

JULIANA REGINA RAMOS

**Dinâmica Morfo-Sedimentar e Eventos de Sobrelavagem na Praia da Mococa,
Caraguatatuba – SP**

São Paulo

2023

JULIANA REGINA RAMOS

**Dinâmica Morfo-Sedimentar e Eventos de Sobrelavagem na Praia da Mococa,
Caraguatatuba – SP**

Dissertação apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Orientador: Prof. Eduardo Siegle

São Paulo

2023

REGINA RAMOS, Juliana. **Dinâmica Morfo-Sedimentar e Eventos de Sobrelavagem na Praia da Mococa, Caraguatatuba – SP.** Dissertação (Mestrado) apresentada ao Instituto Oceanográfico da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Mestre em Ciências, Programa de Oceanografia, área de Oceanografia Geológica.

Aprovado em: 13/06/2023.

Versão Corrigida

Banca Examinadora

Prof. Dr. Eduardo Siegle

Instituição: IO/USP

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto

Instituição: UFPA

Julgamento _____ Assinatura _____

Prof. Dr. Paulo Cesar Fonseca Giannini

Instituição: IGc/USP

Julgamento _____ Assinatura _____

AGRADECIMENTOS

Os últimos três anos foram, sem sombra de dúvidas, os mais difíceis que já vivi, com inúmeros altos e baixos, mas que, com o apoio de todos à minha volta, foi possível voltar aos eixos e aprender a lidar com os obstáculos que a vida nos impõe.

Primeiramente gostaria de agradecer às pessoas mais importantes da minha vida: minha família. Aos meus pais, Cristiane e André, e à minha irmã, Carol, que sempre foram meu alicerce, inspiração e refúgio. Sem vocês nada disso seria possível. Sou grata todos os dias por poder compartilhar minha vida com vocês e ter tido a sorte grande de ter uma família que sempre me apoiou independentemente de qualquer circunstância.

Agradeço à minha tia, Adriane, que foi a pessoa que me deu o primeiro livro de oceanografia e que sempre me instigou a ler e me aperfeiçoar, sempre falando que era minha maior fã e me ensinando a buscar sempre a bondade nas pessoas e a fazer o bem. Disse para mim que estaria para sempre comigo e te sinto em cada conquista que consigo e em todos os bons momentos. Te amarei para sempre.

Aos meus avós, Rosalina, Maria Alice, Ademir e Melo, e meu primo, Rodrigo, amo vocês com todo o meu coração.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Eduardo Siegle, por toda a disposição, apoio, aprendizado e claro, paciência. Agradeço imensamente pela oportunidade oferecida e por me apresentar essa área da oceanografia que me fez realmente apaixonar pela carreira.

À minha coorientadora não oficial, Luiza Stein, que me ajudou em todas as etapas do trabalho, desde o planejamento até a correria final. Obrigada por toda a disponibilidade e didática em explicar as ferramentas envolvidas.

Aos meus colegas de Laboratório de Dinâmica Costeira que me ajudaram com os exaustivos levantamentos de campo, principalmente Luiza e Débora, que estiveram presente em todos eles. A ajuda de vocês foi essencial para a realização desse trabalho.

À Samara e ao Edilson por me ajudarem em todas as etapas da granulometria, explicando e ajudando com tudo o que precisei.

Ao meu eterno amigo, Leonardo Takase, por todas as conversas, desabafos, fofocas e, principalmente, por compartilhar um amor contagiante pelo oceano do início ao fim. Sempre terei uma memória feliz de você navegando. É como você sempre disse, nós somos infinitos e um dia nos encontraremos nessa imensidão azul.

Ao meu amigo e colega de trabalho, Jonas Oliveira, por me ensinar tanto em tão pouco tempo. Tudo o que aprendi com você fez com que esse trabalho saísse de forma fluida. Muito obrigada.

À Universidade de São Paulo e ao Instituto Oceanográfico, pela oportunidade de realização do curso.

Aos meus amigos do Tudo Nosso Nada Deles pelo apoio durante todos esses 8 anos, por todas as viagens, festas, choros, desabafos e alegrias. Vocês foram a melhor parte desse curso e espero levar todas essas amizades para a vida toda.

Ao serzinho mais irritadiço do mundo e também minha melhor amiga, Juliana Neiva, por todo o carinho, companheirismo e apoio nos momentos mais difíceis. Você foi essencial para mim nessa caminhada e me incentiva a ser cada dia melhor.

Aos meus nenês caninos que são meus refúgios, Shadow, Cadu e Dudinha (*in memoriam*). Vocês me trazem uma felicidade e conforto inexplicáveis. Obrigada por tanto amor.

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

RESUMO

REGINA RAMOS, Juliana. **Dinâmica Morfo-Sedimentar e Eventos de Sobrelevagem da Praia da Mococa, Caraguatatuba – SP**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Praias são caracterizadas por locais extremamente dinâmicos, com variações desde sazonais até grandes escalas de tempo. A principal variável que condiciona a dinâmica desses ambientes, a curto e médio prazo, é o clima de ondas. O estudo da dinâmica morfo-sedimentar de praias é de extrema importância para a utilização e ocupação adequadas da zona costeira. A Praia da Mococa está localizada na cidade de Caraguatatuba (SP) e possui aproximadamente 1,5 km de comprimento, com orientação SO-NE e influência, majoritariamente, de ondas vindas de Sul. O objetivo do presente trabalho foi avaliar o comportamento morfodinâmico e sedimentar frente às diferentes condições das forçantes, por meio de coletas de dados morfológicos e sedimentológicos mensais. Adicionalmente, o clima de ondas da região foi obtido a partir de resultados do modelo global ERA5, utilizado como condição de contorno para a aplicação do modelo numérico de propagação de ondas no Delft3D. Os resultados mostram que a Praia da Mococa possui um perfil refletivo e erosivo, no período analisado, tendo ocorrido, em média, maiores perdas de sedimento nos meses de abril e junho devido à entrada de fortes frentes frias. No mês de março, a praia apresentou as maiores alturas topográficas por ser representativo de um período de calmaria característico do verão. O modelo numérico de propagação destacou a influência de Ilhabela e da Ilha do Tamanduá na incidência de ondas, com as maiores alturas de onda ocorrendo em direções e regiões onde as ilhas não conseguem ter tanta influência na atenuação das ondas, como ondas advindas de SE e o setor mais ao leste da praia. O transporte longitudinal de sedimentos durante o período levantado ocorreu no sentido NE-SO. Por fim, foi observado que os cenários mais propensos para a ocorrência de eventos de sobrelevagem são em locais mais inclinados com a concomitância de maiores magnitudes de maré de sizígia, maré meteorológica e alturas de onda.

Palavras-chave: Morfodinâmica. Modelagem numérica de ondas. Morfologia. Erosão costeira. Sobrelevação. Runup.

ABSTRACT

REGINA RAMOS, Juliana. **Dinâmica Morfo-Sedimentar e Eventos de Sobrelevagem da Praia da Mococa, Caraguatatuba – SP**. Dissertação (Mestrado) – Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

Beaches are characterized by highly dynamic locations, with variations ranging from seasonal to large time scales. The main variable that conditions the short and medium-term dynamics of these environments is wave climate. The study of the morpho-sedimentary dynamics of beaches is extremely important for the proper use and occupation of the coastal zone. Mococa beach is located in the city of Caraguatatuba (SP) and is approximately 1.5 km long, with a SW-NE orientation and mostly influenced by waves from the South. The objective of this study was to assess the morphodynamic and sedimentary behavior under different forcing conditions, through monthly collection of morphological and sedimentological data. Additionally, the wave climate for the region was obtained from the global ERA5 model, used as a boundary condition for the numerical wave propagation model in Delft3D. The results show that Mococa beach has a reflective and erosive profile during the analyzed period, with greater sediment losses occurring on average in April and June due to the entry of strong cold fronts. In March, the beach had the highest topographic heights, as it is representative of a calm period characteristic of summer. The numerical wave propagation model highlighted the influence of Ilhabela and Ilha do Tamanduá on wave incidence, with the highest wave heights occurring in directions and regions where the islands cannot attenuate the waves as much, such as waves coming from the SE and the easternmost sector of the beach. The longitudinal sediment transport during the period surveyed occurred in the NE-SW direction. Finally, it was observed that the most prone scenarios for the occurrence of overwash events are in steeper locations with the concomitance of larger magnitudes of spring tides, meteorological tides, and wave heights.

