

Artigo de Pesquisa

## Previsão da abertura de nova desembocadura estuarina no Mar do Ararapira, extremo sul paulista

### *Prediction of a new inlet opening in the Mar do Ararapira, southern São Paulo coast*

Carlos Augusto Wroblewski<sup>1</sup>, Rodolfo José Angulo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Paraná, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Curitiba, Brasil. E-mail: carloswroblewski@ufpr.br

<sup>2</sup>Universidade Federal do Paraná, Departamento de Geologia, Curitiba, Brasil. E-mail: fitoangulo@gmail.com

**Resumo:** O Estreito do Melão, localizado no esporão arenoso que separa o oceano do estuário denominado Mar do Ararapira, localizado no extremo sul do litoral de São Paulo, passou a apresentar aceleração do recuo da linha de costa estuarina e oceânica após a abertura de uma nova desembocadura estuarina em 2018, configurando um cenário que pode culminar em novo rompimento do esporão a 4 km a montante da barra atual. Diante deste cenário, o presente trabalho analisa a evolução da linha de costa nos períodos pré- e pós-ruptura do esporão em 2018, com base em imagens de satélite de 1984 até 2025 e análises multitemporais realizadas na plataforma CASSIE, a fim de compreender as mudanças na intensidade do processo ao longo das décadas e projetar cenários evolutivos. Os resultados evidenciaram o aumento expressivo das taxas de recuo da linha de costa na margem estuarina, com média de 2,06 m/ano, e o surgimento de erosão intensa na margem oceânica, com média de 4,04 m/ano, o que implica taxas combinadas de recuo de 6,1 m/ano. Em novembro de 2025, o esporão apresentava largura entre 18 e 25 m, o que permite inferir que, mantidas as taxas atuais, há possibilidade de um novo rompimento entre 2028 e 2029, o que deve causar significativas modificações na morfologia estuarina e provocar impactos sobre as comunidades tradicionais que habitam o território.

**Palavras-chave:** Erosão costeira; Planejamento costeiro; Evolução de esporão; Impactos costeiros; Inlets.

**Abstract:** The Melão Inlet, located on the sandy spit that separates the ocean from the estuary known as the Mar do Ararapira, in the extreme southern coast of São Paulo State, began to exhibit accelerated retreat of both the estuarine and oceanic shorelines after the opening of a new estuarine inlet in 2018. This setting configures a scenario that may culminate in a new breach of the sandy spit 4 km upstream of the current inlet. In this context, the present study analyzes shoreline evolution during the pre- and post-breach periods of 2018, based on satellite imagery acquired between 1984 and 2025 and multitemporal analyses performed using the CASSIE platform, to understand changes in the intensity of the process over recent decades and to project evolutionary scenarios. The results indicate a marked increase in shoreline retreat rates along the estuarine

margin, with an average of 2.06 m/yr, and the emergence of intense erosion along the oceanic margin, with an average of 4.04 m/yr, resulting in combined retreat rates of 6.1 m/yr. In November 2025, the sandy spit exhibited widths between 18 and 25 m, allowing the inference that, if current retreat rates persist, a new breach may occur between 2028 and 2029, potentially causing significant modifications to estuarine morphology and impacts on the traditional communities inhabiting the area.

**Keywords:** Coastal erosion; Coastal planning; Spit evolution; Coastal impacts; Inlets.

## 1. Introdução

Dada a sua gênese diversa e o panorama dinâmico, as desembocaduras estuarinas apresentam distintos padrões morfológicos e de transporte de sedimentos. Diversos estudos buscaram compreender e modelar sua evolução, sendo os primeiros trabalhos datados das décadas de 50 e 60 (Bruun & Gerritsen, 1959; Zenkovitch, 1967) evoluindo para as contribuições de Hayes (1975, 1979), Oertel (1975), FitzGerald (1992, 1988, 1996, 2008), FitzGerald & Nummedal (1983), FitzGerald *et al.* (2000), FitzGerald & Miner (2013) e FitzGerald & Buynevich (2018). Esses estudos descrevem mecanismos de migração, erosão e progradação e balanço sedimentar, constituindo a base conceitual para a interpretação dos processos observados.

Nesse contexto, FitzGerald (1988) detalha diversos modelos de migração de desembocaduras, divididos em três etapas evolutivas, cada uma, sendo que um dos modelos propostos versa sobre a migração da desembocadura estuarina e o posterior rompimento de esporão (Figura 1).

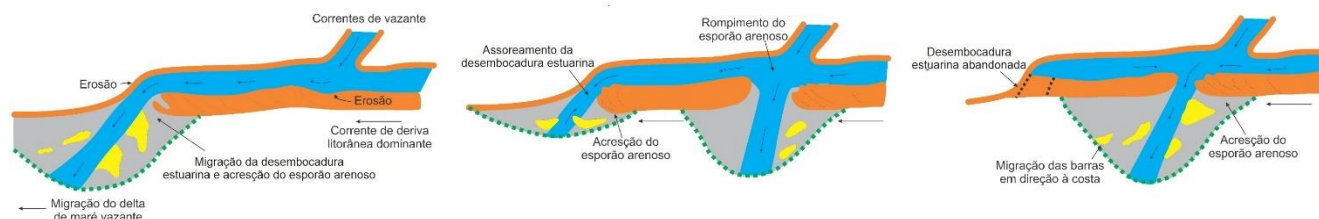


Figura 1. Modelo conceitual de migração de desembocadura (inlet), por rompimento de esporão arenoso (Adaptado de FitzGerald, 1988).

*Figure 1. Proposed conceptual model of inlet migration through breach of a sandy spit (Adapted from FitzGerald, 1988).*

O Mar do Ararapira constitui um exemplo dessa dinâmica, que tem sido analisada por diversos autores (Tessler, 1988; Mihály, 1997; Mihály & Angulo, 2002; Müller, 2007). Angulo *et al.* (2009) previram o rompimento do esporão no local conhecido como Enseada da Baleia, o qual se concretizou em 2018 (Cheliz *et al.*, 2019), deslocando a desembocadura 7 km a montante da anterior (Figura 2).

