

ANÁLISE ESPAÇO-TEMPORAL DA EROÇÃO COSTEIRA EM PRAIA URBANIZADA: O CASO DA PRAIA DE PONTA DA FRUTA (VILA VELHA, ES)

Spatiotemporal analysis of coastal erosion on an urbanised beach: the case of Ponta da Fruta beach (Vila Velha, ES)

Ilíia Crassus Pretralonga

Dr. em Geografia Física

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física - FFLCH/USP, Universidade de São Paulo, Brasil.

crassusbrandao@alumni.usp.br

Celia Regina de Gouveia Souza

Dra. em Geociências (Geologia Sedimentar). Programa de Pós-Graduação em Geografia Física - FLCH/USP, Universidade de São Paulo, Brasil. Instituto de Pesquisas Ambientais - SEMIL/SP.

celia@sp.gov.br

Graciele da Costa Luna

Mestranda em Geografia Física

Programa de Pós-Graduação em Geografia Física - FFLCH/USP, Universidade de São Paulo, Brasil.

graciele.geo@gmail.com

Recebido: 22/05/2025

Aceito: 20/11/2025

Resumo

As praias são ambientes muito complexos e dinâmicos, e seus processos morfodinâmicos podem sofrer alterações. Uma parcela significativa da população mundial ocupa essas áreas, e por esse motivo tornam-se expostos aos perigos e riscos costeiros. À vista disso, o objetivo da presente pesquisa é demonstrar a influência da urbanização de zonas costeiras no recuo da linha de costa, na praia de Ponta da Fruta, Vila Velha, estado do Espírito Santo. Utilizou-se três métodos de análise: Indicadores de Erosão Costeira, determinação de Deriva Litorânea, e cálculos do recuo da linha de costa por meio de imagens de satélite, no período de 1984-2024, com uso de End Point Rate (EPR) e médias das EPRs (AEPRs). Por meio de campanhas sistemáticas de campo foi possível verificar que a praia em questão exibe um quadro de elevado risco à erosão costeira, apresentando todos os Indicadores de Erosão Costeira; a retroanálise apontou retrogradação de todos os perfis de monitoramento, a uma taxa de -0,23 metros/ano e perda de 29% (22.800 m²) do polígono praial, com exceção do Perfil 8; a análise das células de deriva identificou os principais processos atuantes, com presença de células de erosão ativas, causando intensos processos erosivos nos perfis do centro-sul e extremo NE. A comparação dos métodos indica que os perfis do extremo NE, de ocupação anterior à década de 1980, sofreram erosão e tiveram recuos da linha de costa, enquanto os perfis do centro-sul, de ocupação mais recente, exibem os maiores recuos da linha de costa. O estudo demonstrou que a urbanização da orla acelera a erosão e o recuo da linha de costa, e alerta para exposição a riscos em cenários de possível elevação do nível do mar e/ou eventos meteorológicos extremos, com severas consequências para a estrutura da praia e da comunidade.

Palavras-chave: Risco Costeiro; Processos Morfodinâmicos; Urbanização de Orla Oceânica; Elevação do Nível Médio do Mar.

Abstract

Beaches are very complex and dynamic environments, and their morphodynamic processes can change. A significant portion of the world's population lives in these areas, thereby exposing them to coastal hazards and risks. Therefore, the objective of this research is to demonstrate the influence of coastal urbanisation on shoreline retreat at Ponta de Fruta beach in Vila Velha, Espírito Santo. Three analysis methods were used: Coastal Erosion Indicators, Longshore Drift Determination, and shoreline retreat calculations based on satellite imagery back-analysis for the period 1984-2024, using End Point Rate (EPR) and average EPRs (AEPRs). Through systematic field campaigns, it was possible to verify that the beach in question exhibits a high risk of coastal erosion, presenting all the coastal erosion indicators; the back analysis indicated retrogradation of all monitoring profiles at a rate of -0.23 meters/year and loss of approximately 29% (22.800 m²) of the beach polygon, except for Profile 8, the analysis of the drift cells identified the main processes at play, with the presence of active erosion cells, causing intense erosion in the profiles of the south-central part of the beach and in the extreme northeast. A comparison of the methods indicates that the profiles in the extreme northeast, where occupation predates the 1908s, have suffered erosion and experienced shoreline retreat, while the profiles in the centre-south, with more recent occupation, exhibit greater shoreline retreat. The study demonstrated that coastal urbanisation accelerates erosion and shoreline retreat, and warns of exposure to risk scenarios involving possible sea level rise and/or extreme weather events, with severe consequences for the beach's structure and community.

Keywords: Coastal Risk; Coastal Erosion; Morphodynamic Processes; Mean Sea Level Rise.

1. INTRODUÇÃO

As zonas costeiras enfrentam problemas ambientais importantes atualmente, seja em escala local, com o avanço da urbanização, seja em escala global, com as consequências das mudanças climáticas. Estima-se que 11% da população mundial, ou 1 bilhão de pessoas, esteja em altitudes de até 10 metros acima do nível do mar (Haasnoot *et al.*, 2021; Magnan *et al.*, 2023; Barnard *et al.*, 2024). Dados mais recentes de medições de temperatura na superfície do planeta apontam para o “inequívoco” aumento entre 0,8°C e 1,3°C, resultado da emissão de gases efeito estufa (GEE) provenientes de atividades antrópicas, dos quais: gás carbono, CO₂, em 410 partes por milhão (ppm); metano, CH₄, 1.866 ppm; óxido nitroso, N₂O, em 332 ppm (IPCC, 2023). Os efeitos diretos e indiretos das mudanças climáticas, como eventos extremos que causam erosão costeira, inundações fluviais e costeiras (Eggert *et al.*, 2025; Huebner, 2025), elevação do nível relativo do mar e nível médio do mar (Nawarat *et al.*, 2024), movimentos de massa nas encostas, gerando desastres e grandes perdas humanas e ambientais (Marengo *et al.*, 2016, 2017; IPCC, 2023).

A exposição a fenômenos naturais e a riscos de desastres se referem ao potencial ou probabilidade de ocorrência (risk) de que um evento físico ou provocado pelo ser humano (hazard) que cause perdas de vidas, impactos à saúde, infraestrutura, meios de

subsistência, e ao meio ambiente, ou seja, é a probabilidade de ocorrer um desastre (IPCC, 2018). No contexto de impactos climáticos, risco é frequentemente relacionado às respostas de adaptação ou mitigação, resultado da interação entre vulnerabilidade do ambiente, exposição ao evento ao longo do tempo, bem como a probabilidade de ocorrência do evento. O Escritório das Nações Unidas para a Redução de Riscos e Desastres (UNDRR, 2020) incorpora a definição de risco a processos dinâmicos e multidisciplinares de prevenção de riscos, que envolvem avaliação, prevenção com avisos e alertas, mitigação, resposta e recuperação, planejamento e conscientização pública. Segundo o relatório, o risco e o evento se relacionam por meio: do perigo que o fenômeno (natural ou antrópico) pode causar; do desastre que é o efeito em si do fenômeno; da exposição das pessoas ou infraestrutura; das condições de vulnerabilidade ambiental e social; e da capacidade de gerenciamento e redução de riscos e desastres.

No Brasil, mais de 54% da população reside a até 150 km da linha de costa, o que representa cerca de 111 milhões de pessoas (Corraíne *et al.*, 2025), com diferentes situações socioeconômicas e de infraestruturas, diferenças que denotam diversos quadros de vulnerabilidade aos riscos e perigos costeiros, como erosão costeira, inundação costeira e inundação fluvial (e.g. Marengo *et al.*, 2017; He *et al.*, 2025; Kulp; Strauss, 2019). Em relação ao panorama da erosão costeira no Brasil, Muehe (2018) concluiu que, de forma geral, a maioria das praias das regiões Norte e Nordeste se encontra em erosão, ao contrário das praias das regiões Sul e Sudeste. Entretanto, esta afirmação deve ser vista com cautela, já que não foi utilizada uma metodologia única para a avaliação de risco nos 17 estados costeiros. O autor alertou ainda que este quadro pode mudar para estas regiões, devido aos efeitos das mudanças climáticas.

De fato, Short e Klein (2016) estimaram um aumento da ocorrência de desastres naturais relacionados a tempestades costeiras, que se tornarão mais frequentes em particular nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. Essa mesma tendência foi identificada por Souza *et al.* (2019), para o Estado de São Paulo (região Sudeste), a partir da análise de registros de eventos meteo-oceanográficos severos e extremos (ondas e marés de tempestade associadas a atuação e migração de ciclones extratropicais originados ao sul da América do Sul), que atingiram a costa paulista entre 1928 e 2016, causando efeitos destrutivos nas praias e danos a infraestruturas, comércios e serviços. Os autores, identificaram importantes aumentos na frequência, intensidade e magnitude desses eventos a partir de 2000.

A erosão costeira é um processo sedimentar natural que atinge grande parte das praias do mundo e está associada a um balanço sedimentar negativo da praia, ou seja, a praia passa a perder mais areia do que recebe (e.g. Souza; Suguio, 2003; Souza *et al.*, 2005). Ela pode ser crônica, quando perdura por longo período de tempo, ou aguda (Mangor *et al.*, 2017). No caso da erosão crônica, as causas podem ser naturais, como a elevação do nível do mar devido ao aquecimento global e uma gama de processos geológicos-geomorfológicos de diferentes escalas espaciais e temporais, ou devido a diferentes interferências humanas na costa, como a urbanização sobre a praia, a remoção das dunas frontais, a retirada de areias das praias e vários tipos de intervenções realizadas nas planícies costeiras, bem como à implantação de estruturas inadequadas para tentar diminuir a erosão costeira, tais como anteparos de pedras (enrocamentos), espigões de pedra e quebra-mares (e.g. Souza; Suguio, 2003; Souza *et al.*, 2005). Já a erosão aguda está associada à atuação de eventos meteo-oceanográficos severos, em especial quando a agitação marítima é intensa. Assim, quando uma praia ou setores dela estão sofrendo erosão costeira crônica, ela será mais fortemente afetada por esses eventos que, por sua vez, provocarão mais erosão e até inundação costeira na orla oceânica, que é a invasão do mar sobre as estruturas urbanas.

Em praias arenosas a exposição aos fenômenos oceanográficos e meteorológicos e impactos das mudanças climáticas tende a ser mais crítica (Marengo *et al.*, 2016). A intensificação da erosão costeira representa a diminuição da proteção natural realizada pelas praias aos eventos meteo-oceanográficos. Segundo Souza *et al.* (2005), o balanço sedimentar, processo pelo qual a praia sofre erosão e deposição de sedimentos, regula os estoques sedimentares para que sejam disponibilizados durante tempestades e ressacas, reduzindo a força das ondas, evitando que o mar avance para áreas de falésias e restingas. Todavia, a ocupação de setores da praia com essa função, como bermas e dunas, impede essa disponibilidade de sedimentos que, ao mesmo tempo não reduz a força das ondas e favorece o predomínio da perda de sedimentos, chamado de balanço sedimentar negativo.

