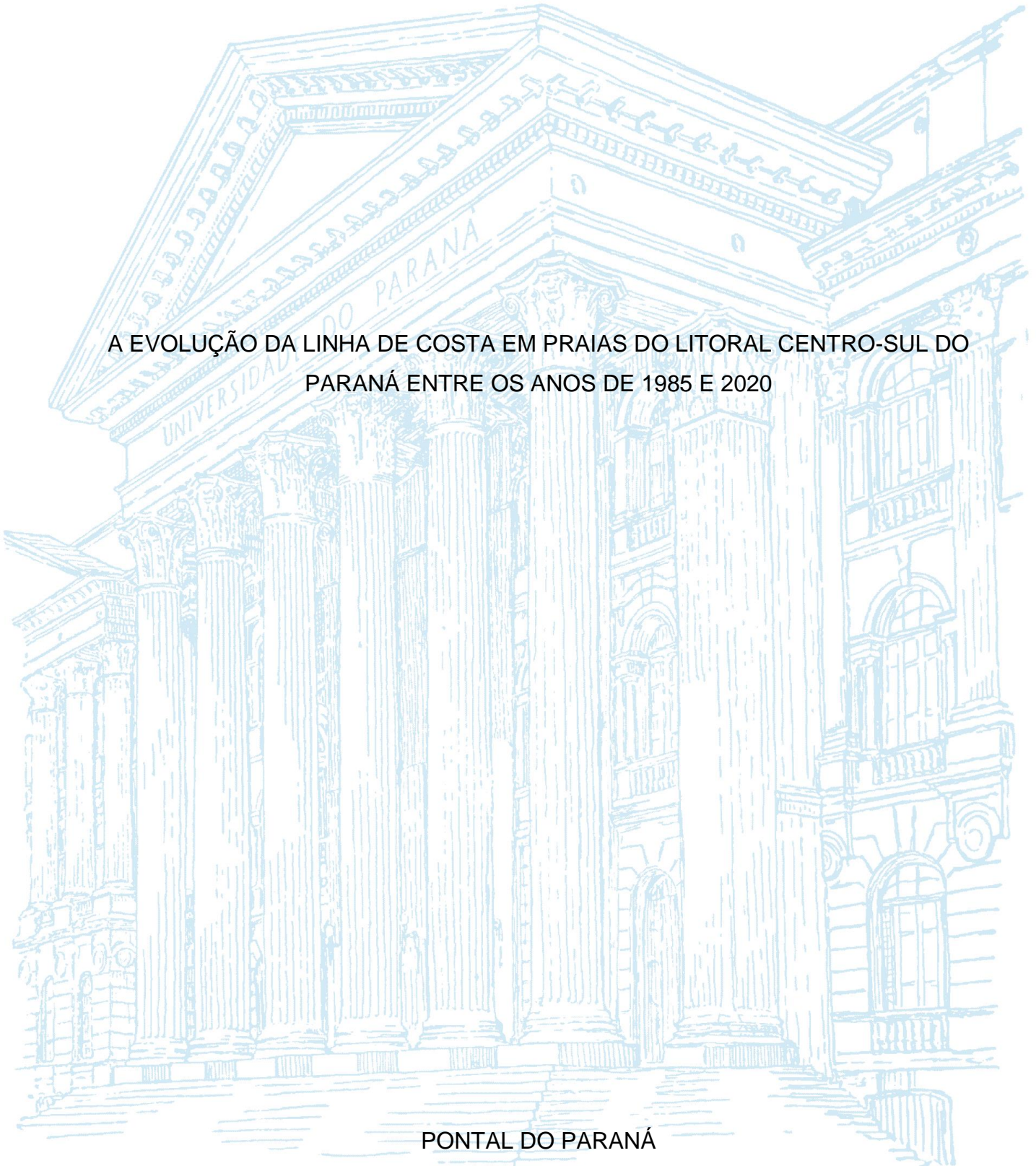


UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

GABRIELA KOSTRZEWYCZ PEREIRA

A EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS DO LITORAL CENTRO-SUL DO
PARANÁ ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2020



PONTAL DO PARANÁ

2021

GABRIELA KOSTRZEWYCZ PEREIRA

A EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS DO LITORAL CENTRO-SUL DO
PARANÁ ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2020

Monografia apresentada como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em Oceanografia,
Curso de Graduação em Oceanografia, Campus
Pontal do Paraná/Centro de Estudos do Mar,
Universidade Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg

PONTAL DO PARANÁ

2021



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

ATA DE REUNIÃO

TERMO DE APROVAÇÃO

Gabriela Kostrzewycz Pereira

“A EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS DO LITORAL CENTRO-SUL DO PARANÁ ENTRE OS ANOS DE 1985 E 2020”

Monografia aprovada como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Oceanografia, da Universidade Federal do Paraná, pela Comissão formada pelos membros:

Prof. Dr. Maurício Almeida Noernberg
Prof. Orientador - Centro de Estudos do Mar - UFPR

Prof. Dr. Daniel Hauer Queiroz Telles
Centro de Estudos do Mar - UFPR

Prof. Dr. Rodolfo José Ângulo
Programa de Pós-Graduação em Geologia - UFPR

Pontal do Paraná, 20 de agosto de 2021.



Documento assinado eletronicamente por **MAURICIO ALMEIDA NOERNBERG, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/08/2021, às 13:47, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **DANIEL HAUER QUEIROZ TELLES, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 20/08/2021, às 14:23, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



Documento assinado eletronicamente por **Rodolfo José Ângulo, Usuário Externo**, em 25/11/2021, às 18:16, conforme art. 1º, III, "b", da Lei 11.419/2006.



A autenticidade do documento pode ser conferida [aqui](#) informando o código verificador **3727828** e o código CRC **E53B373B**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família, que desde o começo da minha trajetória oceanográfica, incentivou-me tanto, mesmo com o coração apertado de saudades por conta da distância.

Ao meu orientador, Prof. Maurício, meus mais sinceros agradecimentos por todo o suporte durante a realização desse estudo e por me trazer de volta para a realidade toda a vez que eu pensava em abraçar o mundo em uma única pesquisa. Agradeço especialmente por me encorajar, desde a disciplina de Oceanografia por Satélites, a seguir fazendo o que gosto.

Agradeço ao meu companheiro, João Pedro, que caminhou ao meu lado durante grande parte da minha vida pontalense e que foi o maior incentivador das minhas ideias mirabolantes. Com certeza, dividir a vida contigo durante esta etapa (em meio a uma pandemia) foi essencial para que ela pudesse ser concluída. Agradeço pela companhia nas madrugadas de trabalho e nas visitas às praias da área de estudo.

Agradeço minhas amigas de graduação, que mesmo de longe, ouviram meus desabafos e se mostraram dispostas a ajudar. Agradeço à Julia por contribuir com o seu olhar ao texto e aos mapas, assim como por se mostrar presente especialmente nos momentos frustrantes desse processo e por me incentivar a seguir em frente sempre. Agradeço ao meu trio, Ulli, Stephanie e Isadora, pelo companheirismo compartilhado ao longo dos anos da graduação, pelos estudos em conjunto, pelos trabalhos em grupo, pelos cafezinhos da tarde, pelo apoio mútuo, pelas conversas profundas e pelos papos jogados fora também.

Agradeço por todas as oportunidades e vivências que a Oceanografia me proporcionou e pelos amigos e colegas que conheci e que partilharam delas comigo. Agradeço, especialmente, ao GRR2016 (a melhor turma), e professoras e professores que me orientaram em projetos, estágio, monitoria e possuem uma contribuição importante na minha formação, graças aos seus ensinamentos e as suas visões de mundo.

Agradeço também aos desenvolvedores da ferramenta CASSIE que foram muito atenciosos no esclarecimento de dúvidas que surgiram no decorrer da elaboração desse estudo.

“The oceans deserve our respect and care, but you have to know something before you can care about it.”

- Sylvia Earle

RESUMO

A linha de costa (interface entre mar e terra) é comumente utilizada como um indicador de evolução costeira, principalmente em ambientes praias, considerados altamente dinâmicos. Analisar o comportamento da linha de costa no passado evidencia a influência de fatores naturais e antrópicos sobre a morfodinâmica de um ambiente costeiro. A obtenção de dados quantitativos através de posições históricas da linha de costa derivadas de imagens de satélite é um dos métodos de análise mais utilizados, e indicam se o ambiente apresenta situação de erosão, acreção ou estabilidade. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento da linha de costa em escala decadal nas praias do Litoral Centro-Sul do Paraná (25°52'S/ 48°33'W), caracterizadas pela ocupação histórica desordenada e acelerada próxima à orla. A avaliação foi realizada com base em métricas de taxas de variação e de mobilidade da linha de costa, geradas pelo *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine* (CASSIE) uma ferramenta de acesso livre e baseada em computação em nuvem. As métricas foram calculadas a partir de um conjunto de 50 posições históricas da linha de costa, derivadas de imagens de satélite da série *Landsat*, datadas de 1985 a 2020. Os resultados demonstraram que Praia Brava e Praia Mansa tiveram os maiores percentuais de linha de costa em situação de acreção, com taxas médias de variação de 1,63 m/ano e 1,62 m/ano. Enquanto a Praia do Rio Matinhos, a Prainha e Praia de Caieiras apresentaram predominantemente tendências erosivas e taxas médias de variação de - 0,5 m/ano, - 0,90 m/ano e - 0,92 m/ano, respectivamente. Já a Praia Central de Guaratuba demonstrou comportamento estável em grande parte da sua extensão, com taxa média de variação de 0,27 m/ano. Constatou-se que as praias com maiores taxas de recuo e de avanço da linha de costa são influenciadas por uma mesma feição: o delta de maré vazante, localizado na desembocadura da Baía de Guaratuba. No entanto, a localização geográfica de cada uma faz com que o sistema de transporte de sedimentos ocorra de forma distinta, ocasionando maior acreção em uma, e maior deposição em outra. Os resultados gerados pelo CASSIE demonstraram boas correlações com outros estudos para a mesma área e que utilizam de métodos mais consolidados pela literatura, porém menos acessíveis. Entretanto, foi observado que em praias delimitadas longitudinalmente por obras de contenção, somado à inexistência de zona pós-praia, a análise da linha de costa baseada apenas em procedimentos remotos pode apresentar limitações e gerar interpretações errôneas. Por isso, é essencial o conhecimento prévio sobre os fatores naturais e antrópicos que influenciam a área, bem como a comparação dos resultados com observações *in situ*, quando possíveis.

Palavras-chave: Linha de costa. Praias. Obras de proteção costeira. Delta de maré vazante. Imagens de satélite.

ABSTRACT

The shoreline (land-sea interface) is commonly used as an indicator of coastal evolution, especially in beach environments, considered highly dynamics. Analyzing the past shoreline behavior highlights the influence of natural and anthropogenic factors on the morphodynamics of a coastal environment. Obtaining quantitative data through historical positions of the satellite-derived shorelines is one of the most used analysis methods, and it indicates whether the environment is under erosion, accretion or in a stable state. In this context, this study aimed to evaluate the shoreline behavior in a decadal scale on the beaches of the Central-Southern Coast of Paraná (25°52'S/ 48°33'W), characterized by disordered and accelerated historical occupation near shore. The assessment was performed based on shoreline rate of change and mobility metrics, generated by the Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE), an open access tool based on cloud computing. The metrics were calculated from a set of 50 historic shoreline positions, derived from satellite images of Landsat series, dated from 1985 to 2020. The results showed that Praia Brava and Praia Mansa had the highest shoreline percentages under accretion situation, with average rates of change of 1.63 m/yr and 1.62 m/yr. Whereas, Praia do Rio Matinhos, Prainha and Praia de Caieiras showed predominantly erosive trends and average rates of change of -0.5 m/year, -0.90 m/yr and -0.92 m/yr, respectively. On the other hand, Praia Central de Guaratuba showed stable behavior in most of its extension, with an average rate of change of 0.27 m/yr. It was found that beaches with higher rates of shoreline retreat and advance are influenced by the same feature: the ebb-tide delta, located at the mouth of Guaratuba Bay. However, the geographic location of each beach makes the sediment transport system occur differently, causing greater accretion in one, and greater deposition in another. The results generated by CASSIE showed good correlations with other studies in the same area that use more consolidated methods in literature, but less accessible. It was observed, however, that on beaches longitudinally delimited by retaining walls, in addition to the inexistence of a post-beach zone, the shoreline analysis based only on remote procedures may present limitations and generate erroneous interpretations. Prior knowledge of the area, regarding the influence of natural and anthropogenic factors, is essential, as well as the results comparison with in situ observations, when possible.

Keywords: Shoreline. Beaches. Coastal protection works. Ebb-tide delta. Satellite images

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	10
1.1 OBJETIVOS	12
1.1.1 Objetivo Geral	12
1.1.2 Objetivos Específicos	12
2 O SISTEMA PRAIAL	13
2.1 AS SUBDIVISÕES DO AMBIENTE PRAIAL.....	13
2.2 AGENTES E PROCESSOS SEDIMENTARES	15
2.2.1 Ondas e correntes geradas por ondas	15
2.2.2 Marés e correntes geradas por marés.....	17
2.2.3 A ação dos ventos.....	20
2.3 MORFODINÂMICA PRAIAL E TIPOS DE PRAIAS.....	20
2.4 EROÇÃO E ACREÇÃO DA LINHA DE COSTA	23
2.5 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS ARENOSAS	26
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	29
3.1 HERANÇA GEOLÓGICA, AGENTES E PROCESSOS COSTEIROS	30
3.2 AS PRAIAS	32
3.2.1 Setor Norte.....	34
3.2.2 Setor Central	35
3.2.3 Setor Sul.....	36
4 METODOLOGIA	38
4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS PELA FERRAMENTA CASSIE	38
4.1.1 Seleção de imagens	39
4.1.2 Detecção da linha de costa	41
4.1.3 Análises estatísticas da linha de costa	42
4.2 USO DA IMAGEM CBERS-4A E PROCEDIMENTOS	45
4.2.1 Fusão da imagem.....	46
4.2.2 Georreferenciamento da imagem.....	47
4.2.3 Extração da linha de costa	48
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	49
5.1 PANORAMA GERAL DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA	49
5.2 SETOR SUL - PRAIA CENTRAL E PRAIA DE CAIEIRAS.....	53
5.3 SETOR CENTRAL – PRAINHA E PRAIA MANSA.....	59

5.4 SETOR NORTE - PRAIA BRAVA E PRAIA DO RIO MATINHOS.....	66
6 CONSIDERAÇÕES FINAIS	72
REFERÊNCIAS.....	76
APÊNDICE 1 – DADOS SOBRE AS LINHAS DE COSTA GERADAS PELO CASSIE.....	82
APÊNDICE 2 – DADOS DOS TRANSECTOS GERADOS PELO CASSIE.....	85

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são regiões de transição entre os compartimentos continentais, marinhos e atmosféricos. Portanto, são consideradas extremamente dinâmicas e estão sujeitas a alterações nas suas características por agentes e processos costeiros, em escalas de tempo curtas (dias e meses) a longas (décadas) (BIRD, 2008). Além disso, possuem ecossistemas biodiversos e frágeis (como manguezais e recifes de corais), dispõem de recursos que movimentam a economia (em especial, do turismo, da pesca e da atividade portuária), possibilitam melhorias na qualidade de vida humana, dentre outras importâncias. E por conta dos seus atrativos, tornam-se áreas densamente ocupadas ao redor do mundo (STROHAECKER, 2008). No Brasil, estima-se que aproximadamente 26,6% da população total do país reside na zona costeira, onde estão localizadas treze das vinte e sete unidades federativas (IBGE, 2011).

As praias são ambientes associados às zonas costeiras, propícios ao acúmulo de sedimentos (terrígenos e/ou biogênicos) (SUGUIO, 2003). Por conta da localização geográfica, sofrem influência de agentes externos, como correntes, marés, ventos e ondas, que condicionam a variabilidade no balanço sedimentar, possibilitando identificar áreas de erosão, acreção ou estabilidade costeira. (SOUZA et al., 2005; BIRD, 2008; PINET, 2017). Essa variabilidade ocorre de maneira frequente e natural, mas pode ser potencializada por pressões antrópicas, principalmente associadas ao avanço da urbanização sobre essas áreas que são altamente dinâmicas e acabam inserindo esses ambientes em um contexto de possível risco à população. (SOUZA et al., 2005).

O Litoral Centro-Sul do estado do Paraná é marcado por um processo histórico de ocupação desordenada e acelerada da orla, desconsiderando a dinâmica natural e a importância ambiental da área. Desde os primórdios da ocupação intensa, na década de 1960, alguns trechos apresentaram e ainda apresentam processos destrutivos da linha de costa. Esses processos normalmente estão atrelados aos eventos de ressaca e à localização das praias sobre áreas de instabilidade natural, como por exemplo, nas desembocaduras estuarinas, causando perdas e danos à população. (ANGULO, et al., 2006; PIERRI, et al., 2006; ANGULO et al., 2018; ANGULO et al. 2020). Desde então, essas áreas são caracterizadas por terem sofrido várias intervenções costeiras, como forma de remediar os impactos

gerados por eventos destrutivos da costa, recorrentemente associadas a obras rígidas de proteção costeira, que acabaram obstruindo a dinâmica natural dessas praias (ANGULO et al., 2006; ANGULO et al., 2018).

Como se tratam de praias intensamente influenciadas por ações antrópicas, a gestão e o uso adequados dessas áreas são fundamentais. Necessitando de conhecimento robusto sobre a variabilidade da linha de costa e seus agentes e processos controladores ao longo do tempo, somados à influência antrópica. Bem como a determinação de taxas de acreção, erosão e estabilidade e de previsões do comportamento da linha de costa, indicando áreas que merecem atenção na gestão costeira. (FARIAS; MAIA, 2010; KONLECHNER et al. 2020)

Nesse contexto, o uso de técnicas diversas de Geoprocessamento se torna cada vez mais comum (FARIAS & MAIA, 2010). Dentre os métodos mais difundidos pela literatura, tem-se a determinação da taxa de variabilidade espaço-temporal costeira em ambiente de Sistema de Informação Geográfica (SIG) com o suporte de imagens de sensores remotos multitemporais (FARIAS; MAIA, 2010; BURNINGHAM & FRENCH, 2017; LUIJENDIJK et al. 2018; XU, 2018). Entretanto, esses métodos geralmente requerem acesso a ferramentas pagas e de código fechado. Além disso, necessitam de *hardwares* eficientes para o processamento de dados, que geralmente são pesados como, por exemplo, as imagens do satélite *CBERS-4A*, cujo tamanho da banda pancromática ultrapassa 1GB.

Como forma de democratizar os métodos de geração de dados quantitativos de variação da linha de costa, o *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine* (CASSIE) foi desenvolvido. Corresponde a uma ferramenta integrada ao *Google Earth Engine* (GEE), cujos armazenamentos e recursos computacionais são baseados em nuvem (ALMEIDA et al., 2021). Entretanto, para Burningham e French (2017), quantificar essa variação é apenas um dos problemas de estudo, implicando em posteriores análises relacionadas à identificação de fatores de mudança e como eles afetam a morfodinâmica local.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo Geral

Caracterizar a evolução decadal da linha de costa em praias do Litoral Centro-Sul do Paraná, baseada em dados gerados por uma ferramenta pública de análise, visando à geração de conhecimento acerca do assunto como subsídio às estratégias de proteção das praias, bem como o incentivo ao uso de ferramentas acessíveis.

1.1.2 Objetivos Específicos

- Determinar quantitativamente a evolução costeira de praias do Litoral Centro-Sul do estado do Paraná, entre 1985 e 2020, a partir de dados gerados por uma ferramenta de análise da linha de costa.
- Elaborar um diagnóstico de evolução da linha de costa para a área, baseado na correlação entre dados e informações obtidos pela ferramenta de análise e fatores naturais e antrópicos levantados pela revisão da literatura sobre o tema.
- Avaliar o desempenho do uso de uma ferramenta de análise da linha de costa de código aberto, gratuita e baseada em computação em nuvem, comparando com técnicas consolidadas de análise quantitativa da linha de costa e com dados obtidos por outros estudos para a área.

2 O SISTEMA PRAIAL

As praias são consideradas ambientes sedimentares costeiros, pois se formam na interface entre mar e terra e são dominadas pela ação das ondas. São compostas por materiais inconsolidados de origem terrígena (como areia e cascalho) e biogênica (como os fragmentos de concha) que são constantemente transportados e retrabalhados por agentes externos como ondas, marés, ventos e correntes. (SUGUIO, 2003)

Os ambientes praias são considerados multifuncionais, pois exercem benefícios ambientais, sociais e econômicos, como a proteção costeira contra eventos extremos, o bem-estar da sociedade através do lazer, a movimentação da economia através do turismo, dentre outros (SOUZA et al., 2005; MUEHE, 2020). Portanto, tornam-se áreas atrativas para o desenvolvimento territorial de uma cidade.

No entanto, a pressão de atividades antrópicas, somada a fatores naturais podem induzir em alterações ainda mais intensas em um ambiente que já é considerado dinâmico e sensível, acarretando perdas e danos ambientais, sociais e econômicos (SOUZA, 2009). Para que seja possível promover a manutenção do ambiente praias, bem como assegurar a vida humana próxima a esse local, é importante compreender seu comportamento morfodinâmico e os processos e agentes que o controlam.

2.1 AS SUBDIVISÕES DO AMBIENTE PRAIAL

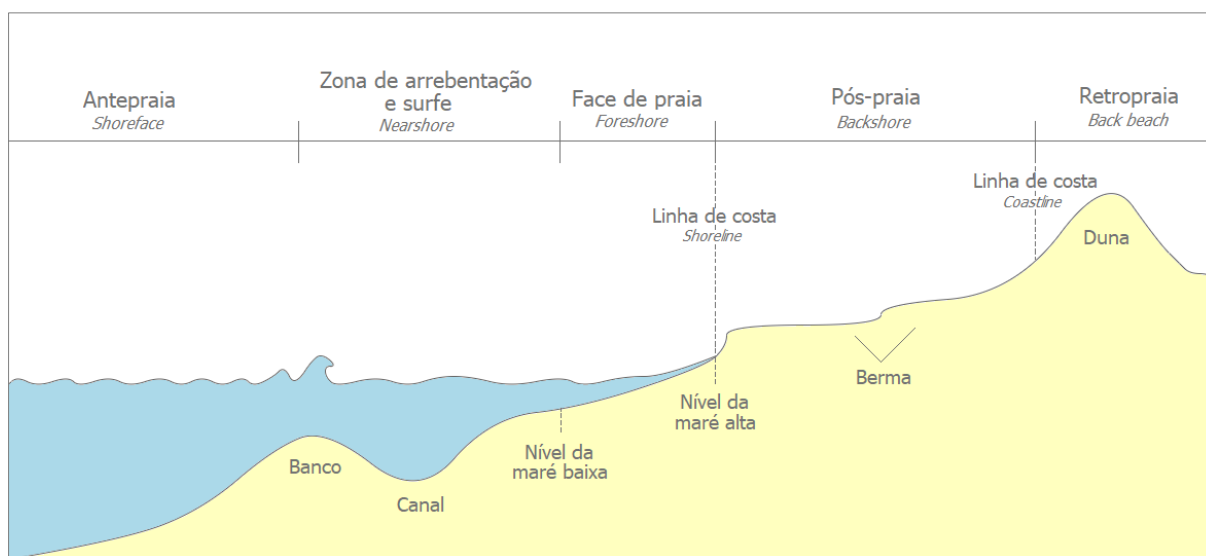
A terminologia de feições costeiras originada das línguas inglesa e francesa tem gerado conflitos na literatura brasileira, em relação à tradução propriamente dita e às características físicas das feições (MUEHE, 2020). Portanto, pretende-se nesta seção, definir quais os termos adotados para as subdivisões do ambiente praias, de acordo com a proposta da pesquisa, a partir do compilado da revisão literária para o tema.

Primeiramente, é importante considerar que o ambiente praias se estende para além da praia propriamente dita (FIGURA 1). A praia é considerada uma das subdivisões do ambiente praias, estendendo-se desde o nível médio da maré baixa até a linha de vegetação permanente ou alterações fisiográficas bruscas, como

dunas, falésias, muros de contenção, etc., sendo esta zona seguinte, denominada por Muehe (2020) de retropraia (*back beach*). De acordo com a literatura (SUGUIO, 2003; SOUZA et al., 2005; BIRD, 2008), a praia subaérea abrange duas zonas: 1) a pós-praia (*backshore*), delimitada entre a retropraia e o nível médio da maré alta e onde ocorrem as feições denominadas de bermas, acúmulos sedimentares horizontais formados pelo carreamento das ondas; 2) a face de praia (*foreshore*), que corresponde à zona entre os níveis médios de maré alta e maré baixa, ou seja, zona entremarés, cuja posição depende das variações diárias e sazonais do nível do mar. Sendo assim, a interface entre essas duas zonas é traduzida como “linha de costa” (*shoreline*).

Adjacente à face de praia, em direção ao mar e em ambiente submerso, localiza-se a zona de surfe e arrebenção (*nearshore*) que se inicia desde a primeira linha de arrebenção de onda, até o espraiamento da onda na face praial. Por fim, a zona de antepraia (tradução utilizada para *shoreface* ou *offshore*), subdivida entre superior (ou interna), zona de aumento exponencial da interação entre as ondas e o substrato em direção a terra, e inferior (ou externa), que se estende até o limite da plataforma continental interna. Ou seja, o ambiente praial constitui todas as zonas descritas acima, desde a zona pós-praia (superfície emersa) até a zona de antepraia (superfície submersa), com exceção da antepraia inferior.

FIGURA 1 – O SISTEMA PRAIAL E SUAS SUBDIVISÕES



FONTE: Adaptado de BIRD (2008) e MUEHE (2020).

Entretanto, é importante mencionar que apesar da descrição anterior considerar a tradução de *shoreline* para linha de costa, Bird (2008) aponta em sua obra que existe diferença entre as definições de *shoreline* e *coastline* e que podem gerar interpretações equivocadas. *Coastline* seria a tradução literal para linha de costa, sendo a linha de transição entre a retropraia e o limite máximo da maré de sizígia. Enquanto *shoreline* é definida como a linha d'água, que oscila entre a face de praia, conforme o ciclo de maré e que é possível observar através do limite entre areias seca e úmida. Porém, Bird (2008) afirma que o uso dessas duas expressões como sinônimos de linha de costa é bastante difundida entre autores, especialmente se tratando de pesquisas em áreas de estudo com amplitudes pequenas de maré. Portanto, a segunda definição (de *shoreline*) foi considerada para o presente estudo, por ser compatível com a atribuição de um indicador para a análise da evolução costeira e será detalhada posteriormente.

2.2 AGENTES E PROCESSOS SEDIMENTARES

Os processos sedimentares (erosão, deposição e transporte), são resultantes de uma combinação de fatores meteoceanográficos e geológicos que moldam a morfologia e a dinâmica sedimentar dos ambientes praias. Esses processos estão condicionados a ação de ondas, marés, ventos e das correntes litorâneas, geradas por esses três agentes (SUGUIO, 2003; SOUZA et al., 2005).

2.2.1 Ondas e correntes geradas por ondas

As ondas, oscilações na superfície da água do mar geradas pelos ventos em oceano aberto, são consideradas os principais condicionantes da dinâmica sedimentar, pois muitas das suas ações afetam direta ou indiretamente o ambiente praias (MUEHE, 2020). São as principais fontes de entrada de energia nas praias, sendo a intensidade energética dependente da velocidade, da duração e da extensão da pista de ventos. Portanto, quanto maior a duração e a pista, maior a quantidade de energia potencial absorvida pelas ondas (SOUZA et al., 2005).

Ondas geradas em áreas de tempestade, até milhares de quilômetros de distância do ambiente praias, dão origem a um trem regular de ondas baixas, arredondadas e largas, denominadas de ondulações, que perdem pouca energia ao

longo da sua trajetória. A ocorrência de diversas tempestades em mar aberto pode originar diferentes padrões de ondulação, explicando a irregularidade nos intervalos entre as ondas que se aproximam da costa. (GROTZINGER; JORDAN, 2013)

Conforme o trem de ondas se aproxima da costa, a diminuição gradativa da coluna d'água começa a influenciar na diminuição da velocidade de propagação das ondas, absorvendo maior energia. Estas ondas sofrem efeitos de refração e difração, ocasionados pela diminuição da profundidade entre superfície e fundo marinho e pelo encontro de obstáculos (como ilhas, promontórios e molhes), respectivamente, causando perturbações na direção de propagação das ondas, denominadas de ortogonais. Quando as ortogonais se encontram (convergem), a concentração de energia aumenta, ocasionando o processo de erosão de sedimentos (perda). Já quando as ortogonais divergem, ocorre a dispersão de energia, predominando a acreção de sedimentos (ganho). Essas perturbações são mais frequentes em linhas de costa recortadas, portanto, a circulação de correntes e a morfologia em ambiente praias se tornam complexas. (SUGUIO, 2003; SOUZA et al., 2005). Outro fenômeno muito comum é o de reflexão, que ocorre à medida que o trem de ondas se aproxima da costa e encontra um obstáculo, gerando um novo trem de ondas, sobrepondo-se ao anterior (SUGUIO, 2003).