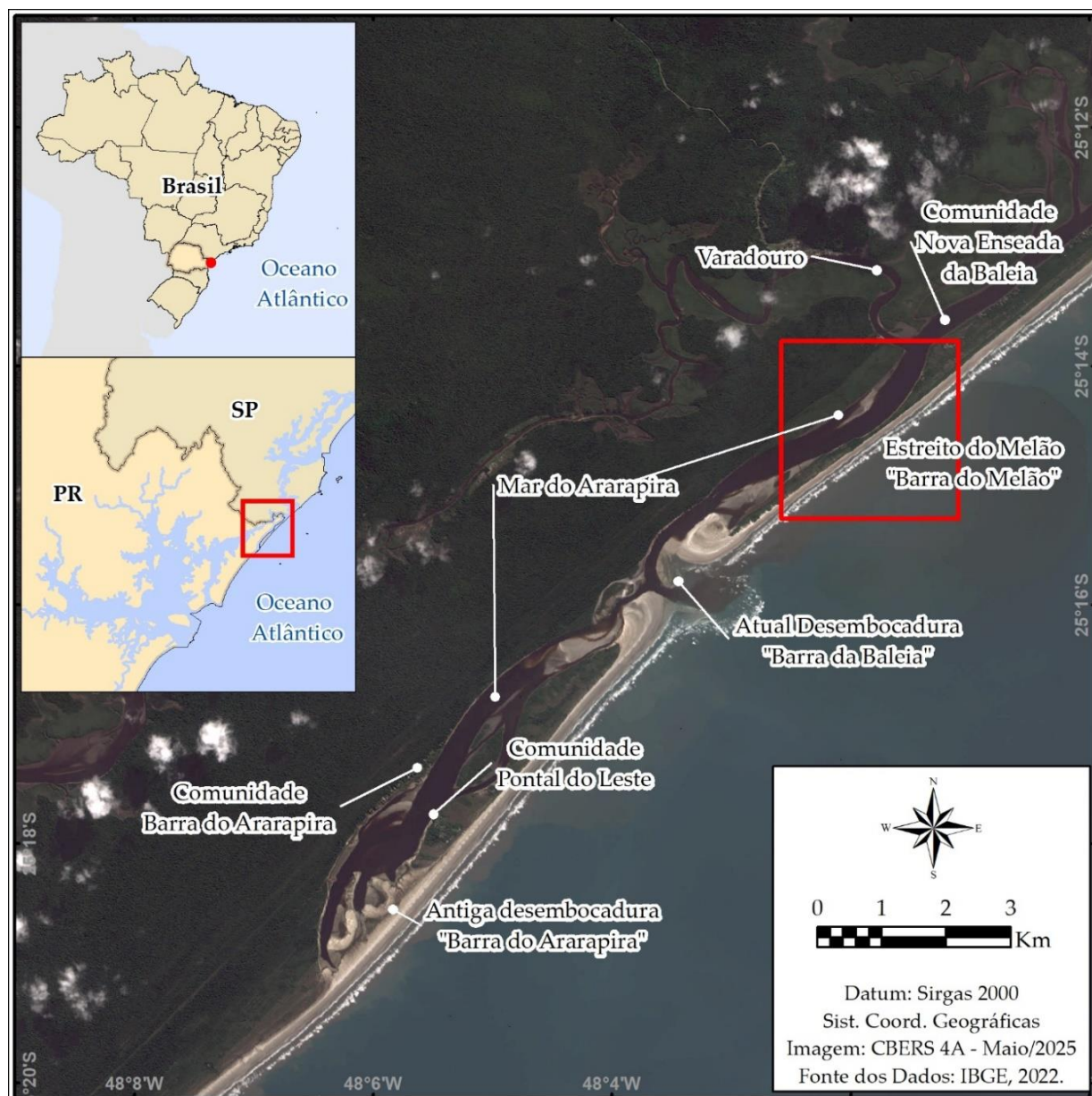


Figura 2: Localização do Mar do Ararapira e da área de estudo (quadrado vermelho).

*Figure 2. Location of the study area (red square).*

A abertura da nova desembocadura, em 2018, que denominamos Barra da Baleia, modificou o padrão hidrodinâmico regional. Italiani (2019) indicou que as mudanças na intensidade das correntes no setor norte do Mar do Ararapira tinham potencial para intensificar a erosão e, conseqüentemente, o recuo da linha de costa no Estreito do Melão, que corresponde a uma margem estuarina côncava situada à montante da Barra da Baleia e morfologicamente semelhante a porção do esporão arenoso que se rompeu em 2018.

Essa configuração geomorfológica e hidrodinâmica sugere que possa ocorrer novo rompimento do esporão arenoso e a instalação de uma nova desembocadura. Neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo analisar as alterações da linha de costa no Estreito do Melão antes e após o rompimento do esporão na Enseada da Baleia, procurando avaliar a distribuição espacial e a velocidade das alterações e identificar se houve recuo ou avanço da linha de costa nessa porção do Mar do Ararapira, além de traçar panoramas evolutivos de acordo com os modelos evolutivos propostos por FitzGerald & Miner (2013).

## 2. Área de Estudo

### 2.1. Contexto Regional

A geomorfologia da região litorânea do sul paulista e norte paranaense é caracterizada por planaltos, serras resultantes de dissecação de borda de planalto, serras originadas por erosão diferencial e depósitos de talus, leques aluviais e planícies fluviais, além dos depósitos costeiros que foram a planície costeira (Angulo, 2004). A planície costeira é formada por cordões litorâneos pleistocênicos e holocênicos, campos de dunas, canais de maré e sistemas estuarinos (Angulo, 1992).

O clima é classificado como sendo Cfa (Subtropical Úmido Mesotérmico) segundo a classificação de Köppen – Geiger, com a presença de chuvas do tipo ciclônico, orográfico e convectivo e média pluviométrica de 2.100 mm (Goudard & Paula, 2016).

Na região predominam ondas de alta frequência, denominadas vagas, formadas por ventos localizados a menos de 1.000 km da costa, com a direção predominante de propagação sendo de ESE – Lés-sueste e SE – Sudeste e altura significativa variando de 1 a 1,5 m e período de 8 a 9 segundos (Nemes & Marone, 2013). As marés são caracterizadas como micromarés, dado que a sua amplitude é inferior a 2 m (Angulo, 1992) e são do tipo semi-diurna, com duas preamares e duas baixa-mares diárias, com alturas médias variando em 1,2 m (Harari & Camargo, 1994).

A corrente de deriva litorânea é predominantemente no sentido sudoeste (SW) – nordeste (NE), especialmente nos períodos de inverno, em que se observa a maior atuação de frentes frias, com ventos predominantes do quadrante SE que induzem deriva para NE, devido a geometria da costa (Mihály & Angulo, 2002). Entretanto, Tessler (1988) observa que na ausência de ventos do quadrante sul ou quando predominam ventos do quadrante leste, a corrente de deriva flui do norte para o sul. Assim, Tessler (1988) indica que na área de estudo há possível alternância do sentido da corrente ao longo do ano, com predominância de deriva Sudoeste – Nordeste ao longo do ano e, durante o verão, à deriva preferencial se dá no sentido inverso, sendo necessário considerar o transporte bidirecional de sedimentos nessa porção do litoral.

### 2.2. Contexto Local

A área de estudo do presente trabalho, conhecida como Estreito do Melão, localiza-se no extremo sul do litoral paulista, no município de Cananéia, e corresponde à porção inferior do estuário denominado Mar do Ararapira. Esse estuário possui, aproximadamente, 13 km de extensão e profundidade média de 5 m, podendo ser caracterizado como um corpo estuarino costeiro, raso, paralelo à costa e com perfil meandrante, com características hidrográficas que se assemelham às de um canal fluvial, apresentando alternadamente margens erosivas e deposicionais (Mihály, 1997).

O estuário secciona sedimentos de origem marinha, correspondentes a barreiras pleistocênicas e holocênicas progradantes (Giannini *et al.*, 2007) e possui diversos ambientes deposicionais dentre os quais se podem citar as praias, as planícies de maré com manguezais e os bancos não vegetados, os cordões litorâneos, as dunas frontais, as interdunas e as paleodunas (Angulo, 1992; 1999).

O esporão arenoso que separa o Mar do Ararapira do mar aberto é conhecido como Restinga do Ararapira, onde é possível identificar diversas unidades de paisagem alteradas pelo rompimento do esporão arenoso em 2018, com a Barra da Baleia apresentando elevada dinamicidade, com a ampliação de feições associadas aos deltas de maré

enchente e alterações nas planícies de maré, especialmente erosão de áreas de manguezal, além do total assoreamento da antiga Barra do Ararapira (Wroblewski, 2025).

A região se insere no Complexo Estuarino Lagunar Paranaguá-Cananéia, sendo considerada um *hotspot* de biodiversidade, além de reconhecida pela UNESCO, desde 1993, como Reserva da Biosfera da Mata Atlântica (Corrêa, 1995; RBMA, 2004), Sítio do Patrimônio Mundial Natural (UNESCO, 1999) e Sítio RAMSAR (ICMBio, 2022), sendo protegida por diversas Unidades de Conservação, as quais compõem o Mosaico Lagamar (Paula *et al.*, 2018).

Além disso, há na região do Mar do Ararapira diversas comunidades tradicionais caiçaras, fixadas há pelo menos 250 anos (Bueno, 2009). Próximas à antiga desembocadura, tem-se a comunidade de Barra do Ararapira, no Paraná, e Pontal de Leste, em São Paulo, e no local da atual desembocadura existia a comunidade da Enseada da Baleia, a qual foi realocada pouco antes do rompimento do esporão, para um local conhecido atualmente como Nova Enseada da Baleia (Yamaoka *et al.* 2021).

Por fim, neste trabalho, a antiga desembocadura é referida como Barra do Ararapira, denominação já consagrada localmente. A atual desembocadura é designada Barra da Baleia, por se situar na área anteriormente conhecida como Enseada da Baleia, e a desembocadura prevista para se formar no futuro próximo é tratada como Barra do Melão, correspondendo ao trecho atualmente identificado como Estreito do Melão.

### 3. Materiais e Métodos

Para analisar as alterações na linha de costa no Estreito do Melão nos períodos pré- e pós-rompimento do esporão e na formação da atual desembocadura, realizou-se a delimitação da linha de costa para os anos de 2018 (pré-rompimento) e 2025 (pós-rompimento), a partir de imagens PlanetScope e CBERS-4A, denominadas linhas de base. A escolha de ambos os sensores se deveu à resolução espacial de 5 m nas imagens PlanetScope e de 2 m nas imagens CBERS, o que permite detectar feições morfológicas sutis e variações métricas associadas ao recuo ou ao avanço da linha de costa. Ademais, foi utilizado como referencial para a determinação da linha de costa o limite de ocorrência da vegetação conforme indicado por Boak & Turner (2005).