Keywords: Morphodynamics. Numerical wave modeling. Morphology. Coast erosion. Overwash. Runup.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Esquema representando a divisão dos subambientes praias, onde λ representa o comprimento de onda. Fonte: Tessler e Mahiques, 2000 (modificado).	24
Figura 2: Esquema representando um corte transversal de uma barreira da praia sujeita à sobrelavagem devido ao runup das ondas. Fonte: Donnelly et al., 2006 (modificado). 26	26
Figura 3: Mapa georreferenciado, informando a localização e posição da Praia da Mococa, Caraguatatuba - SP.	28
Figura 4: Praia da Mococa, mostrando o rio Mococa desaguando na sua porção leste. 28	28
Figura 5: Imagem aérea georreferenciada indicando os transectos e pontos de coleta realizados.	32
Figura 6: À esquerda, a base fixa em campo e, à direita, o DGPS completo de Trimble Inc., 2019.	33
Figura 7: Esquema de funcionamento do DGPS. Imagem de GrindGIS modificada. ...	34
Figura 8: Drone Phantom 3 da DJI. Fonte: CNet.	35
Figura 9: Conversão altitude elipsoidal em altitude ortométrica. Fonte: IBGE.	37
Figura 10: Grade utilizada para modelagem no Delft3D com o módulo WAVE e ponto de extração dos dados de onda utilizados do ERA.	40
Figura 11: Localização do ADCP utilizado para validação.	42
Figura 12: Esquema da praia em perfil indicando os parâmetros utilizados para o cálculo de sobrelavagem. Fonte: Stein e Siegle, 2020, modificado.	43
Figura 13: Mapa georreferenciado indicando os setores em que a praia foi dividida. ...	49
Figura 14: Modelo digital de terreno indicando as alturas topográficas da praia no dia do levantamento (20/03/19).	50
Figura 15: Modelo digital de terreno, mostrando a diferença, em metros, entre o primeiro e o último levantamento de campo.	52
Figura 16: Mapa da diferença das alturas topográficas entre abril e março.	54
Figura 17: Mapa da diferença das alturas topográficas entre maio e abril.	55
Figura 18: Mapa da diferença das alturas topográficas entre junho e maio.	56
Figura 19: Gráfico do volume total de sedimento estimado para cada levantamento. ...	57
Figura 20: Gráfico representando a variação do volume total de sedimento da praia em metros cúbicos.	58
Figura 21: Gráfico do volume de setores normalizado dividindo-se o volume de cada setor por sua própria área (m^3 / m^2). Cada cor representa o levantamento feito em cada um dos meses.	59

Figura 22: Diferença do volume da praia normalizado em cada setor.....	60
Figura 23: Mapa georreferenciado indicando os locais de cada perfil.....	60
Figura 24: Comparação dos perfis praias no decorrer dos levantamentos em diferentes transectos feitos ao longo da praia.....	61
Figura 25: Comparação dos perfis praias no decorrer dos levantamentos em diferentes transectos feitos ao longo da praia.....	62
Figura 26: Modelo digital de elevação obtida por meio da aquisição de dados via VANT.	64
Figura 27: Ortomosaico do campo do dia 28/05/19 mostrando os detalhes da morfologia praial.	65
Figura 28: Diferença entre os MDTs obtidos por meio do caminhamento com DGPS e pelas imagens do VANT.	67
Figura 29: Comparação entre os dados medidos pelo ADCP na praia de Maranduba, Ubatuba-SP e os dados obtidos pela modelagem.	68
Figura 30: Localização do ponto utilizado para análise dos resultados do modelo.	69
Figura 31: Altura de onda do modelo para o ponto próximo à Praia da Mococa, indicando em vermelho os dias de cada levantamento.....	69
Figura 32: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 1 – setor A para o período que antecedeu o: a) levantamento 1 (março), b) levantamento 2 (abril), c) levantamento 3 (maio) e d) levantamento 4 (junho).....	70
Figura 33: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 2 – setor B para o período que antecedeu o: a) Levantamento 1 (março), b) Levantamento 2 (abril), c) Levantamento 3 (maio) e d) Levantamento 4 (junho).....	71
Figura 34: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 3 – setor C para o período que antecedeu o: a) Levantamento 1 (março), b) Levantamento 2 (abril), c) Levantamento 3 (maio) e d) Levantamento 4 (junho).....	72
Figura 35: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 4 – mais afastado ao centro para o período que antecedeu o: a) Levantamento 1 (março), b) Levantamento 2 (abril), c) Levantamento 3 (maio) e d) Levantamento 4 (junho).....	73
Figura 36: Histograma direcional total da altura de onda e direção no a) ponto 1, b) ponto 2, c) ponto 3 e d) ponto 4.....	74
Figura 37: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para março de 2019.	76

Figura 38: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para abril de 2019.	77
Figura 39: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para maio de 2019.	78
Figura 40: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para junho de 2019.	79
Figura 41: Campo de ondas para instantes de máxima (a) e mínima (b) alturas de onda na praia da Mococa para a grade regional.	81

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Descrição dos pontos de coleta efetuados em cada transecto.....	33
Tabela 2: Classificação da qualidade dos resultados do modelo, segundo os valores de RMAE.....	41
Tabela 3: Porcentagem de ocorrência das alturas de onda mais frequentes, em branco, ou mais extremos, em azul, e seus respectivos períodos.	44
Tabela 4: Cenários de H_0 mais frequentes ou extremos escolhidos para os cálculos de sobrelevagem e seus respectivos períodos.	44
Tabela 5: Valores de maré astronômica e maré meteorológica utilizados para os cálculos de sobrelevação.....	46
Tabela 6: Resultado da granulometria para cada amostra obtido pelo programa <i>Sysgran</i>	48
Tabela 7 : Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 6 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Holman (1986). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.	83
Tabela 8: Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 7 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Holman (1986). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.	83
Tabela 9: Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 6 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Mase <i>et al.</i> (2013). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.	84
Tabela 10: Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 7 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Mase <i>et al.</i> (2013). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ADCP	<i>Acoustic Doppler Current Profiler</i> (Perfilador de Corrente Doppler Acústico)
CAPES	Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
CODESP	Companhia Docas do Estado de São Paulo
DGPS Global)	<i>Differential Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Diferencial Global)
ESE	Leste-sudeste
ENE	Leste-nordeste
FEMAR	Fundação de Estudos do Mar
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IOA	<i>Index of Agreement</i> (Índice de Concordância)
NE	Nordeste
VANT	Veículo Aéreo Não-Tripulado
RMAE	<i>Relative Mean Absolute Error</i> (Erro Relativo Absoluto Médio)
S	Sul
SE	Sudeste
SSW	Sul-sudoeste
SW	Sudoeste

LISTA DE SÍMBOLOS

ξ	Número de Iribaren
$\tan\beta$	Tangente do ângulo (β)
H_0	Altura da onda offshore
L_0	Comprimento da onda offshore
g	Gravidade
T_0	Período da onda offshore
R	<i>Runup</i>

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	16
2. OBJETIVOS	19
3. EMBASAMENTO TEÓRICO	20
3.1. Propagação de Ondas em Águas Rasas	20
3.2. Ambiente Praial	23
3.3. Sobrelavagem.....	24
4. ÁREA DE ESTUDO	27
5. MÉTODOS	31
5.1. Levantamento de Campo	31
5.1.1. Coleta de Sedimento	31
5.1.2. Morfologia	33
5.1.3. Levantamento Aerofotogramétrico.....	35
5.2. Análise Sedimentológica	36
5.3. Processamento de Dados	36
5.3.1. DGPS	36
5.3.2. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)	38
5.4. Modelagem Numérica.....	38
5.4.1. Módulo WAVE	38
5.4.2. Validação e Parâmetros Estatísticos	40
5.5. SOBRELAVAGEM.....	43
6. RESULTADOS	47
6.1. Análise Sedimentológica	47
6.2. Morfologia	49
6.3. Aerofotogrametria.....	63
6.4. Modelagem de Ondas	68
6.4.1. Validação	68
6.4.2. Resultados da Modelagem Numérica de Propagação de Ondas.....	69
6.5. Eventos de Sobrelavagem	82
7. DISCUSSÃO	86

8. CONCLUSÕES	90
----------------------------	-----------

1. INTRODUÇÃO

O litoral é definido como o espaço geográfico de interface entre o meio marinho e o terrestre (SILVA, 2001), sendo uma região de crescente ocupação humana, muitas vezes de forma desordenada, gerando impacto direto ou indireto em processos costeiros. As praias são definidas como parte integrante desse sistema e sofrem constantes impactos humanos por meio do turismo e obras costeiras.

A orla costeira, presente na praia, é a estreita faixa em que ocorre o encontro da terra com o mar. Esse local de encontro é caracterizado como sendo a região em que a ação dos processos costeiros é mais evidenciada e, eventualmente, mais crítica conforme os efeitos erosivos ou acrescivos alteram sensivelmente a configuração da linha de costa (MUEHE, 2001).