O ângulo de incidência das ondas no ambiente praias determina o sistema de circulação costeira predominante no local, ou seja, define quais tipos de correntes costeiras mais influenciam no ambiente. A corrente costeira mais importante é denominada de corrente de deriva litorânea ou corrente longitudinal, pois é a principal responsável pelo transporte e retrabalhamento de sedimentos nas praias, moldando sua morfologia. A corrente longitudinal é gerada pela incidência oblíqua do trem de ondas em relação à linha de costa, fazendo com que essa corrente se desloque paralelamente à praia. Quando duas correntes longitudinais convergem, pode ocorrer o desenvolvimento de uma terceira, chamada de corrente de retorno, costa-afora. (SUGUIO, 2003; SOUZA et al., 2005; GROTZINGER; JORDAN, 2013)

O transporte de sedimentos, induzido por correntes longitudinais em conjunto com a ação das ondas, é denominado de deriva litorânea e ocorre na zona de surfe do ambiente praias. A deriva litorânea é a principal responsável por migrações laterais de desembocaduras fluviais, lagunares e estuarinas na linha de costa, ou seja, atuam fortemente na morfologia desses ambientes. No entanto, quando sua circulação é afetada por alterações antrópicas (como a construção de espigões,

molhes e portos), sua ação pode modificar gradativamente a morfodinâmica, desestabilizando a relação entre ganhos e perdas sedimentares (balanço sedimentar) desses ambientes, ocasionando processos de erosão e acreção costeira. (SOUZA et al., 2005)

De acordo com Taggart e Schwartz (1988, citados por SOUZA et al., 2005), o transporte de sedimentos ocorre também na face de praia, e é denominado de deriva praial, cujo padrão de movimento se dá em forma serrilhada (em zig-zag). Ambos os tipos de transporte possuem o mesmo sentido da corrente longitudinal, paralelo à linha de costa, e o conjunto desses movimentos é denominado de deriva costeira. (SOUZA et al., 2005)

2.2.2 Marés e correntes geradas por marés

As marés são oscilações verticais e cíclicas na superfície do mar que resultam principalmente da atração gravitacional da Lua e do Sol, cuja força gravitacional depende da distância entre um ponto qualquer na Terra e os outros corpos celestes (GROTZINGER; JORDAN, 2013). Por conta disso, a força lunar exerce quase o dobro de influência sobre a geração de marés, comparada à força solar (SOUZA et al., 2005; PINET, 2017). Por isso, o sistema Terra-Lua será utilizado como exemplo a seguir, no entanto, os mesmos fenômenos ocorrem para o sistema Terra-Sol, mas em menor proporção.

Assim como a atração gravitacional se difere conforme o distanciamento entre Terra e Lua, a força geradora de marés também será distinta em diferentes pontos da Terra. Nos pontos mais próximos da Lua, a água do oceano possui atração gravitacional maior, por ser um corpo fluido, e acaba sendo deformado pela gravidade lunar. Esses pontos do oceano são deslocados em direção ao centro de gravidade da Lua, formando bulbos de maré (acúmulos de água). Em pontos mais afastados, os bulbos são formados a partir de uma força centrífuga gerada pelo movimento da Terra ao redor do centro de massa do sistema Terra-Lua. À medida que a Terra rotaciona, os bulbos se mantêm alinhados à Lua e passam por diferentes pontos da superfície terrestre, formando as marés altas (nível máximo atingido em um ciclo de maré). Logo, as superfícies opostas aos bulbos formam as marés baixas (nível mínimo atingido em um ciclo). (GROTZINGER; JORDAN, 2013; PINET, 2017)

A explicação anterior, sobre a formação de bulbos, é baseada em um modelo de equilíbrio de marés e representa simplificada a interação entre Terra-Lua (e Terra-Sol). Apesar de ser um modelo simples para representar um fenômeno complexo, auxilia na compreensão da periodicidade das marés, considerando uma Terra ideal, cujo corpo é esférico, sem continentes e com profundidade do oceano constante. (CAMARGO; HARARI, 2015; PINET, 2017) Entretanto, outro tipo de modelo de marés assume que o oceano responde ativamente às forças geradoras de marés e aos efeitos das bordas continentais e da geomorfologia submarina, sendo o somatório destas interações característico para cada ponto da Terra. Este modelo é baseado na Teoria Dinâmica das Marés, correspondendo, portanto, a uma representação mais próxima da realidade e é descrito detalhadamente em obras como as de Camargo e Harari (2015) e Pinet (2017).

Considerando a Lua como a principal geradora de marés, seu maior efeito está relacionado à influência da duração do dia lunar de 24 horas e 50 minutos na variação da maré em um dia terrestre. Esta diferença de 50 minutos em relação ao dia terrestre (ou solar) ocorre por conta do atraso da rotação da Terra em relação à da Lua. O ciclo de marés diurnas corresponde à ocorrência de uma maré alta e uma maré baixa diariamente e normalmente está associado a locais em que a linha de costa é bastante complexa. No entanto, o nível da água sobe e desce duas vezes ao dia na maior parte das costas, gerando um ciclo de marés semidiurnas, sendo que cada ciclo completo de maré ocorre a cada 12 horas e 25 minutos. As marés podem também variar irregularmente duas vezes ao dia, enquadrando-se em um ciclo de marés mistas. (SOUZA et al., 2005; CAMARGO; HARARI, 2015; PINET, 2017)

A atração gravitacional da Lua também influencia, juntamente com a do Sol, em um movimento sistemático mensal das marés, associado à posição desses corpos celestes em relação à Terra e, conseqüentemente, às fases lunares. Quando Sol, Terra e Lua estão alinhados, os bulbos de ambos os sistemas (Terra-Lua e Terra-Sol) coincidem, somando suas forças e gerando maior amplitude de maré (diferença entre níveis de marés alta e baixa em um mesmo ciclo). Esse alinhamento gera as marés de sizígia ou marés vivas, que ocorrem nos períodos de Lua Nova e Lua Cheia. Já nos períodos de Lua Crescente e Lua Minguante, ocorrem as marés de quadratura ou marés mortas, cuja amplitude de maré é menor, e são geradas

pela discordância de aproximadamente 90° entre os bulbos dos sistemas Terra-Lua e Terra-Sol. (CAMARGO; HARARI, 2015; PINET, 2017)

Embora a influência de fatores astronômicos condicione à geração de marés regularmente, a interação dessas forçantes externas com aspectos geológicos e batimétricos, por exemplo, resulta em diferentes regimes de marés ao redor do oceano (GROTZINGER; JORDAN, 2013). Neste sentido, Davies (1964, citado por SOUZA et al., 2005) propôs a classificação dos ambientes costeiros, de acordo com as amplitudes de marés (diferenças entre a maré alta e a maré baixa), resultando em três categorias: micromarés, para locais com amplitudes de marés inferiores a 2 m; mesomarés, quando as amplitudes variam entre 2 e 4m; e macromarés, para ambientes com amplitudes maiores que 4 m.

As correntes de marés são geradas durante as subidas e descidas do nível do mar, apresentando inversões periódicas e sistemáticas de direção nas águas costeiras (BIRD, 2008). À medida que a maré aumenta, gera a corrente de enchente que transfere água em direção à costa. Quando a maré começa a baixar, a corrente de vazante flui da costa em direção ao mar aberto (PINET, 2017).

A influência das correntes de marés são mais significativas em costas sujeitas a regime de macromarés, pois quanto maior a amplitude de maré, maior é a velocidade da corrente gerada por ela, sendo áreas dominadas pela circulação. No entanto, em costas submetidas ao regime de micromarés, as correntes geradas por marés podem adquirir maior velocidade, ocasionada pelo contato com o fundo (águas rasas), pelas linhas de costa recortadas, e pela presença de corpos d'água restritos, que dificultam o fluxo de água e por isso aceleram as correntes. Nos estuários semifechados, as correntes de marés transversais são forçadas a fluir por desembocaduras estreitas, acelerando sua velocidade e ocasionando maior transporte de sedimentos. À medida que estão livres das desembocaduras, desaceleram e depositam esses materiais formando deltas de maré enchente (interno ao estuário) e vazante (externo ao estuário). (SOUZA et al., 2005; PINET, 2017)

Portanto, por conta da ação das marés ser subordinada à ação das ondas, normalmente, as correntes de marés não ocasionam processos erosivos e deposicionais de sedimentos nas praias, porém, auxiliam no transporte desses materiais ao longo da costa e que podem chegar a esses ambientes (BIRD, 2008), como visto anteriormente.

2.2.3 A ação dos ventos

Além de serem responsáveis pela geração de ondas, os ventos possuem um papel importante na dinâmica sedimentar das praias. São os principais agentes de transporte de sedimentos do interior do continente para a costa e vice-versa. E ainda, podem ocasionar a redistribuição dos sedimentos ao longo da porção praial emersa e o transporte desses materiais em direção ao mar. (BIRD, 2008). Os ventos são essenciais na troca de sedimentos entre praias e dunas frontais, portanto, dependendo do padrão de ventos de cada local, podem ser um dos agentes mais influentes, juntamente com ondas de tempestade, na perda desses materiais em um ambiente, e ganho em outro (SOUZA et al., 2005).

2.3 MORFODINÂMICA PRAIAL E TIPOS DE PRAIAS

A morfodinâmica praial é considerada um método de estudo, e consiste na compreensão do comportamento de uma praia, com base no conjunto de feições deposicionais, processos hidrodinâmicos e de transporte de sedimentos que rege esse ambiente e evolui mutuamente (WRIGHT; SHORT, 1984; CALLIARI et al., 2003). Diferentes modelos morfodinâmicos foram descritos e aperfeiçoados ao longo do tempo, com base em estudos intensivos da morfologia e da dinâmica em ambientes praias ao redor do mundo. Esses modelos definem os diferentes estados ou estágios morfodinâmicos praias e foram desenvolvidos para contribuir com a identificação de diferentes tipos de praias. O ambiente praial é complexo e dinâmico, portanto, o seu estado pode sofrer variações com o tempo. Entretanto, quando este ambiente é analisado em um longo período de tempo, são identificadas características recorrentes que acabam enquadrando em um dos tipos de estados. (CALLIARI et al., 2003; SOUZA et al., 2005)

Dentre os modelos descritos, o mais completo foi proposto por Masselink e Short (1993), porém, foi baseado em modelos antecessores, aplicados para a costa da Austrália e que foram relevantes para o aperfeiçoamento da proposta (WRIGHT; SHORT, 1984; SHORT¹, 1991). Os pesquisadores classificam as praias em três

¹ SHORT, A. D. Macro-mesotidal beach morphodynamics - An overview. **Journal of Coastal Research**, v.7, p.417-436, 1991.

tipos, de acordo com parâmetros que quantificam a contribuição das ondas e das marés nesses ambientes, conforme a seguinte Equação 1:

$$RTR = TR/Hb \quad (1)$$

Em que, RTR (*Relative Tide Range*) é um parâmetro adimensional e corresponde à variação relativa das marés, sendo o produto entre a TR (*mean spring Tide Range*), amplitude média da maré de sizígia (em metros), e a Hb (*breaker wave Height*), altura da onda na arrebentação (em metros). Ou seja, quando as ondas são relativamente altas e a amplitude de maré baixa, o RTR < (menor que) 3, então são praias dominadas por ondas. Entre 3 e ~ (aproximadamente) 10, as praias são dominadas por ondas, mas sob influência da maré. Por fim, quando a altura das ondas são muito baixas e a amplitude de maré relativamente alta, o RTR resulta entre ~ 10 e ~ 50, portanto, as praias são dominadas por marés. De acordo com Klein e Short (2016) as praias brasileiras possuem amplitudes de marés entre 0,5 e 11 m e ondas baixas a altas, resultando em RTR com variações entre < 1 e > 50, portanto, podem-se observar os três tipos de praias ao longo da costa do Brasil.

Os três tipos de praia podem ser classificados em 13 estados morfodinâmicos, de acordo com a proposta por Gourlay² (1968 citado por KLEIN; SHORT, 2016), que quantifica a contribuição relativa da altura e do período de ondas na velocidade de decantação de sedimentos, representada pelo parâmetro adimensional Ω (ômega) e expressa pela Equação 2:

$$\Omega = Hb/WsT \quad (2)$$

Em que, Hb é a altura da onda na arrebentação (em metros), Ws é a velocidade de decantação dos grãos (em metros por segundo) e T é o período da onda (em segundos). Considerando essa expressão, as praias dominadas por ondas podem ser diferenciadas por 6 estados morfodinâmicos e possuem Ω entre 1 e 6. Em praias com ondas relativamente baixas, períodos longos e areias grossas, apresentam $\Omega \sim 1$, portanto, são consideradas reflexivas, estreitas e sem bancos de areia na zona submersa. Quando possuem ondas moderadas a altas, com Ω entre 2 e 5, são denominadas de intermediárias, originando geralmente um ou dois bancos de areia,

² GOURLAY, M. R. Beach and dune erosion tests. **Delft Hydraulics Laboratory**, n.M935/ M936, 1968.

cortados por canais e correntes de retorno. A forma com que os bancos são formados pela ação das correntes, divide as praias intermediárias em 4 estados: (1) bancos e calhas longitudinais ($\Omega \sim 5$); (2) bancos e praias rítmicos ($\Omega \sim 4$); (3) bancos transversais ($\Omega \sim 3$); e (4) terraços de maré baixa ($\Omega \sim 2$). Praias dominadas por ondas também podem ser dissipativas, quando predominam ondas altas e areias finas, com perfil praiado largo e plano e com vários bancos de areia paralelos, apresentando $\Omega \sim 6$.

Praias dominadas por ondas e sob influência das marés são divididas em 3 estados e também possuem Ω entre 1 e 6. Podem ser reflexivas na maré alta e com amplos terraços (~ 100 m) na maré baixa ($\Omega \sim 1$). Ou, reflexivas na maré alta e com formação de bancos cortados por canais de retorno na maré baixa ($\Omega 2-5$). Ou ainda, ultradissipativas caracterizadas como praias muito extensas (> 200 m) e com perfil praiado plano, com areias finas e sem a formação de bancos ($\Omega > 5$).

Já as praias dominadas por marés possuem $\Omega < 1$ e apresentam 4 estados morfodinâmicos com amplas planícies entre marés arenosas e/ou lamosas (com 100 a 1000 m de extensão). Variam de praias de baixa energia na maré alta formando planícies de maré com sulcos sob condições de ondas maiores ($< 0,5$ m) (1), até baixios de areia de baixa energia de maré (2), planícies de maré arenosa (3) e por fim, planícies de maré lamosa (4).

Outros estados morfodinâmicos identificados na costa brasileira e que independem dos parâmetros RTR e Ω ocorrem em praias reflexivas, bordejadas por zonas entre marés rochosas ou recifais.

A breve descrição dos 15 estados morfodinâmicos de praia foi embasada pela obra de Klein e Short (2016), com o propósito de apresentar a diversidade de estados identificados na costa brasileira e que são aprofundados pelas obras de Masselink e Short (1993), Wright e Short (1984) e Short (1991). Segundo Klein e Short (2016), apesar desses modelos terem sido desenvolvidos para a costa australiana, ambos os países possuem praias com variações similares na granulometria dos sedimentos e na energia de ondas e marés.

Além disso, os modelos descritos permitiram que outras classificações fossem propostas por pesquisadores brasileiros. Angulo e Araújo³ (1996 citados por

³ ANGULO R. J.;ARAÚJO A. D. Classificação da costa paranaense com base na sua dinâmica, como subsídio à ocupação da orla litorânea. **Boletim Paranaense de Geociências**: Curitiba, v. 44, p. 7-17, 1996.

ANGULO et al., 2018), por exemplo, classificaram a costa paranaense (tanto rochosa quanto arenosa) em três tipos principais: 1) costas oceânicas ou de mar aberto; 2) estuarinas ou protegidas; 3) e de desembocadura de estuários. As costas oceânicas estão voltadas para o mar e sob influência predominante da ação das ondas e correntes geradas por ondas. As estuarinas ocorrem nas porções internas dos estuários e são dominadas por marés. E as de desembocaduras, que ocorrem tanto orientadas para o interior dos estuários, como voltadas para o mar aberto, sob influência interativa entre ondas e marés e, correntes geradas por ambas, e pela formação de deltas de maré.

2.4 EROÇÃO E ACREÇÃO DA LINHA DE COSTA

A erosão e a acreção (ou deposição) são processos sedimentares que ocorrem ao longo da linha de costa, em função da sua morfologia e da interação entre seus materiais e os processos hidrodinâmicos. Ambos os processos acontecem de forma natural, porém, podem ser acelerados por atividades antrópicas. São caracterizados pelos recuos e avanços da linha de costa, respectivamente, decorrentes do balanço sedimentar em determinado ambiente. Ou seja, o balanço sedimentar, também denominado de estoque arenoso, corresponde à relação entre perdas e ganhos de sedimentos e é determinado pelo volume de materiais erodidos e depositados em determinado ambiente costeiro, como a praia. (SOUZA et al., 2005; PINET, 2017)

Praias em situação de acreção recebem maior volume de sedimentos, provindos de diferentes fontes (como continente, mar aberto e ao longo da costa), do que perdem, apresentando balanço sedimentar positivo (BIRD, 2008; PINET, 2017). São tipicamente convexas e com a formação de bermas e terraços de praia em direção ao mar e dunas acima do nível da maré alta. O acúmulo de materiais eleva o perfil praial e aumenta o seu volume à medida que a linha de costa avança em direção ao mar. (BIRD, 2008)

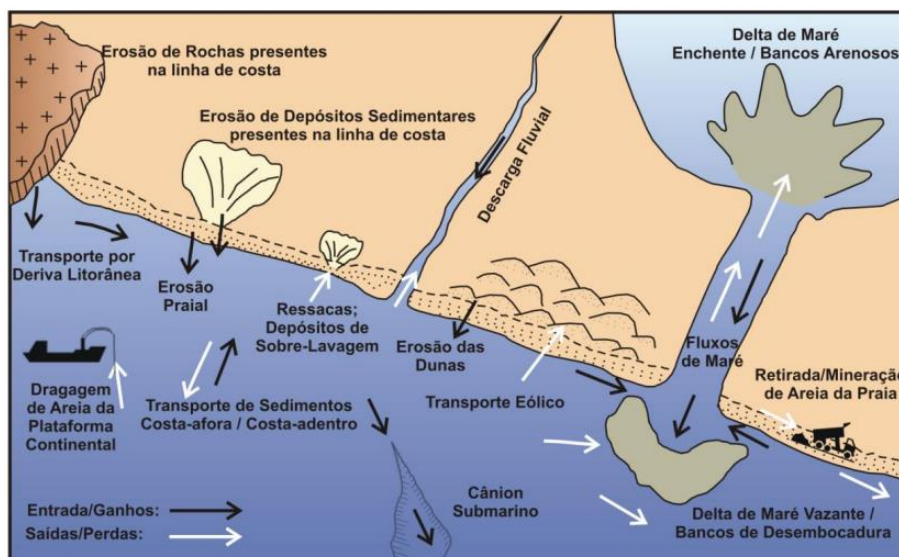
Já as praias que sofrem erosão, perdem maior quantidade de sedimentos do que ganham, obtendo um balanço sedimentar negativo (BIRD, 2008; PINET, 2017). Normalmente possuem declividade levemente inclinada ou côncava apoiada por

uma escarpa (corte quase vertical nos sedimentos da praia), feição formada na parte frontal de bermas ou dunas. Os sedimentos são removidos das praias para a zona de antepraia pelas ondas de tempestade, formando terraços ou depósitos longitudinais, denominados de bancos e canais (rever Figura 1), possibilitando que a zona entremarés se torne mais ampla e plana em uma fase erosiva. (BIRD, 2008)

Quando o ambiente praiar apresenta balanço sedimentar igual a 0, quer dizer que os processos deposicionais e erosivos que ocorrem ao longo de uma praia estão em equilíbrio, ou seja, em situação de estabilidade (PINET, 2007). No entanto, conforme mencionado anteriormente, processos erosivos e deposicionais acontecem de forma natural em qualquer ambiente (continental, costeiro e marinho). Ou seja, o fato de uma praia estar em situação de erosão, condiciona outro ambiente a estar sofrendo deposição, pois são interdependentes e tendem a buscar o equilíbrio dentro de um sistema que vai além do ambiente praiar. Portanto, a alteração na dinâmica desses processos pode desequilibrar tanto as praias quanto os ambientes fontes e sumidouros de sedimentos.

Atrelado à possibilidade citada anteriormente, Souza et al. (2005) apontam que o balanço sedimentar praiar é um sistema complexo, pois depende de uma série de fatores que na maioria das vezes são difíceis de identificar e quantificar precisamente. Alguns exemplos de perdas e ganhos e processos de transporte sedimentar nas praias são representados pela Figura 2 e são listados por SOUZA et al. (2005) e detalhados minuciosamente por Bird (2008) em suas obras.

FIGURA 2 - COMPONENTES DO BALANÇO SEDIMENTAR DE UM SISTEMA PRAIAL



FONTE: SOUZA⁴ (2009).

De acordo com o estudo global realizado por Luijendijk et al. (2018) da situação da linha de costa de praias arenosas nas últimas décadas (1984-2016), aproximadamente 24% desses ambientes sofrem constantemente com processos erosivos, enquanto 27% se encontram em processo de acreção e 49% se mantêm estáveis. Para Konlechner et al. (2020), a expectativa é que a porcentagem de praias erodidas se eleve conforme o aumento do nível relativo do mar, ocasionado pelas mudanças climáticas, e as modificações no clima de ondas, alterando os caminhos de transporte dos sedimentos.

Em âmbito nacional, Muehe (2005) fez um levantamento geral da situação da costa brasileira, baseando-se em estudos de diversos autores, constatando que há o predomínio de trechos erosivos em relação a áreas de acreção, desconsiderando locais de estabilidade. Sendo os registros de erosão concentrados em 40% nas praias, 20% nas falésias sedimentares e 15% nas desembocaduras fluviais. Enquanto os relatos de acreção representam 10% de praias e 15% de desembocaduras de rios e estuários. Segundo o autor, a avaliação demonstra que a costa do Brasil vive uma situação tranquilizadora em relação aos riscos à erosão. No entanto, as causas da erosão sob influência da intervenção humana foram

⁴ SOUZA, C.R. de G. 2009. A Erosão nas Praias do Estado São Paulo: Causas, Consequências, Indicadores de Monitoramento e Risco. In: Bononi, V.L.R., Santos Junior, N.A. (Org.), **Memórias do Conselho Científico da Secretaria do Meio Ambiente: A Síntese de Um Ano de Conhecimento Acumulado**, pp.48-69, Instituto de Botânica – Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo, São Paulo, SP, Brasil. (ISBN 978-85- 7523-025-1)

estimadas em 80% dos casos, principalmente ligadas à urbanização intensa sobre dunas frontais, e a construção de estruturas rígidas, normalmente para conter a erosão, induzindo ao balanço sedimentar negativo constante (MUEHE, 2005).

Pouco menos de 15 anos após este levantamento e a publicação da obra “Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro”⁵ (2006) que contou com a sua coordenação e reuniu diversos pesquisadores de todos os estados costeiros, Muehe (2018) atenta para a importância do constante monitoramento da variação da linha de costa. Em sua recente obra nacional, aponta que estudos em alguns estados brasileiros apresentaram indícios de tendências erosivas em determinadas áreas, mesmo sem a identificação do recuo da linha de costa efetivamente.

A erosão costeira ou praial (neste caso) pode trazer diversas consequências ambientais, sociais e econômicas, causando danos e perdas em ambientes naturais e em usos e atividades antrópicas. Quando essas consequências se tornam expressivas e causam prejuízo econômico, a erosão é vista como um problema. Por conta disso, é considerada como um tipo de desastre natural ou ambiental (SOUZA, 2009; BRASIL, 2018).

2.5 ANÁLISE DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA EM PRAIAS ARENOSAS

A análise da variação da linha de costa é uma abordagem amplamente difundida para avaliar tendências na posição da costa em diferentes escalas de tempo, em especial, em ambientes praias, considerados altamente complexos e dinâmicos. Consiste, portanto, em quantificar essas tendências como suporte para evidenciar e compreender melhor os fatores naturais e antrópicos que interferem no comportamento praial ao longo do tempo, bem como identificar os pontos críticos. (BURNINGHAM; FRENCH, 2017; HAGENAARS et al., 2018; LUIJENDIJK et al., 2018)

Diversos métodos de pesquisa, diretos (*in situ*) e indiretos (obtenção de dados remotos ou em períodos distintos da coleta direta), são utilizados para mensurar a variação na linha de costa. São datados desde os anos de 1960 e dentre eles, os métodos diretos mais usuais são os levantamentos de perfis topográficos e monitoramento da posição da linha de costa através de receptores de GPS (*Global*

⁵ MUEHE, D. (Org.). **Erosão e progradação no litoral brasileiro**. Ministério do Meio Ambiente: Brasília, DF, 476 p., 2006.

Position System). Já os indiretos têm-se o uso de sensores remotos ativos (como o LIDAR - *Light Detection and Ranging*) e passivos (como sensores ópticos) e o monitoramento por vídeo. (SOUZA et al., 2005; CASTELLE et al., 2018)

Entretanto, segundo Castelle et al. (2018), a maioria dos métodos tem suas limitações no tempo (como o LIDAR) e no espaço (como os receptores de GPS), tornando-se inviáveis para monitoramentos contínuos, de longa duração e de grandes extensões territoriais. E como as tendências progressivas no comportamento da linha de costa em ambientes costeiros tendem a ser mais significativas em escala de tempo multi-decadal, tornam os estudos dependentes de análises de conjunto de dados históricos (BURNINGHAM; FRENCH, 2017). Por conta disso, o uso de imagens de satélite produzidas por sensores ópticos tem se tornado indispensável no monitoramento constante da costa, possibilitando qualificar e quantificar os processos sedimentares de erosão e acreção nos ambientes costeiros ao longo do tempo.

O método comumente utilizado para quantificar as mudanças no comportamento da costa através das imagens de satélite é o de extração de diferentes posições históricas de linha de costa, como suporte para cálculos estatísticos de variações horizontais. E desde o início da sua adoção, vem sendo aperfeiçoado em termos de processamento de dados e de protocolos de análise para minimizar os erros, com o auxílio de diferentes softwares de Processamento Digital de Imagem (PDI) e Sistema de Informação Geográfica (SIG) (por exemplo, DOLAN et al., 1991; BURNINGHAM; FRENCH, 2017; THIELER et al., 2017). No entanto, o método é dependente do tipo de acesso (gratuito ou pago) e da quantidade de imagens disponíveis (por conta do acesso, do período de lançamento dos sensores e da resolução temporal das imagens), além da eficiência de *hardwares* no processamento de dados, que são normalmente pesados.

O lançamento recente da plataforma *Google Earth Engine* (GEE), permite detectar mudanças na costa de maneira eficiente. Pois, minimiza limitações de acesso, quantidade e suporte de dados, uma vez que contém armazenado em sua plataforma um conjunto de imagens de satélite em escala global em constante atualização, além de recursos de análises computacionais, ambos baseados em nuvem. Ou seja, é possível fazer todo o processamento dos dados via *web*, sem a necessidade de baixá-los em um disco local do computador. (LUIJENDIJK et al., 2018; ALMEIDA et al., 2021).