Essa condição expõe a praia e as estruturas urbanas aos fenômenos meteorológicos de curta duração, que podem causar: inundações, secas, períodos prolongados de temperaturas excepcionalmente altas ou baixas, eventos climáticos criticamente altos, tempestades muito fortes (Hauer *et al.*, 2021; Mechler *et al.*, 2014; Visser *et al.*, 2014; Mechler; Bouwer, 2015), eventos climáticos de longa duração como a elevação do NMM, que entre 2006 e 2018 subiu a uma média de 3,7 mm/ano (IPCC, 2021), como alterações físicas, químicas e biológicas nos ambientes costeiros naturais e antrópicos que, segundo

Marengo *et al.* (2016), envolvem: aumento da frequência, intensidade e magnitude das inundações costeiras; aumento da erosão costeira, perda de terrenos naturais e estruturas antrópicas; contaminação salina de aquíferos costeiros e águas superficiais.

De acordo com Albino *et al.* (2018), o litoral do estado do Espírito Santo (região Sudeste) possui cerca de 48,5% de praias em estabilidade, 35% em progradação e 16,5% em erosão. Para os autores, os setores mais erosivos correspondem às áreas de maior ocupação urbana e industrial, com muitas intervenções que provocaram desequilíbrios no balanço sedimentar costeiro e, conseqüentemente recuo de linha de costa, e a necessidade de realização de obras de contenção e/ou proteção costeira. A Praia de Ponta da Fruta, localizada no município de Vila Velha, se encontra num setor erosivo da costa capixaba, onde a urbanização avançou sobre a praia e são frequentes os episódios de destruição de casas e quiosques durante eventos de tempestades.

O objetivo deste trabalho é demonstrar a influência da urbanização de zonas costeiras no recuo da linha de costa na Praia de Ponta de Fruta, avaliando os efeitos da ocupação da orla oceânica e sua relação de causa-efeito na exposição aos riscos costeiros.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo, a Praia de Ponta da Fruta, localiza-se na porção sul de Vila Velha, estado do Espírito Santo, abrangendo um arco praial de cerca de 1.900 metros, delimitada pelas coordenadas UTM: 358055,754 - 7730626,088 e 356886,081 – 7729307,954 (Figura 1). Trata-se de uma praia de topografia plana de poucas ondas, tradicional colônia de pescadores, e muito apreciada por turistas em função de sua localização com infraestrutura de bares e restaurantes de comidas típicas (IBGE, 2016), que apresentou crescimento significativo a partir da década de 1970 (Mattos, 2013), com a urbanização avançando de forma expressiva sobre a orla oceânica, a partir da década de 1980.

Geomorfologicamente, a praia é classificada como de estágio morfodinâmico dissipativo e intermediário com baixa declividade, a zona de surf é extensa com mais de uma linha de arrebentação, com ondas de baixa energia, porém, sem bancos arenosos ou barras longitudinais, e com formação de correntes de retorno, exposta a eventos de alta energia provenientes de sistemas frontais de S e SE (Wright, Short, 1984; Souza *et al.* 2005; Batista Neto *et al.*, 2004). Está localizada em uma Planície Quaternária que possui afloramentos de rochas cristalinas pré-cambrianas e de Formação Barreiras (Martin, *et al.*, 1997). No extremo NE da praia há um promontório cristalino (Morro da Igreja), enquanto o restante da praia tem o pós-praia limitado por Formação Barreiras, amplamente ocupado

pela urbanização, a quase inexistência de dunas, baixo desenvolvimento de bermas, com frequentes inundações em marés de sizígia e de tempestade (Albino, 1996), frequentes prejuízos causados por eventos de sistemas frontais com potencial para ressacas e tempestades, amplamente noticiados pela mídia local (e.g. Globo, 2010; 2015; Pandini, 2019). Possui um regime de maré semidiurna, com duas preamares aproximadamente iguais e duas baixa-mares, também, aproximadamente iguais, com 12 horas, 25 minutos e 14 segundos entre duas preamares sucessivas (Harari, 2021), com amplitudes de $\approx 0,7$ metros em maré de sizígia e $\approx 0,2$ metros em maré de quadratura (DHN, 2024), classificado por Suguio (1992) de micromaré.

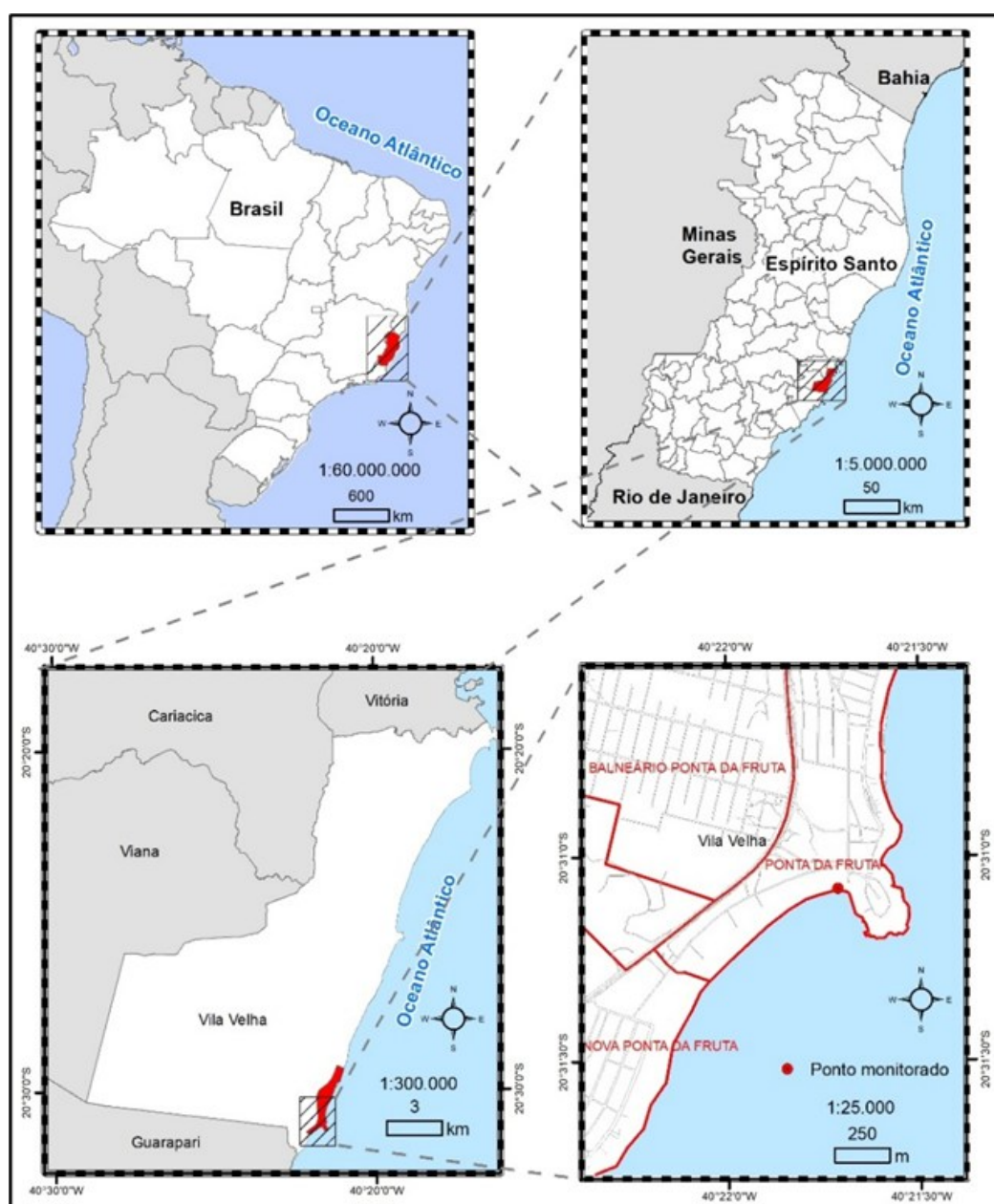


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Fonte: Geobases (2017). Adaptado pelos autores (2025).

A característica climática de Ponta da Fruta, assim como grande parte do litoral do estado, apresenta chuvas tropicais de verão, com baixa pluviosidade no outono e inverno, recebe ventos predominantes dos quadrantes NE e ENE, sendo ventos alísios e frentes frias, respectivamente (Albino, 1996; Albino *et al.*, 2006), temperaturas médias anuais de 22°C, típico da faixa climática tropical úmida brasileira. Eguchi e Albino (2022) destacam o sistema Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que controla o clima de ondas no Sudeste do Brasil, responsável por ondas de tempo bom e baixa energia, de ventos alísios de N, NE e E. Um padrão que é alterado pela entrada de frentes frias associadas a ciclones, que produzem ondas de alto potencial energético, o que particularmente provocam importantes efeitos à praia devido a sua orientação NE-SW.

A ocupação da planície quaternária e da Formação Barreiras resultou na supressão de dunas e restingas. No processo de ocupação do solo, entre 1984 e 2024 (Vila Velha, 2014), observa-se que foi nesse período que a urbanização de fato se consolidou em direção à orla oceânica, com redução de cerca de 61% (950.700m²) da cobertura vegetal original, que totalizava 1.549.000m² em 1984. Por outro lado, a área antropizada, que totalizava cerca de 139.000m² em 1984, passou a ocupar 1.064.000m², representando um aumento de 766%. Apesar de não haver dados populacionais do bairro anteriores a 2010, é possível verificar uma taxa de crescimento populacional entre 2010 e 2022 é superior ao município: enquanto Vila Velha cresceu 13,7%, Ponta da Fruta teve um aumento de 63%, passando de 2.081 pessoas em 2010 (IBGE, 2025), para 3.400 pessoas em 2022 (IBGE, 2022).

A orla oceânica apresenta atualmente elevada ocupação urbana, com quiosques, casas, pousadas, e vários tipos de estruturas de proteção contra a erosão costeira de pequenas dimensões, sobre dunas, falésias, tentativas particulares de contenção da erosão com uso de sacos de areia e muros de madeira e concreto, quiosques abandonados e parcialmente destruídos por ondas de ressacas. O bairro possui uma economia pouco dinâmica, com atividades de abastecimento e fornecimentos de serviços essencialmente voltados à população local (Vila Velha, 2018). Órgãos da prefeitura ligados à proteção e defesa civil registram atendimentos de casos de destruição patrimonial causados por erosão marinha decorrentes de eventos meteorológicos, ligados aos “avanços do mar”, que remontam ao ano de 2001 (Vila Velha, 2024b), com indicação de remoção imediata de moradores cujas residências se encontravam em elevado risco de desabamento e limpeza da praia, todavia, os moradores voltaram a construir nos mesmos lugares, o que

inevitavelmente voltou a ser alcançado pelas ondas em eventos de tempestades e ressacas (Vila Velha, 2024a; 2024b).

Um dos fatores que contribuiu para as situações descritas acima pode ser embasado pela explicação de Albino (1996), em que a ocupação de dunas e bermas, da pós-praia, diminui a oferta de sedimentos responsáveis pela adaptação morfodinâmica da praia.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para estudar a erosão costeira que ocorre na Praia de Ponta da Fruta foram aplicadas três abordagens metodológicas, que analisam e integram processos sedimentares costeiros em diferentes escalas espaciais e temporais, a saber:

- Análise histórica da variação espaço-temporal da largura do polígono praial e de intervenções antrópicas no arco praial, bem como cálculo das taxas de variação da linha de costa ao longo da praia, para o período entre 1984 e 2024.
- Análise do risco à erosão costeira crônica por meio da identificação de geo, bio e antro-po-indicadores ao longo da praia.
- Caracterização da dinâmica costeira e de processos sedimentares predominantes em cada setor da praia, por meio do método de determinação de células de deriva litorânea durante as campanhas de monitoramento praial.