Praias arenosas são conhecidas como regiões costeiras nas quais ondas retrabalham constantemente o sedimento. No campo ecológico, essas praias representam locais com ecossistemas viáveis e produtivos que sustentam uma comunidade variada de invertebrados (equinodermos, moluscos, crustáceos e artrópodes) e vertebrados (aves marinhas e peixes litorâneos) (MCLACHLAN, 1983). Por outro lado, em termos sócio-econômicos, as praias representam importantes locais para recreação, o que permite que cidades e balneários se desenvolvam por meio de atividades turísticas, comerciais e industriais (HOEFEL, 1998). Muitas cidades litorâneas têm como base de sua economia o turismo, tornando necessário o reconhecimento de sua importância (STRONGE, 1994).

A morfodinâmica costeira é definida como o ajuste mútuo entre a topografia e a dinâmica de fluidos envolvendo o transporte sedimentar (WRIGHT & THOM, 1977). São diversas as forças que influenciam esse ambiente, entre elas, suas principais são ondas, ventos, correntes e marés. Entretanto, segundo o trabalho de Muehe (1998), o principal agente que induz os processos costeiros de curto e médio prazo é o clima de ondas, podendo ser esse o principal responsável pelo transporte nos sentidos longitudinal e transversal à linha de costa.

As correntes longitudinais são fluxos paralelos à linha de costa que são formadas a partir da incidência oblíqua de ondas e da dissipação de energia das mesmas, tendo sua velocidade controlada pelo ângulo de incidência dos trens de ondas em relação à linha de costa e às variações longitudinais da altura da arrebentação. Tais correntes possuem grande importância no transporte de sedimento na zona de surfe, gerando modificações na morfologia praias (CLARKE *et al.*, 1984).

Além das correntes longitudinais, outro importante processo envolvido no transporte sedimentar são as correntes transversais, mais conhecidas como correntes de retorno. Essas são formadas a partir da incidência perpendicular do trem de ondas em relação à linha de costa.

A morfologia praial pode apresentar mudanças evidentes ocasionadas pelo transporte residual de sedimentos em uma escala temporal de dez ou mais anos (SUNAMARA, 1988). Entretanto, variações semi-anuais ocorrem devido à típicos ciclos sazonais, com ocorrência de erosão em condições mais energéticas (inverno, com a entrada de frentes frias) e acreção em condições de mar mais calmo (verão) (HOEFEL, 1998).

O estado morfológico da praia ocasiona variações nas correntes próximas ao fundo, sendo essas influenciadas pela incidência de ondas, oscilações sub-harmônicas e de infragravidade, além da média das correntes longitudinais e de retorno (WRIGHT *et al.*, 1979). A classificação das feições de domínio praial foi elaborada por a princípio por Wright *et al.* (1979) e rediscutido posteriormente por Wright & Short (1984), contendo seis estados morfológicos distintos de acordo, principalmente, com os diferentes regimes de ondas e marés. Essa classificação é caracterizada por dois estados extremos, sendo eles dissipativo e refletivo, e quatro intermediários (bancos e cavas longitudinais, bancos de praia rítmicos, banco transversal e corrente de retorno, terraço de baixo mar).

O aumento da população na costa brasileira, a expansão e diversificação das áreas industriais, somados com os impactos causados pelo homem no litoral, o crescimento do turismo e as mudanças climáticas com elevação do nível do mar, criaram uma região costeira complexa, com muitos problemas e conflitos (DOS SANTOS *et al.*, 2019). Isso tornou a gestão e governança da costa um dos maiores desafios a serem enfrentados (JENTOFT e CHUENPAGDEE, 2009), evidenciando a necessidade de uma mudança na forma de governar que envolva efetivamente todos os setores da sociedade e do governo (NOVAK e POLETTE, 2014).

Dentre as ferramentas encontradas atualmente para desenvolver um maior entendimento sobre o ambiente costeiro, como os processos que influenciam na formação e manutenção das correntes de retorno estão modelagem numérica e análise da morfologia de praias combinadas com a análise de imagens obtido pelos veículos aéreos não tripulados (VANTs) que tem se mostrado uma ótima ferramenta para se analisar a zona de surfe (GONÇALVES, 2015). A combinação dessas ferramentas é amplamente utilizada na oceanografia e engenharia costeira para prever mudanças na linha de costa e para uma maior compreensão dos processos hidrodinâmicos que ocorrem nesses locais.

O litoral do estado de São Paulo é conhecido mundialmente por suas belas praias que recebem milhares de turistas anualmente. Dentre as praias que recebem um grande movimento turístico está a Praia da Mococa, localizada no litoral norte de São Paulo, na cidade de Caraguatatuba, São Paulo. Nos últimos anos, moradores e comerciantes próximos à praia perceberam uma maior erosão na porção leste da praia, sendo ocasionada por processos de sobrelavagem, chegando a destruir estruturas dos quiosques.

A sobrelavagem é um importante fenômeno para a melhor compreensão sobre a dinâmica do litoral, principalmente quando há a presença de estruturas costeiras, e.g. quebra-mar, muro de contenção e revestimentos. É de grande importância que se tenha conhecimento dos possíveis níveis de sobrelevação para que seja possível determinar a elevação necessária para a construção de possíveis estruturas para que a sobrelavagem seja minimizada (MASE *et al.*, 2013).

Tendo em vista toda sua importância e dinâmica, este trabalho apresenta uma abordagem inédita do comportamento morfo-sedimentar da Praia da Mococa. Os resultados fornecem informações importantes para o melhor planejamento de uso e gerenciamento da praia.

2. OBJETIVOS

Avaliar o comportamento morfodinâmico e sedimentar da Praia da Mococa – Caraguatatuba, SP, frente às diferentes condições forçantes.

Objetivos específicos

- I. Avaliar a variabilidade morfológica mensal da praia entre março e junho de 2019.
- II. Calcular a variação mensal e total de volume de sedimento aproximado da praia entre março e junho de 2019.
- III. Definir as características e ocorrências das ondas da região, relacionando estas com as mudanças morfológicas da praia.
- IV. Identificar as tendências de transporte de sedimento ao longo da praia.
- V. Avaliar locais da praia mais suscetíveis a sofrerem com eventos extremos de sobrelavagem.
- VI. Identificar cenários mais propensos à ocorrência de eventos de sobrelavagem na praia.

3. EMBASAMENTO TEÓRICO

3.1. Propagação de Ondas em Águas Rasas

Ondas são consideradas perturbações de um fluido em que a energia é transferida de um lugar para o outro, podendo ser entre oceano e atmosfera, entre diferentes massas líquidas e diferentes massa gasosas (DAVIS E FITZGERALD, 2009). Podem ocorrer em diversas escalas e serem geradas por diversos fenômenos. Quando a superfície do fluido é perturbada, a perturbação é transferida de um local para o outro, sem que massas sejam transportadas.

O tipo primário de onda que influencia a costa são as ondas progressivas, sendo essas as ondas de superfície geradas pelo vento. O movimento dessas ondas se dá devido às forças restauradoras que geram movimento circular de forma basicamente senoidal, simétrica e uniforme. As ondas maiores são chamadas de ondas de gravidade devido à sua força restauradora ser a gravidade. Esse tipo de onda é o mais comum observado em praias.

Cada onda possui componentes individuais importantes para descrevê-la. O comprimento de onda, definido como L , é a distância horizontal entre dois locais na forma de onda, como por exemplo, de uma crista até a outra crista. A altura de onda, definida como H , é a distância vertical entre o cavado e a crista da onda, sendo essa o dobro da amplitude. A inclinação da onda é a razão entre a altura e o comprimento de onda (H/L). Além disso, outro componente importante é o período da onda que mede, em segundos, quanto tempo o comprimento de onda demorou para passar por um determinado ponto. Como é muito difícil se medir o comprimento de onda, é utilizada o valor em relação ao período: $L = 1,56 T^2m$. Por fim, outra importante componente é a frequência, que representa o número de comprimentos de onda que passam por segundo.

A transferência de energia do vento para a água ainda não é completamente compreendida, entretanto, sabe-se que o tamanho das ondas depende de três principais fatores: velocidade do vento, duração da ação do vento e o tamanho da pista em que esse vento atua (DAVIS & FITZGERALD, 2009). Qualquer um desses fatores ou uma combinação dos mesmos pode limitar o tamanho das ondas.

Existe um grande número de grupos de ondas com diferentes tamanhos que se movem em direções diferentes e que estão sobrepostos em um determinado local no mar. Essas ondas se combinam para formar campos de ondas que podem ser registrados e analisados. Os dados se encontram na forma de um espectro de onda que pode ser separado em suas componentes de forma de onda, com cada componente contendo seu próprio período/frequência e altura.