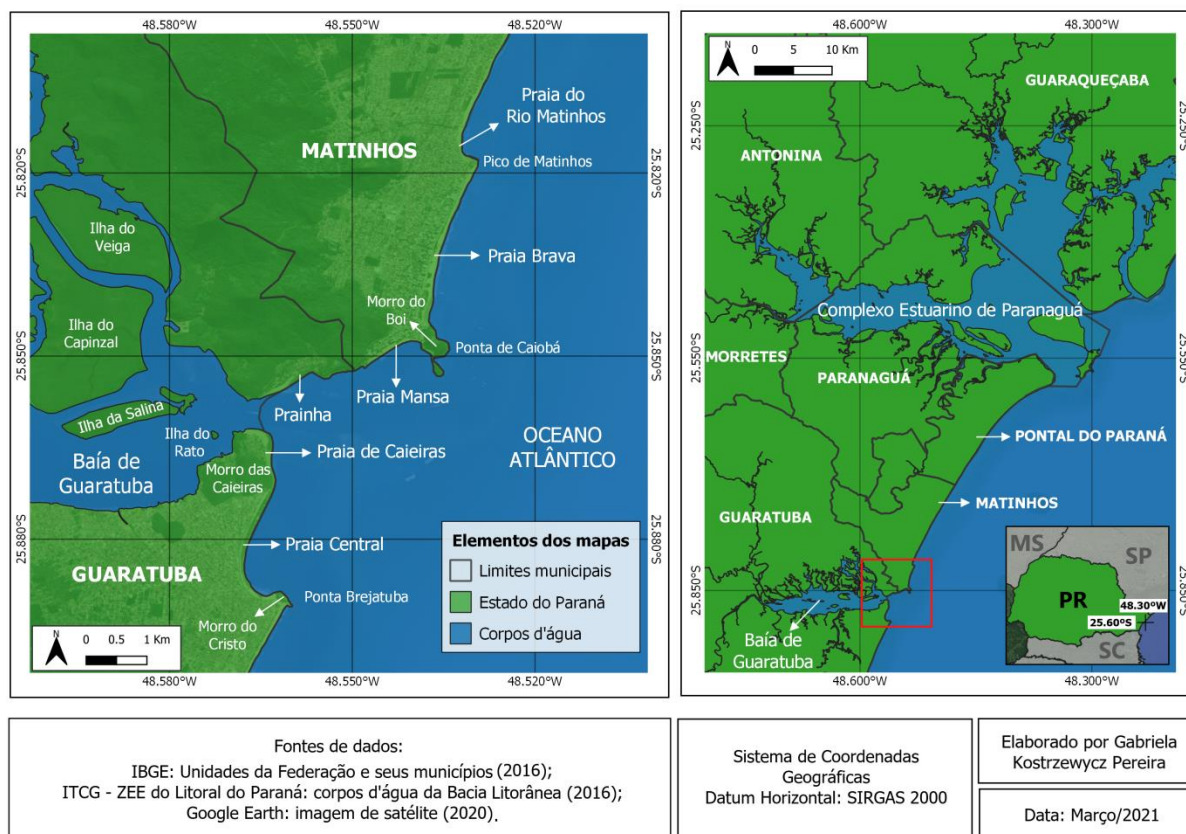
Além disso, o GEE possibilita que desenvolvedores criem suas próprias ferramentas de análise paralelas à plataforma, através da Interface de Programação de Aplicativos (*Application Programming Interface* - API), por meio de linguagens de programação (como *JavaScript* e *Python*). Como produto das ferramentas do GEE, o aplicativo de código aberto CASSIE (*Coastal Analyst System from Space Imagery Engine*) foi desenvolvido por pesquisadores brasileiros em 2019 (ALMEIDA et al., 2021), com a finalidade de mapear e analisar automaticamente a linha de costa, combinando dois processos automáticos em uma única ferramenta: 1) a extração da posição da linha de costa através de imagens dos satélites Landsat e Sentinel-2 gratuitamente disponíveis na plataforma; 2) e a execução de análises estatísticas, baseadas na abordagem utilizada na ferramenta de extensão *Digital Shoreline Analysis System* (DSAS), gratuita, mas desenvolvido exclusivamente para o *software Esri Geographic Information System* (ArcGIS) (THIELER et al., 2017).

De acordo com Almeida et al. (2021) o novo conceito de armazenamento e recursos computacionais de *big data* baseados em nuvem do GEE, somado à interface intuitiva e o nível alto de automação do CASSIE (ambos de acesso público), torna a ferramenta uma possibilidade viável no fornecimento de dados para estudos de compreensão do comportamento da linha de costa ao longo do tempo. De acordo com Burningham e French (2017), ter uma compreensão robusta das tendências de posição da linha de costa no passado, é o primeiro passo para prever cenários futuros de mudanças costeiras e promover conhecimento necessário para a gestão adequada de áreas costeiras e em longo prazo.

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

O estudo teve como recorte espacial o Litoral Centro-Sul do estado do Paraná, mais precisamente as praias situadas ao norte do município de Guaratuba e ao sul do município de Matinhos. Foram analisadas 6 praias no total, sendo Praia Central, Praia de Caieiras e Prainha pertencentes ao município de Guaratuba, enquanto Praia Mansa, Praia Brava e Praia do Rio Matinhos (comumente conhecida como Praia Central) estão localizadas no município de Matinhos (FIGURA 3).

FIGURA 3 - MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO



FONTE: A autora (2021)

O processo de ocupação da orla dos municípios de Matinhos e Guaratuba teve início nos anos de 1950. Mas foi a partir dos anos de 1960 que os ambientes praias se tornaram culturalmente atrativos nos períodos de verão, resultando no estabelecimento dos balneários e na ocupação da orla de forma linear-contínua (DESCHAMPS; KLEINKE 2000). O uso balneário se tornou responsável por definir a dinâmica econômica de ambos os municípios, que adequaram suas necessidades

ao turismo de veraneio, investindo em atividades de comércio e serviço, promovendo o crescimento populacional.

A instituição tardia de políticas e instrumentos de ordenamento territorial e da fiscalização em ambos os municípios, resultou na expansão e no adensamento de edificações e parcelamentos do solo ao uso de veraneio, de forma acelerada e desordenada, desconsiderando as condições naturais locais e suas importâncias ambientais. Acarretando a ocupação e a supressão de áreas de restinga, encostas de pontais rochosos, dunas frontais e até mesmo de praias, o aterramento de brejos, a canalização expressivas de rios e córregos, dentre outros impactos. Alterações antrópicas que, juntamente com eventos de ressaca, por exemplo, aceleraram processos destrutivos da linha de costa, causando perdas e danos residenciais, de edificações públicas e infra-estruturas urbanas. (MOURA; WERNECK, 2000; PIERRI, et al., 2006).

3.1 HERANÇA GEOLÓGICA, AGENTES E PROCESSOS COSTEIROS

Segundo Angulo (2004), as principais feições geológicas encontradas na área de estudo fazem parte de dois domínios geológicos: rochas do complexo cristalino ou cobertura sedimentar Cenozóica. Ocorrem na área depósitos de sedimentos arenosos do Quaternário, de origens continentais e costeiras, incluindo ambientes recentes de sedimentação, bem como afloramentos rochosos constituídos por gnaisses e migmatitos do Proterozóico (ANGULO, 2004; MINEROPAR, 2006).

A área está localizada em uma das regiões de paisagens naturais do Paraná propostas por Maack (2012), denominada de Litoral, cuja relação com os dois domínios geológicos revela dois grandes compartimentos geomorfológicos: 1) a zona montanhosa litorânea, com a presença de morros próximos à linha de costa (rever Figura 3); 2) e a planície litorânea ou costeira, formada devido às grandes oscilações no nível do mar no Período Quaternário e que compõe diferentes subcompartimentos como cordões litorâneos, dunas frontais, planícies de maré, deltas de maré, praias, dentre outras. (ANGULO, 2004; ANGULO et al., 2006)

Essa configuração geológica/geomorfológica da região permite a formação de reservatórios de água diversos que drenam as encostas da Serra do Mar, recortam a planície costeira e desaguam no mar. O sistema de drenagem da área de estudo abrange as Bacias Hidrográficas de Paranaguá e Guaratuba, complexos estuarinos

constituídos por várias sub-bacias, sendo que algumas delas têm seus cursos d'água desaguardo na área em estudo, como é o caso do Rio Matinhos (ao norte). No entanto, a área possui maior influência da dinâmica estuarina advinda da Baía de Guaratuba, pela proximidade. Juntas, as Bacias Hidrográficas de Paranaguá e Guaratuba representam aproximadamente 97% do sistema de drenagem da Bacia Litorânea Paranaense. (ANGULO et al., 2018; ANGULO et al., 2020)

O clima local, segundo a classificação de Köppen, é do tipo Cfa, ou seja, subtropical úmido mesotérmico, com verões quentes. A temperatura média anual varia entre 16°C e 18°C e a média anual de precipitação é de aproximadamente 2.300 mm, possuindo valores máximos durante o verão, associados ao movimento da Massa Tropical Atlântica (MTa) sobre a área. Entretanto, em períodos de *El Niño*, esses eventos causam o aumento das precipitações na região sul do país. (VANHONI; MENDONÇA, 2008)

A dinâmica local de ventos é definida de acordo com o fluxo da MTa, gerada pelo Anticiclone semifixo do Atlântico Sul, conjuntamente com o movimento da Massa Polar Atlântica (MPa) de inverno, originada pelo Anticiclone Polar móvel (ANGULO et al., 2016). De acordo com Fomin (2013), predominam ventos de quadrantes leste, sudeste e sul, em especial, nos períodos de verão e primavera, e representam também os ventos de maior intensidade (≥ 7.4 m/s).

Segundo Nemes e Marone (2013), o regime de ondas na plataforma interna rasa do estado do Paraná possui direção predominante de propagação de sul-sudeste, sendo dominado por ondas de alta frequência (vagas) originadas pelos ventos em locais próximos à costa (< 1000 km). Já o regime de maré é caracterizado como semidiurno, com amplitude de maré de sizígia de aproximadamente 1,5 m e velocidade da corrente de maré vazante, no período de quadratura, atingindo 2,3 m/s na desembocadura da baía (MARONE et al., 2006).

De acordo com Lessa et al. (2000), o Litoral do Paraná está sujeito a um sistema de transporte sedimentar em escala regional, associado às correntes longitudinais geradas por ondas que movem sedimentos tanto para norte quanto para sul, por dois sistemas de ondas opostos de sul-sudeste e leste-nordeste. No entanto, o transporte líquido ocasionado pela deriva litorânea ao longo da costa paranaense é pouco conhecido (ANGULO et al., 2018), havendo indícios de que ocorre com maior intensidade para norte (LESSA et al., 2000).

O transporte contínuo dos sedimentos para norte pelas correntes longitudinais é beneficiado pela ação das correntes de maré vazante que dominam ambos os sistemas estuarinos da região. Essas correntes transportam sedimentos de dentro para fora dos estuários que se acumulam em frente às suas desembocaduras e originam feições denominadas de deltas de maré-vazante. Essas feições, ao mesmo tempo em que atuam como barreiras naturais, são importantes fontes sedimentares. Ou seja, à medida que as correntes longitudinais encontram essas áreas, a deriva litorânea alimenta os deltas com sedimentos marinhos, em contrapartida, o delta fornece sedimentos para que o transporte litorâneo siga à sotamar. Portanto, as trocas sedimentares neste local definem os processos sedimentares em ambientes adjacentes, sendo assim, possíveis alterações na dinâmica dos sedimentos, sejam elas naturais ou antrópicas, podem desestabilizar esses ambientes. (ANGULO et al., 2020; LESSA et al., 2020)

3.2 AS PRAIAS

De acordo com a classificação da costa paranaense baseada na morfodinâmica, proposta por Angulo e Araújo (1996), a área de estudo contempla dois tipos de praias (costas arenosas): 1) oceânicas ou de mar aberto; 2) de desembocadura de estuários. Dentre elas, Praia de Caieiras, Prainha e Praia Mansa são consideradas praias de desembocadura em suas extensões totais, pois estão localizadas às margens da desembocadura da Baía de Guaratuba. Enquanto Praia Central de Guaratuba e Praia Brava possuem tal comportamento apenas nas suas porções norte e sul, respectivamente, pela proximidade com a desembocadura e pela mobilidade do delta de maré vazante, sendo que o restante das suas extensões são consideradas do tipo oceânica. Já a Praia do Rio Matinhos é considerada exclusivamente oceânica. (ANGULO et al., 2006)

O enquadramento das praias de acordo com sua morfodinâmica é corroborado, em grande parte, pelo estudo de Barros et al. (2001) que se baseia nos modelos australianos para definir os estados morfodinâmicos praias, obtendo os valores de Ω . Como forma de identificar os agentes dominantes das praias através do parâmetro RTR, foram utilizados: 1) o valor médio da maré de sizígia obtido por Marone et al. (2006) de 1,5 m; e 2) os valores de altura de onda registrados por Barros et al. (2001) para os pontos de coleta.

Segundo Barros et al. (2001), os sedimentos da área são compostos por areias quartzosas, de granulometria fina a grossa, bem selecionadas a moderadamente selecionadas, e materiais carbonáticos representando menos de 10% de toda a composição. Houve a predominância de material fino nas porções central e sul da Praia Central de Guaratuba e na porção central da Praia Brava, todas dominadas pela ação das ondas ($RTR = 2,1, 1,7$ e $1,2$, respectivamente). Entretanto, as duas primeiras apresentaram comportamento intermediário ($\Omega = 4,3$ e $3,6$), com a formação de bancos na porção submersa, enquanto o ponto central da Praia Brava teve comportamento predominantemente dissipativo ($\Omega = 7,3$), com perfil suave, ondas altas e zona de surfe compondo duas arrebentações.

A Praia Mansa e a porção norte da Praia Brava apresentaram areias grossas na parte subaérea da praia e areias finas na parte submersa, sendo ambas dominadas por ondas, no entanto, a Praia Mansa é influenciada pela maré ($RTR = 3,0$ e $2,0$, respectivamente). A Praia Mansa apresentou um comportamento reflexivo típico ($\Omega = 1,7$), com perfil íngreme e estável e com a presença de cúspides (sedimentos em forma de arco) na face praial. Enquanto a parte norte da Praia Brava apresentou um comportamento inusitado, com a face praial reflexiva ($\Omega = 1,1$), porém com alta dissipação de energia das ondas na zona de surfe.

Os dados sugerem que a Praia Mansa e a parte central da Praia Brava possuem baixa variação sazonal nos seus perfis praias, enquanto a porção central da Praia Central de Guaratuba apresentou a maior mobilidade sazonal, em especial no comportamento dos bancos submersos. A maior variação entre as porções subaéreas e submersas da praia foram registradas na parte norte da Praia Brava para ambos os períodos de inverno e verão.

Com exceção da Praia Mansa, o estudo de Barros et al. (2001) não contemplou o restante das praias dominadas por ondas e sob influência das marés, definidas por Angulo e Araújo (1996), Praia de Caieiras e Prainha, nem mesmo as porções sul da Praia Brava e norte da Praia Central de Guaratuba. Possivelmente pelas modificações constantes que as praias possuem por conta da influência da desembocadura da baía. No entanto, os parâmetros RTR e Ω , que foram bons indicadores para compreender a morfodinâmica das praias analisadas por Barros et al. (2001), poderiam auxiliar na delimitação da influência das marés, bem como compreender os estados morfodinâmicos praias ao longo do tempo nas praias pouco estudadas.

Por conta da distância da Baía de Guaratuba, a Praia do Rio Matinhos também não foi contemplada na análise de Barros et al. (2001). Entretanto, outros autores identificam o comportamento praiado como sendo dissipativo, dominado por ondas altas e com presença de sedimentos finos, moderadamente a bem selecionados (ANGULO, et al., 2016; NOVAK, 2017).

Considerando, especialmente, a localização geográfica em relação à distância da desembocadura da Baía de Guaratuba e suas orientações relacionadas à costa, as praias foram divididas em 3 setores para a análise: 1) Setor Norte: Praia do Rio Matinhos e Praia Brava; 2) Setor Central: Praia Mansa e Prainha; 3) Setor Sul: Praia de Caieiras e Praia Central de Guaratuba. Sendo assim, o panorama geral da situação dessas praias será apresentado a seguir, conforme as três setorizações propostas.

3.2.1 Setor Norte

O Setor Norte é limitado ao norte pelo Balneário Flamingos e ao sul pela Ponta de Caiobá, onde está localizado o Parque Municipal do Morro do Boi, instituído pela Lei nº 1.067/06 (MATINHOS, 2006). A Praia do Rio Matinhos e a Praia Brava são separadas pela Ponta de Matinhos, pontal rochoso que as divide em dois arcos praiados distintos: 1) Ao norte, o arco praiado Pontal do Sul-Matinhos (35 km), cuja Praia do Rio Matinhos está inserida, com orientação nordeste-sudoeste e que abrange diversos balneários dos municípios de Pontal do Paraná e Matinhos; 2) e ao sul, o arco-praiado Matinhos-Caiobá (3,2 km) que contempla toda a extensão da Praia Brava e possui orientação norte-nordeste (ANGULO et al., 2006).

O processo histórico de ocupação e a construção da Avenida Beira Mar nos anos de 1990 sobre a faixa dinâmica praiado em ambas as praias ocasionaram diversos problemas erosivos que foram solucionados temporariamente com obras emergenciais, como a instalação de muros de contenção e de enrocamentos de rochas. Mas bastavam ocorrer os eventos de ressaca que os problemas continuavam.

O evento mais conhecido ocorreu em maio de 2001 e causou danos na infraestrutura urbana e em residências localizadas próximas ao mar na Praia do Rio Matinhos (parte norte da sua extensão considerada no presente estudo), culminando na realocação da população residente (ANGULO et al., 2018). A desocupação da

área resultou em um processo natural de recomposição do ambiente praia-duna no local e atualmente se enquadra em uma zona de restrição máxima de uso e ocupação (PARANÁ, 2014b). Em contrapartida, a realocação populacional provocou a dispersão forçada de um grupo de pescadoras e pescadores artesanais, enfraquecendo o território pesqueiro local (MAFRA, 2019). A Praia Brava também possui em suas porções sul e central a presença de dunas frontais (vegetadas e não vegetadas) em contato com o ambiente praias, no entanto, as construções sobre a área dinâmica da praia, já mencionadas, modificaram suas extensões (em comprimento e largura) ao longo do tempo. Ao sul, além da influência mais marcante da migração natural de bancos transversais de delta de maré vazante, foram construídos esporões perpendiculares à linha de costa nos anos de 1980, com o intuito de acumular naturalmente os sedimentos nos locais. Porém, acabou intensificando os processos erosivos em áreas mais ao norte, especialmente por conta do sentido da deriva litorânea, transportando os sedimentos de sul para norte. Culminando em várias obras de contenção de erosão de forma emergencial, porém, malsucedidas nas porções adjacentes, visto que o arco praias como um todo sofre um processo de retroalimentação positiva. Por isso, os problemas perduram, e a cada evento de ressaca no centro-norte da Praia Brava e no sul da Praia do Rio Matinhos, é noticiado o avanço do mar sobre calçadas e edificações (ANGULO et al., 2006; ANGULO et al., 2018).

3.2.2 Setor Central

Prainha e Praia Mansa são dois arcos praias localizados em municípios diferentes, ambos orientados para sul-sudeste e separados por pontais rochosos correspondentes a Serra da Prata que estão inseridos no Parque Nacional de Saint-Hilaire/Lange, instituído pela Lei nº10.227/01 (BRASIL, 2001).

Assim como as praias do Setor Norte, a Praia Mansa sofreu diversas obras de contenção à erosão desde o início da sua ocupação intensa, nos anos de 1960. Entre os anos de 1950 e 1980, ocorreu um forte processo de retrogradação da linha de costa por conta do afastamento dos bancos frontais do delta de maré vazante (de aproximadamente 300 m), intensificando a ação das ondas sobre a praia. E que possivelmente foi agravada pelas alterações antrópicas associadas ao uso e ocupação da faixa dinâmica da praia (residências, pavimentações de ruas,

calçamentos, etc.) e às tentativas falhas de contenção à erosão (como muros de contenção, enrocamentos, esporão e alimentação artificial). (LINDORTH, 1982; ANGULO et al., 2006)

Após milhões de dólares de despesas aos cofres públicos por obras malsucedidas, em 1980, a instalação de muros paralelos à costa, com pequenos espigões perpendiculares ao longo do perfil praiial revestidos em gabiões, ocasionou a rápida e crescente deposição natural de sedimentos na praia (LINDORTH, 1982). No entanto, Angulo et al. (2006) atenta para a possibilidade de uma ação em conjunto com as mudanças naturais influenciadas pela desembocadura da baía. O mesmo procedimento foi realizado na parte sul da Praia Brava, favorecendo a deposição sedimentar local, mas em contraponto, trouxe problemas às praias mais ao norte, como já mencionado na seção anterior.

A oeste da Praia Mansa se localiza a Prainha, o ambiente praiial da margem norte da Baía de Guaratuba mais próximo da sua desembocadura e inserida em uma zona balneária (PARANÁ, 2014a). A formação de um banco longitudinal às margens do canal principal do delta de maré vazante condiciona toda a morfologia desse ambiente. Estudos de análise da evolução da linha de costa no local constataram que alterações na configuração do canal principal originaram intensos processos de erosão e acreção de dezenas a centenas de metros, em escala interdecadal. (ANGULO et al., 2006)

Atualmente, a costa é constituída a leste por enrocamentos de rochas muito próximos às residências, evidenciando as ocupações dessa área em períodos de intensa progradação da linha de costa. Em condições de maré alta o mar avança até esses paredões, sem a identificação da zona pós-praia. Já nas porções central e oeste, a costa é formada por um ambiente praiial associado às dunas frontais, com alguns pontos com vegetação preservada na retropraia e com a descarga de um curso d'água na porção central.

3.2.3 Setor Sul

Praia de Caieiras e Praia Central de Guaratuba estão localizadas na margem sul da Baía de Guaratuba. São limitadas ao norte pelo Morro de Caieiras e ao sul pelo Morro do Cristo, ambos inseridos em zonas de preservação ambiental

(PARANÁ, 2014a), sendo o primeiro responsável por separar as praias em dois arcos praias.

Assim como nas praias do Setor Central, a Praia de Caieiras recebe forte influência do delta de maré vazante, portanto, são consideradas ambientes instáveis. Caieiras possui uma face de praia menor, com orientação leste-oeste associada à formação de dunas e localizada defronte com o canal de maré vazante principal, e outra face maior com orientação noroeste-sudeste, influenciada pelos bancos frontais do delta que se estendem até aproximadamente 4 km da costa (BESSA JR., 2003; ANGULO et al., 2006). Bessa Jr. (2003) avaliou em 1954, 1980 e 1997 a mobilidade dos bancos que constituem o delta de maré vazante, tanto na margem norte, quanto na margem sul da desembocadura, constatando maior complexidade morfológica ao sul. Importante ponto de partida para avaliar as variações mais recentes na linha de costa.

Períodos de erosão e acreção são observados na face de praia menor, assim como ocorre na Prainha, por conta da influência do canal principal. Enquanto na parte mais ao sul de Caieiras a linha de costa apresentou taxas de acreção em um mesmo ponto, durante dois períodos, sendo 2,8 m/ano entre 1954 e 1980 e 1,7 m/ano entre 2001 e 2013. (ANGULO et al., 2018)

Por fim, a Praia Central de Guaratuba, arco praias mais ao sul da área de estudo, possui extensão de 2,5 km, com muros de contenção ao longo de toda a sua linha de costa e galerias de águas pluviais que deságuam na praia. A maior parte dela é caracterizada como praia oceânica (2,1 km), enquanto uma pequena porção ao norte (400 m) é influenciada pela ação do delta de maré vazante. No entanto, levantamentos de dados correspondentes aos mesmos períodos mencionados acima para a Praia de Caieiras, apontaram estabilidade em todo o setor da Praia Central. (ANGULO et al., 2018). De qualquer forma, é importante considerar o sistema regional de transporte de sedimentos, de sul para norte, que ao contornar o Morro do Cristo, pode ocasionar a deposição desses materiais na Praia Central, formando esporões. Portanto, tanto a origem quanto a migração dessas feições ao longo da Praia Central, podem acarretar em variações de dezenas de metros da linha de costa, em escalas anuais a decadais. (ANGULO et al., 2016).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a elaboração do estudo teve diferentes formas de operacionalização, dividindo-se em método principal e métodos secundários. O método principal consistiu no processo de aquisição, tratamento, distribuição espacial e análise de dados quantitativos e qualitativos da variação da linha de costa nos ambientes praias, baseado na obtenção de dados indiretos, através de uma ferramenta automática. Já os métodos secundários foram utilizados como instrumentos complementares de obtenção de dados e informações, dividindo-se entre: 1) investigações observacionais *in situ* e remotamente; 2) e métodos convencionais de extração da linha de costa, como comparação às linhas geradas automaticamente na etapa principal, e também, como apoio material nas representações ilustrativas.

As investigações *in situ* ocorreram em dois momentos: 1) em outubro de 2020 nas praias do município de Guaratuba, localizadas na margem sul da baía (Praia Central de Guaratuba e Praia de Caieiras); 2) em março de 2021, nas praias localizadas na margem norte da baía (Praia Mansa, Praia Brava e Praia do Rio Matinhos). Foram priorizadas as investigações de possíveis pontos críticos identificados pela etapa principal do estudo e de indícios de consequências da interação entre morfodinâmica sedimentar e os tipos de uso e ocupação do solo, ambos com base em estudos anteriores. Essas investigações se somaram às observações remotas, através de imagens históricas disponíveis na ferramenta *Google Earth* para auxiliar na análise e na compreensão dos resultados.

Quanto aos outros dois métodos, principal e secundário, foram desempenhados de forma processual, em que cada etapa é igualmente importante, especialmente para reconhecer possíveis erros e bons desempenhos, com base nas condições reais da área em estudo. Por isso, serão detalhados a seguir.

4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS PELA FERRAMENTA CASSIE

A aquisição de dados de delimitação e quantificação da evolução da linha de costa em determinado intervalo de tempo foi realizada majoritariamente através da ferramenta *Coastal Analyst System from Space Imagery Engine* (CASSIE). O fluxo de trabalho do CASSIE envolve a interação do usuário com a ferramenta,

condicionando o processamento interno das imagens, através da seleção da missão de satélite desejada, do recorte espacial de interesse, do período temporal da análise e da cobertura de nuvens ideal (ALMEIDA et al., 2021). Esta primeira etapa gera um recorte no catálogo de imagens, permitindo que o usuário faça seu próprio refinamento de seleção para a etapa da análise da linha de costa em si.

4.1.1 Seleção de imagens

Para o presente trabalho foram escolhidas as missões do satélite *Landsat*, cuja ferramenta permite acesso às imagens de reflectância de superfície do *Landsat-5/TM* (*Thematic Mapper sensor*), *Landsat-7/ETM+* (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) e *Landsat-8/OLI* (*Operational Land Imager sensor*), em nível 1 de processamento (ALMEIDA et al., 2021). Entretanto, apenas as imagens do *Landsat-5* e do *Landsat-8* estavam disponíveis para a área. Ambos os sensores dos satélites da série *Landsat*, TM e OLI, são alguns dos principais imageadores de média resolução espacial (30 m) com aplicações em estudos de zonas costeiras. Em especial, são amplamente utilizados para estudos de variações temporais da linha de costa de mesoescala, pois juntos, permitem o acesso a imagens com período temporal de 1984 até o presente momento (ALMONACID-CABALLER et al., 2016; LUIJENDIJK et al., 2018; XU, 2018).

A área de interesse foi então delimitada, de acordo com a abrangência espacial do estudo, para que as imagens fossem recortadas, acelerando o processamento interno. Como a área abrange apenas uma órbita/ponto (220/78) da grade de imagens *Landsat*, não houve a necessidade de realizar um mosaico. Além disso, apenas as bandas do vermelho, verde e infravermelho próximo foram utilizadas, pois são essas bandas específicas necessárias para o processamento interno de detecção da linha de costa pelo CASSIE (ALMEIDA et al., 2021).

A partir do pré-processamento dessas imagens, foi feita a avaliação inicial de qualidade em relação à cobertura de nuvem e foi definido o intervalo temporal da análise. Optou-se por selecionar apenas as imagens sob condições de cobertura iguais ou inferiores a 10% ($\leq 10\%$) e que contemplassem todo o período temporal de disponibilidade de dados de ambos os sensores, desde o lançamento do *Landsat-5/TM* até a imagem mais recente do *Landsat-8/OLI* no momento da aquisição dos dados (novembro de 2020). Após essa seleção prévia, as imagens foram

minuciosamente avaliadas pela autora, pois foi verificado que mesmo com o filtro de cobertura de nuvens $\leq 10\%$, algumas porções da área de estudo ainda estavam comprometidas.