Posteriormente, foram estabelecidos transectos perpendiculares à linha de costa, com espaçamento de 50 m e extensão de 200 m. O espaçamento entre os transectos foi definido de modo a não ser inferior ao tamanho do pixel das imagens *Landsat* utilizadas na geração das linhas de costa, evitando superamostragem. Ademais, a extensão dos transectos foi definida com base na largura do esporão do Ararapira, com o objetivo de não extrapolar a extensão, levando o software a incluir nos cálculos a linha de costa a outra margem do estuário, que corresponde à porção continental, denominada Superagüi.

Para a geração dos transectos, foi utilizada a ferramenta *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine* (CASSIE), a qual faz uso da plataforma *Google Earth Engine* para identificar e digitalizar automaticamente a posição de linhas de costa em imagens de satélite (Almeida *et al.*, 2021; Oliveira & Barboza, 2024), sendo possível a análise de diversas imagens, sem a necessidade de *download* e manipulação posterior, facilitando a geração e análise dos dados obtidos.

Assim, diferentes cenários foram criados no período de pré- e pós-abertura da nova desembocadura, sendo que, para a análise das variações nas linhas de costa, nas margens estuarinas, foram definidos quatro cenários visando à análise decadal das informações, para melhor compreensão da evolução nos últimos 40 anos. Por outro lado, na margem

oceânica foram utilizados dois cenários, contemplando os períodos de 1984–2018 e de 2018–2025, tendo em vista que as imagens ao longo das décadas não apresentam grandes diferenças, exceto após o evento de abertura da nova desembocadura.

O recorte temporal escolhido deveu-se à disponibilidade de imagens do programa *Landsat*, com resolução espacial de 30 m. Ainda que existam fontes de dados com resolução superior na plataforma CASSIE, tais como imagens do programa Copernicus (Sentinel), sua utilização isolada não atenderia plenamente ao requisito de uma série histórica ampla e contínua, necessária para comparações entre fases morfológicas distintas.

Assim, visando homogeneizar a análise da linha de costa e dirimir imprecisões ou vieses que poderiam surgir ao utilizar imagens com resoluções espaciais distintas, optou-se por utilizar apenas as imagens *Landsat* na extração automática das linhas de costa, reservando o uso de sensores com maior resolução apenas para a definição das linhas de base dos diferentes anos e para a conferência da largura do esporão.

A coleção de imagens foi obtida diretamente na ferramenta CASSIE, sendo que a escolha das imagens foi feita manualmente, eliminando imagens com baixa nitidez ou com presença de nuvens, totalizando 587 imagens processadas para a análise da margem estuarina e 608 imagens para a face oceânica (Tabela 1).

Tabela 1: Cenários e imagens utilizados na ferramenta CASSIE no Estreito do Melão

Table 1. Scenarios and imagery used in the CASSIE tool at Estreito do Melão

| Local            | Intervalo                           | Quantidade de Imagens Processadas |
|------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|
| Margem Estuarina | Novembro de 1984 – Dezembro de 1994 | 126                               |
|                  | Abril de 1995 – Novembro de 2005    | 106                               |
|                  | Abril de 2006 – Março de 2018       | 165                               |
|                  | Setembro de 2018 – Agosto de 2025   | 190                               |
| Face Oceânica    | Novembro de 1984 – Agosto de 2018   | 407                               |
|                  | Setembro de 2018 – Agosto de 2025   | 201                               |

Os dados dos transectos foram então sistematizados em planilhas eletrônicas, utilizando a métrica *Linear Regression Rate* – *LRR* como método estatístico, conforme observado por Barros *et al.* (2024). O LRR estima a tendência média de avanço ou recuo da costa ao longo do tempo, ajustando uma regressão linear entre as datas de aquisição e as distâncias medidas ao longo dos transectos, de forma que a soma dos resíduos seja minimizada (Himmelstoss *et al.*, 2018). Os resultados dos transectos são expressos em m/ano e foram classificados em quatro categorias, conforme proposto por Esteves & Finkl (1998) (

Tabela 2).



Tabela 2: Classificação dos transectos de acordo com a taxa anual de variação da linha de costa

Table 2. Classification of transects based on annual shoreline change rates.

| Classificação do Transecto | Limiar de Classificação                   |
|----------------------------|-------------------------------------------|
| Acrescido                  | $> 0,5 \text{ m.a}^{-1}$                  |
| Estável                    | $- 0,5 \text{ até } 0,5 \text{ m.a}^{-1}$ |
| Erodido                    | $-0,5 \text{ até } -1,0 \text{ m.a}^{-1}$ |
| Criticamente Erodido       | $> -1,0 \text{ m.a}^{-1}$                 |

As medidas de largura do esporão arenoso do Estreito do Melão foram extraídas a partir de imagens PlanetScope (agosto de 2018), CBERS-4A (28 de novembro de 2025) e de ortomosaicos obtidos com Aeronave Remotamente Pilotada em 2025, produzidos pela Fundação Florestal do Estado de São Paulo entre outubro e novembro de 2025, possibilitando a comparação multitemporal das taxas de alteração da linha de costa.

## 4. Resultados

### 4.1. Margem Estuarina

A análise multitemporal das taxas de variação da linha de costa estuarina revelou processo contínuo de recuo da margem estuarina, com intensificação ao longo do período. Os resultados dos quatro períodos (1984–1994, 1995–2005, 2006–2018 e 2018–2025) evidenciam que o recuo da linha de costa ocorreu desde o início da série, sendo concentrado no setor central. Entre os 42 transectos analisados na área pós-rompimento, 38 se enquadram nas classes erodidas ou criticamente erodidas (~90% do total, Tabela 3).

Tabela 3: Taxas de variação anual da linha de costa, por transecto, na margem estuarina do Estreito do Melão, nas décadas pré- (1984–1994, 1995–2005 e 2006–2018) e pós- (2018–2025) rompimento do esporão.

Table 3. Annual shoreline change rates by transect along the estuarine margin of the Estreito do Melão during the pre (1984–1994, 1995–2005, and 2006–2018) and post-breach (2018–2025) periods.

| Período – Anos →<br>Transecto ↓ | Taxas de variação da linha de costa |             |             |             |
|---------------------------------|-------------------------------------|-------------|-------------|-------------|
|                                 | 1984 – 1994                         | 1995 – 2005 | 2006 – 2018 | 2018 – 2025 |
| 1                               | -0,36                               | 0,06        | -0,27       | -0,22       |
| 2                               | -0,14                               | 0,15        | -0,17       | 0,18        |
| 3                               | 0,19                                | -0,03       | -0,10       | 0,35        |
| 4                               | -0,15                               | 0,00        | -0,04       | -0,21       |
| 5                               | -0,14                               | -0,20       | -0,03       | -0,29       |
| 6                               | -0,02                               | -0,25       | -0,21       | 0,24        |
| 7                               | -0,17                               | -0,26       | -0,19       | 0,10        |
| 8                               | -0,53                               | -0,52       | -0,47       | -0,03       |
| 9                               | -1,61                               | -0,53       | -0,43       | -0,18       |
| 10                              | -1,01                               | -0,31       | -0,64       | -0,66       |
| 11                              | -0,57                               | -0,55       | -0,81       | -0,93       |
| 12                              | -0,60                               | -0,39       | -0,78       | -2,37       |
| 13                              | -0,55                               | -0,20       | -0,74       | -1,18       |
| 14                              | -0,73                               | -0,15       | -0,70       | -1,43       |
| 15                              | -0,92                               | -0,01       | -0,55       | -1,84       |
| 16                              | -1,43                               | 0,05        | -1,04       | -1,43       |



|                                    |       |       |       |       |
|------------------------------------|-------|-------|-------|-------|
| 17                                 | -0,84 | 0,01  | -0,93 | -1,83 |
| 18 – Central                       | -0,57 | -0,44 | -0,61 | -2,67 |
| 19 – Central                       | -0,46 | -0,70 | -1,20 | -1,55 |
| 20 – Central                       | -1,13 | -0,74 | -1,42 | -0,77 |
| 21 – Central                       | -1,25 | -0,69 | -1,05 | -2,20 |
| 22 – Central                       | -0,86 | -0,60 | -0,95 | -3,18 |
| 23 – Central                       | -0,71 | -0,91 | -0,77 | -3,15 |
| 24 – Central                       | -0,65 | -1,22 | -0,90 | -2,47 |
| 25 – Central                       | -0,38 | -0,94 | -0,90 | -3,46 |
| 26 – Central                       | -0,36 | -0,68 | -0,96 | -1,87 |
| 27 – Central                       | -0,73 | -0,65 | -1,03 | -0,82 |
| 28 – Central                       | -0,84 | -1,03 | -0,64 | -1,40 |
| 29 – Central                       | -0,33 | -1,23 | -0,41 | -2,17 |
| 30 – Central                       | -0,40 | -0,50 | -0,78 | -1,27 |
| 31 – Central                       | -0,64 | -0,62 | -0,43 | -1,85 |
| 32                                 | -0,60 | -0,54 | -0,31 | -2,38 |
| 33                                 | -0,57 | -0,40 | -0,32 | -1,58 |
| 34                                 | -0,49 | -0,41 | -0,16 | -1,25 |
| 35                                 | -0,22 | -0,35 | 0,24  | -1,05 |
| 36                                 | 0,01  | 0,03  | -0,05 | -0,17 |
| 37                                 | 0,14  | -0,02 | -0,41 | -0,06 |
| 38                                 | 0,81  | -0,16 | -0,67 | 0,31  |
| 39                                 | 0,43  | -0,01 | -0,42 | 0,16  |
| 40                                 | 0,04  | -0,39 | 0,01  | 0,18  |
| 41                                 | -0,79 | 0,47  | 0,22  | 0,42  |
| 42                                 | -0,39 | 0,10  | 0,03  | 0,00  |
| Média anual da porção central      | -0,66 | -0,78 | -0,86 | -2,06 |
| Média anual de todos os transectos | -0,49 | -0,38 | -0,52 | -1,09 |