Um dos aspectos mais importantes da análise espectral de um campo de onda é a determinação da altura significativa da onda, sendo essa a categoria da onda mais comumente utilizada. Esse valor (H_s) corresponde à média das maiores ondas, sendo estas um terço do total de ondas observadas (COLI & MATA, 1996). A altura significativa da onda é comumente utilizada como índice da energia das ondas.

Nas ondas de gravidade, a água se move de forma orbital, com a direção da circulação estando associada com a direção da propagação da onda. Com a onda se movendo em direção à costa, a água superficial na crista da onda também se move em direção à costa, enquanto que, no cavado da onda, a água se move em direção ao mar. A forma da onda continua se propagando em direção à costa, enquanto a água se move apenas em círculos. Esse movimento orbital se estende para outras profundidades com o diâmetro da órbita diminuindo em direção ao fundo, passando de máximo na superfície, sendo igual à altura de onda, até o mínimo em uma profundidade de aproximadamente metade do comprimento da onda de superfície, onde o movimento orbital se torna muito lento e as órbitas acabam se tornando muito pequenas e não sendo capazes de mover sedimentos do fundo.

Além disso, outro fator que pode influenciar no movimento das águas nas ondas é a ação do vento. Com a atuação do vento, acaba ocorrendo um maior movimento da água na superfície devido ao atrito entre o vento e a superfície do mar. Na costa, essa fricção pode empurrar um maior volume de água em direção à costa e produzir o chamado *setup*, que representa uma elevação temporária no nível do mar.

Ao atingirem zonas mais rasas, ou seja, quando a profundidade passa a ser metade da altura de onda ($H/L < 1/2$), o movimento orbital passa a sentir o fundo, se deformando e diminuindo, passando de uma forma circular para uma forma elíptica e por fim uma linha. Essa profundidade é a chamada base de onda, sendo o local onde a onda começa a desacelerar, fazendo com que essa empine por estar sendo comprimida e, por ser desacelerada no fundo devido à fricção com o fundo e manter uma maior velocidade na superfície, em um determinado momento a inclinação é tanta que a onda acaba se desestabilizando e quebrando. Isso ocorre quando a inclinação da onda tende a ser menor que 120° ou quando a inclinação excede 1:7. A região da praia em que ocorre essas quebras é denominada zona de surfe. Podem ocorrer diversas quebras de onda até que essas atinjam a costa, dependendo principalmente da quantidade de bancos de areia presentes nessas regiões.

Um dos principais tipos de onda que atingem a costa é o tipo *swell*. Essas ondas são formadas em centros de tempestade, se tornando longa e regular conforme se propaga. Geralmente,

possui um grande comprimento de onda e uma menor altura, além de uma pequena inclinação e períodos de aproximadamente 12-16s. Começam a sentir o fundo em águas um pouco mais profundas. Gradualmente diminuem a velocidade e se inclinam até quebrar, na maior parte das vezes, em um tipo de arrebentação mergulhante (*plunging*). Esse tipo de arrebentação ocorre quando a crista da onda se curva para a frente, se inclinando sobre a base da onda, aprisionando uma bolsa de ar (tubo). Ocorre tipicamente em praias de inclinação intermediária.

Os outros dois tipos de arrebentação são o tipo deslizante e o tipo frontal. A arrebentação deslizante (*spilling*) ocorre em ondas com menor comprimento e maior inclinação. Ocorre tipicamente em praias de menor inclinação e planas, onde a quebra de onda ocorre lentamente. Já a arrebentação frontal (*surging*) ocorre em praias mais inclinadas, onde a onda se quebra diretamente na praia. Ondas de *swell* de longos períodos também podem ter esse tipo de arrebentação.

Além do processo de quebra, outros fenômenos são observados com a aproximação das ondas à costa ao passarem a ser influenciadas pelo fundo, ocorrendo mudanças em sua distribuição e/ou direção da energia. Isso ocorre de três principais formas:

- I. Refração: Ao atingirem a praia obliquamente e começarem a sentir o fundo, as ondas desaceleram, causando a refração da mesma, o que gera um vetor de energia ao longo da costa (corrente longitudinal). Devido à essa desaceleração, as ondas acabam atingindo a praia de forma mais paralela. Se a topografia for regular, a energia é uniformemente distribuída. Entretanto, se a topografia for irregular, a refração das ondas vai refletir essas irregularidades na distribuição da energia da onda.
- II. Difração: Quando as ondas passam por obstáculos impermeáveis, como quebra-mar ou algum tipo de estrutura, a energia das ondas se espalha ao longo da crista atrás do obstáculo. Parte da crista da onda é parada pela estrutura e o restante passa. À medida que a onda passa pela estrutura, a energia é transferida lateralmente ao longo da crista da onda para a área protegida atrás do obstáculo.
- III. Reflexão: É a energia que é refletida quando as ondas encontram a praia, estrutura ou rocha. A quantidade de energia refletida depende do quanto foi absorvido pela praia, estrutura ou rocha, além do seu ângulo de incidência. Quanto mais perpendicular a onda incide e mais impermeável é o local atingido, maior a reflexão.

3.2. Ambiente Praial

O ambiente praial compreende duas principais regiões: a antepraia e a praia em si. A antepraia vai desde a linha da maré baixa, passando pela zona de surfe e indo até os bancos de areia, comuns na maioria das costas, enquanto que a praia vai desde a linha da maré baixa até onde há uma mudança acentuada fisiográfica (como, por exemplo, uma duna), no material ou até a linha de vegetação permanente, que indica o limite efetivo de marés e ondas de tempestade.

O perfil geral da praia e do litoral adjacente costuma ser íngreme ou levemente inclinado. Isso depende de inúmeros fatores, como fonte de sedimento, clima de ondas, inclinação geral da plataforma continental e até mesmo a faixa de maré. O gradiente e as características da antepraia vão determinar o modo como as ondas vão se comportar à medida em que se movem nessa zona. Além disso, esses fatores também vão determinar como a energia das ondas é dissipada e quanto dela atinge a praia. As correntes de retorno representam o sistema de circulação primário dessa região.

As praias e suas respectivas zonas de surfe podem ser classificadas em diferentes estados morfodinâmicos de acordo as diferentes contribuições relativas das ondas incidentes, ondas de borda sub-harmônicas, oscilações infragravitacionais e circulações na zona de surfe, i.e. correntes de retorno. Os dois estados extremos são o dissipativo e refletivo, havendo quatro variações de classificações entre os dois, os chamados estados intermediários. O estado dissipativo é caracterizado por uma ampla zona de arrebentação de baixo gradiente, uma praia subaérea plana de baixo gradiente, baixo *runup* (na frequência das ondas incidentes) e alta energia infragravitacional (Wright, 1979 e Wright & Short, 1984). Ele prevalece na presença de ondas íngremes e/ou areia de grão fino. No outro extremo, praias refletivas praticamente não possuem nenhuma zona de surfe e o estoque ativo de areia na área próxima à costa é principalmente confinado à face íngreme e berma alta da praia subaérea. O recuo é tipicamente alto e as ondas de borda sub-harmônicas são frequentemente bem desenvolvidas, formando cúspides no espraiamento.

A morfodinâmica costeira é definida como o ajuste mútuo entre a topografia e a dinâmica de fluidos envolvendo o transporte sedimentar. São diversas as forças que influenciam esse ambiente, entre elas, suas principais são ondas, marés, as correntes que geram e ventos. Entretanto, a principal variável que induz os processos costeiros de curto e médio prazo é o clima de ondas, podendo ser esse o principal agente responsável pelo transporte nos sentidos longitudinal (corrente longitudinal) e transversal (corrente de retorno) à linha de costa.

As praias também apresentam ciclos que variam desde pequenas mudanças no ciclo de maré (diurna e lunar) quanto mudanças mais acentuadas no ciclo de tempestade e sazonais, podendo ter um caráter mais erosivo ou acrescivo dependendo da quantidade de energia que incide na praia.

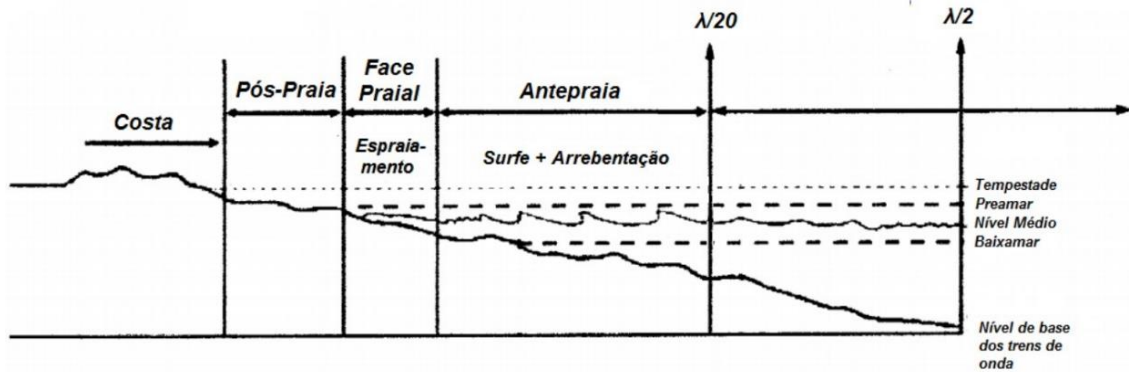


Figura 1: Esquema representando a divisão dos subambientes praias, onde λ representa o comprimento de onda.
Fonte: Tessler e Mahiques, 2000 (modificado).