Os ambientes praias são comumente usados como objetos de estudos para avaliar tendências de mudanças na linha de costa, com base em um indicador. Um dos indicadores mais utilizados na análise de linha de costa através de imagens de satélites é a interface entre a areia úmida e a areia seca na porção emersa da praia, que resulta do alcance das ondas na maré alta, visualmente perceptíveis em imagens (BOAK; TURNER, 2005). Entretanto, a ferramenta CASSIE considera como indicador a linha d'água no momento do imageamento (ALMEIDA et al., 2021), apontado com um dos indicadores menos confiáveis nas investigações de mudanças na linha de costa (BOAK; TURNER, 2005).

Na prática, a aplicação de ambos os indicadores é desafiadora, pois são atribuídos a ambientes dinâmicos e podem levar a erros de interpretação entre tendências de mudanças e variações resultantes de uma dinâmica cíclica natural da linha de costa (MUEHE; KLUMB-OLIVEIRA, 2014). Portanto, é importante obter um número suficiente de linhas de costa durante um intervalo de tempo de longo prazo para minimizar os erros, além de considerar a condição de maré no momento do imageamento (ALMONACID-CABALLER et al., 2016).

Apesar de a área de estudo possuir um regime de micromaré semidiurna (MARONE et al., 2006), adequado para a aplicação de indicadores de linha de costa na porção emersa da praia (CROWELL et al., 1991), há praias dominadas por ondas, mas que são influenciadas pela ação das marés também. O CASSIE não realiza a correção do deslocamento da linha de costa induzido pela maré e também não permite que valores de incertezas ocasionados por fatores naturais sejam considerados no procedimento. Pois, diferentemente do DSAS, que o usuário precisa importar as linhas de costas geradas, o CASSIE realiza todo o procedimento. Portanto, cabe ao usuário considerar as condições de maré no momento de seleção das imagens.

Sendo assim, a seleção final das imagens se baseou, principalmente, na disponibilidade no catálogo do GEE, com a finalidade de abranger um número significativo de imagens, definindo o recorte temporal de 35 anos para o estudo (entre 1985 e 2020). Adicionalmente à disponibilidade, foram considerados os valores de altura de maré no momento do imageamento, obtidos de tábuas de

marés históricas (CPTEC, 2021a), bem como os anos de ocorrência de *El Niño* (CPTEC, 2021b). A avaliação desses dados e informações auxiliou no descarte de imagens registradas em momentos de preamar, especialmente em marés de sizígia, e de períodos intensos de *El Niño*. No entanto, os dados das tábuas de marés históricas estão acessíveis apenas a partir de 2006, logo, para a seleção das imagens que antecedem este período, foram consideradas a disponibilidade no catálogo e a ocorrência de *El Niño* durante o imageamento. Os critérios utilizados permitiram a seleção de 50 imagens no total (APÊNDICE 1).

4.1.2 Detecção da linha de costa

Com as imagens selecionadas, o CASSIE gerou automaticamente a posição da linha de costa para cada uma delas, aplicando o Índice de Diferença Normalizada da Água (*Normalized Difference Water Index - NDWI*). O NDWI foi proposto por McFeeters⁶ (1996) e é utilizado para identificar a interface entre água e terra, sendo calculado da seguinte forma (EQUAÇÃO 3):

$$NDWI = \frac{(Green - NIR)}{(Green + NIR)} \quad (3)$$

em que *green* e NIR (*Near-InfraRed*) correspondem às bandas espectrais do verde (banda 2 no *Landsat-5* e banda 3 no *Landsat-8*) e do infravermelho próximo (banda 4 no *Landsat-5* e banda 5 no *Landsat-8*), das quais os valores de reflectância dos pixels são considerados para o cálculo. Os valores do NDWI variam de -1 a 1, sendo que 0 é definido pelo autor como o limite entre água e terra. Quando o resultado apresenta um *raster* com histograma bimodal, quer dizer que terra e água são facilmente distinguidas, então, ambas são reclassificadas pelo CASSIE atribuindo o algoritmo de limiar de Otsu⁷ para duas classes = 0 (1979, citado por ALMEIDA et al., 2021), cujo valor precisa ser indicado pelo usuário. No entanto, em ambientes estuarinos, o histograma do *raster* pode apresentar um pico entre terra e água, que corresponde às zonas entremarés e que podem resultar em linhas de

⁶ MCFEETERS, S.K. The use of normalized difference water index (NDWI) in the delineation of open water features. **International Journal of Remote Sensing**, v. 17, p. 1425–1432, 1996.

⁷ OTSU, N. A threshold selection method from gray-level histograms. **IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics**, v. SMC-9, n. 1, p. 62-66, 1979.

costas posicionadas nas zonas de surfe, por exemplo. Para minimizar este problema, o CASSIE permite aplicar o algoritmo de limiar multinível de Otsu = -1, que classifica a imagem em três classes (água, terra e zonas entremarés) inicialmente, agrupando os valores semelhantes de pixels. Posteriormente, reclassifica a imagem em duas classes sendo que água e zonas entremarés são agrupadas em uma única classe, e a terra em outra. (ALMEIDA et al., 2021)

Considerando a influência da desembocadura da Baía de Guaratuba sobre as praias ao entorno e após a realização de diferentes testes, optou-se por utilizar o algoritmo de limiar multinível (-1) como padrão de detecção das linhas de costa para todas as praias. Além desse parâmetro de entrada, o usuário define a extensão e a distância entre os transectos, que são linhas geradas perpendicularmente à costa a partir de uma linha de base delimitada manualmente pelo usuário, paralela à costa e sobre o continente. Os transectos possibilitam a extração da linha de costa na sua forma vetorial, através de pontos de intersecção entre essas feições e a interface água-terra gerada pela imagem classificada. Para o estudo, foram considerados os valores de extensão dos transectos de 1000 m e a distância entre eles de 100 m. Os pontos de intersecção e a posição da linha de base fornecem informações para os cálculos de métricas de mudanças da linha de costa, realizadas pela ferramenta e descritas a seguir.

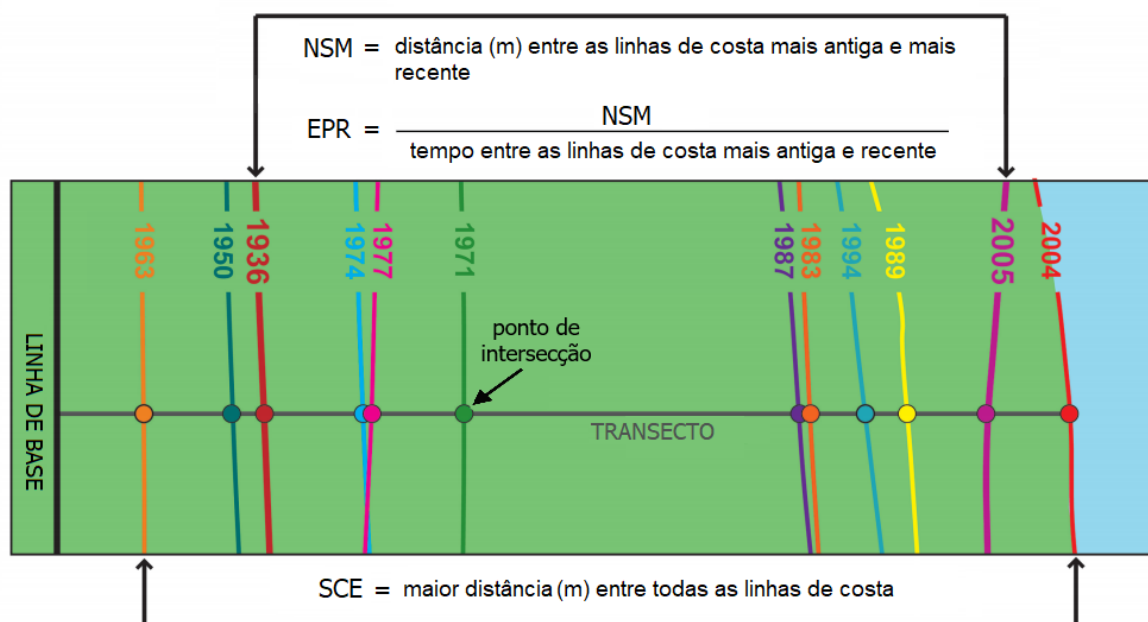
4.1.3 Análises estatísticas da linha de costa

Após a extração da linha de costa de todas as imagens selecionadas, o CASSIE realiza 4 análises estatísticas de mudança da linha de costa para cada transecto gerado que seguem a mesma abordagem da ferramenta DSAS (THIELER et al., 2017) e são descritas abaixo:

- Envelope de Mudança da Linha de Costa - *Shoreline Change Envelope* (SCE): corresponde a uma métrica de distância entre a linha de costa mais distante e a mais próxima da linha de base em cada transecto (m). Como a mudança na posição não está atrelada à data das linhas de costa, as linhas utilizadas para o cálculo podem variar a cada transecto (FIGURA 4);

- Movimento líquido da linha de costa - *Net Shoreline Movement* (NSM): corresponde à outra métrica de distância entre a linha de costa mais antiga e a mais recente (m). Difere-se do SCE por considerar as mesmas linhas de costa para calcular as distâncias em todos os transectos;
- Ponto extremo - *End Point Rate* (EPR): taxa de variação que calcula o produto da distância do movimento da linha de costa pelo tempo decorrido entre as linhas de costa mais antiga e a mais recente (m/ano), desconsiderando as datas intermediárias;

FIGURA 4 – REPRESENTAÇÃO DAS MÉTRICAS SCE, NSM E EPR



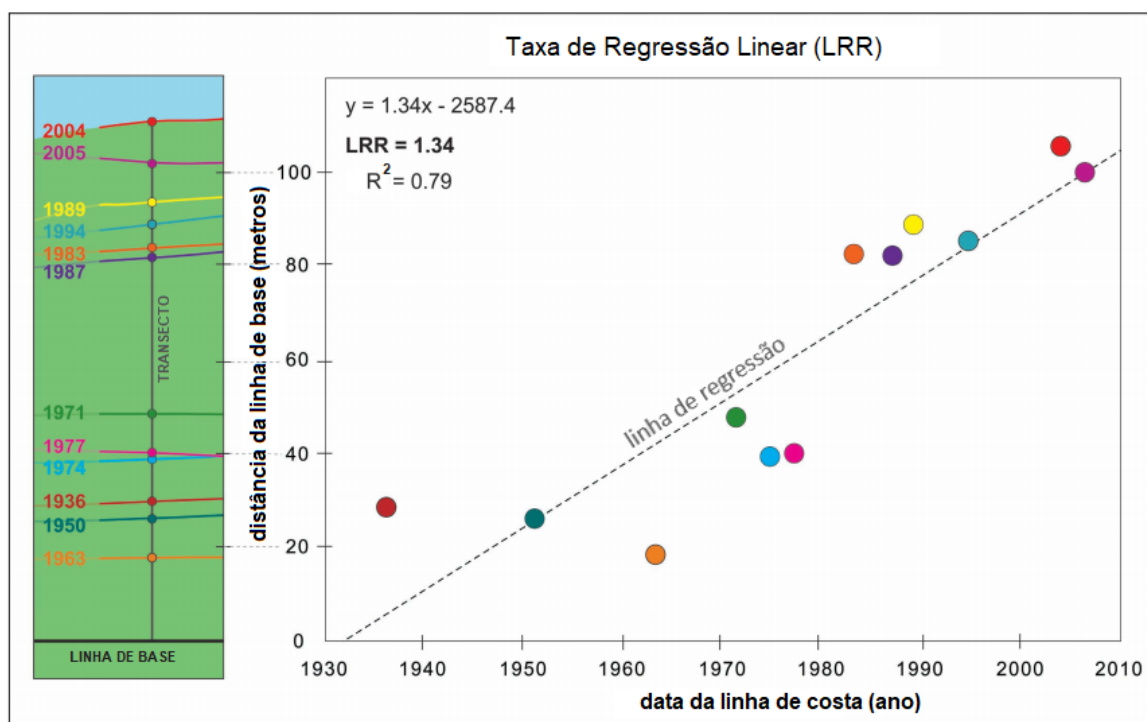
FONTE: Traduzido e modificado de HIMMELSTOSS⁸ et al. (2018)

- Taxa de Regressão Linear - *Linear Regression Rate* (LRR): taxa de variação da linha de costa realizada através da regressão linear, considerando todas as linhas de costa disponíveis. A taxa para cada transecto corresponde à inclinação da reta obtida, e é determinada pelo ajuste de uma linha de regressão de mínimos quadrados para todos os pontos de intersecção da linha de costa para todos os transectos (FIGURA 5). É considerada uma métrica puramente

⁸ HIMMELSTOSS, E. A.; HENDERSON, R. E.; KRATZMANN, M. G.; FARIAS, A. S. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) version 5.0 User Guide**: U.S. Geological Survey Open-File Report, 110 p., 2018.

computacional e baseada em métodos estatísticos aceitos, além de estimar a taxa de variação considerando todos os dados disponíveis. Por conta disso, optou-se por embasar os resultados prioritariamente em função dos valores de LRR, e adicionalmente, comparar essa métrica com as demais, com o objetivo de fortalecer a compreensão da evolução da linha de costa durante 35 anos.

FIGURA 5 – REPRESENTAÇÃO DA APLICAÇÃO DO MÉTODO LRR



FONTE: Traduzido e modificado de HIMMELSTOSS et al. (2018)

O CASSIE emite um relatório final em forma de tabela, permitindo a exportação dos dados para que sejam tratados pelo usuário. Os dados gerados para o presente estudo podem ser visualizados nos Apêndices 1 e 2. Além dos valores das análises estatísticas, datas das linhas de costa e distâncias dos pontos de intersecção em relação à linha de base, possui informações adicionais sobre a posição geográfica (*Datum WGS 84*) dos transectos e valores de parâmetros estatísticos associados ao cálculo do LRR. Esses parâmetros correspondem à inclinação do ajuste linear, ao ponto de intersecção com o eixo y da reta e aos coeficientes de correlação (R) e de determinação (R^2) do ajuste, e fornecem informações para avaliar a robustez das taxas de regressão determinadas (ALMEIDA et al., 2021). O R^2 , por exemplo, é um índice adimensional que varia de 0

a 1, e é definido pela relação linear entre os pontos de linhas de costa em um determinado transecto. Valores próximos a 1 correspondem a uma maior correlação entre os dados, logo, valores próximos a 0, representam menor correlação. Esses valores foram avaliados para apoiar nas interpretações das taxas de variação da linha de costa, apontando tendências de mudança e auxiliando na identificação de possíveis erros metodológicos.

Além disso, a ferramenta classifica os transectos a partir dos seus valores de LRR de acordo com a proposta de Esteves e Finkl (1998), apresentada pela Figura 6, fornecendo uma representação qualitativa dos dados. Dentre os dados exportados, a distância entre os pontos de intersecção e a linha de base foi o único parâmetro não incluído no Apêndice 2, pois seria inviável visualmente, considerando que para cada transecto há 50 valores distintos, representados pelas 50 linhas de costas geradas. Além disso, esses valores não foram avaliados minuciosamente. Todos os parâmetros gerados pelo relatório final podem ser exportados também em formato *shapefile* e foram utilizados para apoiar na análise espacial dos dados do presente estudo.

FIGURA 6 – TABELA DE CLASSIFICAÇÃO BASEADA EM TENDÊNCIAS DE MUDANÇA NA LINHA DE COSTA A LONGO PRAZO, PROPOSTA POR ESTEVES E FINKL (1998)

Classificação da mudança na linha de costa	
Situação da linha de costa	Taxa de variação (LRR)
Acreção	> 0,5 m/ano
Estabilidade	-0,5 a 0,5 m/ano
Erosão	- 0,5 a -1,0 m/ano
Erosão intensa	< - 1,0 m/ano

FONTE: Adaptado de ESTEVES e FINKL (1998)

4.2 USO DA IMAGEM CBERS-4A E PROCEDIMENTOS

A imagem do satélite CBERS-4A foi escolhida para auxiliar na interpretação espacial dos dados de forma detalhada, considerando a resolução espacial da sua câmera imageadora (Câmera Multiespectrais e Pancromática de Ampla Varredura - WPM), somada à acessibilidade do arquivo de forma livre. A câmera WPM opera em

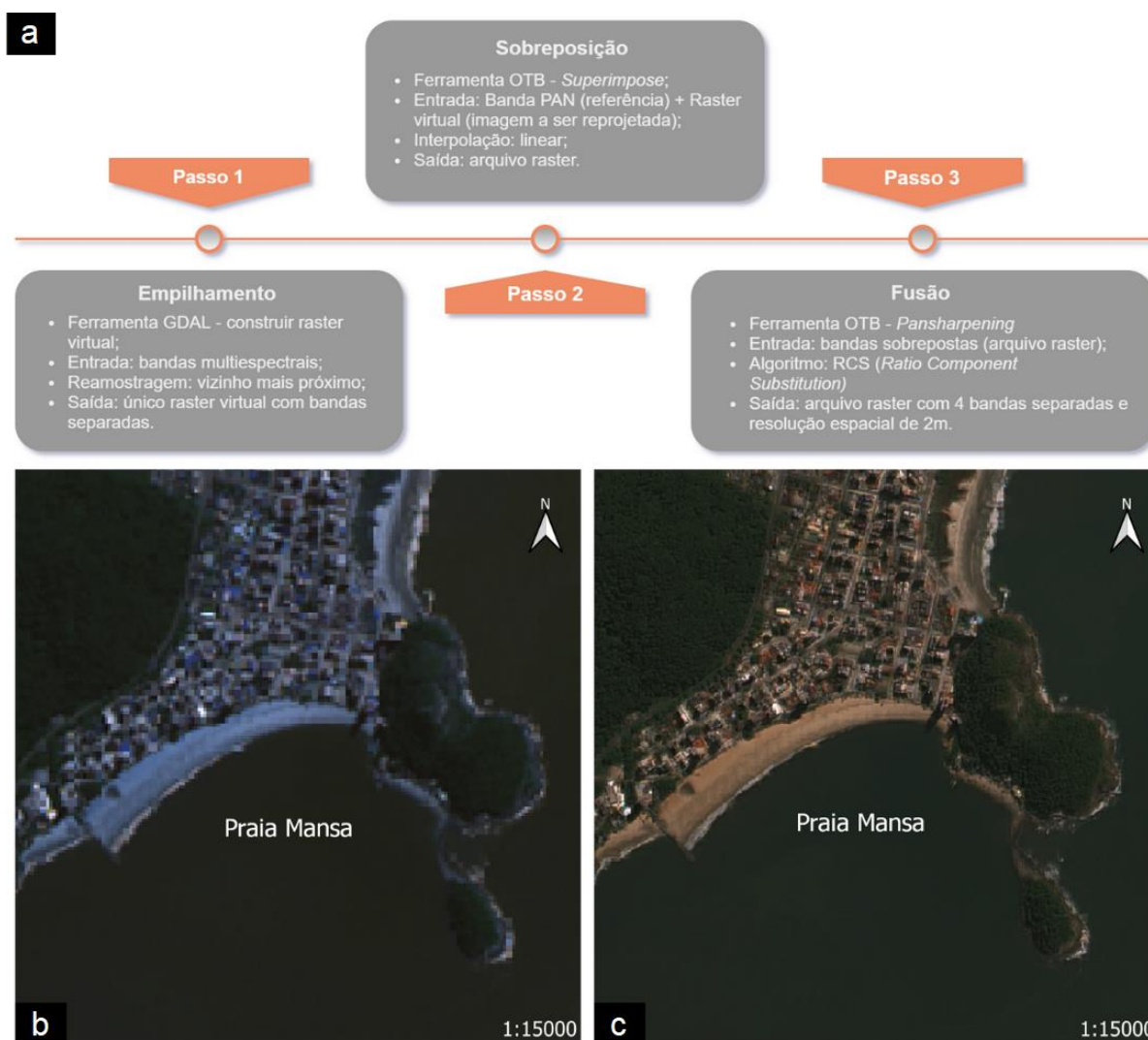
faixas espectrais que vão de 0,45 - 0,90 μm , com 4 bandas multiespectrais de resolução espacial de 8 m e 1 banda pancromática de 2 m (CBERS, 2019). Por conta do ganho de resolução espacial obtido pela banda pancromática, comparado aos satélites da mesma e de outras séries, torna-se viável investigar as condições dos ambientes praias estudados atualmente e fatores que os influenciam, especialmente os antrópicos.

A imagem foi retirada do Catálogo de Imagens da DGI/INPE (Divisão de Geração de Imagem do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais) que disponibiliza arquivos com valores de intensidade dos pixels (números digitais). Corresponde ao imageamento do dia 22 de abril de 2020 (órbita 204, ponto 146), em condições de maré de sizígia e altura de 0,2 m (CPTEC, 2021a). Foi feito o recorte da área de interesse para a realização de processamentos de imagem, descritos a seguir.

4.2.1 Fusão da imagem

Assim como as imagens do *Landsat-5/TM* e do *Landsat-8/OLI*, a imagem do *CBERS-4A/WPM* possui média resolução espacial, gerando dados multiespectrais com tamanho do pixel de 8 m, podendo ser insuficiente na identificação da linha de costa, e ainda, promover a análise errônea dos dados (PARDO-PASCUAL et al., 2018). Uma das alternativas para minimizar os erros relacionados à resolução espacial é a realização da fusão de bandas multiespectrais com uma banda pancromática, de maior resolução espacial. O sensor WPM possui a banda pancromática, com resolução espacial de 2 m, uma opção viável em termos de custo-benefício. Com base nesse critério, foi realizada a fusão das bandas através do *software* QGIS 3.10, pela extensão *Orfeo ToolBox 7.0 (OTB)*, um provedor de algoritmos para o processamento de imagens. As etapas são representadas na Figura 7A e a comparação entre as composições coloridas (R3G2B1) sem e com a fusão de bandas na Figura 7B e 7C, atribuídas aos mesmos fatores de equalização de imagem (valores de brilho, contraste, etc.).

FIGURA 7 – FLUXO DE OPERACIONALIZAÇÃO DA FUSÃO DE BANDAS DO CBERS-4A (A) E COMPOSIÇÕES COLORIDAS (VERDADEIRA-COR) DAS BANDAS SEM (B) E COM FUSÃO (C)



FONTE: A autora (2021)

4.2.2 Georreferenciamento da imagem

A imagem fusionada do CBERS-4A/WPM foi submetida à correção geométrica, utilizando uma imagem do *Landsat-8/OLI* de 28 de julho de 2020 (órbita 220, ponto 78), retirada do Catálogo de Imagens da DGI/INPE. A correção foi realizada para minimizar o erro em representações espaciais das camadas vetoriais das linhas de costa geradas pelo CASSIE. A imagem do *Landsat-8/OLI* também possui uma banda pancromática (banda 8) com resolução espacial de 15 m, a qual foi utilizada como base para o georreferenciamento.

A correção também foi realizada no *software* QGIS 3.10, pela ferramenta “georreferenciador”, cujos parâmetros utilizados foram a transformação geométrica do tipo “polinomial de 1º grau” e o método de reamostragem “vizinho mais próximo”, baseando-se em 20 pontos de controle. O procedimento resultou em um erro médio de 2,35 pixels, que corresponde a pouco mais de 4 m na imagem CBERS-4A/WPM. O ideal é que o erro seja menor que 1 pixel, porém, neste caso, o resultado é aproximadamente 3,2 vezes menor que a resolução espacial da banda pancromática da imagem *Landsat-8/OLI*, usada como referência.

4.2.3 Extração da linha de costa

Para a obtenção de um arquivo vetorial da linha de costa, gerado pela imagem CBERS-4A/WPM, foi aplicada a técnica do NDWI, assim como é realizado pela ferramenta CASSIE. Entretanto, como mencionado acima, o Catálogo de Imagens do INPE fornece apenas as imagens em números digitais e não em valores de reflectância de superfície. Além disso, não possui o arquivo de metadados junto às bandas no momento da exportação, inviabilizando a aplicação da correção radiométrica da imagem. A aplicação da técnica do NDWI em imagens corrigidas para valores de reflectância de superfície é bem aceita e difundida. No entanto, o fato dos metadados de imagens da série CBERS, no geral, não serem atualizados frequentemente pelo INPE, levam a estudos comparativos na aplicação do NDWI com base nos números digitais da imagem, como em Nascimento et al. (2020), que sugerem que dependendo do alvo, a diferença pode ser significativa.

Considerando as limitações da imagem, o NDWI foi realizado apenas para que seu produto fosse utilizado como suporte à base vetorial dos mapeamentos, sem qualquer comparação estatística com as linhas de costa geradas pelo CASSIE (principalmente, relacionada à distância da linha de base). A imagem gerada pelo NDWI foi reclassificada através do *software* GRASS 7.8.3, integrado ao QGIS 3.10, pela ferramenta “*r.recode*”, atribuindo 2 classes à imagem em formato de texto, de acordo com a interpretação do histograma do NDWI, representando terra e água, sendo visualmente suficiente. Posteriormente, foi convertida de *raster* para vetor, tanto para polígonos quanto para linhas. Os vetores foram suavizados para minimizar as formas pixeladas, utilizando um parâmetro de deslocamento baixo (0,1) para não comprometer a delimitação original.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

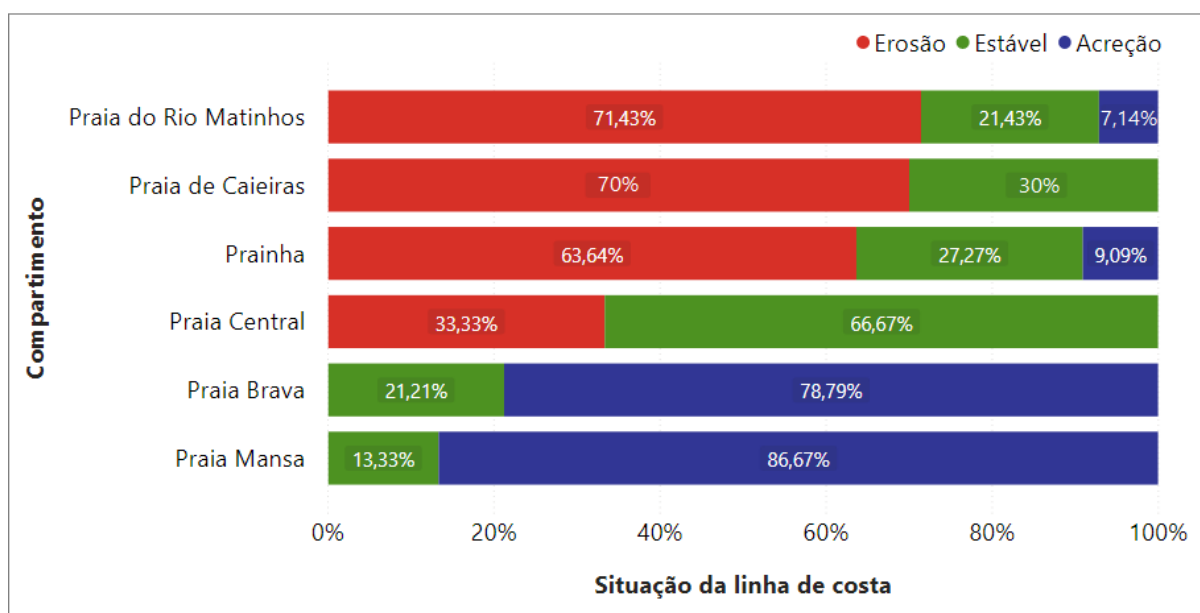
A análise de dados e informações gerados pelo CASSIE será apresentada a seguir, abordando primeiramente o panorama geral da evolução da linha de costa nas seis praias da área de estudo, em um intervalo de tempo de 35 anos. Para esta primeira etapa foram avaliadas as taxas de variação de linha de costa dos transectos, obtidas através da métrica LRR. Foram avaliadas também as classes em que os transectos se enquadraram de acordo com as taxas de variação registradas, possibilitando analisar qualitativamente a situação das praias. Essas classes foram geradas automaticamente pela ferramenta e se baseiam na proposta de classificação de mudança crônica de linha de costa feita por Esteves e Finkl (1998) detalhada anteriormente (SEÇÃO 4.1.3).