A análise espacial da variação da linha de costa ao longo do período permite identificar padrões distintos entre os intervalos pré- e pós-rompimento do esporão (Figura 3). Na primeira década analisada, 1984 – 1994, a taxa média de recuo de todos os transectos foi de 0,49 m/ano. Esses valores posicionam a média dos transectos entre as classes de estáveis e erodidos, indicando que a tendência ao longo da década foi de recuo da linha de costa estuarina. Observam-se também locais com recuo mais intenso, principalmente nos transectos 8 a 17 e 19 a 22, onde as taxas atingem valores próximos ou superiores a 1,0 m/ano.

Na década de 1995 e 2005, as taxas médias, indicam estabilidade, com a taxa de recuo de 0,38 m/ano, contudo a média anual do setor central (-0,78 m/ano), situa os transectos na classe erodido. Ademais, alguns transectos localizados próximos às margens do Estreito do Melão apresentam valores positivos, indicando discreta estabilização e eventual avanço da linha de costa.

Entre os anos de 2006 e agosto de 2018, mês do rompimento do esporão, os valores médios, de todos os transectos, são próximos ao observado no período de 1984 a 1994, com taxas de recuo de 0,52 m/ano. No período de 2006 a 2018, o recuo da linha de costa

tornou-se espacialmente contínuo, o que caracteriza um aumento da instabilidade ao longo da barreira. Diversos transectos do setor central apresentam valores de recuo iguais ou superiores a 1,0 m/ano, o que evidencia a intensificação do recuo da linha de costa.

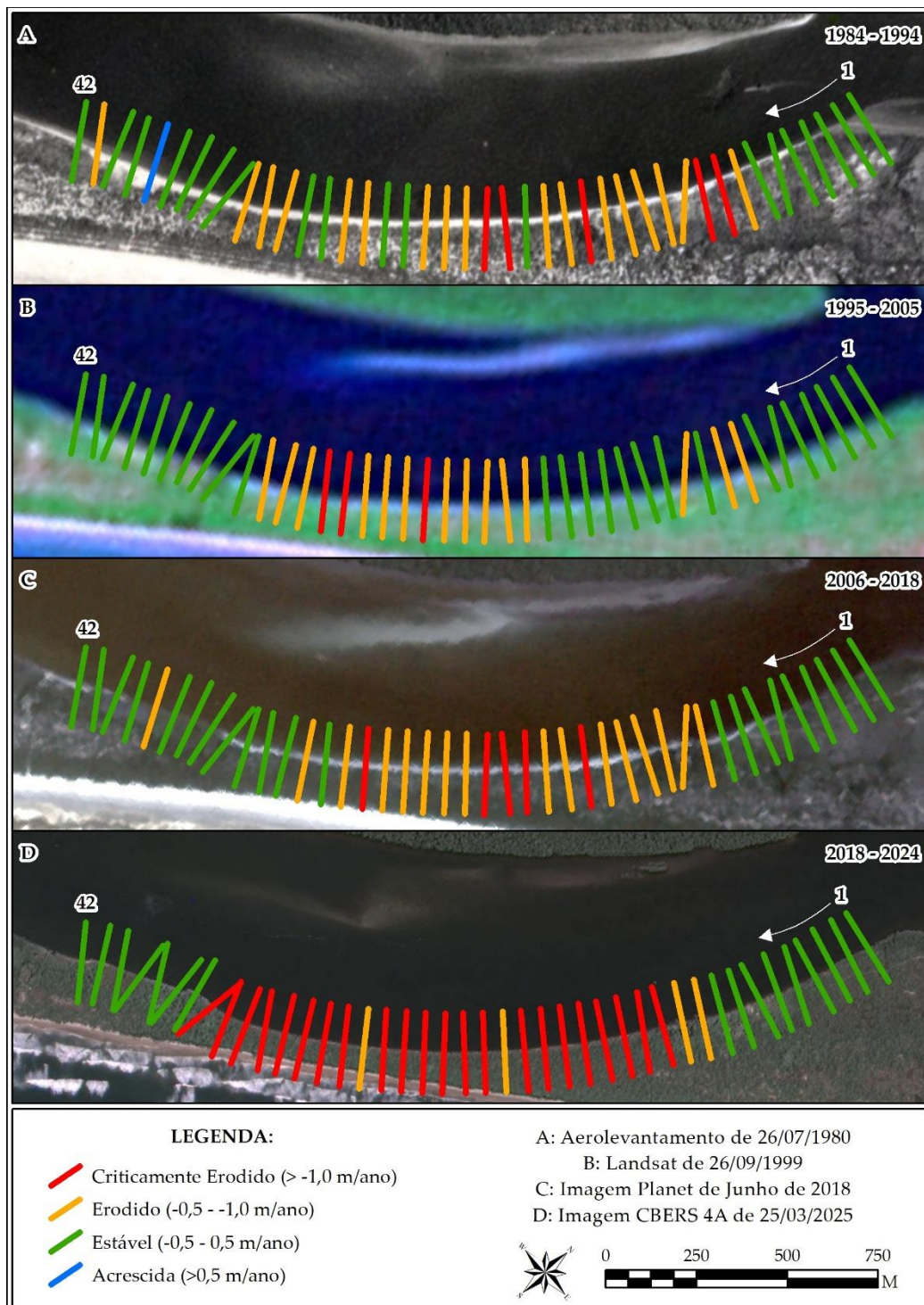


Figura 3. Transectos na margem estuarina nas décadas pré-abertura (A, B e C) e pós-abertura (D).

Figure 3. Transects along the estuarine margin in the decades pre-spit (A, B, and C) and post-spit breach (D).

Deste modo, observa-se que as taxas médias de recuo da linha de costa na margem estuarina, na parte central, no período pré-abertura, sempre se mantiveram na classe erodida, enquanto a média dos transectos se manteve menor ou próxima da classe estabilidade. Contudo, como os valores se mantiveram negativos ao longo de todo o período, é possível estimar que, mesmo com taxas médias de recuo da linha de costa em patamar considerado baixo, o Estreito do Melão diminuiu entre 26 e 39 m de largura entre 1984 e 2018.

Após o rompimento do esporão arenoso na Enseada da Baleia, em 29 de agosto de 2018, observou-se acentuado incremento na velocidade de recuo da linha de costa no Estreito do Melão, com valores médios das taxas de 2,06 m/ano na porção central, alcançando até 3,46 m/ano. Além disso, os transectos criticamente erodidos se ampliaram, mudando transectos que anteriormente se mantiveram estáveis e com baixas taxas de recuo em transectos criticamente erodidos.

#### 4.2. Margem Oceânica

A comparação entre as taxas de variação da linha de costa referentes aos períodos 1984–2018 e 2018–2025 evidencia uma mudança no padrão de recuo após a abertura da nova desembocadura (Figura 4 e Tabela 4). Enquanto no intervalo pré-abertura predominam valores próximos da estabilidade, no intervalo pós-abertura observa-se um recuo acentuado, sugerindo alterações no balanço sedimentar.

As taxas de alteração na linha de costa no período de 1984 a 2018, demonstram variação de -0,2 e +0,2 m/ano, apresentando características de estabilidade, sem alterações observáveis nas imagens ao longo dos 34 anos analisados. Em contraste, os dados do período de 2018 a 2025 indicam um intenso processo de recuo da linha de costa na face oceânica, que se amplia no sentido nordeste-sudoeste à medida que se aproxima da Barra da Baleia. A taxa média de recuo de todos os transectos foi estimada em 11,47 m/ano, enquanto, ao considerar os transectos da porção central do Estreito do Melão, a taxa de recuo observada foi de 4 m/ano.