Para a aplicação desses estudos, a praia foi setorizada em 9 perfis (Figura 2). Os estudos b) e c) foram realizados a partir de campanhas mensais entre abril e julho de 2024, em dias de maré de quadratura (Tabela 1). Apesar de ser esperada a ocorrência de eventos meteorológicos-oceanográficos durante esse período do ano (temporada de ciclones extratropicais que avançam sobre a costa Sul e Sudeste do Brasil), eles não atingiram a região nessa época.



Figura 2 - Localização dos perfis de monitoramento praias.
Fonte: Geobases (2017). Adaptado pelos autores (2025).

Tabela 1: Informações das Campanhas de Monitoramento.

Campanha	Data	Horário: início e fim	Condições meteo-oceanográficas	
			Dia da campanha	Dias anteriores
1	13-04-2024	09:30 às 14:00	Tempo bom	Tempo bom
2	18-05-2024	06:00 às 09:30	Tempo bom	Tempo bom
3	15-06-2024	05:47 às 08:56	Tempo bom	Tempo bom
4	27-07-2024	05:40 às 08:38	Tempo bom	Tempo bom

Fonte: Os autores (2025).

3.1. Variação espaço-temporal da praia

Para a análise espaço-temporal da variação da linha de costa foram utilizadas imagens disponibilizadas pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE (2025), de acesso livre. A escolha das imagens se baseou no maior retrocesso de tempo possível, na melhor resolução espacial das mesmas e na fase lunar na data do imageamento, dando-se preferência para as captadas durante marés de quadratura (menor variação de amplitude de maré). Assim, foram selecionadas seis imagens, dos anos de: 1984, 1994, 2004, 2009, 2020 e 2024 (Tabela 2).

Tabela 2: Informações das imagens de satélite.

Data	Erro*(%)	Resolução Espacial (m)	Fonte	Fase Lunar
07/05/1984	0,289691	30	LandSat_5	Quadratura
31/07/1994	0,553411	30	LandSat_5	Quadratura
17/12/2004	0,140383	30	LandSat_5	Quadratura
20/11/2009	0,449276	30	LandSat_5	Quadratura
08/11/2020	0,046071	2	CBERS_4A	Quadratura
03/07/2024	Imagem de referência	2	CBERS_4A	Quadratura

* Raiz do Erro Quadrático Médio.

Fonte: Os autores (2025).

As imagens foram utilizadas conforme foram baixadas da plataforma e sobrepostas, com uso do software livre de código aberto QGIS, versão 3.40.1, tendo como referência geoespacial os perfis de monitoramento praial (Figura 2), previamente demarcados com GPS portátil, modelo GARMIN - eTREX 30. Todas as imagens foram georreferenciadas, com base na imagem de 2024. Os erros quadráticos médios (RMS Error) calculados ficaram abaixo de 1 metro (Tabela 2), sendo que dentro desses valores o georreferenciamento não compromete a interpretação e confere satisfatório grau de acurácia.

Em cada imagem foi delimitado o polígono praial, sendo o limite superior da praia estabelecido pela presença de estruturas antrópicas, vegetação permanente, ou base da escarpa de dunas/afloramento do Grupo Barreiras, e o limite inferior pelo contato entre areia seca e areia úmida, notabilizado pela diferença de tonalidade entre a areia seca e a areia úmida (Souza; Luna, 2009; 2010). O polígono praial de 1984 representa o datum de referência espacial e temporal para os cálculos de variação da largura e da área da praia, e das taxas de variação da linha de costa em cada perfil de monitoramento.

Apesar da literatura recente trazer muitas centenas de trabalhos que empregam ferramentas automatizadas em softwares de geoprocessamento (exemplo ArcGIS e QGIS), que medem as larguras da praia em relação a uma linha mestre imaginária estabelecida na

retroterra, a utilização do polígono praial como referencial principal permite a identificação de algumas causas antrópicas e naturais de recuo da linha de costa, ou seja, se a praia recuou devido ao avanço da urbanização sobre a praia, ou se ela recuou devido à elevação do nível relativo do mar, por exemplo.

A variação da linha de costa foi calculada com uso de dois métodos: a) taxa de variação do ponto de terminação - End Point Rate (EPR), que consiste na medida da distância horizontal entre dois pontos, no caso, a largura do polígono praial seco (pós-praia) balizado pelos mesmos perfis de monitoramento da Figura 2; b) média aritmética (AEPRs) dos EPRs, sendo que as taxas de variação da largura são calculadas para diferentes intervalos temporais (Souza; Luna, 2009; 2010). A partir desses dados, foram calculadas a média e o desvio padrão das larguras, para identificar o comportamento de cada perfil em relação à tendência central.

Souza e Luna (2009; 2010) criaram um Índice de Variabilidade Espaço-Temporal da Praia em cada perfil, a partir dos valores obtidos para o desvio padrão (σ) das larguras desses perfis, estabelecendo 5 classes de variabilidade, entre Muito Alta e Muito Baixa. Ainda segundo as autoras, os resultados obtidos para praias paulistas indicaram que as variabilidades muito baixas e baixas estão associadas a processos essencialmente naturais, enquanto as variabilidades altas a causas predominantemente antrópicas. Dessa forma, adicionou-se ainda uma validação estatística para obtenção do melhor número e melhor intervalo de classes de frequência (Ferreira, 2012), obtendo-se assim 5 classes: $\sigma=1,23$ - $2,62$ - variabilidade Muito Baixa; $\sigma=2,62$ a $4,01$ - variabilidade Baixa; $\sigma=4,01$ a $5,04$ - variabilidade Média; $\sigma=5,04$ a $6,78$ - variabilidade Alta; $\sigma=6,78$ a $8,17$ - variabilidade Muito Alta.

3.2. Análise do risco à erosão costeira crônica

O método de classificação de risco à erosão costeira utilizado aqui foi elaborado por Souza (1997) ao catalogar 11 tipos de indicadores de erosão costeira (IEC) crônica, os quais foram posteriormente utilizados como base para a classificação de risco das praias paulistas (Souza; Suguio, 2003; Souza, 2012). Essa classificação trabalha com o conceito de risco cumulativo, em que se avaliam diretamente as consequências ou os danos do perigo geodinâmico (indicadores), em função de sua distribuição espacial ao longo da praia (risco total da praia). O método proposto compreende análises em diferentes escalas espaciais e temporais, seja pelo monitoramento sistemático dos indicadores em perfis praias distribuídos ao longo da praia, que se repete a cada 5 anos, seja pela inserção de

parâmetros com escala de tempo geológico até recente. A atualização do método, para a nova versão do Mapa de Risco em 2022 (Souza *et al.*, 2023a), permite a identificação dos setores críticos da praia a partir da classificação de risco por perfil, facilitando seu uso e aplicação por gestores públicos e defesa civil.

Cada perfil é classificado individualmente quanto ao risco em função do número de indicadores encontrados: Risco Muito Alto (RMA) - 8 a 11 indicadores; Risco Alto (RA) - 6 a 7 indicadores; Risco Médio (RM) - 4 a 5 indicadores; Risco Baixo (RB) - 2 a 3 indicadores; e Risco Muito Baixo (RMB) - 0 a 1 indicador. Para cada classe de risco individual é atribuída uma nota padrão: RMA=15; RA=12; RM=6; RB=2; e RMB=1. A classificação de risco total da praia é obtida pela média ponderada das notas dos perfis, cujo resultado estará em algum dos intervalos previamente definidos: RMA= 12,1 a 15,0 pontos; RA= 6,1 a 12,0 pontos; RM= 3,1 a 6,0 pontos; RB= 1,1 a 3,0 pontos; e RMB= 1,0 ponto.

De acordo com os autores, não há praias sem risco, pois a elevação global do nível médio do mar, por efeito das mudanças climáticas, potencializa a erosão costeira crônica nas praias (Regra de Bruun).

3.3. Identificação de células de deriva litorânea

Para compreender a dinâmica de processos sedimentares que ocorrem na praia, em uma escala de tempo de curto período e sob diferentes condições meteo-oceanográficas, Souza (1997; 2007) desenvolveu um método para identificar o comportamento do transporte longitudinal ao longo de uma praia, por meio do padrão de células de deriva litorânea. Correntes de deriva litorânea são geradas pela incidência oblíqua de ondas na linha de costa e as principais responsáveis pela dinâmica de processos sedimentares que ocorrem no baixo estirâncio (deriva praial) e na zona de surfe (deriva litorânea) da praia. Cada setor da costa com um determinado sentido de deriva litorânea forma uma célula, que consiste em três zonas: barlamar (predomina erosão), transporte e sotamar (deposição).

Assim, de acordo com a autora, é possível identificar a deriva praial, que tem o mesmo sentido que a deriva litorânea, por meio de 2 indicadores morfológicos (largura da praia e declividade no baixo estirâncio) e 3 indicadores granulométricos (diâmetro médio, grau de seleção e curtose dos sedimentos do terço inferior do estirâncio) obtidos em perfis de monitoramento praial distribuídos ao longo da praia. Em outras palavras, de acordo com a autora, a zona de barlamar, onde se origina a célula de deriva litorânea e predomina o processo natural de erosão, se comporta como uma área-fonte de sedimentos, enquanto a zona de sotamar, onde a célula termina, é a área onde esse sedimento se deposita.

De acordo com o método de Souza (1997; 2007), de barlar para sotamar de uma célula de corrente de deriva litorânea/praiar, a praia se torna mais larra, a declividade ou inclinação do estirância diminui, o sedimento fica mais fino e mais bem selecionado, e a energia de transporte diminui. A inclinação ou declividade da praia (em graus) é medida no terço inferior do estirância. A largura (m) corresponde à distância total medida entre o limite superior da praia e a linha d'água no momento da coleta. O diâmetro médio (Mz) dos sedimentos coletados no baixo estirância é um parâmetro estatístico cujo valor representa o tamanho médio dos grãos e, por ser medido em unidade phi (ϕ), seu valor vai aumentar de barlar para sotamar (se torna mais fino). O grau de seleção (σ_1 , adimensional) mede a uniformidade do tamanho dos grãos, e o grau de seleção aumenta com a diminuição do valor de σ_1 .). A curtose (K) é outro parâmetro estatístico, que mede o grau "achatamento" da curva de distribuição granulométrica, em que valores próximos de 1 indicam distribuição normal, valores >1 maior concentração de grãos (curvas leptocúrticas), e valores <1 distribuição uniforme (platitocúrticas). Esse parâmetro é utilizado como um indicador inversamente proporcional à energia das ondas, que diminuem de barlar para sotamar, ou seja, no mesmo sentido em que o valor da curtose aumenta.

Para analisar esses cinco parâmetros de maneira integrada, Souza (1997; 2007) criou uma matriz onde são comparados perfis vizinhos, com o objetivo de identificar se o perfil analisado se comporta como zona de barlar (fonte sedimentar, ou seja, processo erosivo) ou zona de sotamar (depósito correspondente, ou seja, processo deposicional) de uma célula de deriva litorânea. Quando um perfil se comporta como zona de sotamar de um vizinho e barlar do outro vizinho, o processo correspondente é o de transporte. Essa matriz é construída para cada campanha de monitoramento e, portanto, permite a identificação do processo sedimentar (erosão, transporte ou deposição) que predominava em cada perfil no momento do monitoramento, ou naquele ciclo de maré.