Em seguida, a área de estudo foi subdividida em três setores para a avaliação mais detalhada de dados e informações obtidos, bem como interpretações espaciais, sendo eles: 1) Setor Sul - Praia de Caieiras e Praia Central (Guaratuba); 2) Setor Central - Prainha (Guaratuba) e Praia Mansa (Matinhos); 3) Setor Norte - Praia Brava e Praia do Rio Matinhos (Matinhos). Essa ordem foi definida especialmente por conta do sistema de transporte regional de sedimentos, descrito por Lessa et al. (2000) como predominantemente em direção ao norte. Nesta etapa, foram analisados os dados gerados a partir das quatro métricas de mudança da linha de costa (LRR, EPR, NSM e SCE) a fim de compará-las e, ao mesmo tempo, somar informações dos ambientes praias em análise para uma melhor compreensão. Os dados vetoriais de linha de costa resultantes das 50 imagens de satélite selecionadas no CASSIE também foram analisados.

5.1 PANORAMA GERAL DA EVOLUÇÃO DA LINHA DE COSTA

O resultado das taxas de variação da linha de costa apontou inicialmente que a Praia Mansa e a Praia Brava obtiveram elevadas porcentagens de linhas de costa com indícios de acreção (FIGURA 8). Em contraponto, a Praia do Rio Matinhos, a Praia de Caieiras e a Prainha, apresentaram porcentagens acima de 50% de linhas de costa em situação de erosão. Já a Praia Central de Guaratuba foi a única dentre os compartimentos a apresentar maior valor percentual de linha costeira em estabilidade.

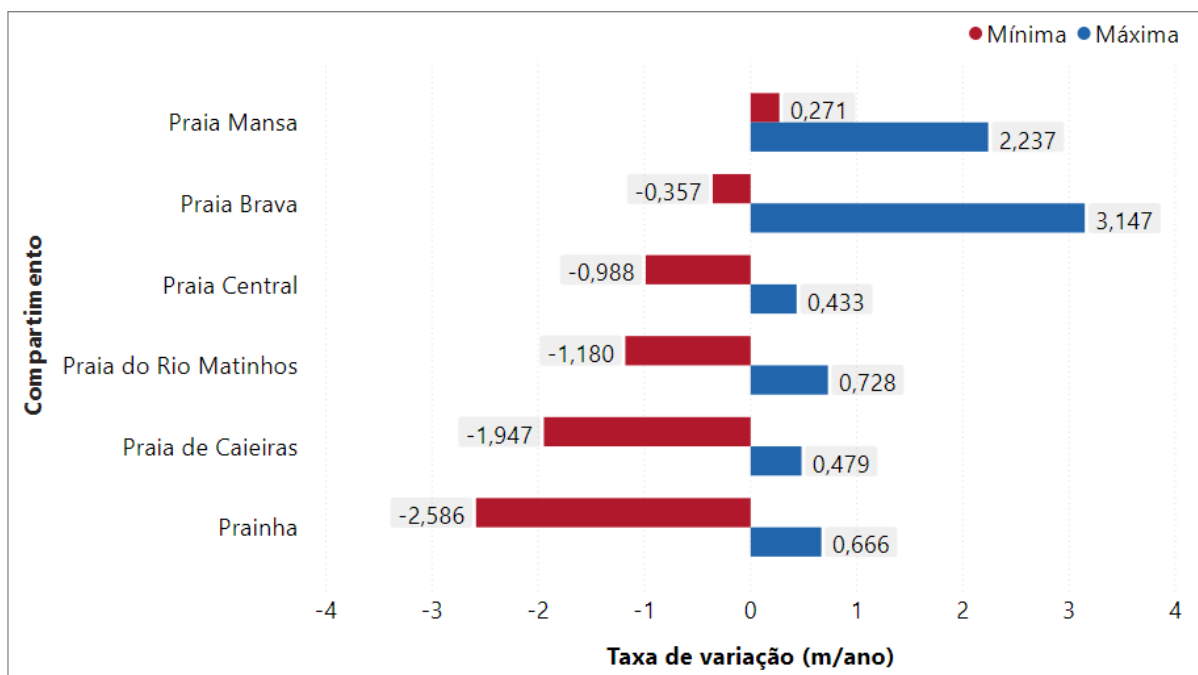
FIGURA 8 - PORCENTAGEM DA LINHA DE COSTA EM EROSÃO, ESTABILIDADE E ACREÇÃO PARA CADA COMPARTIMENTO EM ANÁLISE, COM BASE NAS TAXAS DE VARIAÇÃO OBTIDAS DOS TRANSECTOS



FONTE: A autora (2021)

De acordo com os valores mínimos e máximos de taxas de variação identificados para cada compartimento (FIGURA 9), a Praia Mansa apresentou a taxa mínima mais alta (0,27 m/ano) dentre as praias em estudo, enquanto a Praia Brava registrou a taxa máxima mais alta (3,15 m/ano). Além disso, os valores mínimo e máximo da Praia Brava representaram a maior amplitude de dados, correspondente a 3,504 m/ano, já a Praia Central apresentou a menor amplitude, de 1,42 m/ano. Considerando as três praias identificadas como predominantemente erosivas, todas apresentaram valores mínimos mais negativos do que -1,0 m/ano, correspondendo a pontos em situação de erosão crítica. Entretanto, diferem-se nos valores máximos, pois, enquanto Praia do Rio Matinhos e Prainha apresentaram valores em situação de acreção, a Praia de Caieiras obteve seu maior valor na classe de estabilidade, porém, muito próximo do limite máximo da classe (0,5 m/ano). Apesar de a Prainha apresentar o menor valor percentual de erosão dentre os três compartimentos mais erosivos, obteve o valor mínimo mais negativo, de -2,59 m/ano, comparado aos valores das outras praias em estudo.

FIGURA 9 – VALORES MÍNIMOS E MÁXIMOS, CONSIDERANDO AS TAXAS DE VARIAÇÃO DA LINHA DE COSTA DOS TRANSECTOS DE CADA COMPARTIMENTO



FONTE: A autora (2021)

As praias predominantemente em acreção registraram valores médios positivos e próximos. A Praia Mansa apresentou a média de 1,62 m/ano e o desvio padrão de 0,69, enquanto a Praia Brava obteve o valor médio de 1,63 m/ano e o desvio padrão de 1,11, com base nos dados de 15 (PM1 a PM15) e 33 (PB1 a PB33) transectos, respectivamente. O valor médio mais negativo foi observado na Praia de Caieiras, correspondente à - 0,92 m/ano, com o desvio padrão de 0,84, baseando-se nos valores de 10 transectos (PCa1 a PCa10). Enquanto a Prainha apresentou o valor médio de - 0,90 m/ano, com desvio padrão de 0,98, com base nos valores de 11 transectos (Pra1 a Pra11), e a Praia do Rio Matinhos obteve a média de - 0,54 m/ano, de taxas de variação de 14 transectos (PRM1 a PRM14), com o desvio padrão de 0,50. Por fim, a Praia Central registrou o valor médio de - 0,27 m/ano e o desvio padrão de 0,37, com base nas taxas de 27 transectos (PCe1 a PCe27).

Os valores relativamente altos de desvio padrão para todas as praias podem significar que diferentes trechos de um mesmo arco praiial podem estar sofrendo processos sedimentares distintos, de acordo com os fatores (naturais e antrópicos) que os afetam. Ou ainda, podem refletir a detecção da linha de costa de forma errônea ocasionada pelos procedimentos adotados pelo CASSIE, somados à

resolução espacial e às datas das imagens utilizadas. Em seu estudo, Luijendijk et al. (2018) realizaram o refinamento de transectos com base no desvio padrão obtido pelas taxas de variação, descartando da análise aqueles que apresentaram valores três vezes maiores que o desvio padrão. O CASSIE gera todos os dados automaticamente e de uma única vez, sendo que a primeira investigação é feita com todas as análises estatísticas concluídas. Por conta disso, optou-se por não descartar os transectos para a interpretação da evolução da linha de costa no presente estudo, mas sim identificá-los. Foram identificados apenas quatro transectos com o comportamento descrito por Luijendijk et al. (2018), localizados na Praia Mansa, sendo discutidos com detalhe na seção específica do compartimento (SEÇÃO 5.3).

Considerando os valores de R^2 (APÊNDICE 2), Praia Mansa e Praia Brava apresentaram os maiores valores, porém de forma pontual, predominando nos seus transectos centrais, podendo indicar tendências de acreção da linha de costa. Entretanto, apresentaram as maiores amplitudes entre os transectos, correspondentes à 0,70 para Praia Mansa e 0,68 para Praia Brava. Para as praias em situação predominante de erosão, no geral, os valores de R^2 foram próximos a 0, não ultrapassando 0,23 para as praias do Rio Matinhos e de Caieiras, correspondendo à má correlação entre os dados das linhas de costa em cada transecto. Em Prainha, a variação foi maior, entre 0,01 e 0,53, apresentando valores maiores em transectos com indícios de erosão crítica. Entretanto, não são suficientes para considerar uma boa correlação entre os dados. Por fim, a Praia Central apresentou todos os valores muito próximos a 0. Assim como nas comparações entre os valores dos transectos e o desvio padrão, a correlação entre os dados não indica necessariamente causalidade, pois a ferramenta CASSIE gera automaticamente os valores, não tendo sido realizados testes posteriormente para melhoramento dos valores de R^2 . Por isso, reitera-se aqui a importância de uma análise espaço-temporal mais detalhada.

Os resultados apresentados até aqui refletem de maneira interessante o que se conhece sobre a área, com base em estudos anteriores. Como por exemplo, o fato de Prainha e Praia de Caieiras estarem localizadas na desembocadura da baía, enquadrando-lhes como costas arenosas instáveis (ANGULO; ARAÚJO, 1996) e apresentando valores mais expressivos de variação da linha de costa. Assim como, a influência de feições sedimentares associadas à desembocadura da baía em

praias adjacentes (ANGULO et al., 2006), representando indícios de acreção, ou até mesmo de efeitos das obras de contenção da erosão costeira, na Praia Mansa e na Praia Brava nos anos de 1980 (LINDORTH, 1982). E ainda a consequência de processos históricos de ocupação da zona pós-praia na Prainha e na Praia do Rio Matinhos (BESSA JR., 2003) e de instalação de muros de contenção e enrocamentos ao longo de todo o arco praias da Praia Central, somada a forma com que as ondas incidem sobre sua costa (ANGULO et al., 2016).

5.2 SETOR SUL - PRAIA CENTRAL E PRAIA DE CAIEIRAS

O mapeamento da distribuição espacial das linhas de costa foi elaborado para todos os setores, com o propósito de priorizar a visualização das linhas em um intervalo de tempo de aproximadamente 5 anos. Como complemento à investigação, foram representadas as posições da linha de base e dos transectos (linhas pretas), e de todas as linhas de costa geradas pelo CASSIE e derivadas das imagens (linhas cinzas) (FIGURA 10).

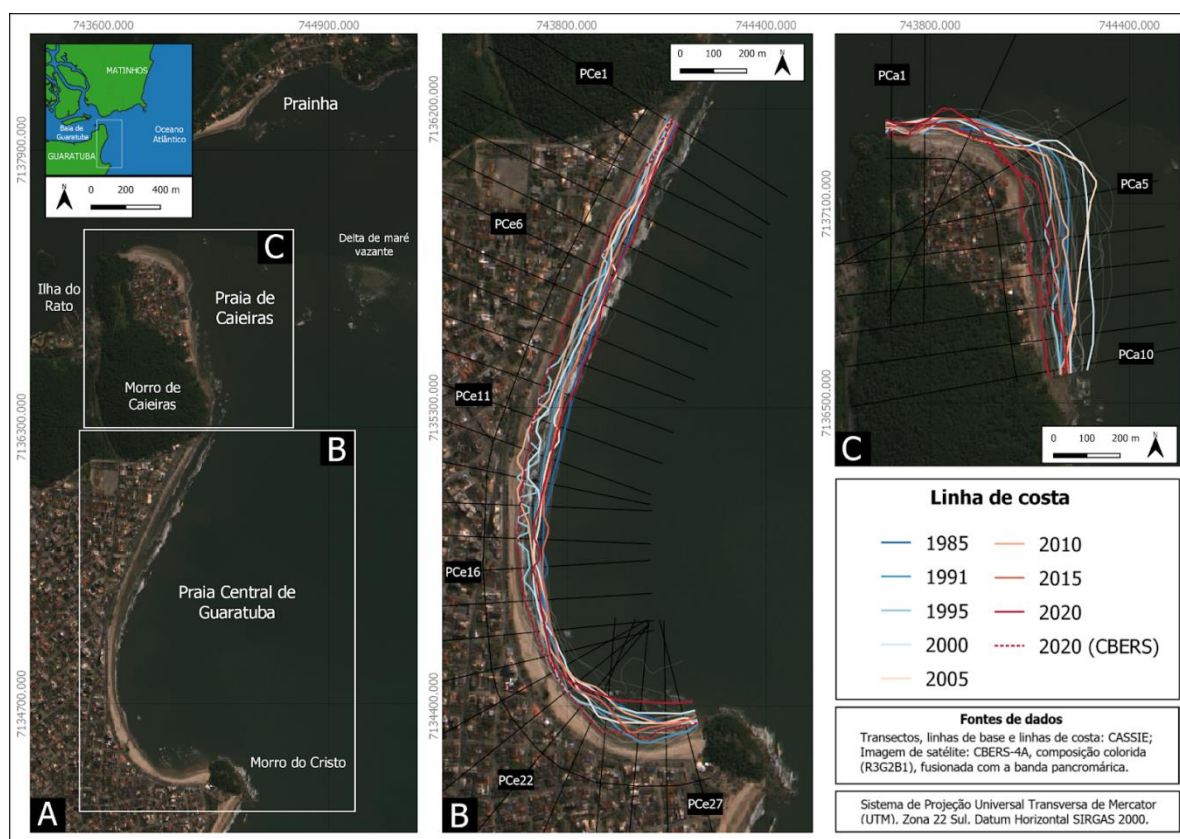
Na Praia Central (FIGURA 10B), é possível identificar períodos distintos de situação da linha de costa ao longo de toda a sua extensão, havendo o recuo mais significativo durante os 10 primeiros anos (1985 a 1995), seguido de avanços e recuos descontínuos da costa nos 25 anos restantes (1995 a 2020). No entanto, ressalta-se a distância similar entre as linhas de costa mais antiga e recente em relação à linha de base, que pode estar relacionada à situação de equilíbrio da linha de costa durante esses 35 anos de análise. Por outro lado, a linha de costa derivada da imagem CBERS-4A/WPM, não apresentou boa correlação com a linha mais recente derivada do CASSIE, apesar de representarem o mesmo ano.

A detecção do comportamento sinuoso de linhas de costa na porção sul da Praia Central pelo CASSIE é, possivelmente, consequência de dois fatores, que podem ter agido de forma independente ou conjunta. O primeiro fator está associado ao represamento da descarga de efluentes de galerias pluviais pela formação de bermas naturais no local, bem como a descarga propriamente dita (BESSA JR., 2003), visível entre PCe20 e PCe21, mas identificada em pelo menos três pontos *in situ*. Outro fator condiz com o sistema de transporte regional de sedimentos em direção ao norte, que, ao contornar o Morro do Cristo, favorece a deposição desses

materiais principalmente na porção sul da praia, podendo sofrer migração para o norte (ANGULO et al., 2016).

Em Caieiras (FIGURA 10C), a complexidade morfológica dos bancos longitudinais associados ao delta de maré vazante, sugerida por Bessa Jr. (2003), pode ser a principal condicionante de linhas de costa (em cinza) visivelmente identificadas a centenas de metros da linha mais recente, na porção orientada de noroeste-sudeste. Essa elevada mobilidade da linha de costa foi verificada também nas imagens históricas disponíveis pelo *Google Earth*.

FIGURA 10 – DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS LINHAS DE COSTA ENTRE 1985 E 2020 NO SETOR SUL (A), COMPOSTO PELA PRAIA CENTRAL (B) E PELA PRAIA DE CAIEIRAS (C)



FONTE: A autora (2021)

O recuo da linha de costa é observado durante o período de 2005 e 2020, entre os transectos PCa4 e PCa8. A análise de imagens do *Google Earth* permitiu identificar coincidências durante o mesmo período com o avanço do mar sobre a restinga, que foi devastada em alguns pontos, além de ocasionar a destruição de casas, construída sobre a vegetação (FIGURAS 11A e 11B). Desde 2016, eventos de ressaca levaram à demolição de residências danificadas. Assim como, à

instalação de muros de contenção na porção sul, destruídos pela ação do mar, e enrocamentos de rochas emergenciais para evitar danos e perdas de residências e prédios públicos (FIGURAS 11C e 11D).

FIGURA 11 - EVIDÊNCIAS DO RECUO DA LINHA DE COSTA EM CAIEIRAS: IMAGENS EM CONDIÇÕES DISTINTAS DE MARÉ (A E C - MARÉ VAZANTE; B E D - MARÉ ENCHENTE) DE ENROCAMENTOS DE ROCHAS E RESIDÊNCIA E MURO DE CONTENÇÃO DESTRUÍDOS.

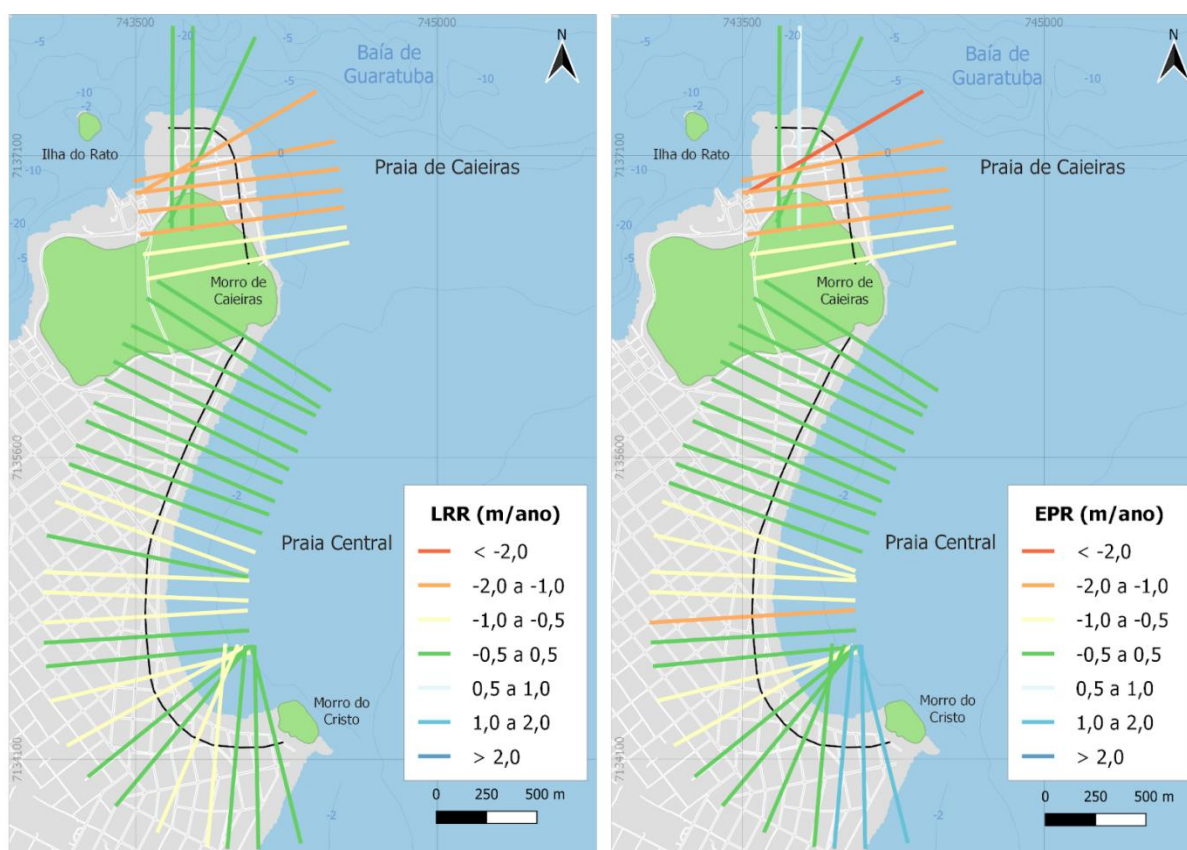


FONTE: A autora (2020)

As métricas LRR e EPR, apresentaram boa relação entre os dados de ambas as praias, de maneira geral (FIGURA 12). A porção norte da Praia de Caieiras (orientação leste-oeste) apresentou, predominantemente, estabilidade em sua linha de costa. Enquanto a face orientada para noroeste-sudeste demonstrou um comportamento crescente de valores entre PCa4 e Pca10, passando da classe de erosão crítica para a de erosão. Os valores menores foram identificados no transecto PCa4, sendo de - 2,66 m/ano para EPR e no transecto PCa5, com o valor de - 1,96 m/ano para LRR, ambos classificados como erosão crítica. Já os maiores, foram observados no transecto PCa2, classificado como em acreção pela métrica EPR, com 0,94 m/ano, e em estabilidade, pela LRR, com 0,48 m/ano. Assemelham-se parcialmente aos valores pontuais apresentados por Angulo et al. (2018) para o período de 2001 a 2013, indicando taxas de acreção na porção norte e de erosão no

setor noroeste-sudeste. A observação *in situ* permitiu identificar uma morfologia praial com face de praia plana e extensa na porção noroeste-sudeste de Caieiras, típica de praias erosivas (BIRD, 2008), visível também na Figura 11C.

FIGURA 12 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS TRANSECTOS DA PRAIA CENTRAL E DA PRAIA DE CAIEIRAS E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE LRR E EPR



FONTE: A autora⁹ (2021)

Quanto à Praia Central, sua porção mais ao norte (PCe1 a Pce9) apresentou estabilidade para ambas as métricas, sendo que para LRR, os valores foram mais próximos a zero. Já a porção central (PCe10 a PCe16) apresentou valores característicos de linha de costa em situação de erosão de maneira predominante, sendo que em EPR, para o transecto PCe16, o valor atingiu a classe de erosão crítica (- 1,18 m/ano). No entanto, o menor valor de LRR desse ambiente praial foi identificado no transecto PCe15, sendo de - 0,99 m/ano. Além disso, é possível que ocorram essas taxas erosivas pelos transectos estarem localizados em uma área em

⁹ Para o mapeamento das métricas nos três setores da área de estudo foram utilizados os dados vetoriais dos municípios, de hidrografia, de batimetria e de unidades de conservação, retirados do Observatório do Litoral Paranaense e disponíveis em: <http://www.litoral.ufpr.br/portal/observatoriolitoral/geodados/arquivos-shapefile/>.

que o arco praial altera sua orientação, somada à incidência de ondas perpendiculares à costa exposta. E ainda, há indícios de problemas erosivos na área, que além de contar com muro e enrocamento de rochas para conter a erosão que delimitam o ambiente praial e a retropraia, não foi possível verificar a zona pós-praia em momento de maré enchente (FIGURA 13A).

FIGURA 13 - PRAIA CENTRAL DE GUARATUBA: PORÇÃO CENTRAL (A) COM EVIDÊNCIAS DE EROSÃO; PORÇÃO SUL (B), COM FAIXA DE AREIA MAIS EXTENSA E DEMONSTRAÇÃO DO REPRESAMENTO DA DESCARGA DE GALERIA PLUVIAL VISTA DO MORRO DO BOI.



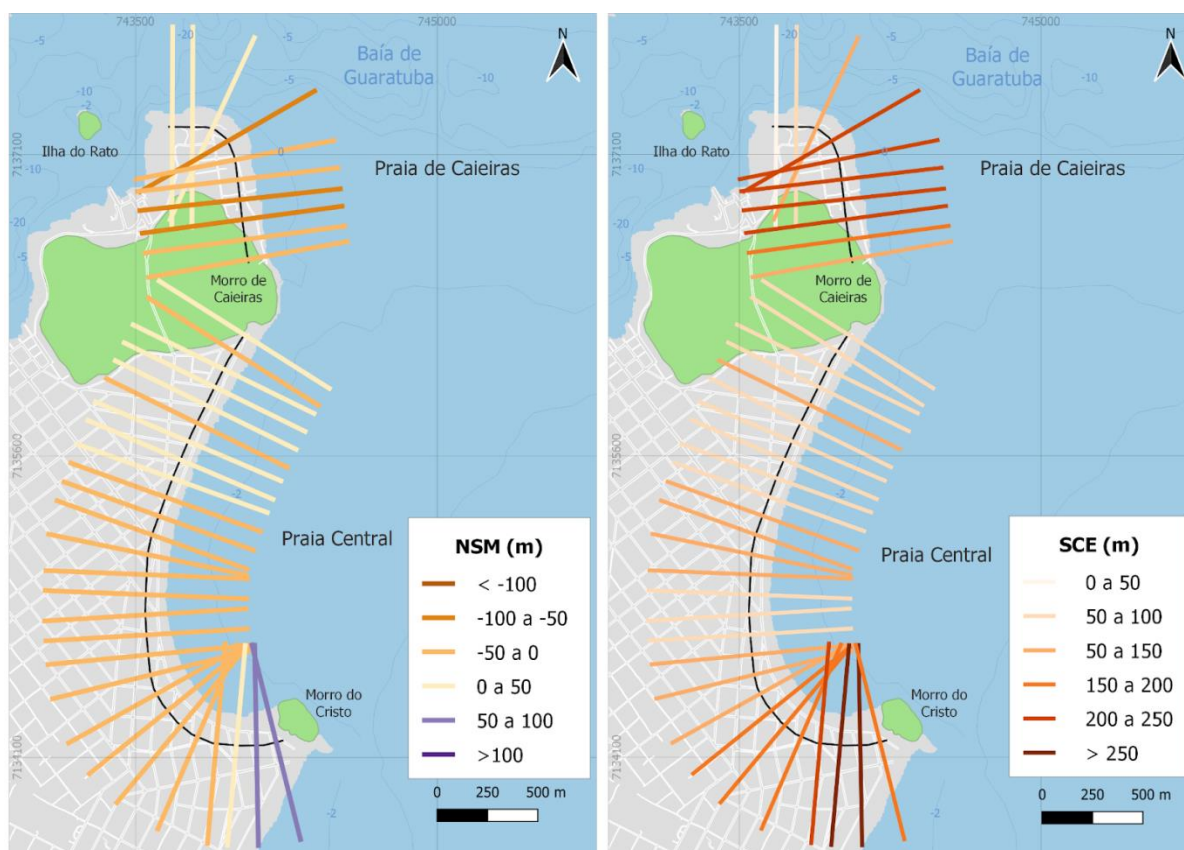
FONTE: A autora (2020)

Na porção sul, os transectos variaram entre pontos de erosão, estabilidade e acreção, coincidindo os valores menores ao norte dos pontos de descarga de galerias pluviais, mais visíveis para os valores de LRR. Já os valores maiores, em situação de acreção para EPR, foram localizados em pontos protegidos pelo Morro do Cristo, os quais representam as máximas para ambas as métricas em toda a extensão praial (FIGURA 13B). A variabilidade nas classes dos transectos, notada para a porção sul, reflete o comportamento dinâmico, típico de praias intermediárias (BESSA JR., 2003).

Em relação às métricas de distância (FIGURA 14), os valores de NSM demonstram que o setor noroeste-sudeste de Caieiras alcançou o recuo máximo da linha de costa em 93,55 m, no transecto PCa4. Enquanto o maior avanço foi identificado na porção norte, no transecto PCa2, sendo de 32,95 m. No entanto, apenas o transecto PCa4 representa o segundo maior valor de mobilidade praial resultante do SCE, de 224 m, sendo o maior atribuído ao transecto 5 com valor de 242 m. Ambos os transectos foram classificados como erosão crítica, com base nos valores de LRR.

Já na Praia Central os valores mínimo e máximo foram observados em PCe16 e PCe26, referentes a - 41,60 m e + 60,55 m, respectivamente. No entanto, os valores de mobilidade praial mais elevados, obtidos através do SCE, foram identificados entre os PCe25 e PCe26, com 295 e 251 m, respectivamente. Lembrando que as linhas de costa derivaram de imagens cujo padrão de seleção não se baseou na sazonalidade, o que pode ter influenciado especialmente nos valores elevados de SCE, visto que Barros et al. (2001) apontaram maior variabilidade sazonal na mobilidade praial em pontos da Praia Central.

FIGURA 14 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS TRANSECTOS DA PRAIA CENTRAL E DA PRAIA DE CAIEIRAS E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE NSM E SCE



FONTE: A autora (2021)

Os valores de NSM e SCE confirmaram os transectos, cujos locais representam tendências erosivas e deposicionais que necessitam de atenção. Os maiores valores de SCE coincidem em ambas as praias com a complexidade morfológica dos bancos longitudinais e transversais na zona de surfe identificados por Bessa Jr (2006) e Angulo et al. (2016). Correspondem à porção sul da Praia Central e ao setor noroeste-sudeste de Caieiras, mais especificamente entre os

PCa4 e PCa8, apresentando elevada mobilidade praial, variando de 200 a 295 m. Além disso, estão parcialmente relacionados aos valores mínimos e máximos de NSM para todo o setor.