Tabela 4. Taxas de variação anual da linha de costa, por transecto, na margem oceânica do Estreito do Melão.

Table 4. Annual erosion rates per transect along the oceanic margin at Estreito do Melão.

| Período – Anos → | 1984 - 2018 |       | 2018 - 2025          |       |
|------------------|-------------|-------|----------------------|-------|
| Transecto ↓      | Classe      | LRR   | Classe               | LRR   |
| 1                | Estável     | -0,02 | Erodido              | -0,80 |
| 2                | Estável     | -0,07 | Erodido              | -0,50 |
| 3                | Estável     | 0,03  | Estável              | -0,27 |
| 4                | Estável     | 0,14  | Criticamente Erodido | -3,39 |
| 5                | Estável     | 0,19  | Criticamente Erodido | -2,17 |
| 6                | Estável     | 0,17  | Criticamente Erodido | -3,34 |
| 7                | Estável     | 0,19  | Criticamente Erodido | -2,30 |
| 8                | Estável     | 0,22  | Criticamente Erodido | -2,95 |
| 9                | Estável     | 0,21  | Criticamente Erodido | -1,54 |
| 10               | Estável     | 0,10  | Erodido              | -0,94 |
| 11               | Estável     | 0,08  | Criticamente Erodido | -1,78 |
| 12               | Estável     | 0,09  | Criticamente Erodido | -3,37 |

|                            |         |       |                      |        |
|----------------------------|---------|-------|----------------------|--------|
| 13                         | Estável | 0,27  | Criticamente Erodido | -4,11  |
| 14 - Central               | Estável | 0,18  | Criticamente Erodido | -5,05  |
| 15 - Central               | Estável | 0,12  | Criticamente Erodido | -3,65  |
| 16 - Central               | Estável | -0,08 | Criticamente Erodido | -4,69  |
| 17 - Central               | Estável | -0,23 | Criticamente Erodido | -6,83  |
| 18 - Central               | Estável | -0,11 | Criticamente Erodido | -8,25  |
| 19 - Central               | Estável | 0,02  | Criticamente Erodido | -5,69  |
| 20 - Central               | Estável | 0,03  | Criticamente Erodido | -3,50  |
| 21 - Central               | Estável | 0,06  | Criticamente Erodido | -1,67  |
| 22 - Central               | Estável | 0,12  | Criticamente Erodido | -1,95  |
| 23 - Central               | Estável | 0,19  | Criticamente Erodido | -1,04  |
| 24 - Central               | Estável | 0,05  | Criticamente Erodido | -3,60  |
| 25 - Central               | Estável | -0,07 | Criticamente Erodido | -3,92  |
| 26 - Central               | Estável | -0,14 | Criticamente Erodido | -2,32  |
| 27 - Central               | Estável | -0,09 | Criticamente Erodido | -1,62  |
| 28 - Central               | Estável | 0,00  | Criticamente Erodido | -1,66  |
| 29 - Central               | Estável | -0,03 | Criticamente Erodido | -3,88  |
| 30 - Central               | Estável | -0,03 | Criticamente Erodido | -9,44  |
| 31                         | Estável | 0,04  | Criticamente Erodido | -7,22  |
| 32                         | Estável | 0,07  | Criticamente Erodido | -7,98  |
| 33                         | Estável | 0,00  | Criticamente Erodido | -14,27 |
| 34                         | Estável | 0,05  | Criticamente Erodido | -15,67 |
| 35                         | Estável | 0,01  | Criticamente Erodido | -15,21 |
| 36                         | Estável | 0,01  | Criticamente Erodido | -21,62 |
| 37                         | Estável | 0,02  | Criticamente Erodido | -17,98 |
| 38                         | Estável | 0,01  | Criticamente Erodido | -22,67 |
| 39                         | Estável | 0,00  | Criticamente Erodido | -14,65 |
| 40                         | Estável | 0,00  | Criticamente Erodido | -80,75 |
| 41                         | Estável | 0,05  | Criticamente Erodido | -71,85 |
| 42                         | Estável | 0,08  | Criticamente Erodido | -29,93 |
| 43                         | Estável | 0,13  | Criticamente Erodido | -61,17 |
| 44                         | Estável | -0,04 | Criticamente Erodido | -27,52 |
| Média Anual Porção Central | -       | 0,00  | -                    | -4,04  |
| Média Anual Todos          | -       | 0,05  | -                    | -11,47 |

Os transectos com taxas de recuo superiores a 1,0 m/ano passam a se distribuir ao longo de quase toda a extensão da barreira arenosa, alcançando setores que anteriormente eram classificados como estáveis. Esse padrão indica que a intensificação do recuo não se restringiu a um trecho isolado, mas afetou a maior parte da margem oceânica do Estreito do Melão.



No setor central do Estreito do Melão (transectos 14 a 30), observa-se intensificação do recuo da linha de costa, com taxas variando entre 3,50 e 9,44 m/ano. Além disso, diversos transectos ao longo dos setores adjacentes passam a apresentar taxas de recuo superiores a 10 m/ano, o que indica a expansão do processo de recuo em toda a porção estudada.

No setor sudoeste do esporão, em direção à Barra da Baleia, concentram-se os valores mais elevados. Os transectos 36, 38, 42 e 44 atingem taxas superiores a 20 m/ano, destacam-se ainda os transectos 39, 41 e 40, que registram taxas de, aproximadamente, 61, 71 e 80 m/ano, respectivamente, o que evidencia a instabilidade na linha de costa oceânica nesse trecho do esporão.

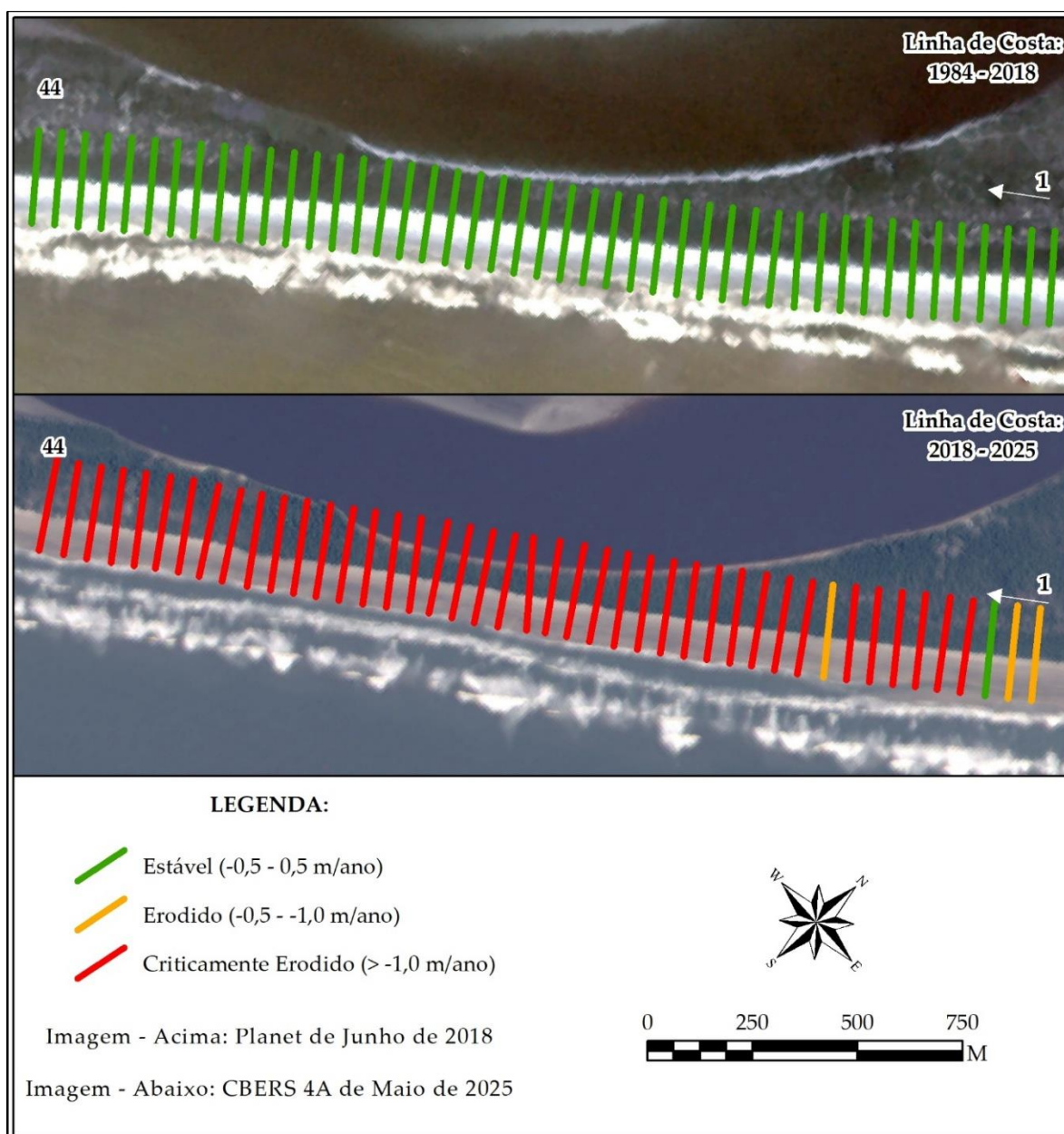


Figura 4. Comparativo de transectos na face oceânica do Estreito do Melão no período pré- e pós-abertura  
Figure 4. Comparison of transects on the ocean margin at Estreito do Melão at the periods pre- and post-breach.