A partir dos resultados da matriz pode-se elaborar um mapa para exibir a dinâmica de transporte costeiro à época do monitoramento, bem como a tendência geral da praia obtida a partir da resultante de todos as campanhas do monitoramento. Importante destacar que o encontro de duas células caracteriza uma zona de convergência de correntes de deriva litorânea, responsável pela formação de uma componente transversal à linha de costa, a corrente de retorno; duas células partindo de um mesmo perfil indicam uma zona de divergência e, portanto, intensificação do processo erosivo local.

De acordo com Souza *et al.* (2016; 2023b), o ideal é que o período de monitoramento praiar abarque diferentes condições meteo-oceanográficas e de sazonalidade, pois assim

será possível obter um melhor conjunto de processos que atuaram em cada perfil (erosão, transporte, deposição) e, ao final, obter o processo estatisticamente predominante numa escala temporal maior e durante diferentes condições de tempo e mar. Porém, as quatro campanhas de monitoramento foram executadas sob as mesmas condições meteo-oceanográficas de tempo bom (Tabela 1), logo os dados produzidos não sofreram nenhuma influência significativa de vento, ondas e chuva, refletindo as condições normais da praia.

3.4. Integração das abordagens metodológicas

A integração das três abordagens metodológicas adotadas neste estudo permitiu analisar os processos erosivos na Praia de Ponta da Fruta sob diferentes escalas espaciais, temporais e processuais. A análise espaço-temporal da linha de costa, baseada em imagens de satélite e métricas do polígono praial, forneceu a base para identificar a tendência de recuo e quantificar a perda de área ao longo do período de 1984 a 2024. A classificação do risco à erosão costeira crônica, a partir da identificação de indicadores específicos (IEC), permitiu a espacialização dos níveis de risco ao longo dos nove perfis de monitoramento, reforçando a relação entre a urbanização costeira, a perda de função morfodinâmica da pós-praia e a intensificação dos processos erosivos. E a caracterização das células de deriva litorânea possibilitou identificar os setores atuantes como zonas de barlar, transporte e sotamar, a partir da análise integrada de parâmetros granulométricos e morfológicos, permitindo compreender a direção e a intensidade dos fluxos sedimentares atuais.

A articulação entre essas abordagens assegurou a validação cruzada dos resultados obtidos, reforçando a consistência dos padrões identificados de cada, por exemplo: a identificação dos perfis com maior número de IECs e classificados com risco muito alto são condizentes com os setores que apresentaram elevada taxa de recuo da linha de costa e comportamento erosivo recorrente nas análises de deriva litorânea. Essa abordagem integrada, portanto, não apenas confirmou a tendência erosiva da praia, mas também permitiu identificar os mecanismos físico-morfológicos responsáveis por sua intensificação e a influência das intervenções antrópicas nesse processo, subsidiando com maior precisão diagnósticos e propostas de gestão costeira.

4. RESULTADOS

4.1. Variações espaço-temporal do polígono praial

A figura 3 ilustra as variações do polígono praial ao longo do tempo, cujos resultados foram compilados na tabela 3.

Tabela 3: Variação da área do polígono praial 1984-2024.

ANO	Área (m ²)	Variação (m ²)	Variação (%)	Ordens de Grandeza (m)
1984	78.380,69	-	-	-
1994	73.571,25	-4.809,4	-6%	10 ⁴
2004	77.993,05	+4.421,8	+6%	10 ⁴
2009	71.647,66	-6.345,4	-8%	10 ⁴
2020	57.109,45	-14.538,2	-20%	10 ⁴
2024	55.502,00	-1.607,4	-3%	10 ³
Diferença 1984-2024		-22.878,7	-29%	10 ⁴

Fonte: Os autores (2025).

Observa-se, de maneira geral, a diminuição progressiva da área total do polígono praial, com uma perda de quase um terço (2024), ou 29%, da área original em 1984. De 1984 a 1994 houve redução de 4.809,4 m² (6%); de 1994 a 2004 houve uma recuperação parcial da perda do período anterior, aumentando em 4.421,8 m² (6%); de 2004 a 2009 a área novamente reduziu, 6.345,4 m² (8%), uma perda significativa para 5 anos; de 2009 a 2020 foi o período mais crítico, com redução de 14.538,2 m² (20%), mesmo que compreenda 11 anos; de 2020 a 2024, por se tratar de um intervalo de apenas 4 anos, houve pouca redução, 1.607,4 m² (3%), porém, ela corresponde à metade da taxa relativa ao período entre 1984 a 1994.

A avaliação das ordens de grandeza associadas às variações na área do polígono praial entre 1984 e 2024 evidencia a magnitude dos processos morfodinâmicos atuantes ao longo do período. Observa-se que, com exceção do intervalo final (2020–2024), as variações ocorreram predominantemente na ordem de 10⁴ m², indicando modificações expressivas no polígono praial, com ganhos (1994-2004) e perdas (todos ou outros intervalos) na escala de milhares de metros quadrados. No último período analisado, a variação negativa foi de 1.607,4 m², correspondendo à ordem de 10³ m², o que pode indicar uma diminuição na intensidade da alteração morfológica recente, além disso, o intervalo temporal é menor (2020-2024), comparando com os anteriores. A diferença acumulada entre 1984 e 2024 é de –22.878,7 m², mantendo-se também na ordem de 10⁴, o que aponta para uma tendência erosiva significativa e contínua ao longo das últimas quatro décadas.

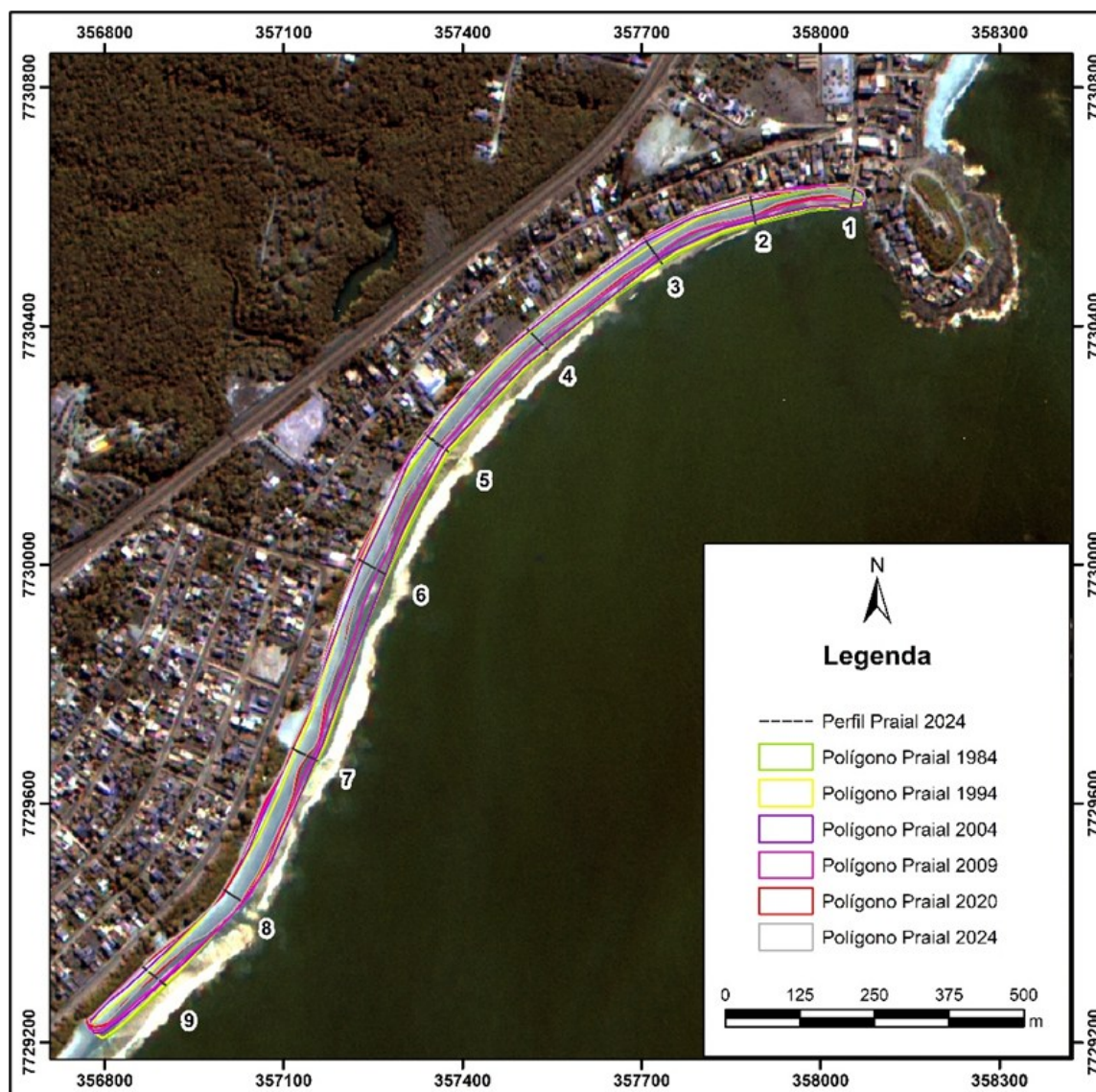


Figura 3 – Evolução da Linha de Costa da Praia de ponta da Fruta 1984-2024.

Fonte: Inpe (2025). Adaptado pelos autores (2025).

Pela análise temporal dos perfis (P), observa-se que: o P-1 sempre mostrou a menor largura de toda a praia, com 27,7 m em 1984, passando à sua maior largura em 2004, de 33,2 m, que depois foi reduzida para 20,1 m em 2009 e permaneceu relativamente estável até 2024 (20,4 e 20,7 m), recuando um total de 6,99 m, e apresentando valor de $\sigma = 4,96$, portanto, Índice de Variabilidade (IV) média; o P-2 se mostrou relativamente estável, com larguras oscilando entre 31,3 e 36,2 m, e redução total de 4,34 m, portanto apresentando IV muito baixa ($\sigma = 1,92$); o P-3 também ficou estável, com larguras entre 32,7 e 36,7 m, recuo total de 3,72 m e IV muito baixa ($\sigma = 1,73$).

Já o P-4 apresentou um recuo pronunciado durante o período de 16,25m, com largura inicial de 40,8m, que passou a 41,2m em 2004, e despencou para 24,9 e 24,5 m em 2020 e 2024, respectivamente, conferindo-lhe IV muito alta ($\sigma = 7,41$); a largura do P-5 oscilou

entre 31,4 e 37,5 m, representando pequena redução de 4,6 m no período, portanto IV muito baixa ($\sigma = 2,4$); o P-6 apresentou as maiores perdas dentre todos os perfis, com recuo total de 21,12 m, sendo a sua largura inicial de 50,5 m, que foi sendo reduzida progressivamente até alcançar 21,12m em 2024, resultando no maior IV, muito alta ($\sigma = 8,17$); o P-7 inicia com 40 m em 1984, aumenta para 43 m em 2004, mas depois recua até 27,1 m em 2024, apresentando recuo total de 12,99 m e IV alta ($\sigma = 6,06$);.

O P-8 é o mais estável de todos, mantendo larguras entre 32,3 e 35,7 m no período, sendo o único com ligeiro aumento em largura (+0,14 m) e, portanto, menor IV muito baixa ($\sigma = 1,23$) entre todos os perfis; o P-9 começa com 35,2 m, atinge a maior largura em 2009, de 39,4 m, , mas depois recua até 22,7 m em 2024, contabilizando um recuo de 12,55 m, e IV alta ($\sigma = 5,79$).

