Publicação Especial. No.2 p.58-88.
22. DIAS, G.T.M., GORINI, M.A.A. 1980. Baixada Campista: Estudo Morfológico dos Ambientes Litorâneos. *Anais do XXXI Congresso Brasileiro de Geologia*. Camboriú. Vol. 1: 588-602.
23. DIAS, G. T. M.; KJERFVE, B. 2009. Barrier and Beach Ridge Systems of Rio de Janeiro Coast. In: Dillenburg, S. & Hesp, P. (Org.). *Geology and Geomorphology of Holocene Coastal Barriers*. Heidelberg: Springer Verlag, p. 225-248.
24. DELTARES TEAM. Aqua monitor. 2018. Disponível em: <https://aqua-monitor.appspot.com/?datasets=shoreline>.
25. DOMINGUEZ, J.M.L., BITTENCOURT, A.C.S.P., MARTIN, L. 1983. O Papel da Deriva Litorânea de Sedimentos Arenosos na Construção das Planícies Costeiras Associadas às Desembocaduras dos Rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), Doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*. Vol. 13 p. 98-115.
26. DOMINGUEZ, J. M. L.; MARTIN, L.; BITTENCOURT, A. C. S. P.. Esquema evolutivo da sedimentação Quaternária nas feições deltaicas dos rios São Francisco (SE/AL), Jequitinhonha (BA), doce (ES) e Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira de Geociências*, 11(4), p. 227-237, 1981
27. ESTEVES, L. S.; FINKL, C. W. The problem of critical lacerated areas (CEA): Aa evaluation of Florida beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 26, 11–18. 1998.
28. FARIAS, E.G.G; MAIA, L.P. Uso de técnicas de Geoprocessamento para a análise da evolução da linha de costa em ambientes litorâneos do estado do Ceará, Brasil. *V*, 10(4), p. 521-544, 2010.
29. FERNANDEZ, *et al.* Modelo Morfológico da Origem e Evolução das Dunas na Foz do Rio Paraíba do Sul, RJ. In: *VII Simpósio Nacional de Geomorfologia e II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia*, Belo Horizonte, 2008.
30. FERNADEZ, G.F.; ROCHA, T.B. Geomorfologia Costeira e do Quaternário: perspectiva histórica e mudanças ambientais. In: Guerra, A.J.T.; Loureiro, H.A.S. *Paisagens da Geomorfologia: Temas e conceitos do século XXI*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 2022. p. 265-302.
31. FIGUEIREDO, M. S, BRILL, D., ROCHA, T. B., & FERNANDEZ, G. B. Late Holocene evolution of São Tomé cape (Rio de Janeiro, Brazil): Insights from geomorphological, geophysical and geochronological data. *Quaternary International* 602. 15-29p, 2021.
32. HESP, P. A., & Walker, I. J. Coastal dunes. In *Treatise on geomorphology*. 328-355p, 2013.
33. HIMMELSTOSS, E.A., Farris, A.S., Henderson, R.E., Kratzmann, M.G., Ergul, Ayhan, Zhang, Ouya, Zichichi,

- J.L., Thieler, E. R., 2018, Digital Shoreline Analysis System (version 5.0): U.S. Geological Survey software release, <https://code.usgs.gov/cch/dsas>.
34. INPH - Instituto Nacional de Pesquisas Hidroviárias. Anteprojeto de Proteção e Restauração da Praia de Atafona - Município de São João da Barra - RJ. INPH 026 / 2015.
35. KRAUS, Nicholas C.; GALGANO, Francis A. Beach erosional hot spots: types, causes, and solutions. ENGINEER RESEARCH AND DEVELOPMENT CENTER VICKSBURG MS COASTAL AND HYDRAULICS LAB, 2001.
36. LE COZANNET, G, BULTEAU, T, CASTELLE, B., RANASINGHE, R., WOPPELMANN, G., ROHMER, J.. Quantifying uncertainties of sandy shoreline change projections as sea level rises. *Scientific reports*, v. 9, n. 1, p. 1-11, 2019.