## 5. Discussão

A forma em meandros abertos do Mar do Ararapira favorece a erosão de suas margens côncavas (Mihály & Angulo, 2002). A formação da Barra da Baleia, após o rompimento do esporão em 2018, acelerou a erosão na margem côncava da Enseada do Melão, pois a nova barra intensificou a velocidade das correntes de enchente e vazante no interior do estuário no setor a montante, no Estreito do Melão. Como resultado, essa margem passou a apresentar características semelhantes às observadas na Enseada da Baleia antes do rompimento do esporão.

A modificação das correntes, promovida pela abertura da nova Barra da Baleia, ampliou a captura de sedimentos pelo estuário durante a maré enchente, favorecendo a expansão das feições associadas aos deltas de maré enchente.

Assim, esses processos contribuem para o recuo nas margens estuarinas, cujas taxas de recuo pós-rompimento (médias de 2,06 m/ano e máximas de 3,46 m/ano) são compatíveis com as observadas por Mihály & Angulo (2002) na antiga Enseada da Baleia (~3 m/ano entre 1993 e 1996). Portanto, o processo erosivo registrado no Estreito do Melão é semelhante ao que precedeu o rompimento do esporão em 2018.

Além das alterações observadas nas margens estuarinas do Mar do Ararapira, a nova desembocadura também modificou o balanço sedimentar da face oceânica do Estreito do Melão. Não se observa na literatura descrita para a região nenhuma menção a um possível recuo da linha de costa na margem oceânica do Estreito do Melão pós-rompimento do esporão na Enseada da Baleia. Angulo *et al.* (2009), previam que o delta de maré vazante que se formaria junto à nova desembocadura promoveria a convergência da deriva litorânea, ocasionando a progradação da costa oceânica próxima à nova Barra da Baleia, enquanto a costa oceânica próxima ao Estreito do Melão permaneceria estável. Contudo, os resultados indicam um recuo acelerado e contínuo da linha de costa oceânica neste setor.

Uma explicação para a erosão acelerada na costa oceânica a norte da nova desembocadura é o efeito de molhe hidráulico provocado pelos deltas de maré vazante, como descrito por Dean & Walton (1975) e FitzGerald (1988). O novo delta de maré vazante associado à Barra da Baleia atua como obstáculo parcial da deriva litorânea, que tem sentido preferencial para o nordeste, causando déficit de sedimentos a nordeste. Ademais, os sedimentos retidos ao sudoeste da nova barra são transportados para o interior do estuário, formando um delta de maré enchente. Segundo FitzGerald & Miner (2013), esse comportamento é comum em desembocaduras jovens e ainda em evolução, sendo que um período de maior estabilidade costuma ocorrer entre 5 e 15 anos.

Deste modo, quando se combinam as taxas de recuo observadas nas margens estuarinas e na face oceânica, observa-se paulatina redução da largura do esporão arenoso. As taxas médias de recuo são de 2,06 m/ano na margem estuarina e 4,04 m/ano na margem oceânica, o que resulta em perda combinada de 6,1 m/ano. Assim, considerando que a largura atual do esporão varia entre 18 e 25 m, pode-se projetar que um novo rompimento do esporão ocorra dentro de 3 ou 4 anos, ou seja, entre 2028 e 2029.

Após ocorrer o novo rompimento, na futura Barra do Melão, considera-se que a evolução da desembocadura possa ser semelhante à que ocorre na atual desembocadura. Ou seja, a diminuição da energia das correntes de maré enchente e vazante dentro do estuário à jusante – sudoeste – da nova barra deve promover a deposição de sedimentos finos neste setor do estuário, tal como vem acontecendo a jusante da desembocadura da Barra da Baleia. Além disso, deve ocorrer o progressivo assoreamento da desembocadura

atual devido a diminuição da circulação hídrica que deve se deslocar preferencialmente para a nova desembocadura da Barra do Melão.

A margem norte da nova desembocadura deve estabilizar próxima a confluência com o Rio-Canal do Varadouro e da Comunidade da Nova Enseada da Baleia, enquanto os manguezais localizados em frente ao Estreito do Melão, na margem continental do estuário, devem ter altas taxas de mortalidade de espécimes, como observado na desembocadura atual na Barra da Baleia (Mariano *et al.*, 2024).

A abertura de uma nova desembocadura no Estreito do Melão, a montante da atual, estaria de acordo com o modelo evolutivo proposto por FitzGerald (1988), tendo em vista que o rompimento ocorreria a favor da corrente de deriva litorânea preferencial de SW – NE (Tessler, 1998), além de localizar-se em um ponto hidráulico mais favorável, próximo à confluência com o Rio-Canal do Varadouro.

Tendo em vista o cenário de novo rompimento do esporão, observa-se mobilização contínua dos moradores da Nova Enseada da Baleia junto ao poder público, os quais possuem diálogos com o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade, a Fundação Florestal do Estado de São Paulo e a Defensoria do Ministério Público Estadual, congregados em uma câmara técnica e em um grupo de trabalho para tratar do tema. Tais tratativas são importantes e devem ser fomentadas, tendo em vista que os moradores da Nova Enseada da Baleia serão impactados pela nova configuração da costa, com a nova barra muito próxima da vila, o que deve suscitar novas preocupações.

## 6. Conclusão

Os resultados permitem concluir que, caso as taxas se mantenham, o acelerado recuo da linha de costa no Estreito do Melão deve culminar com o rompimento do esporão e abertura de nova barra até o final da década. O comportamento observado está de acordo com os modelos evolutivos propostos por FitzGerald (1988), com a margem estuarina apresentando padrão semelhante ao que antecedeu o rompimento na Enseada da Baleia, em 2018, e a margem oceânica apresentando intenso recuo da linha de costa, provavelmente ocasionado pela captura de sedimentos, na forma de delta de maré enchente, na Barra da Baleia.

Pode-se concluir que um novo rompimento impactará a população tradicional da Nova Enseada da Baleia, a qual já foi afetada pela abertura da atual desembocadura, onde anteriormente se localizava a vila da comunidade e que foi totalmente destruída. Além disso, a abertura de uma nova desembocadura causaria o assoreamento da Barra da Baleia, o que afetaria diretamente as comunidades de Pontal do Leste e da Barra do Arapira, que tinham acesso direto e fácil ao mar aberto até 2018 e, em caso de novo rompimento, terão que se locomover por mais de 10 km até a nova saída para o mar aberto.

Sugere-se, portanto, o monitoramento contínuo do esporão arenoso do Estreito do Melão, visando identificar se as taxas de recuo da linha de costa, identificadas no presente trabalho, se mantêm, diminuem ou se intensificam, adaptando, assim, as estratégias de mitigação dos impactos, conforme apontado por Angulo *et al.* (2025).



**Agradecimentos:** R.J.A. agradece ao CNPq pela bolsa de produtividade em pesquisa (311837/2022-0).

**Contribuições dos Autores:** Concepção, C.A.W. e R.J.A.; metodologia, C.A.W.; software, C.A.W.; validação, C.A.W.; análise formal, C.A.W. e R.J.A.; pesquisa, C.A.W.; recursos, R.J.A.; preparação de dados, C.A.W.; escrita do artigo, C.A.W.; revisão, R.J.A.; supervisão, R.J.A.; aquisição de financiamento, R.J.A. Todos os autores leram e concordaram com a versão publicada do manuscrito.