Somada a essas duas áreas, inclui-se também a porção central da Praia Central, classificada como em situação de erosão como área de atenção. Pois apesar de ter apresentado recuo da linha de costa na ordem de poucas dezenas de metros (NSM), suas máximas mobilidades (SCE) apresentaram valores acima de 100 m. Indicando que a área não suportaria a ocorrência futura de uma mobilidade praial dessa ordem, pois a dinâmica de praia está limitada às obras de contenção da linha de costa.

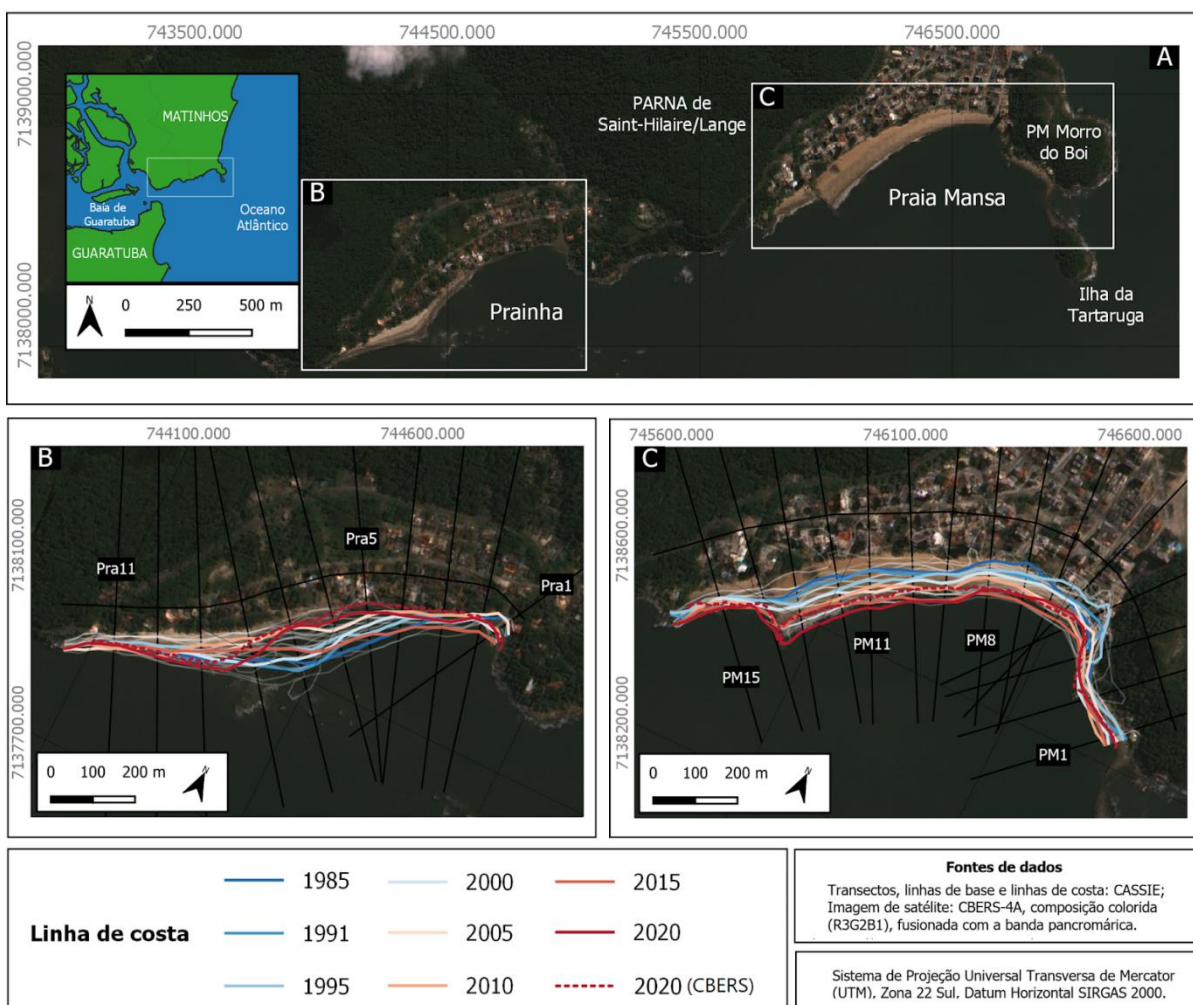
As três áreas possuem características diferentes, apesar de estarem situadas em zonas balneárias. As áreas localizadas na Praia Central foram densamente ocupadas e apresentam atualmente maior pressão de atividades antrópicas, do que em Caieiras. Apesar dos resultados apresentarem avanço na linha de costa na porção sul da Praia Central, representaram indícios de como a intervenção antrópica pode influenciar na morfologia praial, podendo não trazer perdas e danos, porém obstruir visualmente a estética de uma paisagem que tem como referência o turismo. No caso de Caieiras, apesar de ser uma área balneária pouco ocupada, está inserida em um local de elevada instabilidade, e ainda apresenta tendências erosivas de ordem crítica. Podendo não ser contidas suficientemente com a preservação de dunas frontais e vegetação de restinga, dependendo da distância de residências, nem mesmo com obras emergenciais.

5.3 SETOR CENTRAL – PRAINHA E PRAIA MANSA

Enquanto a Praia Mansa apresentou predominantemente o avanço da linha de costa ao longo dos 35 anos de análise em toda a sua extensão (FIGURA 15C), a Prainha não demonstrou um padrão claro de mobilidade da linha de costa durante o período de análise (FIGURA 15B). O avanço gradativo em Praia Mansa refletiu positivamente as obras de recuperação da praia, que antecederam o período de análise, favorecendo o acúmulo sedimentar, aumentando o volume praial e atribuindo o estado morfodinâmico reflexivo, típico de praia em acreção (BIRD, 2008).

Já as posições da linha de costa na Prainha, apresentaram uma mobilidade lateral predominante de leste para oeste dos bancos de areias subaéreos, entre Pra6 e Pra10, identificada também pelas imagens históricas do *Google Earth*. Essa mobilidade é condicionada pelo deslocamento do banco em pontal localizado na antepraia, na mesma direção dos transectos, mais próximo da costa entre Pra8 e Pra9, distanciando-se dela para leste. Esta feição delimita a margem norte do canal principal de maré vazante, além de agir como uma barreira para a ação das ondas em direção à praia, dependendo fortemente da sua posição (ANGULO et al., 2006). Já a porção leste da praia apresentou linhas de costa muito próximas aos enrocamentos de rochas, onde atualmente a zona pós-praia é inexistente em alguns pontos.

FIGURA 15 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS LINHAS DE COSTA ENTRE 1985 E 2020 NO SETOR CENTRAL (A), COMPOSTO PELA PRAINHA (B) E PELA PRAIA MANSÁ (C)



FONTE: A autora (2021)

Foi observado que em ambas as praias, algumas linhas de costa foram posicionadas sobre a retropraia. Possivelmente tenha ocorrido por conta da dificuldade da ferramenta CASSIE em dissociar alguns objetos na imagem, como as residências e/ou o sombreamento e a altura de edificações, com a costa propriamente dita. Consequência da resolução da imagem *Landsat*, bem como do procedimento realizado, baseado na aplicação do NDWI. O mesmo ocorreu com a aplicação do índice de água na imagem CBERS, em que o sombreamento dos edifícios (nitidamente visível na imagem) afetou a delimitação da linha de costa aproximadamente entre PM4 e PM6, na Praia Mansa, necessitando de uma correção no vetor (FIGURA 16). Mesmo assim, as linhas de costas geradas pelo CBERS e pelo CASSIE para o ano de 2020 apresentaram boa relação em ambas as praias.

FIGURA 16 - IMAGEM REGISTRADA DA PORÇÃO LESTE DA PRAIA MANSÁ (ENTRE PM3 e PM4) SOB CONDIÇÕES DE MARÉ VAZANTE, COM A IDENTIFICAÇÃO DA SOMBRA DE UM EDIFÍCIO PROJETADA NA PORÇÃO SUBAÉREA DA PRAIA (À DIREITA)



FONTE: A autora (2021)

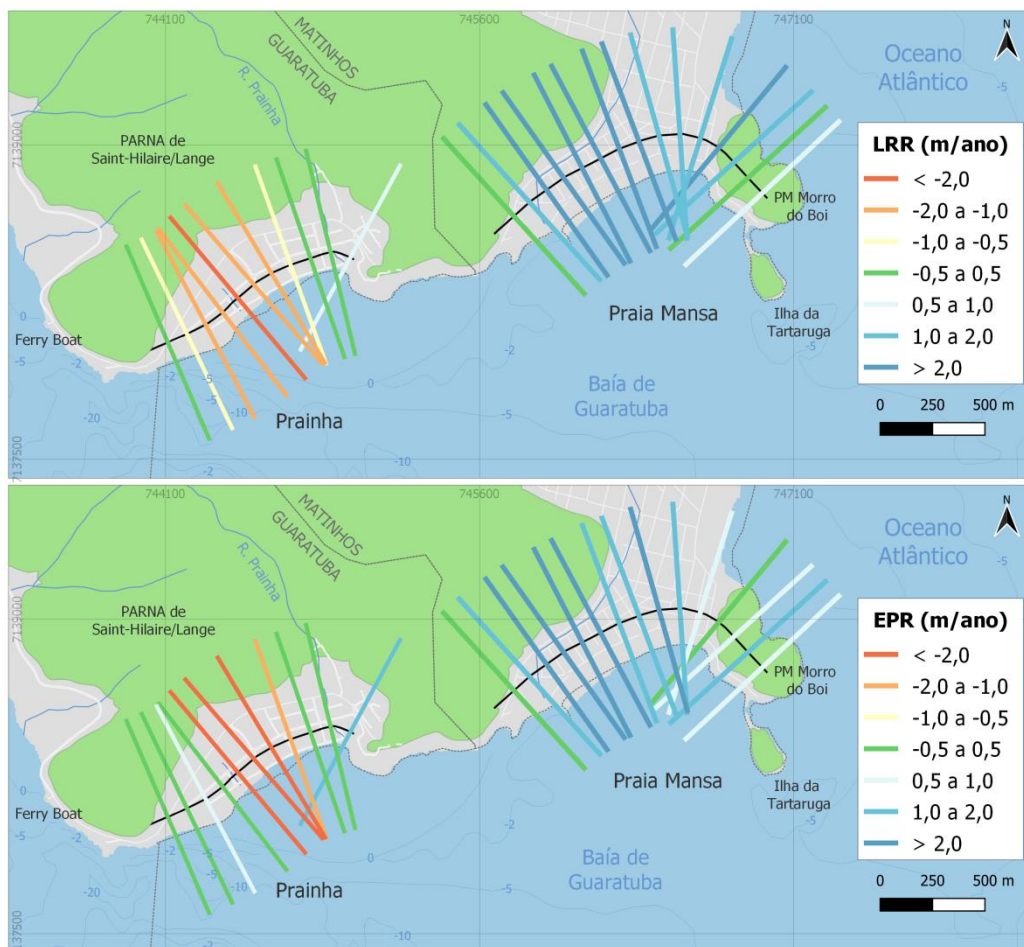
O NDWI possui uma boa resposta ao realce dos corpos d'água em contraste com a vegetação, entretanto, é sensível às áreas construídas (XU, 2006). Portanto, Xu (2006) propôs uma Modificação no Índice de Diferença Normalizada da Água, denominada de MNDWI, sendo uma alternativa para a etapa de extração da linha de costa pelo CASSIE para minimizar erros de delimitação. Corresponde à substituição

da banda do infravermelho próximo pela banda do infravermelho médio no cálculo, devido a maior reflectância da vegetação e das áreas construídas e a maior absorção dos corpos d'água nesse comprimento de onda. No entanto, não seria possível aplicar em imagens do CBERS-4A, pois não possuem a banda do infravermelho médio.

As duas métricas de taxa de variação da linha de costa apresentaram resultados similares em cada uma das praias (FIGURA 17), entretanto, foi observada uma tendência de valores maiores de LRR na porção leste e de EPR na porção oeste da Praia Mansa. Diferentemente da Prainha que apesar de próximos, os valores foram mais expressivos para EPR, ou seja, apresentou dados maiores em transectos classificados como acreção e dados menores para aqueles enquadrados como erosão. Possivelmente, é um resultado de superestimação dos dados, pois a métrica considera apenas as linhas de costas mais antiga e mais recente, o que levaria a interpretar, por exemplo, que a porção oeste da Prainha apresenta comportamento predominantemente estável, sem necessidade de atenção.

O valor mais negativo de LRR para a Prainha também é o menor valor da área de estudo como um todo, e está localizado na porção central (Pra7, - 2,59 m/ano) e corrobora com o valor apresentado por Angulo et al. (2018) para a porção da costa composta por dunas frontais (- 2 m/ano). O transecto corresponde ao local onde as linhas de costa apresentaram um recuo mais nítido com o tempo, refletindo no maior valor de R^2 para a área (0,55). Tanto os valores de LRR, quanto os de EPR demonstraram aumento gradativo do centro para as extremidades do arco praiar, com exceção de Pra11 que apresentou menores valores, comparado ao transecto anterior. Bessa Jr. (2003) apontou em seu estudo sobre a situação de estabilidade apresentada para a porção leste, cuja costa é dominada pela construção de enrocamentos que datam da década de 1980. Com o recuo da linha de costa no local nos anos seguintes, os enrocamentos passaram a determinar uma posição fixa da interface entre água e terra, de forma artificial (FIGURA 18), ou seja, possivelmente os resultados obtidos pelo CASSIE foram influenciados pelas características locais.

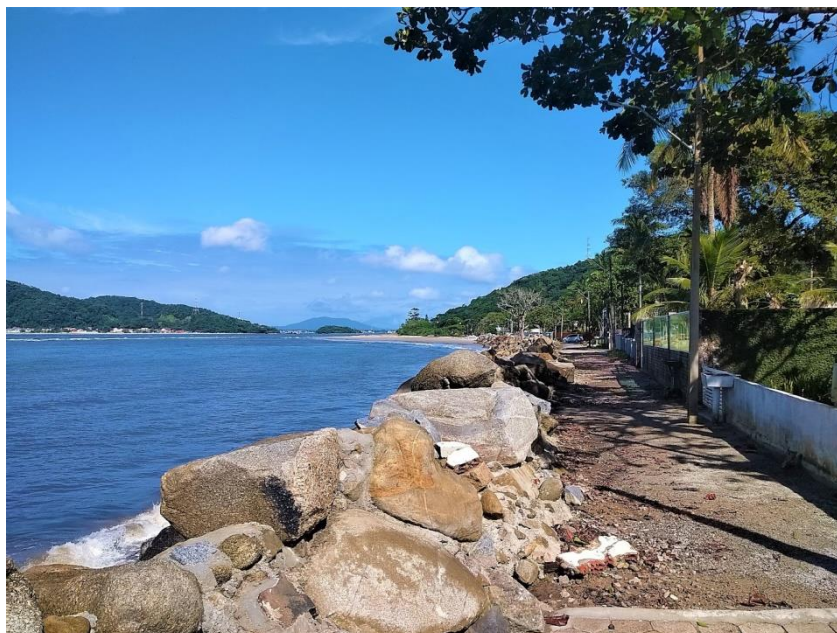
FIGURA 17: REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS TRANSECTOS DA PRAINHA E DA PRAIA MANSO E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE LRR E EPR



FONTE: A autora (2021)

Na Praia Mansa, o maior valor de LRR observado corresponde ao transecto PM11, que representa um dos 6 *outliers* (PM4, PM9, PM10, PM12 e PM13) identificados com base na análise dos dados proposta por Luijendijk et al. (2018) e detalhada na Seção 5.1. Todos os transectos coincidem com os locais onde houveram indícios de má-deteção da linha de costa por conta da dificuldade em dissociar os objetos nas imagens. Descartando esses transectos, os valores de LRR passam a variar de 0,27 a 2,01 m/ano, com valor médio de 1,26 m/ano e praticamente o mesmo valor de desvio padrão, de 0,69, sem apresentar novos *outliers*. No entanto, apesar de diminuir a amplitude entre os dados, continua refletindo positivamente as características morfodinâmicas locais, inclusive pela boa correlação entre as métricas LRR e EPR. Além disso, esperava-se que os transectos detectados como *outliers* refletissem em valores de R^2 mais próximos de 0, o que não foi o caso, demandando a realização de novos testes de análise.

FIGURA 18 - IMAGEM REGISTRADA DA PORÇÃO LESTE DA PRAINHA EM CONDIÇÕES DE MARÉ VAZANTE, DELIMITADA POR ENROCAMENTOS DE ROCHAS E COM A IDENTIFICAÇÃO DE RESIDÊNCIAS A POUCOS METROS DO AMBIENTE PRAIAL.

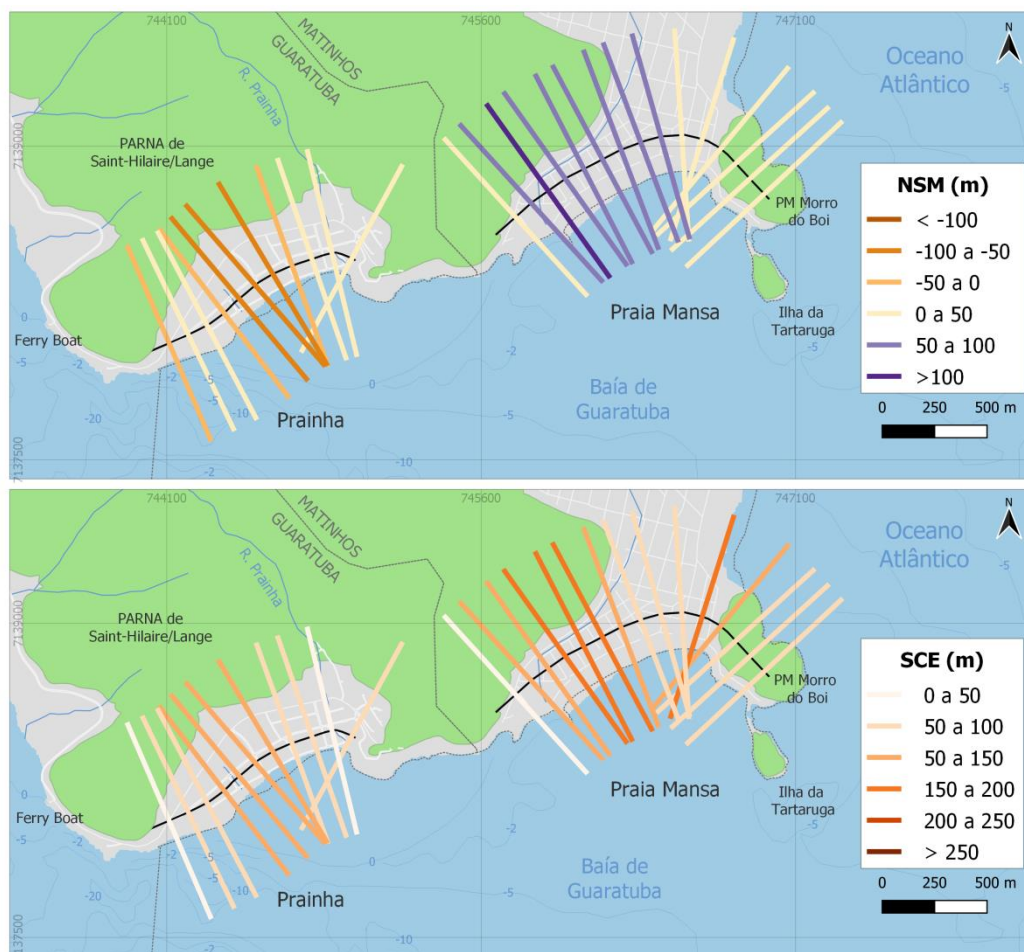


FONTE: A autora (2021)

Os maiores valores de NSM para a Praia Mansa coincidem com a área priorizada para a instalação de espigões perpendiculares à costa nos anos de 1980, promovendo o aumento do volume praiar, com a zona pós-praia ultrapassando 50 m de largura (FIGURA 19). Não há valores negativos de NSM para a praia em questão, sugerindo que em todos os transectos a linha de costa mais recente esteve em uma posição mais distante da linha de base do que a linha de costa mais antiga.

Diferentemente do que se identifica na Praia Mansa, a Prainha apresentou valores de NSM que variaram de - 85,22 m a + 36,64 m, refletindo a complexidade de um arco praiar de extensão relativamente pequena (1,08 Km). No entanto, os valores dessa métrica apresentam uma tendência de mobilidade praiar mais intensidade na porção central de ambas as praias - sendo de avanço da linha de costa na Praia Mansa, e de recuo na Prainha - diminuindo em direção às extremidades dos arcos praias. Em SCE, esta tendência se confirmou apenas para a Prainha apresentando mobilidades máximas para cada transecto variando entre 36,72 e 142,91 m. Em Praia Mansa, os valores variaram entre 40,28 e 194,88 m.

FIGURA 19 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS TRANSECTOS DA PRAINHA E DA PRAIA MANSA E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE NSM E SCE



FONTE: A autora (2021)

Embora os resultados das métricas demonstrem situações de estabilidade e de acreção na Praia Mansa, é importante fazer algumas observações sobre o extremo oeste do arco praiial (PM14 e PM15). O arco-praiial é interrompido por um molhe próximo a PM14, responsável por auxiliar na manutenção de sedimentos para leste e que acaba gerando a perda desses materiais a oeste (PM15), sugerindo que existe um transporte ao longo do arco praiial de leste-oeste. Além disso, observam-se a descarga de um curso d'água e a ocupação residencial muito próxima da zona pós-praia, que podem influenciar nos processos sedimentares nessa porção.

Quanto à Prainha, apesar de pertencer a outro município e ser uma zona balneária de baixa densidade construtiva, comparada à Praia Mansa, os mesmo problemas de ocupação persistem com a identificação de residência muito próxima à costa, estendendo-se desde as encostas (a leste) até as dunas frontais (a oeste). No

entanto, necessitam de maior atenção por apresentarem taxas erosivas significativas, somadas à sua localização geográfica (às margens norte do canal principal de maré vazante) e pelos indícios históricos de intensa mobilidade praial (BESSA JR., 2003). Apesar do banco em pontal ser o principal responsável por condicionar a morfodinâmica da Prainha, as imagens históricas do *Google Earth* demonstraram uma correlação entre a descarga de um corpo d'água (Pra7) e a mobilidade longitudinal e transversal da faixa de areia. Foram identificadas concordâncias entre mobilidade e aumento/diminuição do volume de descarga, apenas de forma visual, podendo ser um importante agente morfológico desta praia, proveniente do continente. Assim como ocorre com o Rio Prainha, ao desaguar no extremo leste do arco praial (Pra1), abrigada pelo pontal rochoso adjacente que ocasiona a refração das ondas, e conjuntamente, condicionam a uma faixa de areia mais extensa no local.

5.4 SETOR NORTE - PRAIA BRAVA E PRAIA DO RIO MATINHOS

A dinâmica praial de ambos os compartimentos do Setor Norte foi intensamente influenciada ao longo do período de análise e em anos antecessores, por fatores antrópicos. Ocupações sobre a faixa dinâmica de praia, construções de calçadas durante períodos de avanço da linha de costa, obras de proteção costeira contra erosão, retificação do arco praial para a construção de uma via pública, são algumas delas. Além disso, as duas praias possuem trechos da costa delimitada por dunas frontais, e outros, por muros de contenção, podendo fazer a distinção nítida entre ambos os tipos de costa através dos dados obtidos, e primeiramente, avaliando as posições na linha de costa (FIGURA 20).

Entre as porções sul e central da Praia Brava, observa-se que as linhas de costa demonstraram um avanço gradativo em direção ao mar, ao longo dos 35 anos de análise, coincidindo com dois fatores considerados por estudos anteriores na área. O primeiro seria sobre o deslocamento para norte do lobo frontal do delta de maré vazante ao longo do tempo, favorecendo a deposição de sedimentos inicialmente ao sul, e gradativamente para norte conforme a mudança de posição da feição. Na Figura 20 é possível observar o limite de influência de bancos associados a essa feição para o ano de 2020 (entre PB21 e PB25). Outro fator seria a obra de recuperação natural da praia com espigões em gabiões na década de 1980, que se

estendeu do Morro do Boi até o canal do Rio Caiobá (LINDORTH, 1982). Ambos os fatores, condicionados ao transporte longitudinal de sedimentos na costa em direção ao norte, podem ter ocasionado a deposição em trechos adjacentes, configurando uma retroalimentação positiva, como observado por Angulo et al. (2006), porém, neste caso, favorecendo a deposição.

FIGURA 20 - DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DAS LINHAS DE COSTA ENTRE 1985 E 2020 NO SETOR NORTE (A), COMPOSTO PELA PRAIA BRAVA (B) E PELA PRAIA DO RIO MATINHOS (C)



FONTE: A autora (2021)

Já na porção norte, à medida que as dunas frontais deixam de ser identificadas e se observa apenas os muros e enrocamentos de proteção costeira, as linhas de costa diminuem as distâncias entre si. Possivelmente porque essas intervenções na costa determinam a linha de costa desde antes do período de análise. O mesmo ocorre no sul da Praia do Rio Matinhos, onde a linha de costa também é fixada pelos muros e enrocamentos de rocha, a posição entre as linhas de costa mais recente e mais antiga são muito próximas entre PRM11 e PRM13. Ao norte, é identificada a presença de dunas e de zona pós-praia mais extensa. Com exceção da porção centro-sul da Praia Brava, o restante das praias não apresentou

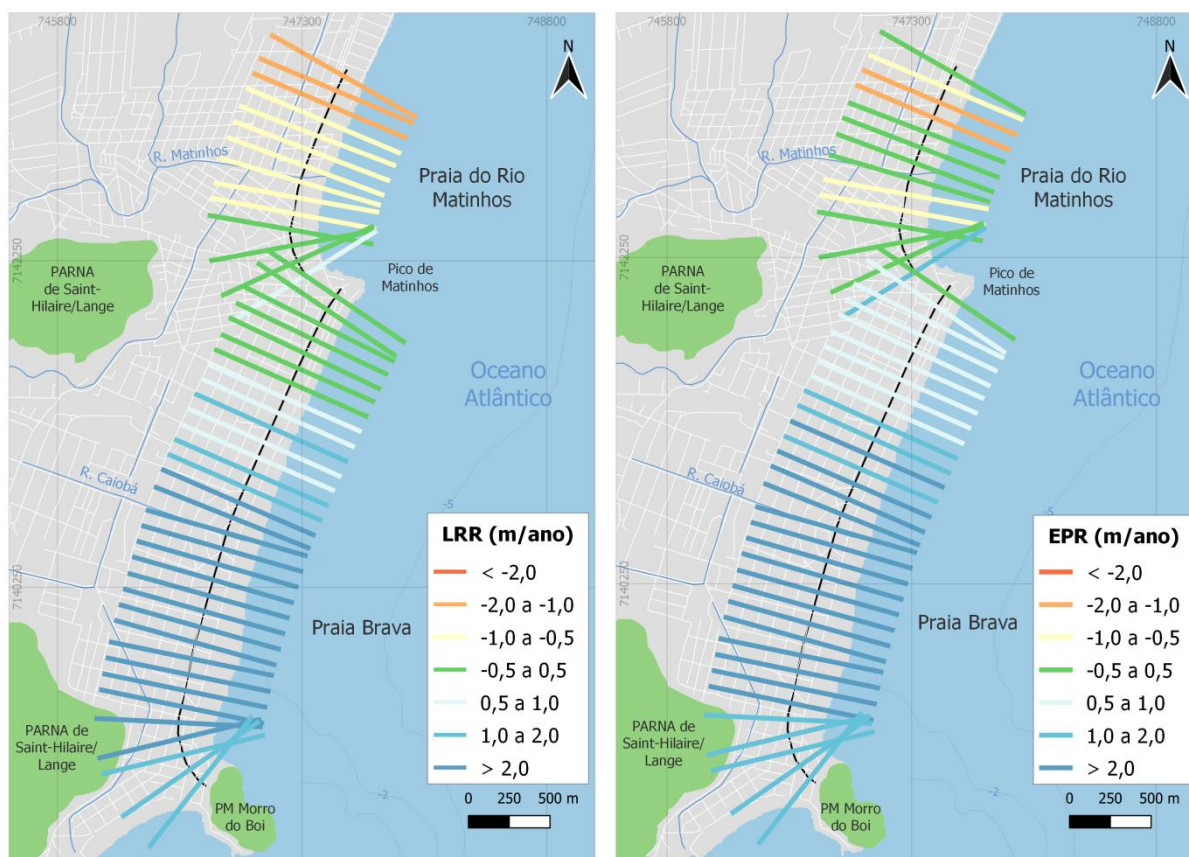
um padrão na disposição das linhas de costa, podendo estar relacionado a períodos erosivos e deposicionais entre os anos de analisados.