37. LUIJENDIJK, A.; HAGENAARS, G.; RANASINGHE, R.; BAART, F.; DONCHYTS, G.; AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. *Nature, Scientific Reports*, 2018.8:6641 | DOI:10.1038/s41598-018-24630-6.
38. MACHADO, K. M. Dinâmica Sedimentar na Planície do Paraíba do Sul – RJ. 2009. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geofísica Marinha). Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói (RJ).
39. MACHADO, B.A. O comportamento da linha de costa na interação praia-duna no flanco sul do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós Graduação em Geografia. 2020, 75p.
40. MAGALHÃES, B. L. Dinâmica da linha de costa e vulnerabilidade à erosão costeira nos arcos de praia da Tartaruga e de Costa Azul (Rio das Ostras, RJ). Dissertação de mestrado. Universidade Federal Fluminense, Programa de Pós-Graduação em Geografia. 2018, 88p.
41. MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUEZ, J. M. L.; FLEXOR, J. M. Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do Rio de Janeiro e do Espírito Santo. CPRM Serviço Geológico do Brasil. 1997, 112p
42. MARTÍNEZ, M. Luisa *et al.* Shoreline Dynamics and Coastal Dune Stabilization in Response to Changes in Infrastructure and Climate. *Journal of Coastal Research*, v. 92, n. sp1, p. 6-12, 2019.
43. MELLO, G. S.; MACHADO, B. A.; ROCHA, T. B. Avaliação dos impactos da erosão costeira no distrito de Atafona (RJ) entre os anos de 2005 e 2016. In: Anais do 12º Sinageo – Simpósio Nacional de Geomorfologia. 2018.
44. MENTASCHI, L; VOUSDOUKAS, M.I; PEKEL, J.F; VOUKOUVALAS, E; FEYEN, L. Global long-term observations of coastal erosion and accretion. *Scientific reports*, v. 8, n. 1, p. 12876, 2018.
45. MUEHE, D. e KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. *Quaternary and Environmental Geosciences*, n. 05(2), p.121-124, 2014.
46. MUEHE, D., ROSO, R.H. e SAVI, D. C. Avaliação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, Ano 4, n.1, p 53-57, 2003.
47. MUEHE, D. Panorama da erosão costeira no Brasil. 1º Ed. Ministério do Meio Ambiente (MMA)., 2018. 823p.
48. NETO, A. Diretor do INPH diz que projeto com espigões em Atafona custaria entre R\$ 50 a 100 milhões. Blog do Arnaldo Neto, Folha1, 2019. Disponível em [https://www.folha1.com.br/\\_conteudo/2019/04/blogs/blogdoarnaldoneto/1246488-diretor-do-inph-diz-que-projeto-com-espigoes-em-atafona-custaria-entre-r-50-a-r-100-milhoes.html](https://www.folha1.com.br/_conteudo/2019/04/blogs/blogdoarnaldoneto/1246488-diretor-do-inph-diz-que-projeto-com-espigoes-em-atafona-custaria-entre-r-50-a-r-100-milhoes.html). Acesso em: 20 de jun. de 2021.
49. NGUYEN, Thang TX *et al.* Indicator-based assessment of climate-change impacts on coasts: A review of concepts, methodological approaches and vulnerability indices. *Ocean & Coastal Management*, v. 123, p. 18-43, 2016.
50. NEUMAN B, AT, Zimmermann J, Nicholls RJ. Future coastal population growth and exposure to sea-level rise and coastal flooding - a global assessment, 2015.

51. OTVOS, Ervin G. Coastal barriers-fresh look at origins, nomenclature and classification issues. *Geomorphology*, v. 355, p. 107000, 2020.
52. PINHO, U. F. Caracterização do estado do mar na Bacia de Campos. Dissertação (COPPE), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro (RJ). 2003. 145p.
53. QUADROS, M.A.R. Comportamento da linha de costa em escala decadal: exemplo do litoral entre Macaé e Barra do Furado, litoral norte do estado do Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado em Geografia. Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2015. 120p.