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

## Referências

- Almeida, L.P.; Oliveira, I.E.; Lyra, R.; Dazzi, R.L.S.; Martins, V.G.; Klein, A.H.F. 2021. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. *Environmental Modelling & Software*, 140: 105033. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2021.105033>.
- Andrade, T.S.; Sousa, P.H.G.O.; Siegle, E. 2019. Vulnerability to Beach Erosion Based on a Coastal Processes Approach. *Applied Geography*, 102: 12-19. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2018.11.003>.
- Angulo, R.J. 1992. *Geologia da Planície Costeira do Estado do Paraná*. Universidade de São Paulo, Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) – Programa de Pós-graduação em Geologia Sedimentar, Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências. São Paulo. 334p
- Angulo, R.J. 1999. Morphological characterization of the tidal deltas on the coast of the State of Paraná. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 71 (4-II): 935–959.
- Angulo, R.J. 2004. Mapa do Cenozóico do litoral do estado do Paraná. *Boletim Paranaense de Geociências*, 55: 25-42.
- Angulo, R.J.; Souza, M.C.; Müller, M.E. 2007. Evolução do esporão e consequências da abertura de uma nova desembocadura do Mar do Ararapira (Paraná - Brasil). In: *Anais do 11º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, ABEQUA*.
- Angulo, R.J.; Souza M.C.; Müller, M.E. 2009. Previsão e consequências da abertura de uma nova barra no Mar do Ararapira, Paraná-São Paulo, Brasil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 1: 67-75. <https://doi.org/10.5380/abequa.v1i2.14577>
- Angulo, R.J.; Souza M.C.; Sielski, L.H.; Muller, M.E.J. 2016. *Componente segurança geológica do Laudo Técnico solicitado pela Defensoria Pública do Estado de São Paulo, Vale do Ribeira, Unidade de Registro*. Laboratório de Estudos Costeiros da Universidade Federal do Paraná. 2p.
- Angulo, R.J.; Souza M.C.; Sielski, L.H.; Nogueira, R.A.; Muller, M.E.J. 2019. Morphology, Bedforms and Bottom Sediments of Mar Do Ararapira, Southern Brazil. *Quaternary and Environmental Geosciences*, 10: 01-09. <https://doi.org/10.5380/abequa.v10i1.59468>
- Angulo, R.J., Souza M.C., Giannini, P.C.F., Dillenburg, S.R., Barboza, E.G., Rosa, M.L.C.C., Hesp, P.A., Pessenda, L.C.R. 2022. Late-Holocene Sea levels from vermetids and barnacles at Ponta do Papagaio, 27°50'S latitude and a comparison with other sectors of southern Brazil. *Quaternary Science Reviews*, 286: 107536. <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2022.107536>
- Angulo, R.J.; Souza, M.C.; Noernberg, M.A. 2020. Anthropogenic impacts on the morphological and sedimentary processes in the coast of State of Paraná in Southern Brazil: past and future perspectives. *Revista de Gestão Costeira Integrada*, 20(1): 5-25. <https://doi.org/10.5894/rgci-n197>
- Angulo, R.J.; Souza M.C.; Wroblewski, C.A. 2025. *Nota Técnica sobre a erosão na Enseada do Melão. Laudo técnico solicitado pela gestão do Parque Estadual da Ilha do Cardoso* – Grupo de Trabalho de Erosão Costeira. Laboratório de Estudos Costeiros da Universidade Federal do Paraná. 2p.
- Barros, E.L.; Pinheiro, L.S.; Guerra, R.G.P.; Moura, F.J.M.; Paula, D.P.; Neto, A.R.X.; Leisner, M.M.; Morais, J.O. 2024. Shoreline Change and Coastal Erosion: An Analysis of Long and Short-Term Alterations and Mitigation Strategies on the Coast of Icapuí, Northeast Brazil. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 25(4): e2604. <https://doi.org/10.20502/rbg.v25i4.2604>
- Bazzo, J. 2011. *Mato que vira mar, mar que vira mato: o território em movimento na vila de pescadores da Barra de Ararapira (Ilha do Superagui, Guaraqueçaba, Paraná)*. Cadernos de Campo, São Paulo, v. 20, p. 65-85.
- Boak, E.H. & Turner, I.L. 2005. Shoreline definition and detection: a review. *Journal of Coastal Research*, 214: 688-703, <https://doi.org/10.2112/03-0071.1>

- Bruun P. & Gerritsen F. 1959. Natural By-Passing of Sand at Coastal Inlets. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, 85: 75-107. <https://doi.org/10.1061/jwheau.0000152>.
- Bueno, B.P.S. 2009. Dilatação dos confins: caminhos, vilas e cidades na formação da Capitania de São Paulo (1532-1822). *Anais do Museu Paulista: História e Cultura Material*, 17(2): 251-294. <https://doi.org/10.1590/S0101-47142009000200013>
- Burvingt O.; Lerma A.N.; Lubac B.; Mallet C.; Senechal N. 2022. Geomorphological Control of Sandy Beaches by a Mixed-Energy Tidal Inlet. *Marine Geology*, 450: 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.margeo.2022.106863>.
- Carter, R.W.G. 1988. *Coastal Environments: An Introduction to the Physical, Ecological, and Cultural Systems of Coastlines*. Academic Press, p. 617.
- Castelle, B. & Masselink, G. 2023. *Morphodynamics of Wave-Dominated Beaches*. Cambridge Prisms: Coastal Futures. <https://doi.org/10.1017/cft.2022.2>.
- Cheliz, P.M.; Souza, C.R.G.; Nascimento, E.R.; Nunes, M.; Oliveira, R.C. 2019. Apontamentos sobre oscilações geomorfológicas e impactos ambientais na ruptura da Ilha do Cardoso, e formação de nova barra do Canal de Ararapira (Cananéia-SP). *Anais*, XVIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada.
- Cisse, C.O.T.; Marić, I.; Domazetović, F.; Glavačević, K.; Almar, R. 2024. Derivation of Coastal Erosion Susceptibility and Socio-Economic Vulnerability Models for Sustainable Coastal Management in Senegal. *Sustainability*, 16(17): 7422. <https://doi.org/10.3390/su16177422&#8203>
- Corrêa, F.A. 1995. *Reserva da biosfera da Mata Atlântica: roteiro para o entendimento de seus objetivos e seu sistema de gestão*. São Paulo: Cetesb.
- Davidson-Arnott, R.; Houser C.; Bauer B. 2010. *Introduction to Coastal Processes and Geomorphology*. Cambridge University Press, 458p.
- Dean, R.G., Walton, T.L.J.R. 1975. *Sediment Transport Processes in the Vicinity of Inlets with Special Reference to Sand Trapping*. Coastal and Oceanographic Engineering Laboratory, University of Florida. p. 129-149.
- Dong, W.S.; Ismailuddin, A.; Yun, L.S.; Ariffin, E.H.; Saengsupavanich, C.; Abdul Maulud, K.N.; Ramli, M.Z.; Miskon, M.F.; Jeofry, M.H.; Mohamed, J.; Mohd, F.A.; Hamzah, S.B.; Yunus, K. 2024 The Impact of Climate Change on Coastal Erosion in Southeast Asia and the Compelling Need to Establish Robust Adaptation Strategies. *Heliyon* 10(4): e25609. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e25609>
- Esteves, L.S. & Finkl, C.W. 1998. The Problem of Critically Eroded Areas (CEA): An Evaluation of Florida Beaches. *Journal of Coastal Research*, SI 26:11-18. <http://www.jstor.org/stable/25736114>
- Fitzgerald D.M. 1982. Sediment bypassing at mixed energy tidal inlets. *Abstracts...18<sup>th</sup> Coastal Engineering Conference*. American Society of Civil Engineering. pp. 1094-1118.
- Fitzgerald D.M. 1988. Shoreline erosional-depositional process associated with tidal inlets. *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*. In: Aubrey, D.G. & Weishar, L. (Eds.), *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*, 29:186-225.
- Fitzgerald, D.M. 1996. Geomorphic Variability and Morphologic and Sedimentologic Controls on Tidal Inlets. *Journal of Coastal Research*, SI 23: 47-71. <https://www.jstor.org/stable/25736068>
- Fitzgerald, D.M. 2008. Geology of the coastal Zone. In: Chiesi, J.M.; Naylor, A.S.R.; Galloway, G.H. (Eds.), *The Geomorphology of the Great Plains* Cambridge University Press. pp. 231-267.
- Fitzgerald, D.M. & Nummedal, F. 1983. Response Characteristics of an Ebb-Dominated Tidal Inlet Channel. *Journal of Sedimentary Research*, 53(3): 833-845. <https://doi.org/10.1306/212F82CE-2B24-11D7-8648000102C1865D>
- Fitzgerald D.M. & Miner M. 2013. Tidal Inlets and Lagoons Along Siliciclastic Barrier Coasts. *Treatise on Geomorphology*, 8: 270-288. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-818234-5.00079-1>
- Fitzgerald, D.M. & Buynevich, I.V. 2018. Tidal Inlets. In: Finkl, C. & Makowski, C. (Eds.), *Encyclopedia of Coastal Science*. Encyclopedia of Earth Sciences Series. Springer, Cham. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-48657-4\\_316-2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-48657-4_316-2)
- Fitzgerald D.M.; Kraus N.; Hands, E.B. 2000. *Natural mechanisms of sediment bypassing at tidal inlets*, ERDC/CHL CHETN-IV-30, U.S. Army Engineer Research and Development Center, 10p. <http://chl.erdcl.usace.army.mil>