Em ambas as praias, foram identificadas linhas de costas mais sinuosas e em direção ao mar, cujas posições podem ser resultantes da influência da arrebentação de ondas na zona de surfe, detectadas de forma errônea. Assim como, as projetadas sobre as dunas frontais, na porção sul da Praia Brava, podem estar associadas aos canais de cursos d'água que desaguavam no pós-praia, identificados em imagens históricas do *Google Earth*. Quanto às imagens datadas do mesmo ano geradas através da imagem CBERS e do CASSIE, não apresentaram boa correlação em ambas as praias. Possivelmente por estarem em condições de maré distintas.

Os valores de LRR e EPR apontaram uma boa correlação entre si para a Praia Brava (FIGURA 21). Porém, os números de EPR apresentaram menor amplitude, entre 0,41 e 3,70 m/ano, enquanto os dados de LRR variaram de - 0,36 a 3,15 m/ano, apontando valores negativos, entretanto, enquadrados na classe de estabilidade. Os valores mínimos para ambas as métricas foram observados em PB1, já os valores máximos, foram identificados entre PB21 (LRR) e PB22 (EPR) coincidindo com o limite de influência do banco associado ao delta de maré vazante. Foi observada uma tendência crescente dos valores das porções extremas do arco praiial para o centro, no entanto, a porção norte apresentou os menores valores para as métricas, indicando que o mesmo arco praiial possui comportamentos distintos ao longo da sua extensão.

Os resultados das taxas de variação condizem com o comportamento deposicional da porção centro-sul da Praia Brava identificado por Angulo et al. (2018), entre 2001 e 2014. No entanto, os autores apresentaram pontos em acreção com maiores valores na porção sul, atingindo a taxa de variação anual de 7,5 m, e menor na porção central, registrando 1,5 m/ano. Já na porção norte, identificaram situação de erosão para todo o setor, com valores inferiores a 1 m/ano. É importante considerar que aparentemente os valores obtidos por Angulo et al. (2018) não foram avaliados com base na classificação de Esteves e Finkl (1998). Ou seja, não há como precisar se os valores considerados como inferiores a 1 m/ano pelos autores não atingiram a classe de estabilidade (de - 0,5 a 0,5 m/ano), pois não são exemplificados, impossibilitando uma comparação adequada entre os dados obtidos pelos autores e os dados do presente estudo.

FIGURA 21 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS TRANSECTOS DA PRAIA BRAVA E DA PRAIA DO RIO MATINHOS SEUS RESPECTIVOS VALORES DE LRR E EPR

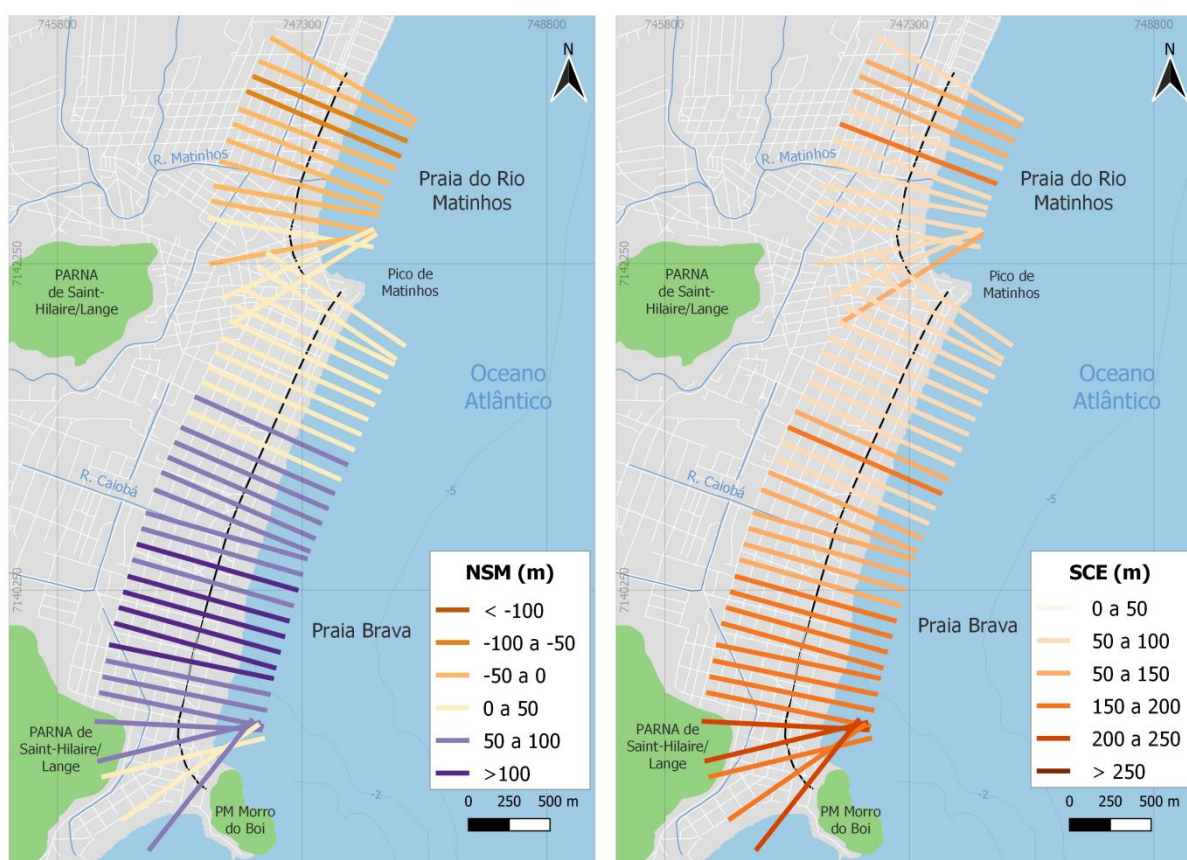


FONTE: A autora (2021)

Já para a Praia do Rio Matinhos a correlação entre as métricas foi sutil, apresentando valores semelhantes em locais pontuais como, por exemplo, em PRM9 e PRM10, podendo indicar uma tendência erosiva que persiste em décadas. Angulo et al. (2018) registraram situação de erosão ao sul do Rio Matinhos, com taxa de variação de - 1,5 m/ano, enquanto ao norte do rio, obtiveram indicativo de acreção, com uma taxa de 2 m/ano, corroborando parcialmente com os resultados deste estudo. Entretanto, foi observado que esses resultados tiveram uma boa correlação com os valores de LRR levantados por Stellfeld (2019), mesmo utilizando ferramenta (DSAS) e indicador de linha de costa (marca da maré alta) distintos. Os resultados obtidos pela autora, referentes aos anos de 1951 e 2016, variaram de - 0,69 a 0,01 m/ano na porção sul e de - 1,24 a - 1,04 m/ano na porção norte. Enquanto os dados gerados pelo CASSIE apresentaram variação entre - 0,69 e 0,72 m/ano ao sul, e 0,5 e -1,18 m/ano ao norte.

Os valores de mobilidade líquida (NSM) obtidos demonstraram boa relação com as taxas de variação da linha de costa para a Praia Brava, apresentando valores maiores na porção central e menores na porção norte (FIGURA 22). Além disso, não foram identificados dados negativos, indicando que a linha de costa mais recente se manteve mais distante da linha de base do que a linha mais antiga, em todos os transectos.

FIGURA 22 – REPRESENTAÇÃO ESPACIAL DOS TRANSECTOS DA PRAIA BRAVA E DA PRAIA DO RIO MATINHOS E SEUS RESPECTIVOS VALORES DE NSM E SCE



FONTE: A autora (2021)

Maiores valores se concentraram na porção de influência do banco ocasionado pelo delta de maré vazante, confirmando mais uma vez a importância dessa feição no aporte sedimentar do arco-praial. Considerando que sua posição atual é relativamente recente (observada desde 2014 por Angulo et al., 2018), pode ter sido também o principal responsável pela mobilidade praial máxima (SCE) identificada em trechos mais ao sul. Somado à localização abrigada em relação ao pontal rochoso, propiciando o acúmulo sedimentar. Valores mínimo e máximo de

SCE para a Praia Brava coincidiram com a variação apresentada por Stellfeld (2019) de 19,0 a 136,6 m, sendo que o presente estudo obteve variações entre 14,4 e 129,0 m. Já para a Praia do Rio Matinhos, os dados de SCE apresentaram valores maiores, na ordem de dezenas de metros, comparados aos registrados por Stellfeld (2019), não apresentando boa correlação.

A comparação conjunta entre as quatro métricas permitiu identificar pontos erosivos de atenção no trecho entre PRM3 e PRM4, na praia do Rio Matinhos, pois além de apresentarem taxas de variação da linha de costa menores ou muito próximas à -1 m/ano, ainda registraram as maiores mobilidades praias líquidas e brutas. E apesar de condizerem com valores encontrados por Stellfeld (2019), foi observado que a delimitação de algumas linhas de costa nesta área foi possivelmente influenciada pela zona de surfe, necessitando de uma avaliação mais detalhada, por exemplo, de imagens do mesmo período das linhas geradas.

É igualmente importante dar atenção aos locais indicados como estáveis, em ambas as praias, pois condizem com costas delimitadas por obras de proteção (FIGURA 23A–B), e os valores podem ter sido subestimados. A melhor compreensão do estado morfodinâmico desses trechos pode auxiliar na investigação.

FIGURA 23 – AMBIENTE PRAIAL DELIMITADO POR MUROS E ENROCAMENTOS NA PORÇÃO NORTE DA PRAIA BRAVA (A) E NA PORÇÃO SUL DA PRAIA DO RIO MATINHOS (B), AMBAS EM MARÉ ENCHENTE



FONTE: A autora (2021)

6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A caracterização da evolução da linha de costa em praias do Litoral Centro-Sul do Paraná foi realizada com base numa proposta de análise decadal. Portanto, foi priorizada a correlação dos dados gerados pela ferramenta escolhida com os agentes e processos atuantes na morfodinâmica das praias, somada às interferências antrópicas ocorridas no período de análise e em anos anteriores.

Os resultados obtidos possibilitaram identificar as praias que merecem atenção prioritária, tanto em estudos futuros para a melhor compreensão dos seus comportamentos, quanto em estratégias de gestão que visem à proteção dessas áreas. Sem dúvidas, a Praia de Caieiras e a Prainha se enquadram nesse segundo contexto, pois como já evidenciado em estudos anteriores, concentram-se em ambientes instáveis, sendo que os resultados corroboraram com as suas condições morfodinâmicas. Entretanto, o constante monitoramento da mobilidade temporal dos bancos associados ao delta de maré vazante pode fortalecer na tomada de decisões.

Em relação à Praia Central de Guaratuba, Praia Brava e Praia do Rio Matinhos, o resultado das métricas apresentou certa influência de trechos das praias que possuem a linha de costa fixada por obras de contenção costeira, especialmente, nos dois últimos casos. Nesses trechos foram identificados valores de R^2 muito próximos a 0 e indicam que a linha de regressão (taxa de variação) explicou pouco a relação entre as linhas de costa históricas e as suas distâncias da linha de base nos transectos. Além disso, de acordo com os valores de LRR, vários transectos apresentaram situação de estabilidade, mesmo situados em trechos que possuem tendências erosivas já discutidas pela literatura. Esses fatores demonstram que realizar a análise da evolução da linha de costa apenas pelas métricas calculadas pelo CASSIE não são suficientes para gerar dados e informações sobre ambientes praias delimitados por obras costeiras, necessitando de levantamento de dados complementares.

A Praia do Rio Matinhos apresentou o maior valor percentual de linha de costa em situação de erosão, identificada predominantemente na sua porção norte que atualmente é delimitada por dunas frontais. Porém, sofreu ocupação na sua faixa dinâmica, ocasionando perdas às pessoas residentes no local após um evento de ressaca em 2001, supondo que essa alteração na dinâmica natural promove o

déficit de sedimentos mesmo no trecho com dunas frontais mais desenvolvidas e sem residências no entorno. No entanto, as evidências erosivas acabam sendo menores, justamente por haver a manutenção dessas feições na retropraia.

Já na porção centro-sul da Praia Brava (compostas por dunas) e na Praia Mansa como um todo, houve predominância de situação de acreção, indicando que as últimas obras que visaram à restauração natural da faixa praiial subaérea foram bem-sucedidas. Além disso, a posição do delta de maré ao longo desses 35 anos também contribuiu com os processos de acreção em ambas as praias. Entretanto, por estarem localizadas em áreas de influência dessa feição estuarina, é importante que a sua área de abrangência seja constantemente monitorada, avaliando as possíveis influências acarretadas às praias, como sugerido para a Praia de Caieiras e a Prainha.

Foi verificado que estudos anteriores que contemplam a mesma área são mais comuns nas praias do município de Matinhos, assim como os mais recentes. Normalmente utilizam várias cenas de fotografias aéreas e imagens de satélites para avaliar a evolução da linha de costa em escala decadal, com o uso da ferramenta *DSAS* para o cálculo das métricas, atribuindo indicadores de linha de costa distintos, como a linha de vegetação e a marca da maré alta. A boa relação entre as taxas de variação desses estudos com o presente trabalho pode indicar que os erros atribuídos a fatores de influência da posição da linha de costa (por exemplo, as condições de maré) foram minimizados. E podem ser atribuídos ao uso de uma quantidade significativa de 50 imagens de anos distintos, possivelmente somados à determinação de um único indicador de linha de costa.

Essas condições refletem procedimentos estabelecidos em etapas antecedentes à geração de dados e incluíram processos de refinamento de imagens conforme a altura de maré no momento do imageamento (para os anos de 2006 a 2020) e de verificação de períodos de ocorrência de *El Niño* (menos preciso). Reconhece-se que tais condições adotadas podem acarretar possíveis erros, entretanto, trabalhou-se com dados e informações que apesar de escassos estão disponíveis. Por conta disso, há a necessidade de uma melhor avaliação dos dados gerados, pois os mesmos não sofreram processos de filtragem após serem obtidos, especialmente, porque o *CASSIE* realiza o procedimento automaticamente e de uma única vez. Além disso, sugere-se que novos testes como o refinamento de dados sejam realizados através da ferramenta para futuras comparações entre diferentes

dados gerados. No entanto, possíveis erros, especialmente associados à resolução das imagens utilizadas e à dificuldade do procedimento em dissociar feições, delimitando linhas de costa em locais que não condizem com a linha d'água, foram identificados e descritos no presente trabalho. Em contrapartida, ressalta-se que o CASSIE é uma ferramenta recente e em aperfeiçoamento, visto que a inclusão de alguns procedimentos como a correção da maré e a segmentação de borda na resolução de sub-pixel para a detecção das linhas de costa, vêm sendo discutidos.

Utilizar os dados complementares (gerados pelo CASSIE) de distância das linhas de costa em relação à linha de base para cada transecto pode ser uma alternativa para avaliar a influência das linhas geradas para o período cujos dados de maré não foram identificados nos resultados das métricas (1985 a 2005). O que contribuiria também para identificar períodos distintos de processos sedimentares em pontos específicos de arco-praias que não apresentaram uma tendência nítida de erosão ou acreção da linha de costa ao longo de 35 anos de análise. Esses dados não são apresentados no Apêndice 2, por corresponderem a 50 valores de distância para cada transecto gerado, entretanto, são dados disponíveis para se trabalhar.

De maneira geral, ao considerar a distribuição espacial dos resultados obtidos para as métricas, as mesmas apresentaram boas relações entre si, em especial entre *LRR*, *NSM* e *EPR*. Sugerem que o comportamento da linha de costa identificado através de dados quantitativos, durante um período de 35 anos, pode indicar tendências erosivas, deposicionais ou de estabilidade em escala decadal e que já vinham sendo discutidas em outros estudos com períodos de análise antecedentes ao do presente estudo. Essas tendências estão intimamente relacionadas à orientação da costa, à localização geográfica e aos agentes e processos costeiros, somados às intervenções antrópicas que propiciaram mudanças na morfodinâmica dos arco-praias.

No entanto, é necessário considerar que apesar do conhecimento consistente sobre os impactos antrópicos em processos sedimentares, a área de estudo carece de dados e informações importantes, especialmente sobre os agentes controladores desses processos (marés, ondas e correntes). Tornando-se uma lacuna não só na geração de dados mais precisos, mas também na construção de um diagnóstico robusto da área, correlacionando os resultados obtidos ao conhecimento técnico-científico de forma eficiente e aplicável às estratégias de gestão costeira.

Embora existam essas limitações, a análise quantitativa da evolução da linha de costa em escala decadal apresentada neste estudo contribui, especialmente, com a identificação de áreas que necessitam de prioridades nas estratégias de proteção da linha de costa. Além disso, evidenciam os fatores naturais e antrópicos que influenciam na dinâmica sedimentar dessas áreas. Ou seja, a análise contribui com um conhecimento básico para apoiar medidas preventivas e mitigadoras da costa que sejam pensadas em longo prazo e embasadas na ciência. Evitando assim, que estratégias emergenciais, malsucedidas e que aceleram os processos sedimentares continuem sendo adotadas nas praias do Litoral Centro-Sul do Paraná como um todo. Especialmente porque os processos costeiros ultrapassam os limites municipais, demandando a elaboração de medidas complementares entre os municípios.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, L. P.; OLIVEIRA, I. E. de; LYRA, R.; DAZZI, R. S.; MARTINS, V. G. KLEIN, A. H. da F.. Coastal Analyst System from Space Imagery Engine (CASSIE): Shoreline management module. **Environmental Modelling and Software**, v.140, 2021.
- ALMONACID-CABALLER, J.; SÁNCHEZ-GARCÍA, E.; PARDO-PASCUAL, J. E.; BALAGUER-BESER, A. A.; PALOMAR-VÁZQUEZ, J. Evaluation of annual mean shoreline position deduced from Landsat imagery as a mid-term coastal evolution indicator. **Marine Geology**, v. 372, p. 79–88, 2016.
- ANGULO, R. J., BORZONE, C. A., NOERNBERG, M. A., QUADROS, C. J. L. de, de SOUZA, M. C. de, ROSA, L. C. da. The State of Paraná Beaches. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. da F. (Eds.) **Brazilian Beach Systems**. Coastal Research Library , Dordrecht: Springer, v. 17, p. 419-464, 2016.
- ANGULO, R. J. Mapa do Cenozóico do litoral do Estado do Paraná. **Boletim Paranaense de Geociências**. Curitiba: Editora UFPR, n. 55, p. 25-42, 2004.
- ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C. de; MUELLER, M. E. J.; NOERBERG, M. A.; SOARES, C.R.; BORZONE, C.A.; MARONE, E.; QUADROS, C.J.de L. Paraná. In: MUEHE, D. **Erosão e progradação do litoral brasileiro**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, p.349-400, 2006.
- ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C. de; MUELLER, M. E. J.; NOERBERG, M.A.; OLIVEIRA, L. H. S. de, SOARES, C. R. ; BORZONE, C. A. Paraná. In: MUEHE, D. **Panorama da Erosão Costeira no Brasil**. Brasília: Ministério do Meio Ambiente. p.588-635, 2018.
- ANGULO, R. J.; SOUZA, M. C. de; NOERNBERG, M. A. Anthropic 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**, v. 20, n. 1, p. 5–25, 2020.
- BARROS, F.C.R Jr, BORZONE, C.A., ROSSO, S. The Macroinfauna of six beaches near Guaratuba Bay, Southern Brazil. **Brazilian Archives of BioloHy and Technology**, v.44, n.4, p. 351–364, 2001.
- BESSA Jr, O. **Interferência entre a ocupação urbana e a dinâmica natural no litoral sul do Paraná**. Curitiba. Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Paraná, 153p., 2003.
- BIRD, E. **Coastal geomorphology: an introduction**. 2ed. West Sussex: John Wiley & Sons Ltd, 436p., 2008.
- BOAK, E. H.; TURNER, I. L. Shoreline Definition and Detection: A Review. **Journal of Coastal Research**, v. 214, p. 688–703, jul. 2005.

BRASIL. **Lei nº 10.227, de 23 de maio de 2001**. Cria o Parque Saint-Hilaire/Lange, no Estado do Paraná e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, n. 100E, p. 2-3, 24 maio 2001.

BRASIL. Grupo de Integração do Gerenciamento Costeiro – GI-GERCO/CIRM. **Guia de Diretrizes de Prevenção e Proteção à Erosão Costeira**. Brasília/DF, 111p., 2018.

BURNINGHAM, H.; FRENCH, J., Understanding coastal change using shoreline trend analysis supported by cluster-based segmentation. **Geomorphology**, v. 282, p. 131–149, 2017.

CBERS - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres. **CBERS-4A**. 2019. Disponível em: <http://www.cbears.inpe.br/sobre/cbers04a.php>. Acesso em: 26 jul. de 2021.

CALLIARI, L. J.; MUEHE, D.; HOEFEL, F. G.; TOLDO Jr, E. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51 (único), p. 63-78, 2003.

CAMARGO, R. de; HARARI, J. Marés. In: CASTELLO, J. P.; KRUG, L. C. (Org.). **Introdução às Ciências do Mar**. Pelotas: Editora Textos, p. 226-255, 2015.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **Tábuas de maré**. Disponível em: <http://ondas.cptec.inpe.br>. Acesso em: 26 jul. de 2021a.

CPTEC - Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos. **El Niño e La Niña**. Disponível em: <http://enos.cptec.inpe.br>. Acesso em: 26 jul. de 2021b.

CASTELLE, B., GUILLOT, B., MARIEU, V., CHAUMILLON, E., HANQUIEZ, V., BUJAN, S., POPPESCHI, C. Spatial and temporal patterns of shoreline change of a 280- km high-energy disrupted sandy coast from 1950 to 2014: SW France. **Estuarine Coastal and Shelf Science** v. 200, p. 212–223, 2018.

CROWELL, M.; LEATHERMAN, S.P.; BUCKLEY, M. K. Historical shoreline change: error analysis and mapping accuracy. **Journal of Coastal Research**, v. 7, n. 3, p. 839-852, 1991.

DESCHAMPS, M. V.; KLEINKE, M. de I. Os fluxos migratórios e as mudanças socioespaciais na ocupação contínua litorânea do paraná. **Revista Paranaense de desenvolvimento**, Curitiba: IPARDES, nº 99, p. 45-59, 2000.

DOLAN, R.; FENSTER, M.S., HOLME, S. J. Temporal analysis of shoreline recession and accretion. **Journal of Coastal Research**, v.7, n. 3, p. 723–744, 1991.

ESTEVEZ, L.S.; FINKL, C.W., Jnr. The problem of critically eroded areas (CEA): An evaluation of Florida beaches. **Journal of Coastal Research**, Royal Palm Beach (Florida), S1(26), p. 11-18, 1998.

FARIAS, E. G. G. de; MAIA, L. P. Uso de Técnicas de Geoprocessamento para a Análise da Evolução da Linha de Costa em Ambientes Litorâneos do Estado do Ceará, Brasil. **Revista de Gestão Costeira Integrada**, v. 10, n.4, p. 521-544, 2010.

FOMIN, I. M. **Estudo do estado médio e da variabilidade da atmosfera do litoral paranaense, utilizando dados da estação meteorológica de Pontal do Paraná**. Monografia DE Graduação (Curso de Oceanografia) – Universidade Federal do Paraná, 54f., 2013.

GROTZINGER, J.; JORDAN, T. **Para entender a Terra**. Tradução: ABREU, I. D. Revisão técnica: MENEGAT, R. Ed. 6 - Recurso eletrônico. Porto Alegre: Bookman, 2013.

HAGENAARS, G.; VRIES, S. de; LUIJENDIJK, A. P.; BOER, W. P. de; RENIERS, A. J. H. M. On the accuracy of automated shoreline detection derived from satellite imagery: A case study of the sand motor mega-scale nourishment. **Coastal Engineering**, v. 133, p. 113-125. Mar. 2018.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Atlas geográfico das zonas costeiras e oceânicas do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE - Diretoria de Geociências, 173p., 2011.

KLEIN, A. H. da F.; SHORT, A. D. Brazilian Beach Systems: Introduction. In: SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. da F.(Eds.) **Brazilian Beach Systems**. Coastal Research Library, Dordrecht: Springer, v.17, p. 1-35, 2016.

KONLECHNER, T. M.; KENNEDY, D. M.; O'GRADY, J. J.; LEACH, C.; RANASINGHE, R.; CARVALHO, R. C.; LUIJENDIJK, A. P.; MCINNES, K. L.; IERODIACONOU, D. Mapping spatial variability in shoreline change hotspots from satellite data; a case study in southeast Australia. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 246, n. September, p. 107018, 2020.

LESSA, G. Aspectos básicos da circulação estuarina e sua relação com o ambiente costeiro. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, p. 74-103, 2020. ISBN 978-65-992571-0-0.

LESSA, G. C.; ANGULO, R. J.; GIANNINI, P. C. F.; ARAÚJO A. D. Stratigraphy and Holocene evolution of a regressive barrier in south Brazil. **Marine Geology**, [S.l.], v. 165(1-4), p. 87-108, 2000. DOI: 10.1016/S0025-3227(99)00130-9.

LINDROTH, G. **Praia Mansa de Caiobá: um modelo em recuperação e proteção contra a erosão marinha**. Curitiba: EMOPAR, 18p., 1982.

LUIJENDIJK, A., HAGENAARS, G., RANASINGHE, R., BAART, F. DONCHYTS, G., AARNINKHOF, S. The State of the World's Beaches. **Scientific Reports**. v. 8., 2018.

MAACK, R. **Geografia Física do Estado do Paraná**. 4 Ed. Ponta Grossa: Editora UEPG, 526p. 2012.

MAFRA, T. V. Desterritorialização e resistência em uma comunidade de pescadores no litoral do Paraná: a presença de uma liderança mulher na luta pelo território pesqueiro. Guaju – **Revista Brasileira de Desenvolvimento Territorial Sustentável**: Matinhos, v.5, n.1, p. 166-189, jan./jun. 2019

MARONE, E.; NOERNBERG, M.; DOS SANTOS, I.; ANDREOLI, O.R.; BUBA, H.; FILL, H.D. Hydrodynamic of Guaratuba Bay, PR, Brazil. **Journal of Coastal Research**, p. 1879–1883, jan. 2006.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The effect of the tide range on beach morphodynamics and morphology: a conceptual beach model. **Journal of Coastal Research**, v.9, n.3, p.785-800, 1993.

MATINHOS. **Lei nº 1067, de 05 de dezembro de 2006**. Dispõe sobre a instituição do Plano Diretor Participativo e de Desenvolvimento Integrado de Matinhos, e dá outras providências.

MINEROPAR. **Mapa geológico do Estado do Paraná, Folha de Curitiba**. SG.22-X-D. Escala 1:250.000. Curitiba: MINEROPAR, 2006. Disponível em <<http://www.iat.pr.gov.br/Pagina/Mapeamento-Geologico>>. Acesso em 12 jul. 2021.

MOURA, R.; WERNECK, D. K. Ocupação contínua litorânea do Paraná: uma leitura do espaço. **Revista Paranaense de Desenvolvimento**, Curitiba: IPARDES, n.99, p.61-82. 2000.

MUEHE, D. Aspectos gerais da erosão costeira no Brasil. **Mercator - Revista de Geografia** da Universidade Federal do Ceará, v. 7, p. 97–110, 2005.

MUEHE, D.; KLUMB-OLIVEIRA, L. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. **Quaternary and Environmental**, Curitiba, v. 5, n. 2, p. 121-124, 2014.

MUEHE, D. O sistema praial: formas, termos, processos e medição. In: MUEHE, D.; LINS-DE-BARROS, F. M.; PINHEIRO, L.S. (orgs.) **Geografia Marinha: oceanos e costas na perspectiva de geógrafos**. Rio de Janeiro: PGGM, p. 27-55, 2020. ISBN 978-65-992571-0-0

NASCIMENTO, E. F.; AZEVEDO, L. de S.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES Jr., R. T. Comparison of water index for MUX / CBERS-4 digital number and monochrome reflectance images. **Journal of Hyperspectral Remote Sensing**, v. 10, n. 1, p. 34-44, 2020.