54. RADER, A. M., PICKART, A. J., WALKER, I. J., HESP, P. A., & BAUER, B. O. Foredune morphodynamics and sediment budgets at seasonal to decadal scales: Humboldt Bay National Wildlife Refuge, California, USA. *Geomorphology*, 318, 69-87, 2018.
55. ROCHA T. B. Morfodinâmica costeira e gestão de orla marítima em costa sob influência fluvial: delta do Rio Paraíba do Sul. 2009. 141 p. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ.
56. ROCHA, T.B.; FERNANDEZ, G.B. Dinâmica da linha de costa: potencialidades, limitações e reflexões na Geografia. In: LIMONAD, E; BARBOSA, J.L (Ed). Geografias, reflexões, leituras e estudos. 1º Ed. São Paulo: Max Limonad, 2020. p. 406-425
57. ROCHA, T. B.; FERNANDEZ, G. B.; RODRIGUES, A. Registros de erosão e progradação revelados por radar de penetração do solo (GPR) na barreira regressiva pleistocênica do complexo deltaico do Rio Paraíba do Sul (RJ). *Quaternary and Environmental Geosciences*, 08(1):24-37. 2017.
58. ROCHA, T.B.; MACHADO, B. A.; SILVA, J. C.; PEREIRA, T.G; FERNANDEZ, G.B. Interacao entre praia e duna frontal no delta do rio Paraíba do Sul (RJ) a partir de uma decada de monitoramento. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, n 2, p. 283-301, 2018.
59. ROCHA, T.B.; VASCONCELOS, S.C; PEREIRA, T.G; FERNANDEZ, G.B. Datação por luminescência estimulada (LOE) nas cristas de praia no delta do rio paraíba do sul (RJ): Considerações sobre a evolução geomorfológica entre o pleistoceno superior e o holoceno. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v.20, n.3, p. 563-580, 2019.
60. ROCHA, T.B; MAGALHÃES, B.L; FERNANDEZ, G.B. Escalas interdecadal e interanual na avaliação da dinâmica da linha de costa: Um estudo de caso nas praias de Rio Das Ostras (RJ). *Revista da ANPEGE* , v. 17, p. 146-156, 2021
61. ROCHA, T. B.; VASCONCELOS, S. C.; COSTA, A. P. F.; MACHADO, B. A.; FIGUEIREDO, M. S.; NOVAK, L. P.; PEREIRA, T. G.; FERNANDEZ, G. B. Deltas Dominados por Ondas: Trajetória Conceitual, Dinâmica e Evolução a partir de Exemplos do Complexo Deltaico do Rio Paraíba do Sul. In: CARVALHO JÚNIOR, O. A.; GOMES, M. C. V.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T. (Org.). *Revisões de Literatura da Geomorfologia Brasileira*. Brasília: Caliantra, 2022. Vol. 1, p. 381-409.
62. SANTOS, R. A. Processos de Erosão e Progradação entre as praias de Atafona e Grussaí - RJ. 2006. 36 p. Monografia (Graduação em Geografia) - Universidade Federal Fluminense –UFF. Niterói, RJ.
63. SHERMAN, D.J. Perspectives on coastal geomorphology: introduction. In: Shroder, J. (Editor in Chief), Sherman, D.J. (Ed.), *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA, vol. 10, Coastal Geomorphology, pp. 1–4, 2013.
64. SHORT, A. D. *Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. Chichester, Wiley, 1999, 379 p.

65. SILVA, S.C. Impactos das barragens sobre parâmetros hidrológicos e a morfologia do canal do rio Paraíba do Sul. Tese (Doutorado em Oceanografia) – Faculdade de oceanografia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. 366p.
66. SOUZA, C.R.G.; *et al.* Praias arenosas e erosão costeira. In: Souza, C.R.G., Suguio, K.Oliveira, A.M.S. & Oliveira, P.E. Quaternário do Brasil. Capítulo 7, p.130-152. Editora Holos, Ribeirão Preto, 2005.