3.3.Sobrelavagem

A sobrelavagem ocorre quando o fluxo de água e sedimento sobre crista de uma praia não retorna para seu corpo principal de água, no caso deste trabalho, oceano (DONNELLY *et al.*, 2004). Esse fenômeno ocorre em sua maioria em eventos mais energéticos de tempestade e começa quando a linha de água excede a altura da praia ou da crista da duna. Se a tempestade coincidir com uma maré alta, o nível da onda e, portanto, o potencial de sobrelavagem, é maior. Em tempestades moderadas também é possível que ocorra a sobrelavagem na maré alta e, durante os estágios mais baixos da maré, cesse, dependendo da tempestade e da elevação e largura da praia (DONNELLY *et al.*, 2006).

Em áreas mais desenvolvidas, a sobrelavagem pode se tornar um perigo, isso porque a erosão da face praial faz com que áreas mais altas já desenvolvidas se tornem vulneráveis aos danos causados por tempestades. Se as dunas forem parcialmente erodidas ou destruídas, a função de proteção das praias é reduzida e a praia pode sofrer sobrelavagem. Devido a esse maior perigo, cidades têm optado por tentar prevenir ou limitar a ocorrência de sobrelavagem, entretanto, o resultado tem mostrado que a prevenção total desse evento pode levar à erosão da praia (DOLAN E GODFREY, 1973). Isso porque em locais de grandes dunas ou com a presença de quebra-mar em que a sobrelavagem é evitada, os sedimentos da praia em frente a

essas estruturas acabam sendo transportados em direção ao mar durante tempestades, o que acaba estreitando as praias.

O fenômeno de sobrelavagem pode ocorrer por duas principais causas: excesso de *runup* da onda, sendo um evento de menor magnitude, e nível médio da água excedendo a crista da praia, sendo um evento de maior magnitude que ocorre devido a um evento extremo. Ambos os tipos podem ocorrer ao mesmo tempo, podendo variar espacialmente ao longo da costa.

A variação de magnitude da sobrelavagem resulta em diferentes depósitos morfológicos. Devido à essa variação, foram definidos quatro diferentes regimes de sobrelavagem que resultam em diferentes morfologias de *washover* que se separam entre suas duas principais causas geradoras, sendo classificadas como sobrelavagem por *runup* e sobrelavagem por inundação.

Dentro da sobrelavagem por *runup* os regimes se separam em termos das elevações relativas do nível da água e da barreira da praia, frequência de sobreposição das ondas e excesso de *runup* (ΔR). ΔR é a diferença entre a altura de *runup* da onda (R) mais a altura de onda de tempestade (S) e a altura da crista da praia (d_c).

$$\Delta R = R + S - d_c$$

A Figura 2 mostra um esquema em corte transversal de uma duna de areia ou crista de uma berma sujeita à ação de um alto nível de onda, em que as ondas acabam sobrepondo os mesmos.

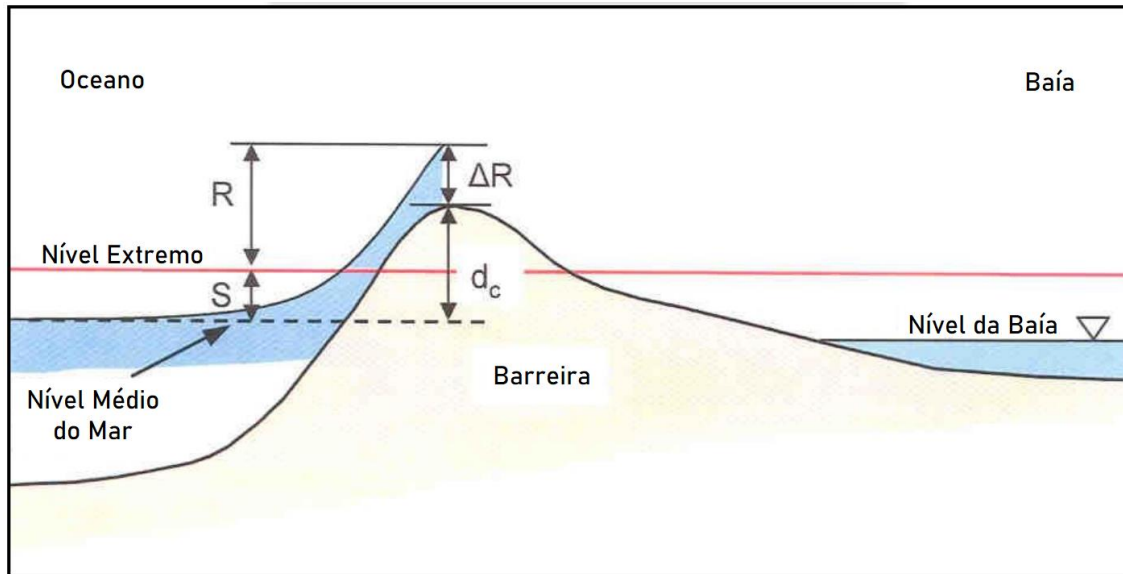


Figura 2: Esquema representando um corte transversal de uma barreira da praia sujeita à sobrelevagem devido ao runup das ondas. Fonte: Donnelly et al., 2006 (modificado).

Os regimes 1 e 2 podem ser classificados de acordo com a magnitude relativa de $R + S$ e d_c , sendo sobrelevagens de *runup*. O regime 1 ($R + S \approx d_c$) é chamado de acumulação de crista e ocorre quando poucas ondas sobrepõem à crista da duna e as que sobrepõem possuem um ΔR pequeno. Nesse caso, o sedimento é depositado na crista da duna ou na “garganta” de um *washover* existente e, com isso, a crista da “garganta” ou berma é aumentada. Já o regime 2 ($R + S > d_c$) é chamado de diminuição da crista e ocorre quando muitas ondas têm excesso de *runup* (ΔR) o suficiente para sobrepor a duna, onde o sedimento é erodido da face da crista da duna ou da praia e é transportado para ser depositado no *backshore* (Donnelly *et al.*, 2004).

Por fim, os regimes 3 e 4 ocorrem quando a altura de onda de tempestade é maior que a altura da crista da praia ($S > d_c$), são as chamadas sobrelevagens de inundação. As consequências desse tipo de sobrelevagem variam dependendo da extensão de inundação da praia e da topografia da praia. O regime 3 é chamado de pequena inundação e ocorre quando $S \approx d_c$, quando há tempestades extremas ou praias de perfil mais baixo. Nesse regime, caso S exceda d_c , a água flui constantemente por cima da crista da praia enquanto o nível da água está alto e o sedimento é erodido da face praial e acaba sendo levado pra parte posterior da praia. Já o regime 4 ocorre quando $S > d_c$ e é chamado de inundação completa, em que toda a praia ou barreira arenosa acaba sendo inundada. Esse tipo de regime acaba por erodir a face praial, podendo transportar esse sedimento ou pra parte mais posterior da praia ou em direção ao mar, dependendo do balanço que ocorrer quanto às correntes, ondas e força e direção das marés. Em barreiras arenosas, esse tipo de sobrelevagem pode levar à criação dos canais de maré.

4. ÁREA DE ESTUDO

O litoral norte do estado de São Paulo é caracterizado pela presença da Serra do Mar, uma cadeia montanhosa de embasamento cristalino que é resultado de uma erosão diferencial regressiva (DE ALMEIDA & CARNEIRO, 1998), advinda de abatimentos e basculamentos de blocos de falha (MELO & PIRES NETO, 1977). As rochas do Embasamento Cristalino sofrem soerguimento com alinhamento aproximadamente paralelo à linha de costa até os dias atuais (TESSLER & GOYA, 2005).

A planície costeira associada a Serra do Mar abrange em sua maior parte em um pacote de sedimentos do Quaternário, sendo marcada por costas altas e intercaladas com pequenas planícies e enseadas, formando praias de bolso frontais no litoral norte de São Paulo e litoral sul do Rio de Janeiro (BRIGATTI & NETO, 2008). Além disso, o trecho Norte do litoral paulista apresenta escarpas festonadas, sendo esses recortes uma de suas principais características, frequentemente terminando sobre o oceano.