Em termos de comportamento geral de variação da largura praial em cada ano da série temporal, algumas conclusões podem ser destacadas. Os anos de 1984 e 2004 apresentaram as maiores larguras médias, (37,6 m) para ambos, cujos perfis que contribuíram para esses valores foram 4, 6, 7, com as maiores larguras; ao passo que em 2020 e 2024 ocorreram as menores larguras médias, ambas praticamente iguais (28,6 e 28,5 m), com os Perfis 4, 6, 7, 9 contribuindo para a queda em 2020, e os Perfis 8 e 9 em 2024. É possível notar que os Perfis 4, 6 e 7 são os mais dinâmicos, por variarem muito suas larguras entre as maiores e as menores, e por isso são mais vulneráveis às mudanças climáticas abruptas, e as intervenções humanas (e.g. construção de muros de proteção, avanço da ocupação urbana) podem provocar alterações na dinâmica costeira que tendem a intensificar a erosão.

O ano de 1984 apresentou os seguintes dados: P-1 (cerca de 28 m), cerca de 50 m no P-6 e, 35 m no P-9, com média anual de 37,6 m. O ano de 1994 apresentou flutuações entre 28 m no P-1, 42 m P-4, 35 m P-5, subida para 48 m no P-6 e termina em 32 m P-9, com média de 36 m. O ano de 2004 apresentou relativa estabilidade nos Perfis 2, 3, 4, 5, 8 e 9, ficando entre 33 e 38 metros, com pico de 43 m P-6, de média 37,6 m. No ano de 2009 também se observou certa estabilidade, iniciando em 20 m P-1 (o menor valor inicial dentre todos os anos), aumenta para 36 m P-2 e estabiliza até o P-8, cerca de 35 m, e termina em torno de 40 m P-9, com média de 35 m. O ano de 2020 é marcado por flutuações, com 20,4 m no P-1, com pequenas subidas e quedas entre 30 e 33 m, até finalizar com cerca de 25 m no P-9, e média de 28,6. O ano de 2024 possui o padrão bem próximo a 2020, com oscilações de subidas e quedas nos mesmos perfis e valores também muito próximos, e média de 28,5 m.

As larguras dos perfis, também, apresentaram uma tendência geral de redução (Tabela 4). A maioria dos perfis apresentou redução na largura, variando entre -3,72m (P-3) a -21,12m (P-6), exceto o P-8 que apresentou pequeno aumento, de 0,14m. As médias variaram entre 25,05m no P-1 e 39,64m no P-6. O desvio padrão, que mede a dispersão dos valores em relação à média, apresentaram variabilidades muito altas no P-6 ($\sigma = 8,17$) e no P-4 ($\sigma = 7,41$); a menores variabilidades ocorreram no P-8 ($\sigma = 1,23$) e P-3 ($\sigma = 1,73$).

Tabela 4: Variação da largura (m) dos perfis praias e índice de variação espaço-temporal, no período 1984-2024.

Perfil	1984	1994	2004	2009	2020	2024	Média	Desvio Padrão (σ)	Índice de Variabilidade	Diferença 1984-2024
1	27,7	28,1	33,2	20,1	20,4	20,7	25,05	4,96	Média	-6,99
2	36,2	35,2	33,6	36	31,3	31,8	34,03	1,92	Muito Baixa	-4,34
3	36,4	32,9	36,3	36,7	33,6	32,7	34,77	1,73	Muito Baixa	-3,72
4	40,8	41,9	41,2	34,7	24,9	24,5	34,66	7,41	Muito Alta	-16,25
5	37,2	34,6	37,5	37,2	31,4	32,6	35,07	2,40	Muito Baixa	-4,6
6	50,5	47,9	43,2	36,6	30,3	29,3	39,64	8,17	Muito Alta	-21,1
7	40	37,2	43	37,1	27,3	27,1	35,26	6,06	Alta	-13
8	34,7	32,9	35,7	35,4	32,3	34,8	34,29	1,23	Muito Baixa	0,14
9	35,2	32,3	34,4	39,4	25,4	22,7	31,56	5,79	Alta	-12,5
Largura Média	37,6	35,9	37,6	34,8	28,6	28,5	33,8	4,41	Média	-9,2

Fonte: Os autores (2025).

Em outras palavras, isso parece revelar que não foi a morfodinâmica da praia como um todo que foi alterada nas últimas duas décadas e, assim, as causas dessas mudanças de comportamento provavelmente foram em função de intervenções antrópicas importantes nesses perfis. Isso coaduna com as conclusões de Souza e Luna (2009, 2010) em relação às causas dos processos de recuo da linha de costa em função dos valores dos Índices de Variabilidade (IVs), para praias paulistas.

Os resultados obtidos para as EPRs e AEPRs estão na tabela 5. A média geral das EPRs para toda a extensão da praia, e por intervalo amostral, exhibe predominante retrogradação, com maior recuo entre 2009-2020 (-6,24 m) e relativo equilíbrio entre 2020-2024 (-0,08 m). Por outro lado, para os intervalos que representam décadas, e para os 2 intervalos menores de 5 e 4 anos, a média geral das AEPRs (-1,83 m) confere à praia uma taxa média de recuo de 0,05 m/ano, o que caracteriza relativa estabilidade.

Tabela 5: Taxas de variação da linha de costa (polígono praial) dos perfis na Praia de Ponta da Fruta, (*EPRs*) para os períodos de 1984-1994, 1994-2004, 2004-2009, 2009-2020, 2020-2024, taxas médias (*AEPRs*) para o período completo, recuos lineares dos limites superior e inferior, variação total e taxa média de recuo por ano. *EPRs* e *AEPRs* (sinais negativos = retrogradação da linha de costa; sinais positivos = progradação da linha de costa).

Perfis	<i>EPR</i>					<i>AEPR</i>	Recuo 1984-2024		Variação do Recuo 1984-2024 (m)	Taxa Média de Recuo por Ano (m)
	ΔL (1984-1994)	ΔL (1994-2004)	ΔL (2004-2009)	ΔL (2009-2020)	ΔL (2020-2024)	Média	Limite Superior (m)	Limite Inferior (m)		
1	0,41	5,10	-13,07	0,27	0,29	-1,40	5,7	12,7	-7	-0,17
2	-0,94	-1,59	2,39	-4,67	0,47	-0,87	12,8	17	-4,2	-0,10
3	-3,54	3,44	0,34	-3,07	-0,90	-0,74	17,9	21,8	-3,9	-0,1
4	1,10	-0,72	-6,48	-9,76	-0,39	-3,25	9,8	26,4	-16,5	-0,41
5	-2,64	2,96	-0,36	-5,75	1,19	-0,92	14,8	19,4	-4,6	-0,11
6	-2,59	-4,65	-6,60	-6,31	-0,97	-4,22	5,8	26,9	-21,1	-0,53
7	-2,88	5,83	-5,92	-9,77	-0,25	-2,60	9,3	22,2	-13	-0,32
8	-1,76	2,74	-0,29	-3,02	2,47	0,03	2,2	2,1	0,1	0,002
9	-2,98	2,13	5,04	-14,06	-2,68	-2,51	16	28,3	-12,3	-0,31
Média	-1,76	1,69	-2,77	-6,24	-0,08	-1,83	10,5	19,6	-9,2	-0,23

Fonte: Os autores (2025).

Em relação ao recuo total médio, a taxa de -9,2 m reflete perda considerável de área praial, em que o limite inferior (que corresponde ao limite superior do estirâncio, marcado pela entre área seca e área úmida) foi mais afetado com redução de 19,6 m de recuo, enquanto o superior (linha vegetada, muros, anteparos etc.) recuou 10,5 m. O recuo representa a retrogradação da linha de costa, detalhados em limite superior e inferior; a variação do recuo significa a diferença entre os recuos dos limites, sendo valores negativos quando o limite inferior retrogradou mais que o superior, e positivo quando o recuo do limite superior foi maior que do inferior; e a taxa média de recuo por ano se obtêm partir da razão entre a variação do recuo e o período de 40 anos.

Em termos práticos, o recuo exibe o quanto a linha de costa retrogradou e se estreitou e a que taxa anual, detalhando mais os dados das tabelas 4 e 5 e individualizando os perfis na análise da redução do polígono praial, em destaque os perfis com as maiores reduções e suas taxas de retrogradação anuais, em ordem decrescente: P-6 (-21,1 m e -0,53 m), P-4 (-16,5 m e -0,41 m), P-7 (-13 m e -0,32 m), P-9 (-12,3 m e -0,31 m). Esses dados mostram que, além de serem mais dinâmicos, também são os que mais sofrem erosão. Enquanto as *EPRs* e as *AEPRs* comparam intervalos amostrais específicos, de 11, 10, 5 e 4 anos, a taxa média de recuo por ano relativiza a análise e permite estabelecer comparações.

No período 1984-1994 apresentou uma redução de -1,76 m no polígono, com as maiores reduções nos Perfis 9, 7, 5, as acreções apresentadas nos Perfis 4 e 1 não surtiram efeito na redução da média da EPR (-1,76 m). No período de 1994-2004 a tendência erosiva se inverteu, com as maiores acreções para os Perfis 7, 1 e 3, enquanto a erosão nos Perfis 4, 2 e 6 não trouxeram a média da EPR para valor negativo (1,69 m). Na comparação de 2004 -2009 houve significativa redução do polígono (-2,77 m) de média da EPR, uma vez que as perdas nos Perfis 1, 6 e 4 foram superiores à acreção observada nos Perfis 3, 2 e 9. Na comparação de 2009-2020, somente o P-1 apresentou acreção, o restante sofreu significativas perdas, com destaque para os Perfis 9, 7, 4, o que resultou na maior média EPR da série (-6,24 m). E na comparação de 2020-2024 houve relativo equilíbrio entre erosão e acreção, demonstrado pela menor média EPR da série (-0,08 m), com erosão nos Perfis 9, 6, 3, 4, e acreção nos demais perfis.

As EPRs do P-1 mostram forte variação: 0,41 m (1984-1994), progradação de 5,10m (1994-2004), retrogradação de -13,07m (2004-2009), 0,27m (2009-2020) e 0,29 m (2020-2024). A AEPR negativa de -1,4 m reflete o impacto do recuo entre 2004-2009, exibindo erosão moderada -7 m e -0,17 m de recuo por ano.

No P-2 predomina a retrogradação, com exceção de 2,39 m de progradação (2004-2009), certa estabilidade de 0,47 m (2020-2024), maior recuo de -4,67 m(2009-2020). A AEPR de -0,87 m sugere erosão muito baixa, mas contínua, o recuo de -4,2 é moderado, com o limite inferior sendo mais afetado, com 17 m de recuo e taxa de -0,10 m de recuo por ano.

O P-3 alterna entre retrogradação e progradação, com recuos significativos entre -3,54 m (1984-1994) e -3,07 m (2009-2020), avanço de 3,44 m (1994-2004). A AEPR de -0,74 m indica erosão muito baixa, com o recuo de -3,9 m sendo um dos menores, porém, seu limite inferior recuou 21,8 m, a uma taxa de recuo de -0,1 m por ano.

O P-4 apresenta forte tendência de retrogradação, principalmente entre 2004-2009 de -6,48 m e 2009-2020 com -9,76 m, com pequeno avanço de 1,1 m (1984-1994). A AEPR de -3,25 m é uma das mais altas indicando erosão intensa, o recuo total de -16,5 m é elevado, com 26,4 m de recuo no limite inferior, também um dos maiores, com a taxa de -0,41 m de recuo por ano.