NEMES, D.D.; MARONE, E. Caracterização das ondas de superfície na plataforma interna do Estado do Paraná, Brasil. **Boletim Paranaense de Geociências**, [S.l.], v. 68-69, p. 12-25. 2013

NOVAK. L. P. **Risco à erosão costeira na orla dos municípios de Matinhos e Pontal do Paraná, Brasil**. Dissertação de Mestrado (Pós-Graduação em Geografia) – Universidade Federal do Paraná, 127f., 2017.

PARANÁ. **Decreto Estadual nº 10.855, de 23 de abril de 2014.** Estabelece o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo para o Município de Guaratuba, e dá outras providências. Diário Oficial do Estado, Curitiba, PR, 2014a.

PARANÁ. **Decreto Estadual n.º 10.856, de 23 de abril de 2014.** Estabelece o Zoneamento, Uso e Ocupação do Solo para o Município de Matinhos, e dá outras providências Diário Oficial do Estado, Curitiba, PR, n. 9192, 24 abr. 2014b.

PIERRI, N.; ANGULO, R.J.; SOUZA, M.C., KIM, M.K. A ocupação do solo no litoral paranaense: condicionantes, conflitos e tendências. **Desenvolvimento e Meio Ambiente**, Curitiba: UFPR, v.13. p. 137-167, 2006.

PARDO-PASCUAL, J. E. ; SÁNCHEZ-GARCÍA, E.; ALMONACID-CABALLER, J.; PALOMAR-VÁZQUEZ, J. M.; SANTOS, E. P. de los; FERNÁNDEZ-SARRÍA, A.; BELAGUER-BESER, A .Assessing the accuracy of automatically extracted shorelines on microtidal beaches from landsat 7, landsat 8 and sentinel-2 imagery. **Remote Sensing**, Basel (Switzerland), v. 10, n. 2, p. 1–20, 2018.

PINET, P. R. **Fundamentos de oceanografia.** Tradução: SANT'ANA, O. D. de; SANTOS, F. A. dos. Ed. 1, LTC - Livros Técnicos e Científicos Editora: Rio de Janeiro, 2017.

SOUZA, C. R. de G. Erosão Costeira. In: TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; AMARAL, R. do. (Org.). **Desastres naturais: conhecer para prevenir.** São Paulo: Instituto Geológico, p. 71-84, 2009.

SOUZA, C.R de G., SOUZA FILHO, P.W.M., ESTEVES, S.L., VITAL, H., DILLENBURG, S.R., PATCHINEELAM, S.M.; ADDAD, J.E. Praias Arenosas e Erosão Costeira. In: C.R. de G. SOUZA, K. SUGUIO, A.M. SANTOS & P.E. Oliveira (eds.), **Quaternário do Brasil.** Holos Editora: Ribeirão Preto, SP, Brasil. (ISBN-10: 8586699470). p.130-152, 2005.

STELLFELD, M. E. **Exposição ao risco à erosão costeiras em frentes urbanas no município de Matinhos, Litoral Paranaense.** Tese de Doutorado (Programa de Pós-Graduação em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, 176p., 2019.

STROHAECKER, T. M. Dinâmica Populacional. In: MMA. **Macrodiagnóstico da zona costeira e marinha do Brasil.** Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 242p., 2008.

SUGUIO, K. **Geologia Sedimentar.** Editora Edgard Blucher: São Paulo, 400p., 2003.

VANHONI, F.; MENDONÇA, F. O clima no Litoral do Estado do Paraná. **Revista Brasileira de Climatologia**, v.3, 2008.

THIELER, E.R.; HIMMELSTOSS, E. A.; ZICHICHI, J.L; ERGUL, A. 2017. **Digital Shoreline Analysis System (DSAS) Version 4.0—An ArcGIS Extension for Calculating Shoreline Change**, 2017. E-book. Disponível em: <https://cmgds.marine.usgs.gov/publications/DSAS/of2008-1278>. Acesso em: 21 jul. 2021.

XU, H. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. **International Journal of Remote Sensing**. v. 27, n.14, p. 3025–3033, 2006.

XU, N. Detecting coastline change with all available landsat data over 1986-2015: A case study for the state of Texas, USA. **Atmosphere**, Basel (Switzerland), v. 9, n. 3, p. 01-20, 2018.

WRIGHT, L. D.; SHORT, A. D., Morphodynamic variability of surf zones and beaches: A synthesis. **Marine Geology**, v. 56, p. 93-118.1984.

APÊNDICE 1 – DADOS SOBRE AS LINHAS DE COSTA GERADAS PELO CASSIE

Data Imagem	Horário (UTC - 3h)	Altura de maré (m)	Ocorrência de El Niño	Satélite/ Sensor	Distância média entre linha de costa e linha de base (m) e desvio padrão					
					PRM	PB	PM	Pra	Pca	Pce
					Média (DP)		Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)	Média (DP)
06/05/1985	09:41:28	nd	nd	Landsat 5/ TM	188,6 (27,54)	138,725 (20,70)	119,003 (43,97)	178,468 (36,82)	170,738 (41,18)	
09/07/1985	09:41:01	nd	nd	Landsat 5/ TM	166,852 (20,39)	129,005 (22,33)	149,178 (42,99)	160,317 (21,10)	152,966 (37,19)	
23/04/1986	09:36:34	nd	Moderada	Landsat 5/ TM	168,395 (23,62)	136,572 (19,67)	124,758 (40,42)	159,478 (33,15)	152,412 (36,02)	
30/09/1986	09:31:25	nd	Moderada	Landsat 5/ TM	172,252 (22,63)	147,563 (20,57)	128,23 (40,58)	168,368 (30,61)	160,791 (26,43)	
15/06/1988	09:41:26	nd	Forte	Landsat 5/ TM	177,878 (18,22)	141,77 (22,34)	140,53 (34,63)	181,303 (48,25)	172,457 (48,17)	
17/05/1989	09:39:48	nd	nd	Landsat 5/ TM	181,442 (37,97)	150,004 (24,92)	126,256 (39,76)	174,413 (50,75)	165,566 (49,02)	
23/05/1991	09:33:54	nd	Forte	Landsat 5/ TM	172,817 (29,82)	143,124 (18,87)	119,253 (39,16)	157,094 (32,18)	148,81 (35,64)	
10/07/1991	09:34:34	nd	Forte	Landsat 5/ TM	193,313 (34,71)	134,879 (27,03)	115,149 (43,53)	179,788 (38,22)	171,536 (42,24)	
19/12/1992	09:32:38	nd	Fraca	Landsat 5/ TM	151,934 (24,93)	115,705 (22,37)	105,558 (34,95)	115,979 (19,53)	111,973 (28,89)	
09/03/1993	09:33:28	nd	Fraca	Landsat 5/ TM	172,911 (43,49)	126,017 (22,88)	105,326 (36,13)	120,61 (23,94)	120,39 (31,86)	
26/04/1993	09:33:45	nd	Fraca	Landsat 5/ TM	192,173 (45,98)	141,383 (26,02)	105,01 (36,46)	151,265 (28,33)	142,094(35,34)	
15/05/1994	09:30:50	nd	nd	Landsat 5/ TM	185,805 (46,80)	151,133 (25,21)	104,321 (27,06)	167,309 (34,06)	157,733 (42,57)	
03/08/1994	09:28:55	nd	nd	Landsat 5/ TM	177,293 (38,73)	150,906 (20,87)	122,214 (36,65)	156,357 (26,41)	148,823 (32,33)	
16/04/1995	09:20:14	nd	nd	Landsat 5/ TM	191,027 (51,86)	151,948 (24,97)	111,948 (26,74)	163,755 (25,05)	155,402 (33,87)	
02/05/1995	09:21:48	nd	nd	Landsat 5/ TM	185,125 (47,63)	138,03 (32,77)	108,246 (25,85)	145,245 (26,09)	137,068 (35,95)	
02/04/1996	09:19:50	nd	nd	Landsat 5/ TM	186,322 (47,05)	125,136 (25,25)	105,239 (31,92)	151,587 (28,83)	141,904 (32,54)	
14/12/1996	09:33:00	nd	nd	Landsat 5/ TM	175,604 (45,90)	152,184 (12,65)	103,989 (22,61)	153,809 (31,70)	145,019 (42,18)	

05/04/1997	09:38:17	nd	Forte	Landsat 5/ TM	194,735 (52,06)	152,495 (24,35)	113,857 (26,22)	159,433 (33,30)	151,279 (39,03)
24/06/1997	09:41:05	nd	Forte	Landsat 5/ TM	202,75 (59,79)	157,307 (24,16)	119,23 (31,53)	175,459 (36,02)	169,825 (37,15)
21/01/1999	09:50:22	nd	nd	Landsat 5/ TM	189,693 (49,82)	130,469 (26,17)	95,587 (21,41)	159,877 (34,16)	151,336 (36,62)
31/05/2000	09:47:23	nd	nd	Landsat 5/ TM	194,15 (54,55)	158,69 (22,35)	113,597 (31,40)	180,904 (45,56)	171,555 (51,88)
02/07/2000	09:48:06	nd	nd	Landsat 5/ TM	239,308 (63,94)	165,161 (30,10)	107,418 (25,76)	221,652 (56,3)	210,51 (58,40)
11/07/2003	09:47:40	nd	Moderada	Landsat 5/ TM	186,132 (36,58)	149,158 (19,58)	101,025 (29,44)	162,597 (46,41)	155,369 (45,72)
08/04/2004	09:50:49	nd	nd	Landsat 5/ TM	208,808 (44,05)	163,635 (15,81)	102,414 (16,59)	182,699 (53,77)	178,221 (57,25)
20/12/2004	09:57:06	nd	nd	Landsat 5/ TM	167,079 (45,03)	166,665 (15,59)	93,348 (10,71)	151,928 (46,70)	143,463 (48,73)
29/05/2005	09:58:46	nd	nd	Landsat 5/ TM	189,136 (44,57)	167,858 (25,32)	93,002 (22,21)	174,965 (37,96)	166,724 (37,50)
05/11/2005	09:59:28	nd	nd	Landsat 5/ TM	173,409 (46,52)	101,093 (37,86)	89,291 (17,28)	148,15 (33,10)	140,354 (38,78)
30/04/2006	10:03:14	0,2	Moderada	Landsat 5/ TM	183,16 (48,89)	160,608 (26,81)	95,662 (12,24)	163,822 (33,73)	154,724 (29,80)
20/08/2006	10:04:49	0,3	Moderada	Landsat 5/ TM	176,835 (37,50)	165,469 (29,50)	99,577 (15,58)	177,463 (57,29)	170,074 (65,72)
28/02/2007	10:06:18	0,5	Moderada	Landsat 5/ TM	178,35 (44,68)	130,834 (26,04)	89,443 (15,92)	150,782 (35,85)	144,688 (38,50)
01/02/2009	09:56:51	0,4	Moderada	Landsat 5/ TM	195,761 (61,34)	173,061 (20,64)	85,92 (11,52)	169,472 (39,50)	162,597 (46,79)
24/05/2009	09:59:14	0,2	Moderada	Landsat 5/ TM	201,816 (67,01)	163,992 (26,74)	96,311 (13,06)	172,202 (38,50)	164,331 (36,91)
04/02/2010	10:02:11	0,3	Moderada	Landsat 5/ TM	221,032 (73,88)	161,958 (23,57)	93,045 (8,45)	182,623 (44,51)	174,316 (53,54)
15/08/2010	10:01:40	0,6	Moderada	Landsat 5/ TM	186,963 (62,77)	172,776 (21,506)	92,878 (12,18)	153,616 (37,36)	146,753 (50,09)
30/05/2011	10:00:50	0,3 (07:15)	nd	Landsat 5/ TM	180,489 (62,92)	160,459 (23,88)	93,092 (10,74)	156,272 (31,72)	151,042 (44,63)
02/08/2011	10:00:16	0,2	nd	Landsat 5/ TM	214,236 (66,26)	169,302 (29,45)	91,862 (10,25)	167,049 (33,81)	160,93 (42,04)
17/04/2013	10:13:23	0,5 (11:51)	nd	Landsat 8/ OLI	183,207 (58,94)	171,868 (26,20)	99,923 (18,13)	139,616 (22,73)	130,359 (27,27)
07/08/2013	10:13:36	0,1	nd	Landsat 8/ OLI	215,123 (56,77)	180,385 (27,84)	114,101 (21,18)	169,242 (24,77)	161,06 (27,85)
25/07/2014	10:11:29	0,2 (07:49)	nd	Landsat 8/ OLI	197,46 (55,55)	174,295 (26,27)	108,165 (33,54)	164,728 (32,39)	156,348 (35,18)
26/08/2014	10:11:40	0,1	nd	Landsat 8/ OLI	215,397 (60,77)	186,77 (23,42)	115,519 (36,76)	159,114 (24,57)	151,178 (33,82)
17/01/2015	10:11:00	0,4	Forte	Landsat 8/ OLI	195,393 (58,59)	169,067 (23,09)	91,944 (15,31)	141,366 (19,11)	132,677 (30,57)

09/05/2015	10:10:35	0,9 (7:21)	Forte	Landsat 8/ OLI	224,915 (57,23)	190,336 (19,19)	119,08 (23,89)	167,089 (27,89)	160,063 (34,81)
31/08/2016	10:11:31	0,2	Forte	Landsat 8/ OLI	218,185 (51,94)	192,801 (26,16)	116,82 (27,67)	163,425 (32,92)	157,061 (26,78)
05/12/2016	10:11:39	0,5	Forte	Landsat 8/ OLI	171,304 (49,70)	166,904 (21,19)	82,632 (10,21)	115,822 (21,75)	107,896 (22,83)
28/04/2017	10:10:38	0,2	nd	Landsat 8/ OLI	187,513 (51,48)	176,086 (26,27)	99,23 (20,41)	125,353 (16,08)	117,298 (19,12)
14/05/2017	10:10:45	0,2	nd	Landsat 8/ OLI	224,4 (54,37)	194,605 (22,26)	112,502 (23,24)	164,721 (24,51)	155,595 (24,96)
02/04/2019	10:10:52	0,4	nd	Landsat 8/ OLI	202,333 (48,12)	184,933 (30,84)	97,525 (10,3)	135,919 (15,30)	128,79 (26,47)
18/04/2019	10:10:46	0,3	nd	Landsat 8/ OLI	212,139 (48,86)	181,032 (30,25)	98,272 (10,75)	136,58 (16,53)	128,853 (26,67)
15/01/2020	10:11:30	0,6	nd	Landsat 8/ OLI	210,201 (47,92)	182,91 (28,98)	75,923 (11,60)	143,392 (23,77)	135,661 (37,78)
09/07/2020	10:11:10	0,2	nd	Landsat 8/ OLI	231,876 (48,67)	189,956 (36,73)	102,788 (19,04)	173,762 (38,48)	164,348 (44,39)

Apêndice 1: Dados de linhas de costa gerados pelo CASSIE a partir de imagens de satélite da série *Landsat*;

Nota: Altura de maré (m) - os dados entre parênteses correspondem aos horários de referência da maré baixa; nd – dados não detectados; PRM – Praia do Rio Matinhos; PB – Praia Brava; PM – Praia Mansa; Pra – Prainha; PCa – Praia de Caieiras; PCe – Praia Central de Guaratuba; (*) Em PRM e PB, valores médios de distância e desvio padrão são os mesmos porque a obtenção dos dados para ambas as praias foi realizada uma única vez.

APÊNDICE 2 – DADOS DOS TRANSECTOS GERADOS PELO CASSIE

ID	Métricas				Derivados da métrica LRR				Classe
	End Point Rate (EPR)	Linear Regression Rate (LRR)	Net Shoreline Movement (NSM)	Shoreline Change Envelope (SCE)	Intersecção	R	R ²	Declividade	
PRM1	-0,150	-1,180	-5,273	97,308	287,864	-0,471	0,222	-0,0032	Erosão crítica
PRM2	-0,767	-1,000	-26,983	112,144	261,714	-0,479	0,229	-0,0027	Erosão
PRM3	-1,546	-1,024	-54,387	134,307	265,983	-0,473	0,223	-0,0028	Erosão crítica
PRM4	-1,497	-0,946	-52,663	125,507	260,680	-0,425	0,180	-0,0026	Erosão
PRM5	-0,394	-0,743	-13,849	85,161	242,896	-0,414	0,172	-0,0020	Erosão
PRM6	-0,360	-0,505	-12,678	165,824	225,659	-0,199	0,040	-0,0014	Erosão
PRM7	-0,278	-0,634	-9,774	83,143	241,174	-0,334	0,111	-0,0017	Erosão
PRM8	-0,392	-0,697	-13,805	74,429	253,556	-0,408	0,167	-0,0019	Erosão
PRM9	-0,548	-0,564	-19,268	72,420	239,675	-0,368	0,135	-0,0015	Erosão
PRM10	-0,560	-0,579	-19,704	84,089	244,106	-0,382	0,146	-0,0016	Erosão
PRM11	0,000	-0,338	0,000	72,384	230,795	-0,240	0,057	-0,0009	Estável
PRM12	-0,026	-0,169	-0,919	65,449	204,343	-0,116	0,013	-0,0005	Estável
PRM13	0,017	0,078	0,613	66,391	165,392	0,054	0,003	0,0002	Estável
PRM14	1,411	0,728	49,623	110,518	83,438	0,364	0,133	0,0020	Acreção
PB1	0,408	-0,357	14,335	57,966	158,943	-0,308	0,095	-0,00098	Estável
PB2	0,581	-0,153	20,428	58,593	152,260	-0,130	0,017	-0,00042	Estável
PB3	0,566	0,002	19,918	63,677	138,336	0,002	0,000	0,00001	Estável
PB4	0,716	0,108	25,174	73,526	128,106	0,081	0,007	0,00030	Estável
PB5	0,661	0,303	23,256	71,342	112,084	0,223	0,050	0,00083	Estável
PB6	0,588	0,263	20,673	69,476	121,278	0,202	0,041	0,00072	Estável
PB7	0,567	0,218	19,939	66,936	135,273	0,159	0,025	0,00060	Estável
PB8	0,707	0,602	24,858	79,328	93,502	0,303	0,092	0,00165	Acreção
PB9	0,961	0,736	33,819	87,035	82,037	0,364	0,133	0,00202	Acreção
PB10	1,472	1,001	51,791	85,840	51,452	0,513	0,263	0,00274	Acreção

PB11	1,075	0,590	37,817	127,003	100,702	0,261	0,068	0,00162	Acréção
PB12	2,818	0,898	99,145	174,727	74,988	0,302	0,091	0,00246	Acréção
PB13	1,461	1,412	51,379	88,983	22,555	0,671	0,451	0,00387	Acréção
PB14	2,091	1,756	73,543	99,945	-4,304	0,715	0,511	0,00481	Acréção
PB15	2,750	2,119	96,752	119,606	-31,626	0,765	0,585	0,00581	Acréção
PB16	2,295	2,463	80,741	129,469	-58,169	0,782	0,612	0,00675	Acréção
PB17	2,572	2,551	90,480	126,686	-58,970	0,808	0,653	0,00699	Acréção
PB18	2,593	2,806	91,199	140,914	-82,603	0,824	0,680	0,00769	Acréção
PB19	3,131	2,986	110,146	144,995	-93,724	0,820	0,672	0,00818	Acréção
PB20	2,586	2,969	90,952	147,657	-83,603	0,815	0,664	0,00813	Acréção
PB21	3,349	3,147	117,815	161,786	-92,634	0,793	0,628	0,00862	Acréção
PB22	3,692	3,067	129,889	178,680	-75,662	0,733	0,537	0,00840	Acréção
PB23	3,647	2,960	128,292	157,960	-52,828	0,768	0,590	0,00811	Acréção
PB24	3,368	2,916	118,480	189,437	-33,505	0,749	0,561	0,00799	Acréção
PB25	3,123	2,800	109,851	155,522	-14,209	0,759	0,576	0,00767	Acréção
PB26	2,577	2,417	90,658	161,234	28,607	0,622	0,387	0,00662	Acréção
PB27	2,330	2,311	81,963	181,387	37,970	0,548	0,300	0,00633	Acréção
PB28	2,023	2,184	71,165	178,710	42,685	0,501	0,251	0,00598	Acréção
PB29	1,891	2,107	66,511	234,599	46,634	0,450	0,203	0,00577	Acréção
PB30	1,994	2,193	70,129	208,004	35,973	0,457	0,209	0,00601	Acréção
PB31	1,247	1,494	43,881	169,037	75,247	0,410	0,168	0,00409	Acréção
PB32	1,374	1,532	48,328	197,950	65,436	0,389	0,152	0,00420	Acréção
PB33	1,447	1,382	50,893	211,118	73,856	0,359	0,129	0,00379	Acréção
PM1	0,632	0,738	22,247	74,549	65,572	0,504	0,254	0,0020	Acréção
PM2	1,010	0,271	35,542	75,093	116,905	0,250	0,062	0,0007	Estável
PM3	0,762	1,005	26,794	80,554	49,785	0,545	0,297	0,0028	Acréção
PM4	0,498	2,113	17,503	129,123	-97,399	0,650	0,422	0,0058	Acréção
PM5	0,608	1,835	21,394	157,383	-57,705	0,626	0,392	0,0050	Acréção
PM6	1,077	1,788	37,898	97,283	-39,106	0,748	0,560	0,0049	Acréção
PM7	2,231	1,889	78,470	96,515	-48,892	0,828	0,686	0,0052	Acréção

PM8	1,918	2,010	67,470	92,247	-64,540	0,871	0,759	0,0055	Acreção
PM9	1,937	2,154	68,136	114,335	-52,665	0,807	0,652	0,0059	Acreção
PM10	2,018	2,124	70,982	150,992	-57,808	0,733	0,537	0,0058	Acreção
PM11	2,561	2,237	90,087	183,677	-63,433	0,702	0,492	0,0061	Acreção
PM12	2,679	2,093	94,249	194,879	-35,654	0,635	0,403	0,0057	Acreção
PM13	2,871	2,178	100,975	142,671	-27,682	0,737	0,543	0,0060	Acreção
PM14	1,990	1,510	70,017	100,761	35,173	0,701	0,491	0,0041	Acreção
PM15	0,423	0,311	14,877	40,276	117,782	0,355	0,126	0,0009	Estável
Pra1	1,042	0,666	36,639	71,285	-3,909	0,416	0,173	0,0018	Acreção
Pra2	0,269	0,063	9,446	41,759	77,476	0,080	0,006	0,0002	Estável
Pra3	0,332	-0,074	11,689	57,235	104,398	-0,075	0,006	-0,0002	Estável
Pra4	-1,066	-0,614	-37,509	69,543	172,989	-0,382	0,146	-0,0017	Erosão
Pra5	-2,021	-1,634	-71,082	137,433	296,486	-0,635	0,403	-0,0045	Erosão crítica
Pra6	-2,291	-1,844	-80,601	131,663	332,255	-0,650	0,423	-0,0051	Erosão crítica
Pra7	-2,423	-2,586	-85,219	142,919	408,537	-0,725	0,526	-0,0071	Erosão crítica
Pra8	-0,218	-1,802	-7,662	120,359	310,055	-0,663	0,439	-0,0049	Erosão crítica
Pra9	0,552	-1,092	19,419	82,858	218,578	-0,625	0,391	-0,0030	Erosão crítica
Pra10	0,464	-0,592	16,324	63,283	155,598	-0,423	0,179	-0,0016	Erosão
Pra11	-0,171	-0,360	-6,017	36,716	124,743	-0,451	0,204	-0,0010	Estável
PCa1	0,461	0,167	16,202	35,275	77,282	0,230	0,053	0,000	Estável
PCa2	0,937	0,479	32,950	68,078	47,494	0,284	0,081	0,001	Estável
PCa3	0,491	-0,333	17,258	123,018	154,392	-0,160	0,026	-0,001	Estável
PCa4	-2,659	-1,253	-93,552	224,017	321,759	-0,291	0,085	-0,003	Erosão crítica
PCa5	-1,355	-1,947	-47,663	242,348	406,741	-0,394	0,155	-0,005	Erosão crítica
PCa6	-1,268	-1,880	-44,606	215,434	395,646	-0,386	0,149	-0,005	Erosão crítica
PCa7	-1,864	-1,718	-65,574	222,725	369,209	-0,368	0,136	-0,005	Erosão crítica
PCa8	-1,811	-1,222	-63,711	200,058	307,605	-0,295	0,087	-0,003	Erosão crítica
PCa9	-0,574	-0,726	-20,179	158,554	244,682	-0,220	0,048	-0,002	Erosão
PCa10	-0,561	-0,734	-19,717	133,021	235,848	-0,250	0,063	-0,002	Erosão
PCe1	0,238	0,010	8,359	73,501	87,687	0,0076	0,0001	2,667E-05	Estável

PCe2	-0,136	0,077	-4,796	73,622	93,100	0,0579	0,0034	2,099E-04	Estável
PCe3	0,362	0,257	12,742	90,337	82,853	0,1508	0,0227	7,046E-04	Estável
PCe4	0,361	0,055	12,685	96,820	106,971	0,0303	0,0009	1,498E-04	Estável
PCe5	0,137	-0,067	4,832	100,766	122,830	-0,0375	0,0014	-1,834E-04	Estável
PCe6	-0,030	-0,028	-1,055	78,226	126,878	-0,0166	0,0003	-7,587E-05	Estável
PCe7	0,246	0,021	8,651	81,028	130,529	0,0121	0,0001	5,708E-05	Estável
PCe8	0,440	-0,051	15,466	86,387	139,683	-0,0254	0,0006	-1,399E-04	Estável
PCe9	0,142	-0,047	4,980	98,647	142,430	-0,0226	0,0005	-1,275E-04	Estável
PCe10	-0,029	0,036	-1,035	95,572	134,251	0,0165	0,0003	9,833E-05	Estável
PCe11	-0,499	-0,544	-17,552	107,403	195,850	-0,1898	0,0360	-1,489E-03	Erosão
PCe12	-0,574	-0,537	-20,201	117,155	207,399	-0,1808	0,0327	-1,471E-03	Erosão
PCe13	-0,587	-0,445	-20,663	132,611	194,101	-0,1368	0,0187	-1,220E-03	Estável
PCe14	-0,580	-0,521	-20,390	111,170	202,044	-0,1963	0,0385	-1,427E-03	Erosão
PCe15	-0,723	-0,988	-25,447	88,539	245,894	-0,3934	0,1547	-2,707E-03	Erosão
PCe16	-1,183	-0,827	-41,603	77,068	243,751	-0,4715	0,2224	-2,265E-03	Erosão
PCe17	-0,228	-0,494	-8,018	78,375	212,553	-0,2552	0,0651	-1,352E-03	Estável
PCe18	-0,321	-0,424	-11,300	103,378	213,910	-0,1998	0,0399	-1,161E-03	Estável
PCe19	-0,586	-0,536	-20,624	112,635	244,770	-0,2481	0,0616	-1,469E-03	Erosão
PCe20	-0,620	-0,527	-21,807	114,387	253,123	-0,2479	0,0614	-1,444E-03	Erosão
PCe21	-0,378	-0,145	-13,309	152,717	211,820	-0,0529	0,0028	-3,968E-04	Estável
PCe22	-0,421	-0,497	-14,808	177,859	263,702	-0,1637	0,0268	-1,360E-03	Estável
PCe23	-0,215	-0,662	-7,560	180,697	282,380	-0,1996	0,0398	-1,814E-03	Erosão
PCe24	-0,006	-0,811	-0,223	215,360	292,418	-0,2022	0,0409	-2,221E-03	Erosão
PCe25	1,127	-0,297	39,647	294,565	211,169	-0,0662	0,0044	-8,138E-04	Estável
PCe26	1,721	0,433	60,555	250,728	137,143	0,1135	0,0129	1,185E-03	Estável
PCe27	1,666	0,341	58,589	176,133	147,920	0,1174	0,0138	9,353E-04	Estável

Apêndice 2: Dados dos transectos gerados pelo CASSIE, referente às praias estudadas;

Nota: PRM – Praia do Rio Matinhos; PB – Praia Brava; PM – Praia Mansa; Pra – Prainha; PCa – Praia de Caieiras; PCe – Praia Central de Guaratuba; R – coeficiente de correlação do ajuste da linha de regressão; R² - coeficiente de determinação do ajuste da linha de regressão.