A Praia da Mococa está localizada na cidade de Caraguatatuba, litoral norte do estado de São Paulo, entre as coordenadas geográficas 23°34'33.57"S 45°18'29.32"O e 23°34'18.80"S 45°17'38.21"O, com linha de costa de orientação SW-NE (Figura 3) e comprimento de aproximadamente 1,5 km. Tal orientação torna a praia mais exposta a ondas incidindo do quadrante S-SE. Em frente à praia, a aproximadamente 2,4 km, está localizada a Ilha do Tamanduá, responsável por atenuar a força de parte das ondas que chegam até a praia.

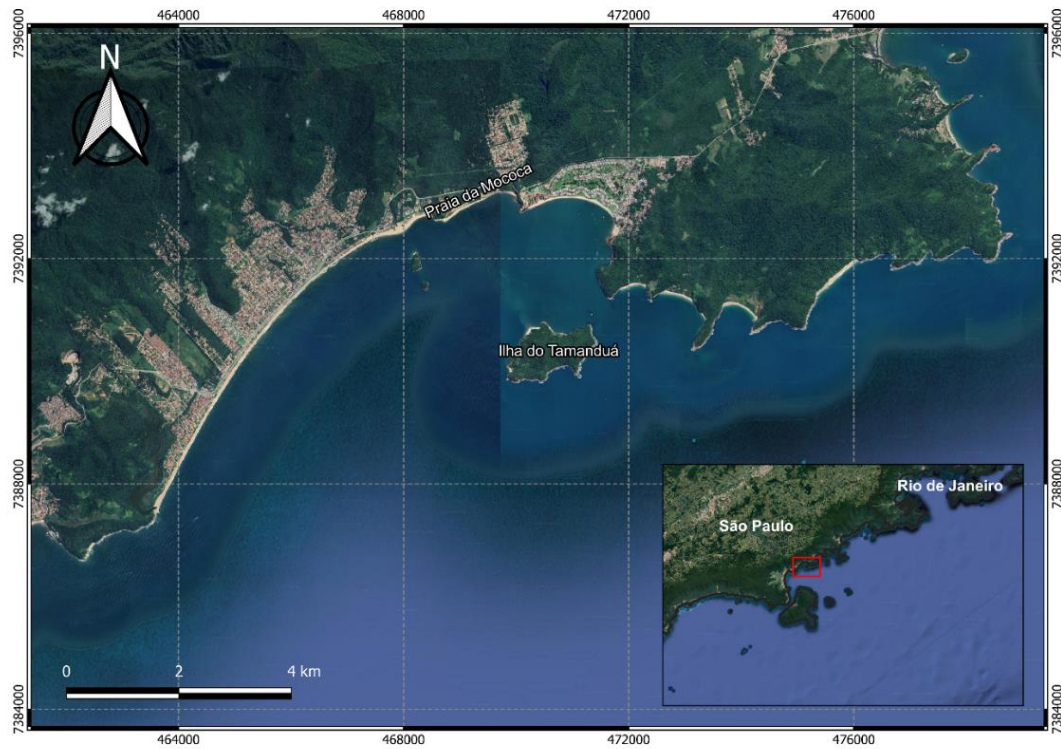


Figura 3: Mapa georreferenciado, informando a localização e posição da Praia da Mococa, Caraguatatuba - SP.

Na extremidade leste da praia, deságua o rio Mococa (Figura 4), que nasce no topo da Serra do Mar. Esse corpo de água é pouco competente, com vazão de pico de $782\text{m}^3/\text{s}$.

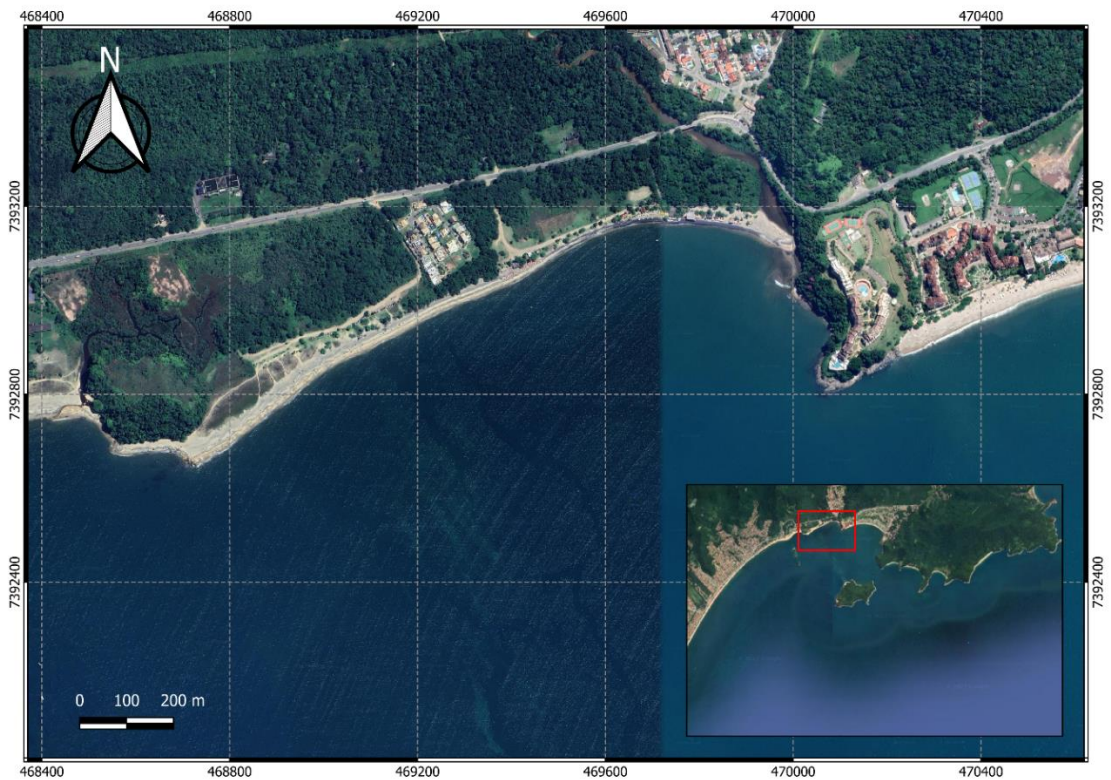


Figura 4: Praia da Mococa, mostrando o rio Mococa desaguando na sua porção leste.

O litoral paulista apresenta clima tropical úmido, sujeito à variação térmica pouco pronunciada e a altos índices pluviométricos, com médias anuais de 1833 mm. O padrão característico das condições meteorológicas e circulação atmosférica de baixo nível na região é governado pelo Anticiclone semifixo do Atlântico Sul (AAS), mais conhecido como Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e pela passagem de sistemas frontais (GARREAUD & WALLACE, 1998; SELUCHI & MARENGO, 2000) e por circulações locais, principalmente associadas à circulação de brisa.

Ventos de NE/ENE e condições de tempo estáveis estão associados à influência da ASAS, devido à subsidência induzida na região de alta pressão. No entanto, sistemas frontais forçados por instabilidades atmosféricas frequentemente afetam esse padrão. Esses sistemas geralmente se formam sobre o Oceano Pacífico Sul, deslocam-se para leste até encontrarem os Andes e, entre 40° e 20°S, seguem no sentido sudoeste-nordeste ao longo da costa leste sul-americana (CETESB, 2015). Ocasionalmente, esses sistemas podem alcançar latitudes menores do que 13°S. (KOUSKY, 1979).

Por se tratar de uma região muito próxima à costa, vale ressaltar a importância da circulação associada à brisa marítima. Essa circulação é gerada pela diferença do aquecimento/resfriamento que ocorre sobre a superfície do oceano e a superfície continental. Durante o dia ocorre maior aquecimento sobre a superfície continental, que gera uma diferença de pressão entre as duas superfícies e, conseqüentemente, um vento em direção ao continente. Durante a noite uma situação oposta é observada, com maior resfriamento observado sobre o continente e um vento gerado em direção ao oceano.

A maré, pela carta FEMAR mais próxima (230 – Ubatuba), tem caráter semidiurno. A amplitude média da maré de sizígia é de 1,19 m e a de quadratura é de 0,3 m. As principais componentes de maré na área são definidas pelos harmônicos M2, S2, N2, K2, K1, O1, P1, Q1 e M3. Além disso, as frentes frias (frequentes na região, especialmente durante o outono e inverno), produzem alterações no nível médio do mar, que podem ultrapassar 0,5 m (HARARI & CAMARGO, 1997).