O P-5 alterna entre baixos recuos e avanços, com retrogradação pronunciada de -5,75 m (2009-2020) e progradação de 2,96 m (1994-2004) e 1,19 m (2020-2024). A AEPR de -0,92 m reflete moderada erosão, o recuo de -4,6 m é relativamente baixo, todavia, o limite inferior recuou 19,4 m, a uma taxa de -0,11 m de recuo por ano.

Os Perfis 6 e 7 exibem no geral redução da linha de costa: o P-6 retrogradação intensa e contínua em todos os períodos, os maiores recuos de -6,6 m (2004-2009) e -6,31 m (2009-2020). A AEPR é a mais alta, como 4,22 m, indicando erosão intensa, e seu limite inferior refletindo grande parte da perda, com recuo de 26-9 m, com a maior taxa média de recuo por ano (-0,53 m). O P-7, também apresentou retrogradação, com a maior de -9,77 m (2009-2020), uma considerável progradação de 5,83 m (1994-2004), a maior da tabela, contudo, a AEPR de -2,6 m indica erosão significativa, com elevado recuo de -13 m, e 22,2 m de perda no limite inferior, e -0,32 m de taxa de recuo anual.

Já o P-8 foi o único que aumento da largura de praia no geral, sua AEPR de 0,03 m e aumento de 0,1 m no polígono praial sugerem equilíbrio, e seus limites superior e inferior pouco alterados, entre 2,2 e 2,1 m, refletem a taxa média de 0,002 m de aumento anual.

O P-9 apresentou grande variabilidade, alternando entre grande retrogradação de -14,6 m (2009-2020), a maior da tabela, e progradação de 5,04 m (2004-2009), a AEPR de -2,51 m retrata erosão significativa, o recuo total de -12,3 m é elevado, com perda de 28,3 m no limite inferior, o maior da tabela, com -0,31 m de taxa média de recuo por ano.

4.2. Classificação de Risco à Erosão Costeira

Em geral, toda extensão da praia apresenta Risco Muito Alto de erosão costeira, com destaque para os Perfis 2 a 7 que apresentaram todos os IECs, o P-1 apresentou 9 IECs, e os Perfis 8 e 9 apresentaram 8 IECs. Os perfis foram analisados e marcados na planilha conforme a ocorrência dos IECs, calculado o risco do perfil. É importante ressaltar que o IEC II, referente ao recuo geral da linha de costa nas últimas décadas, com a diminuição da largura de praia, foi comprovado a partir do estudo de retroanálise descrito acima.

A Figura 4 exibe imagens dos perfis, em diferentes campanhas de campo no ano de 2024, para demonstrar os IECs encontrados, de acordo com a classificação de Souza *et al.* (2023a): Legenda: “a”: P-1 evidencia a inexistência de pós-praia em fase da preamar de sizígia (IEC I); “b”: P-3 pós-praia estreita e a erosão progressiva de depósitos praias que bordejam a praia, sem o desenvolvimento de escarpas/falésias (IEC III); “c” entre os P-6 e P-7 (IEC IV), intensa erosão de depósito praial e com desenvolvimento de barranco; “d” entre P-7 e P-8 (IEC V), destruição de faixa de vegetação nativa ou exótica e a presença de raízes em posição de vida; “e” retorna para os P-1 e P-2 (IEC VI), evidencia a exumação de estruturas antrópicas antigas; “f” entre P-4 e P-5 (IEC VII), exposição de barrancos artificiais, com camadas de aterros sobre ou entre sedimentos praias; “g” próximo ao P-7 (IEC VIII), destruição de estruturas artificiais construídas sobre depósitos marinhos no pós-

praia e estirâncio; “h” adjacente ao P-1 (IEC IX), retomada erosiva de antigas plataformas de abrasão marinha, elevadas acima de 2 metros; “i” vista dos P-3 e P-4, (IEC X), evidencia a presença de concentrações de minerais pesados; “j” vista aérea do arco praial, na orientação SW-NE, (IEC XI), com destaque para embaçamento formado pela presença de correntes de retorno concentradas, centros de divergência de células de deriva litorânea.



Figura 4 – Identificação dos IECs.
Fonte: Os Autores, 2024.

4.3. Caracterização das células de deriva litorânea

Um exemplo de Matriz de Comparação para identificar os processos sedimentares (erosão, transporte ou deposição) e o sentido da deriva litorânea em cada perfil é exibido na tabela 6.

Tabela 6: Matriz de Comparação com os parâmetros texturais e morfológicos para a praia de Ponta da Fruta da campanha de 18/05/2024, em que E = Erosão; T = Transporte; D = Deposição. Adaptado Souza (2007).

Perfil	Parâmetros Texturais			Parâmetros Morfológicos		Resultado	Processo	Sentido da Deriva
	Diâmetro médio (Mz)	Grau de seleção (σ_1)	Curtose (K)	Inclinação (°)	Largura (m)			
1	2,243 -	1,193 -	1,253 +	2 0	31,9 -	-	E	W
2	2,894 +/+	0,361 +/+	0,967 -/+	2 0/0	39,1 +/-	+/+	D	E
3	2,751 -/+	0,409 -/-	0,666 -/-	2 0/0	40,9 +/+	-/-	E	SW
4	2,649 -/-	0,399 +/+	1,053 +/-	2 0/-	39,4 -/+	+/-	T	SW
5	2,651 +/+	0,499 -/-	1,246 +/+	1,5 +/+	28,9 -/-	+/+	D	SW/NE
6	2,639 -/+	0,381 +/+	1,071 -/+	2 -/+	34 +/-	-/+	T	NE
7	2,427 -/+	0,511 -/+	0,915 -/+	2,5 -/+	36 +/+	-/+	T	NE
8	2,254 -/-	0,524 -/+	0,834 -/-	4 -/0	24,2 -/+	-/+	T	NE
9	2,37 +	0,528 -	0,961 +	4 0	24 -	-	E	NE

Fonte: Os autores (2025).

O P-1, comparado ao P-2, apresenta sedimento mais fino (Mz:2,243), pior seleção (σ_1 : 1,193), curtose mais leptocúrtica (K: 1,253), mesma inclinação (2°) e menor largura (31,9 m). É zona de barlamar em relação ao P-2, com deriva seguindo para oeste. O P-2 apresenta sedimento mais fino que os Perfis 1 e 3 (Mz: 2,894), melhor seleção que os Perfis 1 e 3 (σ_1 : 0,361), menos leptocúrtica que o P-1 e mais que o 3 (K: 0,967), mesma inclinação que os Perfis 1 e 3 (2°), e largura maior que o P-1 e menor que o 3 (39,1 m). Indica zona de sotamar, e recebe sedimentos dos Perfis 1 e 3, com deriva para leste. Há uma zona de convergência de células entre os Perfis 1 e 2, o que determina a presença de uma corrente de retorno e possível acumulação de sedimentos nesse perfil.

No P-3 ocorre uma zona de divergência de duas células de deriva litorânea curtas, uma no sentido do P-2 e outra do P-4, com sedimentos mais grossos que o P-2 e mais fino que o 4 (Mz: 2,751), pior selecionado que o P-2 e melhor que o 4 (σ_1 : 0,412), menos leptocúrtica que os vizinhos (K: 1,666), mesma inclinação que seus vizinhos (2°), com largura maior os vizinhos (40,9 m), a deriva segue para sudoeste, indicando possível divergência e erosão intensa. O P-4 é zona de transporte de uma célula menor, que parte do P-3 em direção ao Perfil 5. Possui sedimentos mais finos que os Perfis 3 e 5 (Mz: 2,649), melhor selecionado que os Perfis 3 e 5 (σ_1 : 0,399), mais leptocúrtica que o PP-3 e menos que o 5 (K: 1,053), mesma inclinação que o P-3 e maior que do P-5 (2°), e largura menor que o P-3 e maior que do 5 (39,4 m), a deriva segue à sudoeste, o processo de transporte, com sedimentos provenientes do P-3. Entre os dois perfis há uma evidente divergência no Perfil 3, indicando erosão, e convergência no P-5, indicando deposição.

O P-5 apresenta processo de deposição com o sentido da deriva de sudoeste a nordeste, em que recebe sedimentos dos Perfis 3 e 4 e dos Perfis 6, e 7, os sedimentos são mais finos que os P-4 e 6 (Mz: 2,651), pior selecionado que seus vizinhos (σ_1 : 0,499), mais leptocúrtica que seus vizinhos (K: 1,246), inclinação menor que seus vizinhos ($1,5^\circ$), e largura menor que seus vizinhos (28,9 m). O P-6 apresenta processo de transporte, porém, os sedimentos são mais grossos que o P- e mais finos que o P-7 (Mz: 2,639), são melhor selecionados que os Perfis 5 e 7 (σ_1 : 0,381), menos leptocúrtica que o P-5 e mais que o P-7 (K: 1,071), inclinação maior que o P-5 e menor que o 7 (2°), largura maior que o P-5 e menor que o 7 (34 m). Os Perfis 6 é zona de transporte, indicando que os sedimentos estão sendo transportados para nordeste, provenientes dos Perfis 7, 8 e 9.

O P-7, também, apresenta processo de transporte, contudo, é barlamar de 8 e sotamar de 6, com sedimentos mais grossos que o P-6 e mais finos que 8 (Mz: 2,427), é pior selecionado que o P-6 e melhor que 7 (σ_1 : 0,511), menos leptocúrtica que o P-6 e mais

finos que 8 (K: 0,915), a inclinação é maior que o P-6 e menor que o 8 (2,5°), largura maior que seus vizinhos (36 m). O P-8 se comporta como zona de transporte, barlamar do P-9 e sotamar do P-7, com sedimento mais grossos que seus vizinhos (Mz: 2,254), pior selecionado que o P-7 e melhor que 9 (σ_1 : 0,524), menos leptocúrtica que seus vizinhos (K: 0,834), maior inclinação que o P-7 e igual ao 9 (4°), e menor largura que o P-7 e menor que o 9 (24,2 m). E o P-9 apresenta processo erosivo (zona de barlamar), com sedimentos mais finos que o P-8 (Mz: 2,37), pior selecionados que o P-8 (σ_1 : 0,528), mais leptocúrtica que o P-8 (K: 0,961), mesma inclinação que o P-8 (4°) e menor largura que o P-8 (24 m). Há uma divergência no P-9, intensificando a erosão neste, com a deriva seguindo para nordeste.

A tabela 7 mostra uma síntese dos resultados de processos obtidos em cada perfil, por campanha de monitoramento, e a tendência geral predominantes do comportamento de cada perfil.

Tabela 7: Processos das campanhas de 13/04/2024, 18/05/2024, 15/06/2024, 27/07/2024 e processo final (E = Erosão; T = Transporte; D = Deposição). Adaptado Souza (2007).

Perfis	13/04/2024	18/05/2024	15/06/2024	27/07/2024	Resultado Final
1	E	E	E	E	E
2	D	D	T	T	T
3	E	E	D	D	T
4	D	T	E	T	T
5	T	D	T	E	T
6	T	T	T	D	T
7	E	T	D	E	E
8	D	T	E	D	D
9	E	E	D	E	E

Fonte: Os autores (2025).