67. SOUZA, C.R.; LUNA, G da C. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caranguatutuba (Litoral Norte de São Paulo, Brasil). Revista de Gestão Costeira Integrada, v 10(2), p. 179-199, 2010.
68. SOUZA, S.O; VALE, C.C; Tópicos sobre praias arenosas e erosão costeira. In: IX Simpósio Nacional de Geomorfologia (SINAGEO), 2012. Rio De Janeiro. Anais: Geomorfologia e eventos catastróficos: passado, presente e future. n, 604. 1-4p.
69. SOUZA, R. D. Propagação de ondas para águas rasas no litoral norte fluminense. Dissertação (Mestrado em Geofísica e Geologia Marinha) Universidade Federal Fluminense – UFF. Niterói, RJ. 2011. 156p.
70. SOUZA, R.D.; BULHÕES, E. Propagação de Ondas para Águas Rasas no Litoral Norte Fluminense: Subsídios para Estudos de Erosão Costeira e Transporte de Sedimentos. Anais do V SOB. Simpósio Brasileiro de Oceanografia. Santos-SP, 2011
71. TAMURA, T., SAITO, Y., BATEMAN, M. D., NGUYEN, V. L., Ta, T. O., & MATSUMOTO, D.. Luminescence dating of beach ridges for characterizing multi-decadal to centennial deltaic shoreline changes during Late Holocene, Mekong River delta. *Marine Geology*, 326, 140-153. 2012.
72. THIELER, E. R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J. L.; AYHAN, E. Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 4.0 – An ArcGIS extension for calculating shoreline change. U. S. Geological Survey Open-File Report, 2008
73. WECKMÜLLER, R; VICENS, R.S. As geotecnologias e a detecção de trajetórias evolutivas da paisagem: possibilidades metodológicas e aplicações. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 11, n. 06, p. 2140-2159, 2018.
74. WRIGHT, Lynn D.; SHORT, Andrew D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine geology*, v. 56, n. 1-4, p. 93-118, 1984.
75. VASCONCELOS, S. C.; ROCHA, T. B.; PEREIRA, T. G.; ALVES, R. A.; FERNANDEZ, G. B. Gênese e morfodinâmica das barreiras arenosas no flanco norte do delta do rio Paraíba do Sul (RJ). *Revista Brasileira Geomorfologia*, v.17, n.3, p. 481-498, 2016
76. VASCONCELOS, S. C; RAMOS, I. A; NUNES R. S; SANTOS, R. A; FIGUEIREDO JR, A. G. Dinâmica erosiva e progradacional das praias de Atafona e Grussaí (RJ), 1954-2019. **Revista da ANPEGE**, v. 17, n. 33, p. 162-182, 2021.
77. VOS, K, SPLINTER, K. D., HARLEY, M. D., SIMMONS, J. A., & TURNER, I. L. CoastSat: A Google Earth Engine-enabled Python toolkit to extract shorelines from publicly available satellite imagery. *Environmental Modelling & Software*, v. 122, p. 104528, 2019.
78. VOUSDOKAS, M. I, MENTASCHI, L., VOUKOUVALAS, E., VERLAAN, M., JEVREJEVA, S., JACKSON, L. P., & FEYEN, L. Global probabilistic projections of extreme sea levels show intensification of coastal flood hazard. *Nature communications*, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2018.
79. VOUSDOKAS, M I, RANASINGHE, R., MENTASCHI, L., PLOMARITIS, T. A., ATHANASIOU, P., LUIJENDIJK, A., & FEYEN, L. Sandy coastlines under threat of erosion. *Nature climate change*, v. 10, n. 3, p. 260-263, 2020.



Esta obra está licenciada com uma Licença Creative Commons Atribuição 4.0 Internacional (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>) – CC BY. Esta licença permite que outros distribuam, remixem, adaptem e criem a partir do seu trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que lhe atribuam o devido crédito pela criação original.