O clima de ondas predominante no litoral brasileiro é determinado pela ação dos ventos originados no Atlântico Sul. Esses ventos são regulados principalmente por três grandes sistemas atmosféricos: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), sendo responsável pela circulação de ar na faixa costeira ao norte do Brasil; o Anticiclone Tropical do Atlântico Sul (ATAS), sendo um centro de alta pressão que origina os ventos alísios e os Anticiclones Polares Migratórios (APM), sendo centros de alta pressão que conduzem os sistemas frontais

(TESSLER & GOYA, 2005). Segundo Pianca *et al.* (2010), o regime de ondas no sudeste brasileiro é controlado pela Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) e pela passagem de frentes frias sinóticas. As ondas mais energéticas que atingem essa região são as vindas de sul, geradas por vento intensos associados à passagem de frentes frias.

5. MÉTODOS

De forma a alcançar os objetivos propostos, adotou-se neste trabalho uma combinação de coleta de dados *in situ* com a aplicação de um modelo numérico de propagação de ondas. Assim, a partir da análise das ondas incidentes e da resposta do ambiente praial, a interpretação do meio pode ser realizada, permitindo também o estabelecimento dos padrões de sobrelavagem.

5.1. Levantamento de Campo

Para a análise morfológica e sedimentológica da área de estudo, foram realizados quatro levantamentos de campo nos dias 20/03/19, 13/04/19, 28/05/19 e 27/06/19.

5.1.1. Coleta de Sedimento

Para a caracterização sedimentar, foram realizadas coletas no primeiro levantamento de campo (20/03/19) em oito trechos da praia, com espaçamento de cerca de 185 m (Figura 5). Em cada um dos trechos foram realizadas duas a três coletas dependendo da largura da praia, uma em cada setor praial principal: pós-praia mais distante do mar (identificada como POS2), pós-praia mais próximo ao mar (identificada como POS1) e face praial (identificada como FPR) (Tabela 1). Todos os pontos de coleta foram marcados e medidos com DGPS.



Figura 5: Imagem aérea georreferenciada indicando os transectos e pontos de coleta realizados.

Tabela 1: Descrição dos pontos de coleta efetuados em cada transecto.

Pontos de Coleta	Localização		
	Face praial	Pós-praia 1	Pós praia 2
1	FPR_1	POS1_1	
2	FPR_2	POS1_2	POS2_2
3	FPR_3	POS1_3	POS2_3
4	FPR_4	POS1_4	POS2_4
5	FPR_5	POS1_5	
6	FPR_6	POS1_6	
7	FPR_7	POS1_7	
8	FPR_8	POS1_8	

Por fim, as amostras foram armazenadas em sacos plásticos etiquetados e analisadas em laboratório (5.2).

5.1.2. Morfologia

Em cada levantamento de campo, os dados da morfologia local foram obtidos por meio do caminhamento contínuo pela praia, utilizando o Sistema de Posicionamento Global Diferencial (DGPS) da marca Trimble modelo SPS461 (Figura 6).



Figura 6: À esquerda, a base fixa em campo e, à direita, o DGPS completo de Trimble Inc., 2019.

O DGPS consiste em medições feitas por meio de dois GPSs receptores, como representado na Figura 7. A base fixa é colocada em um ponto com coordenadas previamente conhecidas e armazenadas em seu computador, ficando, a todo momento, conectado com os mesmos satélites que o receptor móvel. O receptor da base fixa compara a posição recebida pelos satélites com os dados das coordenadas armazenadas em seu computador e obtém o erro de cada satélite. Em seguida, a base fixa envia os dados corrigidos em relação aos erros dos satélites para o receptor móvel. Portanto, o receptor móvel recebe dois tipos de sinais: um fornecido pelos satélites, com dados de distância do ponto em que está em relação aos mesmos, com um erro relativamente grande, e um sinal diferencial com os dados pós-processamento pela base fixa, indicando o erro em relação a cada satélite (TRIMBLE, 2019).

O receptor móvel é levado no caminhamento para realizar as medidas topográficas locais, sendo as suas informações corrigidas posteriormente, a partir dos dados da estação fixa, por meio do programa *Trimble Business Center*.

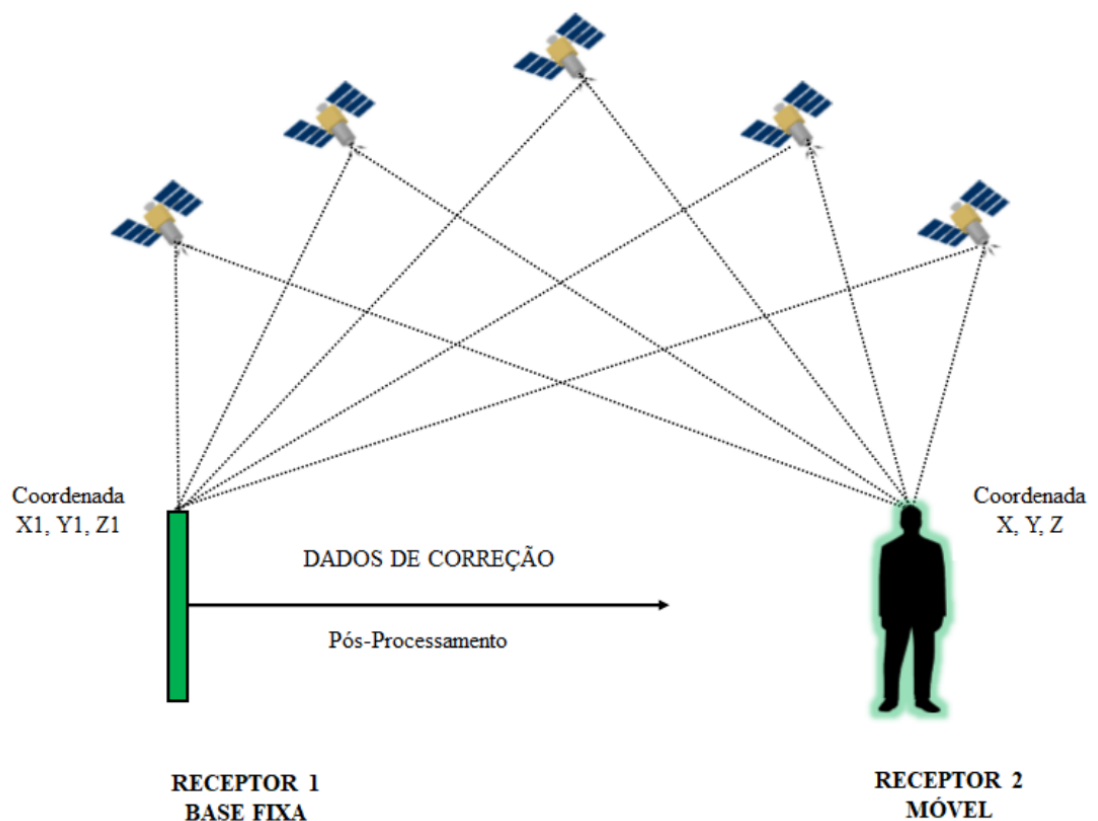


Figura 7: Esquema de funcionamento do DGPS. Imagem de GrindGIS modificada.

Os dados foram processados no programa *Surfer (Golden Software)* para a elaboração de Modelos Digitais de Terreno (MDT) e perfis topográficos em seções definidas. Esses

modelos possibilitaram a análise das variações morfológicas e de volume de sedimento da praia durante o período de monitoramento.

5.1.3. Levantamento Aerofotogramétrico

Com o intuito de testar uma nova ferramenta para agilizar futuros levantamentos, foi realizado um levantamento aerofotogramétrico por meio da utilização de Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT). Esse tipo de levantamento gera uma alta resolução espacial de dados em um curto espaço de tempo, proporcionando maior detalhamento da área estudada (FERREIRA *et al.*, 2013). Como resultado para esse estudo, foi gerado um MDT e um ortomosaico, que é extremamente útil na visualização de detalhes para que os setores sejam definidos e os processos sejam melhor analisados, devido à sua alta resolução para reconhecimento dos diferentes padrões.

O VANT utilizado foi o modelo *Phantom 3* da DJI (Figura 8), com voos de 73 metros de altura, com 80% de sobreposição frontal e 60% de sobreposição lateral das imagens aéreas. Esses valores foram escolhidos com o intuito de que cada ponto da praia fosse registrado em pelo menos duas fotos, de acordo com recomendações para o melhor processamento das imagens (AGISOFT, 2016).



Figura 8: Drone Phantom 3 da DJI. Fonte: CNet.

Para uma maior precisão, foram colocados alvos ao longo da praia, que tiveram suas localizações medidas por meio do DGPS e, posteriormente, foram identificados pelas imagens obtidas pelo drone no programa Agisoft. Esses são chamados de pontos controle, utilizados para corrigir e georreferenciar as imagens.