Diferentemente dos dados apresentados na tabela 6, que representam as informações que a praia apresentou em 18/05/2024, a tabela 7 apresenta os processos sedimentares predominantes nos nove perfis de monitoramento da Praia de Ponta da Fruta, com base nas campanhas realizadas entre abril e julho de 2024. Os Perfis 1, 7 e 9 apresentaram predominância de processos erosivos (E), refletindo sua exposição a processos de barlamar, influenciados pelo promontório cristalino no extremo NE (P-1) e pela ausência de barreiras naturais no extremo SW (P-9). O P-2 destacou-se como zona de deposição (D) em duas campanhas e transporte (T) em outras duas, consistente com a acumulação de sedimentos devido a uma corrente de retorno identificada entre os Perfis 1 e 2, que favorece a deposição (Tabela 6). Os Perfis 3 a 6 apresentaram comportamento dominante de

transporte (T), indicando uma dinâmica sedimentar ativa, com destaque para o P-3, que atua como zona de divergência, intensificando a erosão local devido ao transporte de sedimentos em direções opostas (SW e NE), e é a parte da praia que sofreu as maiores perdas na largura e retrogradação (Tabelas 5 e 6).

5. DISCUSSÃO

A praia de Ponta da Fruta apresenta intenso processo de urbanização, já observado na década de 1990 por Albino (1996), e retratado pela expansão da ocupação do solo entre 1984 e 2024, com o avanço da ocupação sobre áreas de falésias, dunas, vegetação de restingas, e até a face da praia, fato evidenciado pela chegada das ondas às casas e quiosques em períodos de preamar de marés de sizígia, mesmo com tempo bom. Quadro que expõe a praia e a comunidade aos perigos oceano-meteorológicos periódicos de sistemas frontais, e que pode se agravar em eventuais cenários de elevação do nível médio do mar, com a intensificação da erosão costeira e do recuo da linha de costa. A abrangência de análise proporcionada pelo uso de três métodos permitiu realizar uma leitura detalhada da praia no tempo e no espaço, e comparar a redução da praia, o recuo da linha de costa os riscos à erosão e os processos envolvidos.

Ao longo de 40 anos, a linha de costa recuou em média 9,2 m, o que significou cerca de 0,23 m de retrogradação anual, com importantes variações entre os Perfis: P-6 (-21,1 m), P-4 (-16,5 m), P-9 (-12,5 m), enquanto o P-8 foi o único que avançou (0,1 m). A redução na largura da pós-praia é diretamente proporcional ao recuo da linha de costa. A comparação dos polígonos praias de 1984 e 2024 mostra tanto a retrogradação do polígono quanto sua redução (Tabela 5), que reduziu a área em cerca de 22.878 m² partindo de 78.380,69 m² em 1984 para 55.502,00 m² em 2024 (Tabela 3), com o período crítico de maior recuo (2009-2020) com uma perda de área de 20%, o que correspondeu a 14.538 m².

A síntese dos resultados das campanhas (Tabela 7) exhibe alguns padrões de comportamento da praia para cerca de quatro meses, em que se destacam a existência de uma corrente de retorno entre os Perfis 1 e 2 favorecem o processo erosivo no P-1 e a acumulação no P-2 (Tabela 7), consistente com a maior largura do P-2 (40,75 m em 2024) (Tabela 6) e seu menor recuo (-4,2 m) (Tabela 5). A presença do promontório contíguo ao P-1 e a forte presença de estruturas urbanas pode estar bloqueando o aporte de sedimentos neste perfil, uma das razões de apresentar 9 IECs, inclusive o embaçamento

ser bastante pronunciado (IEC XI). Além disso, essa é uma das partes da praia que mais sofrem com as preamares de sizígia (Figura 4 “a”) e com a força das ondas de tempestade.

Os Perfis 3 a 7 se comportaram como zona de transporte de sedimentos na síntese dos resultados, destacando a maior dinâmica de processos nos quatro meses das campanhas (Tabelas 5 e 6). O P-8 foi o mais estável, se comportando como zona de transporte em todas as campanhas, e apresentando variabilidade muito baixa (entre 34,7 e 34,8 m) ($\sigma = 1,23$), sendo consistente com o aumento de 0,1 m na largura (Tabelas 5 e 6). O P-9 se comportou como zona de barlamar em três campanhas, fortemente atingido por processos erosivos.

O P-3, classificado como zona de transporte, apresenta uma deriva para SW e NE, em que os sedimentos são transportados tanto ao P-2 quanto aos Perfis 5 e 6, indicando uma divergência que intensifica a erosão nessa parte da praia. Isso é consistente com o recuo de -3,9 m (Tabela 5), contudo, a largura de 49,25 m em 2024 (Tabela 6) é a maior entre os perfis, sugerindo que, embora indique erosão, o perfil pode ter recebido sedimentos, principalmente entre 1994-2004, quando houve avanço de 3,44 m (Tabela 5).

Os Perfis 4 a 7, localizados no centro-sul da praia, representam a parte de erosão mais intensa, apresentando significativas flutuações na largura ao longo do tempo, consistentes com os processos de zonas de barlamar, sotamar e transporte, respectivamente (Tabela 7), e ambos apresentarem os 11 IECs. O P-4, sofreu recuo significativo (-16,5 m) e apresentou média de variação de -3,25 m ($\sigma = 7,41$), possivelmente devido aos processos erosivos entre 2009 e 2020 (-9,76 m nesse intervalo). O P-5 possui um recuo relativamente baixo (-4,6 m) e média de -0,92 m (Tabela 5), condizente com o baixo desvio padrão ($\sigma = 2,40$) (Tabela 4). O P-6 apresenta uma variabilidade muito alta ($\sigma = 8,7$) e retrogradação de 21,1 m. O P-7 oscilou entre barlamar, transporte e sotamar (Tabela 7), e apresentou um significativo recuo de -13 m (Tabela 5).

O P-8 apresentou uma variabilidade muito baixa (entre 34,7 e 34,8 m) ($\sigma = 1,23$), sendo consistente com o aumento de 0,1 m na largura (Tabelas 5 e 6). Classificado como zona de transporte (Tabela 7), a presença de vegetação e de restinga pode estar protegendo da erosão ao reduzir a ação dos ventos e ondas. Já a indicação de risco muito alto de erosão, com 8 IECs, comparado ao restante da praia, sem a presença marcante de estruturas urbanas, o classificam como perfil mais estável.

Na extremidade sul da praia, o P-9 indica ter sido afetado por processos erosivos, especialmente entre 2009 e 2020 (-14,6 m), e recuo total de -12,3 m, com média de -2,51

m (Tabela 5), é classificado como zona de barlamar, com predominância de processos erosivos durante as campanhas (Tabela 7).

6. CONCLUSÕES

A erosão costeira na praia da Ponta da Fruta, Vila Velha, Espírito Santo, Brasil, é um processo complexo em que a dinâmica sedimentar é influenciada por uma combinação de fatores naturais e antropogênicos. O recuo médio (-9,2 m), as médias AEPRs entre (-4,22 m) e (-0,74 m), média geral das AEPRs (-1,83 m), indicam retrogradação de cerca de 0,23 metros/ano, o que resultou em uma redução de cerca de 29% da área do polígono praial entre 1984-2024, com o período mais crítico (2009-2020) com redução de 20% (-14.538 m²).

A posição da praia em sua parte central, a presença de células de divergência nos Perfis 3 e 7 (centro-sul) e a falta de barreiras naturais, a deixam área mais exposta a ondas de alta energia durante a passagem de frentes frias e ciclones extratropicais, com destaques para retrogradação nos Perfis: P-6 (-21,1 m), P-4 (-16,5 m), P-7 (-13 m), P-9 (-12,3 m), P-1 (-7 m). Já os perfis das extremidades (1, 2, 8), são comparativamente mais protegidas, pelo promontório a NE e da vegetação natural ao S, respectivamente, contribuindo com processos deposicionais e/ou erosão menos intensa. O P-8, por exemplo, apresentou estabilidade esperada para uma área que não possui nenhuma estrutura rígida próxima, com acreção de 0,1 metros em 40 anos.

Essas diferenças são consoantes com a classificação do IECs que, apesar de indicar Risco Muito Alto de Erosão para toda extensão da praia, os Perfis de 2 a 7 que apresentaram todos os IECs, enquanto o P-1 apresentou 9, e os Perfis 8 e 9 com 8 IECs cada.

Além disso, o período crítico de 2009-2020 de maior erosão coincidiu com o aumento de cerca 3,7 mm/ano no NMM, o que é particularmente impactante para praias de baixa declividade como a de Ponta da Fruta.

Os resultados apontam as causas das alterações de comportamento da praia, principalmente nos perfis que mais sofreram com erosão e recuo da linha de costa, têm pouca relação com a morfodinâmica da praia e estão mais ligadas às intervenções antrópicas. Os efeitos de estruturas artificiais sobre as praias, muito evidentes entre os Perfis 1 a 6, são conhecidos na literatura por interferirem na dinâmica sedimentar natural por diminuírem o aporte de sedimentos, que atuam como proteção da praia e a retirada da

vegetação reduz a estabilidade dos sedimentos, deixando a praia desprotegida contra a força das ondas de tempestades.

Portanto, a erosão na praia de Ponta da Fruta tende a se intensificar com a conjugação de dois fatores: o processo de ocupação e urbanização da orla oceânica e em um provável cenário de continuidade na elevação do NMM para os próximos 100 anos. Ações de redução de risco e mitigação de curto, médio e longo prazos, como retirada de estruturas rígidas do pós-praia, restauração da restinga, gestão costeira, educação ambiental, fiscalização de ocupações, assistência e orientações aos atuais moradores e comerciantes, podem promover a proteção da praia, da comunidade e patrimônio.

REFERÊNCIAS

ALBINO, J. Morphodynamics and coastal processes on Baleia, Fruta and Sol beaches in the State of Espírito Santo, Brazil. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 68, n. 3, p. 425-438, 1996.

ALBINO, J.; COELHO, A. L. N.; GIRARDI, G.; NASCIMENTO, K. A. Espírito Santo. In: MUEHE, D. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília. p. 433-476, 2018.

ALBINO, J.; GIRARDI, G.; NASCIMENTO, K.A. Capítulo 11. Espírito Santo. In: MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Brasília: MMA, p. 227-264, 2006.

ALBINO, J.; PAIVA, D. S.; MACHADO, G. M. Geomorfologia, tipologia, vulnerabilidade erosiva e ocupação urbana nas praias do litoral do Espírito Santo, Brasil. **GEOGRAFARES**, Vitória, Brasil, n. 2, 2001.

BARNARD, P. L.; BEFUS, K. M.; DANIELSON, J. J.; DANIELSON, J. J.; ENGELSTAD, A. C.; ERIKSON, L. H.; FOXGROVER, A. N.; HAYDEN, M. K.; HOOVER, D. J.; LEINSE, T. W. B.; MASSEY, C.; McCALL, R.; NADAL-CARABELLO, N. C.; NEDERHOFF, K.; O'NEILL, A. C.; PARKER, K. A.; SHIRZAEI, M.; OHENHEN, L. O.; SWARZENKI, P. W.; THOMAS, J. A.; ORMONDT, M. V.; VITOUSEK, S.; VOS, K.; WOOD, N. J.; JONES, J. M.; JONES, J. L. Projections of multiple climate-related coastal hazards for the US Southeast Atlantic. **Nat. Clim. Chang**, v. 15, p. 101–109, 2024.

BATISTA NETO, J. A. B.; PONZI, V. R. A.; SICHEL, S. E. **Introdução à geologia marinha**. Rio de Janeiro: Interciência, 2004. 284p.