- Giannini P.C.F.; Guedes C.C.F.; Nascimento Jr. D.R.D.; Tanaka A.P.B.; Assine M.L.; Angulo R.J.; Souza M.C. 2007. Sedimentology and morphologic evolution of the Ilha Comprida Barrier System, southern São Paulo coast. In: Dillenburg S.R. & Hesp, P. (Org.), *Geology of Brazilian coastal barriers. Lecture Notes in Earth Sciences*, 107: 177-224. [https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9\\_6](https://doi.org/10.1007/978-3-540-44771-9_6)
- Goudard, G. & Paula, E.V. 2016. O clima do litoral paranaense: variabilidades, mudanças climáticas, tendências e desafios. In: Boldrini, E. B., Paes, L. S. O., Pinheiro, F. (Orgs.) *Clima: Boas práticas de adaptação*. ADEMADAN – Antonina, PR. p. 13-29.
- Harari, J. & Camargo, R. 1994. Simulação da propagação das nove principais componentes de maré na plataforma sudeste brasileira através de modelo numérico hidrodinâmico. *Boletim do Instituto Oceanográfico*, 42(1/2), 35-54.
- Hayes, M.O. 1975. *Morphology of sand accumulations in estuaries*. Estuarine Research, Academic Press, New York. p. 3-22.
- Himmelstoss, E.A.; Henderson, R.E.; Kratzmann, M.G.; Farris, A.S. 2018. *Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 5.0 User Guide*, U.S Geological Survey. <https://doi.org/10.3133/ofr20181179>. 1179
- ICMBio - Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade. 2022. *Sítios Ramsar do Brasil*, Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/assuntos/ecossistemas-1/areas-umidas/sitios-ramsar-brasileiros>. Acesso em: 13 out. 2023.
- Italiani, D. 2019. *Morfodinâmica da desembocadura do Arapira SP/PR: Evolução, forçantes e previsões*. Tese (Doutorado em Sistemas Costeiros e Oceânicos), Programas de Pós-Graduação em Sistemas Costeiros e Oceânicos, Centro de Estudos do Mar, Universidade Federal do Paraná, 77p.
- Komar, P.D. 1976. *Beach Processes and Sedimentation*, Englewood Cliffs (New Jersey), Prentice-Hall, xii et 429. p. 218.
- Mariano, A.E.B.; Chiquetto, L.N.; Hanamulamba, P.L.; Panizza, G.R.; Carvalho, I.B.; Destito, M.C.S.; Lignon, M.C. 2024. Eventos Extremos na Zona Costeira: Consequência sobre a dinâmica sedimentar no trecho sul do litoral de São Paulo. In: *Vida em evolução: explorando as ciências biológicas*, 1º ed, Atena Editora, 2024, p. 140-57. <https://doi.org/10.22533/at.ed.10524070210>.
- Marone E.; Noernberg M.A.; Alberti A.L.; Lopes G.M.; Müller M.E.; Braga V.Z. 2009. Fluxo de massas de água entre os sistemas estuarinos de Paranaguá e Cananéia, Brasil. In: *Anais do XIII Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar*. Havana. Resumo Simples.
- Mihály, P. 1997. *Dinâmica sedimentar do litoral norte paranaense e extremo sul paulista*. Dissertação (Mestrado em Geologia). Programa de Pós-graduação em Geologia, Departamento de Geologia, Universidade Federal do Paraná. 117p.
- Mihály, P. & Angulo R.J. 2002. Dinâmica da Desembocadura do Corpo Lagunar do Arapira. *Revista Brasileira de Geociências*, 32(2): 217-222.
- Nemes, D. & Marone, E. 2013. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná, Brasil. *Boletim Paranaense de Geociências*, 68: 12-25. <https://doi.org/10.5380/geo.v69i0.26022>
- Nguyen C.H.; Dang K.B.; Ngo V.L.; Dang V.B.; Truong Q.H.; Nguyen D.H.; Giang T.L. 2021. New Approach to Assess Multi-Scale Coastal Landscape Vulnerability to Erosion in Tropical Storms in Vietnam. *Sustainability*, 13(2): 1004. <https://doi.org/10.3390/su13021004>
- Oertel G.F. 1975. Ebb-tidal deltas of Georgia estuaries. In: Cronin, L.E. (Ed.), *Estuarine Research Geology and Engineering*. New York. Academic Press, 2: 267-276.
- Oertel, G.F. 1988. Processes of Sediment Exchange between Tidal Inlets, Ebb Deltas, and Barrier Islands. In: Aubrey, D.G. & Weishar, L. (Eds.), *Hydrodynamics and Sediment Dynamics of Tidal Inlets*, 29, *Lecture Notes on Coastal and Estuarine Studies*, 295-318. <https://doi.org/10.1029/LN029p0297>
- Oliveira, E.B. & Barboza, E.G. 2024. Shoreline change assessment at Arroio do Sal (Southern Brazil) using different shoreline extraction methods. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 36: 101303. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2024.101303>
- Paula, E.V.; Pigosso, A.M.B.; Wroblewski, C.A. 2018. Unidades de Conservação do Litoral do Paraná: Evolução Territorial e Grau de Implementação. In: *Litoral do Paraná: Território e Perspectivas*. Rio de Janeiro: Autografia, 2018. pp. 41-92.

Ramos, L.P.; Andrade, A.C.S.; Nascimento, P.S.R.; Santos, J.P.S. 2021. Mapeamento geomorfológico da Zona Costeira Sul de Sergipe. *Pesquisas em Geociências* 48(3): 107654. <https://doi.org/10.22456/1807-9806.107654>

RBMA - Reserva da Biosfera da Mata Atlântica. 2004. *O Programa MaB e as reservas da biosfera*. Disponível em <https://rbma.org.br/n/>. Acesso em: 11 out. 2023.

Silva, A.R.E. & Rehbein, M.O. 2018. Análise e Mapeamento Geomorfológico da Área de influência da Planície Costeira de Pelotas (Rio Grande do Sul, Brasil). *Revista Brasileira de Geomorfologia*, 19(3): 567-585. <https://doi.org/10.20502/rbg.v19i3.1342>

Souza, C.R.G.; Cheliz, P.M.; Costa, R.P.; Nascimento, E.R.; Pisciotto, K.; Souza, M.J.N. 2019. O processo erosivo na Enseada da Baleia, Parque Estadual da Ilha do Cardoso (Cananéia/SP): Exemplo de adaptação a riscos costeiros. In: Jacobi, P.R. & Trani, E. (org.), *Planejando o Futuro hoje: ODS 13, Adaptação e Mudanças Climáticas em São Paulo*, IEE – Universidade de São Paulo, p. 129 – 134.

Tessler, M.G. 1988. *Dinâmica sedimentar quaternária no litoral sul paulista*. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade de São Paulo - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 296p.

Unesco. 1999. *Atlantic Forest South-East Reserves – Brazil*, Disponível em: <https://whc.unesco.org/en/list/893/multiple=1&uni->. Acesso em: 12 out. 2023.

Velasquez-Montoya, L.; Overton, M.F.; Sciaudone, E.J. 2020. Natural and Anthropogenic-Induced Changes in a Tidal Inlet: Morphological Evolution of Oregon Inlet. *Geomorphology*, 350: 106871. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2019.106871>.

Wroblewski, C.A. 2025. *Alterações morfológicas decorrentes da abertura de uma nova desembocadura estuarina no Mar do Ararapira (Paraná – São Paulo)*. Dissertação (Mestrado em Geologia), Programa de Pós-graduação em Geologia, Universidade Federal do Paraná. 95p.

Yamaoka, G.J.; Cardoso, T.M.; Gini, G. 2021. Sobrevivendo ao Capitaloceno: o caso da comunidade caiçara da Enseada da Baleia, Cananéia/SP. *Diálogos Socioambientais*, 4(11): 32-35,

Zenkovitch, V.P. 1967. *Processes of Coastal Development*, Oliver and Boyd, Edinburgh, 738, p. 9.