BRUUN, P. Sea level rise as a cause of shore erosion. **Journal of the Waterways and Harbors Division**, v. 88, n. 1, p. 117–130, 1962.

CORRAINE, N. R.; RANGEL-BUITRAGO, N.; SCHERER, M. E. G. Where to start? Ranking priority areas for shoreline management on Santa Catarina Island, Brazil. **Ocean and Coastal Management**, v. 261, n. 107536, 2025.

EGGERT, A. L.; ARNBJERG-NIELSEN, K.; LÖWE, R. Evaluating the feasibility of coastal protection scenarios on a city scale across plausible pathways scenarios for both sea level rise and urban development. **Ocean & Coastal Management**, v. 261, n. 107507, 2025.

EGUCHI, B.; ALBINO, J. Metodologia para determinação do grau de exposição às ondas utilizando energia de ondas e respostas de perfis praias, aplicada ao litoral sul do Espírito Santo. **Pesquisas em Geociências**, v. 49, n. 2: 115485, 2022.

FERREIRA, M. C. **Iniciação à análise geoespacial: teoria, técnicas e exemplos para geoprocessamento**. São Paulo: Editora Unesp, 2014.

GEOBASES. **Bases Cartográficas do Espírito Santo**. Sistema Integrado de Bases Geoespaciais do Estado do Espírito Santo, Vitória, 2017.

GLOBO. **Mar avança e causa prejuízos em cidades do Espírito Santo**. G1/TV Gazeta Vitória, Vitória, 18 jul. 2010. Brasil, Notícia.

GLOBO. **Orla de Ponta da Fruta é destruída por maré alta em Vila Velha, ES**. G1/TV Gazeta Vitória, 23 fev. 2015. Brasil, Notícia.

HAASNOOT, M.; WINTER, G.; BROWN, S.; DAWSON, R. J.; WARD, P. J.; EILANDER, D. Long-term sea-level rise necessitates a commitment to adaptation: A first order assessment. **Climate Risk Management**, v. 34, n. 100355, 2021.

HARARI, J. (Org.). **Noções de oceanografia**. São Paulo: Instituto Oceanográfico, 2021.

HAUER, M. E.; HARDY, D.; KULP, S. A.; MUELLER, V.; WRATHALL, D. J.; CLARK, P. U. Assessing population exposure to coastal flooding due to sea level rise. **Nat Commun**, v. 12, n. 6900, 2021.

HE, Q.; LI, Z.; DALEO, P.; LEFCHECK, J. S.; THOMSEN, M. S.; ADAMS, J.; BOUMA, T. J. Coastal wetland resilience through local, regional and global conservation. **Nat. Rev. Biodivers**, v. 1, p. 50–67, 2025.

HUEBNER, S. Coastal urban climate adaptation and the advance onto aquatic surfaces using floating solutions: Historical challenges and potential future benefits of floating homes and similar structures. **Ocean & Coastal Management**, v. 26, n. 107433, 2025.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Acervo dos municípios brasileiros**. 2016.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo 2022**. 2022.
IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA**. Tabela 202 – População residente (Pessoas) 1980-2010. 2025.

INPE – INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Catálogo do INPE 2025**. Direção de Geração de Imagens, 2025.

IPCC. **Annex I: Glossary**. In: Global Warming of 1.5°C. An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global

greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, p. 541-562, 2018.

IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, In press, 2021.

IPCC. Summary for Policymakers. In: **Climate Change 2023: Synthesis Report**. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland, pp. 1-34, 2023.

KULP, S. A.; STRAUSS, B. H. New elevation data triple estimates of global vulnerability to sea-level rise and coastal flooding. **Nature Communications**, v. 10, n. 4844, 2019.

MAGNAN, A. K.; BELL, R.; DUVAT, V. K. E.; FORD, J. D.; GARSCHAGEN, M.; HAASNOOT, M.; LACAMBRA, C.; LOSADA, I. J.; MACH, K. J.; NOBLET, M.; PARTHASARANTHY, D.; SANO, M.; VINCENT, K.; ANISIMOV, A.; HANSON, S.; MALMSTROM, A.; NICHOLLS, R. J.; WINTER, G. Status of global coastal adaptation. **Nature Climate Change**, v. 13, p. 1213–1221, 2023.

MANGOR, K.; DRONEN, N. K.; KAERGAARD, K. H.; KRISTENSEN, S. E. **Shoreline Management Guidelines**. Copenhagen: DHI, 2017. 453p.

MARENGO, J. A.; NUNES, L. H.; SOUZA, C. R. G.; HARARI, J.; HOZOKAWA, E. K.; TABUCHI, E. K. Vulnerability in Brazilian coastal communities: an integrated framework to analyze local decision making and adaptation to sea-level rise in Santos, Sao Paulo – Brazil. In: MARCHEZINI, V.; WISNER, B.; LONDE, L. R.; SAITO, S. M. (Eds.). **Reduction of vulnerability to disasters: from knowledge to action**. São Carlos: RiMA Editora, 2017. p. 397–408.

MARENGO, J. A.; SCARANO, F. R.; KLEIN, A. F.; SOUZA, C. R. G.; CHOU, S. C. Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas: Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas. In: MARENGO, J. A.; SCARANO, F.R. (eds.). **PBMC, COPPE-UFRJ**. Rio de Janeiro, Brasil, 2016. 184p.

DHN – DIRETORIA DE HIDROGRAFIA E NAVEGAÇÃO. **Centro de Hidrografia da Marinha**, Marinha do Brasil, 2024.

MENDONÇA, F.; OLIVEIRA, I. M. D. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. São Paulo: Oficina de Textos, 2007. 201p.

MARTIN, L.; SUGUIO, K.; DOMINGUES, J. M. L.; FLEXOR, J. M. **Geologia do Quaternário costeiro do litoral norte do RJ e ES**. Belo Horizonte: CPRM, 1997. 112p.

MATTOS, R. F. S. **Expansão urbana, segregação e violência: um estudo sobre a Região Metropolitana da Grande Vitória**. Vitória: EDUFES, 2013. 220p.

MECHLER, R.; BOUWER, L.M. Understanding trends and projections of disaster losses and climate change: is vulnerability the missing link? **Climatic Change**, v. 133, p. 23-35, 2015.

MECHLER, R.; BOUWER, L. M.; LINNEROOTH-BAYER, J.; HOCHRAINER-STIGLER, S.; AERTS, J. C. J. H.; SURMINSKI, S.; WILLIGES, K. Managing unnatural disaster risk from climate extremes. **Nature Climate Change**, v. 4, p. 235-237, 2014.

MUEHE, D. **Panorama da erosão costeira no Brasil**. Ministério do Meio Ambiente. Brasília, DF, 2018. 759p.

NAWARAT, K.; REYNS, J.; VOUSDOKAS, M. I.; DUONG, T. M.; KRAS, E.; RENASINGHE, R. Coastal hardening and what it means for the world's sandy beaches. **Nat Commun**, v. 15, n. 10626, 2024.

NICHOLLS, R. J.; CAZENAVE, A. Sea-Level Rise and Its Impact on Coastal Zones. **Science**, v. 328, n. 5985, p. 1517-1520, 2010.

SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. Brazilian beach systems. **Coastal Research Library**, v. 17, 2016.

PANDINI, A. **Ressaca do mar provoca estragos e mortes no Espírito Santo**. TV Vitória/Record TV, Vitória, 22 jul. 2019. Geral.

SOUZA, C. R. G. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo**. 1997. Tese (Doutorado em Geologia Sedimentar) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

SOUZA, C. R. G. Determination of net shore-drift cells based on textural and morphological gradations along foreshore of sandy beaches. **Journal of Coastal Research**, Special Issue 50, p. 620-625, 2007.

SOUZA, C. R. G. **Praias arenosas oceânicas do Estado de São Paulo (Brasil): Síntese dos conhecimentos sobre morfodinâmica, sedimentologia, transporte costeiro e erosão costeira**. Revista do Departamento de Geografia-USP. 2012.

SOUZA, C. R. G.; LUNA, G. C. Taxas de retrogradação e balanço sedimentar em praias sob risco muito alto de erosão no município de Ubatuba (Litoral Norte de São Paulo). **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 1, n. 1, p. 25-41, 2009.

SOUZA, C. R. G.; LUNA, G. C. Variação da linha de costa e balanço sedimentar de longo período em praias sob risco muito alto de erosão do município de Caraguatatuba (Litoral Norte de São Paulo, Brasil). **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n. 2, p. 179-199, 2010.

SOUZA, C. R. G.; SOUZA FILHO, P. W. M.; ESTEVES, L. S.; VITAL, H.; DILLENBURG, S. R.; PATCHINEELAM, S. M.; ADDAD, J. E. Praias arenosas e erosão costeira. In: SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K.; OLIVEIRA, A. M. S.; OLIVEIRA, P. E. (Eds.). **Quaternário do Brasil**. Ribeirão Preto: Holos, p. 130-152, 2005.

SOUZA, C. R. G.; SOUZA, A. P.; HARARI, J. Long term analysis of meteorological-oceanographic extreme events for the Baixada Santista Region. In: **Climate Change in Santos Brazil: Projections, Impacts and Adaptation Options**. Springer, Cham. p. 97-134, 2019.

SOUZA, C. R. G.; SOUZA, A. P.; FERREIRA, G.; ARANOVICH M.; ANDRADE, J. A. Processos erosivos crônicos e a variabilidade temporal de células de deriva litorânea na Praia da Enseada-Guarujá/SP. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE REDUÇÃO DE RISCOS E DESASTRES (CBRRD), 9., 2023. **Anais...** Coletânea de Resumos Expandidos e Programação, p. 114, 2023b.

SOUZA, C. R. G.; SUGUIO, K. The Coastal Erosion Risk Zoning and the São Paulo State Plan for Coastal Management. **Journal of Coastal Research**, Special Issue, n. 35. Proceedings of the Brazilian Symposium on Sandy Beaches: morphodynamics, ecology, uses, hazards and management, p. 530-547, 2003.

SUGUIO, K. **Dicionário de geologia marinha**: com termos correspondentes em inglês, francês e espanhol. São Paulo: T. A. Queiroz. 1992. 173p.

THIELER, E. R.; HAMMAR-KLOSE, E. S. National Assessment of Coastal Vulnerability to Sea-Level Rise: U.S. Atlantic Coast. U.S. **Geological Survey Open-File Report** 99-593, 2000.

UNDRR. **Hazard definition and classification review**: Technical report. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2020.

UNISDR. **Sendai Framework for Disaster Risk Reduction 2015-2030**. United Nations Office for Disaster Risk Reduction, 2015.

VILA VELHA. **Plano de Manejo da APA Lagoa Grande**. 2014.

VILA VELHA. **Vila Velha em Números**. Diagnóstico Municipal. Núcleo de Informações Estratégicas, Secretaria Municipal de Planejamento e Projetos Estratégicos, 2018.

VILA VELHA. **Plano de Gestão Integrada da Orla Municipal-PGI**. 2024a.

VILA VELHA. **Plano Municipal de proteção e Defesa Civil-PMPDEC**. 2024b.

VISSER, H.; PETERSEN, A.C.; LIGTVOET, W. On the relation between weather-related disaster impacts, vulnerability and climate change. **Climate Change**, v. 125, n. 3-4, p. 461-477, 2014.

WRIGHT, L.D.; SHORT, A.D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. **Marine Geology**, v. 56, n. 1-4, p. 93-118, 1984.

Recebido: 22/05/2025
Aceito: 20/11/2025