5.2. Análise Sedimentológica

Seguindo a análise descrita por Suguio (1973), as amostras foram lavadas para a retirada do sal e secas em estufa. Foi realizada a pesagem de 30g para cada amostra, com posterior utilização de um sistema de 11 peneiras com malhas de tamanho, em micras: 2000, 1400, 1000, 710, 500, 355, 250, 180, 125, 90, 63. Os sedimentos retidos em cada peneira foram pesados e anotados. O software *Sysgran*, que tem como método de análises estatísticas baseadas em Suguio (1973) e Tanner (1995), foi utilizado para análise de seleção, simetria, curtose e diâmetro médio.

Os resultados obtidos possibilitaram uma melhor caracterização da praia, sendo possíveis justificativas para o padrão de transporte de sedimento ao longo da mesma

5.3. Processamento de Dados

5.3.1. DGPS

Os dados obtidos em campo possuem precisão de cerca de 1 a 5 m, entretanto, para que os objetivos do trabalho sejam atingidos, a precisão deve ser maior. Para tanto, os mesmos foram corrigidos posteriormente com o uso do programa *Trimble Business Center*, para que a precisão fosse otimizada para cerca de 30 cm.

Para a correção dos dados, foram adicionados ao programa, pontos fixos mais próximos da área de estudo que possuem medições contínuas, para que essas sirvam como controle para a triangulação dos dados obtidos pelo DGPS fixo. Nesse caso, foram utilizadas duas Redes Brasileiras de Monitoramento Contínuo (RBMC) localizadas uma em Bragança Paulista e outra em São Paulo do sistema SIRGAS2000, disponíveis na página do IBGE.

Com o resultado da triangulação foram obtidas as coordenadas em UTM e a altitude geométrica da base, possibilitando a correção dos dados coletados pelo receptor móvel por meio do mesmo programa (*Trimble Business Center*). Os dados foram exportados do programa na forma de tabela para serem utilizados no próximo passo.

Os dados de altitude obtidos pelo DGPS estão relacionados ao elipsoide de referência, que são medidas com dimensões e características matematicamente definidas em função da forma do geóide (forma da Terra). Entretanto, o geóide é, na realidade, limitado por uma superfície equipotencial do campo de gravidade da Terra que varia de acordo com as variações das estruturas de distribuição de massa da Terra e se equipara ao nível médio não perturbado dos mares (IBGE, 2019). Essa variação é definida como superfície geoidal e possui um formato ondulatório irregular. Portanto, as altitudes acima do nível médio que importam para análises geofísicas, definidas como H , devem estar relacionadas às diferenças entre as superfícies geoidais e as elipsoidais. Essa diferença é definida como N . Para isso, os dados corrigidos foram adicionados ao programa MAPGEO2015, de forma a obter as ondulações geoidais do conjunto de pontos com coordenadas referentes também ao SIRGAS2000.

Após o processamento, são obtidos os valores da diferença N entre a superfície geoidal e a superfície elipsoidal. Esses valores são subtraídos dos dados obtidos em campo pelo DGPS (h), resultando nos dados corrigidos (H) que foram utilizados nas análises (Figura 9).

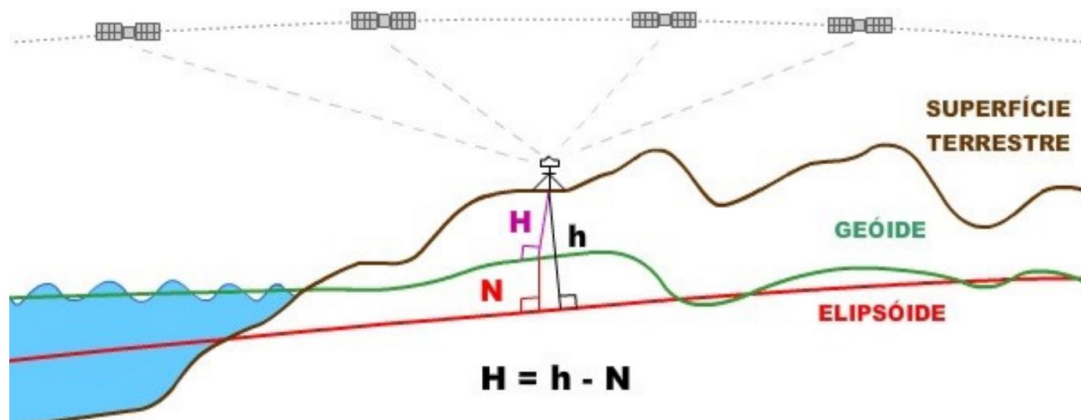


Figura 9: Conversão altitude elipsoidal em altitude ortométrica. Fonte: IBGE.

Em seguida, os dados corrigidos foram tratados no programa Surfer 13 (*Golden Software*), utilizando-se o método de krigagem para a interpolação dos dados. Após a interpolação, o Modelo Digital de Terreno (MDT) é elaborado. O MDT possibilita a análise morfológica e a variação de volume de sedimento da praia. O volume é calculado a partir da integração em função de x (longitude) e y (latitude), tendo como base uma altura definida Z mínima que seja comum para todos os campos. Todos os modelos foram limitados a uma mesma área, chamada de máscara, que tem como base o levantamento com caminhamento mais limitado espacialmente, para evitar erros de interpolação e permitir a comparação espacial das

grades geradas. Para avaliar a deposição/erosão da praia, os MDTs são subtraídos, sendo os valores negativos indicativos de erosão e os valores positivos indicativos de deposição.

5.3.2. Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT)

Os pontos de controle obtidos com o DGPS foram corrigidos da mesma forma que o tópico anterior 5.3.1 no programa *Trimble Business Center*. O processamento das imagens obtidas pelo VANT foram realizadas no programa *AgisoftPhotoscan*. Esse programa permite que as imagens sejam alinhadas por meio da identificação de pontos em comum e as alturas são calculadas com base nos ângulos formados do mesmo ponto entre uma imagem e outra, técnica chamada de estereoscopia.

As imagens foram adicionadas ao programa e tiveram suas qualidades avaliadas, sendo selecionado o valor de 60% de qualidade da imagem como mínimo aceitável. Esse valor foi escolhido após a análise das menores qualidades das imagens e dos valores aceitáveis segundo o método descrito pela Agisoft (2016). Esses pontos serão classificados como “terra”, “água”, “vegetação baixa”, “vegetação média” e “ruído”. Os que forem classificados como “terra” servirão de base para a criação dos Modelos Digitais de Terreno (MDT) e ortomosaicos, que são o resultado da junção de ortofotos, sendo essas, fotos que representam fielmente uma parte da superfície terrestre georreferenciada e sem o efeito de distorção causado pela lente de câmeras.

5.4. Modelagem Numérica

Para a modelagem numérica de ondas e correntes da região, foi utilizado o modelo numérico *Delft3D*, desenvolvido pela Deltares. Esse modelo é adequado para investigar a hidrodinâmica, transporte de sedimentos e morfologia de ambientes costeiros, sendo ideal para simular a evolução de ondas geradas pelo vento em águas litorâneas e as correntes geradas por elas.

5.4.1. Módulo WAVE

O módulo WAVE foi utilizado para simular a propagação de ondas na região. Esse módulo possibilita calcular a geração, propagação e transformação de ondas geradas pelo vento em zonas costeiras. O modelo leva em consideração processos como refração, reflexão, empinamento da onda e dissipação de sua energia.

Esse módulo se baseia no modelo SWAN (*Simulating WAves Nearshore*), o qual considera parâmetros como geração de ondas por vento, correntes, profundidade, fricção de fundo e quebra de onda (DELTARES, 2014) e se baseia na equação espectral discreta do balanço de energia da onda.

Como forçantes do modelo, foram utilizados dados horários de altura significativa de onda (H_s), período de pico (T_p) e direção da onda (D) do modelo global ERA5. Foram utilizados dados de três semanas antes de cada campo para que houvesse uma maior compreensão da relação entre a variação morfológica da praia e a incidência de ondas. Para o campo 1 foram utilizados dados de 27/02/19 a 20/03/19, para o campo 2, dados de 23/03/19 a 13/04/19, para o campo 3, dados de 07/05/19 a 28/05/19 e para o campo 4, dados de 06/06/19 a 27/06/19.

Foram criadas duas grades de diferentes resoluções para um melhor resultado, uma maior com 200 m de resolução para cobrir toda Ilhabela, por ser uma ilha de grande influência na dinâmica da região, e outra grade menor com 66 m de resolução, respeitando a proporção de 1:3 entre as grades (Figura 10). Os dados horários de onda utilizados como forçante nas bordas abertas foram extraídos do modelo global de ondas ERA5 nas coordenadas 24,00°S e 44,50°W.

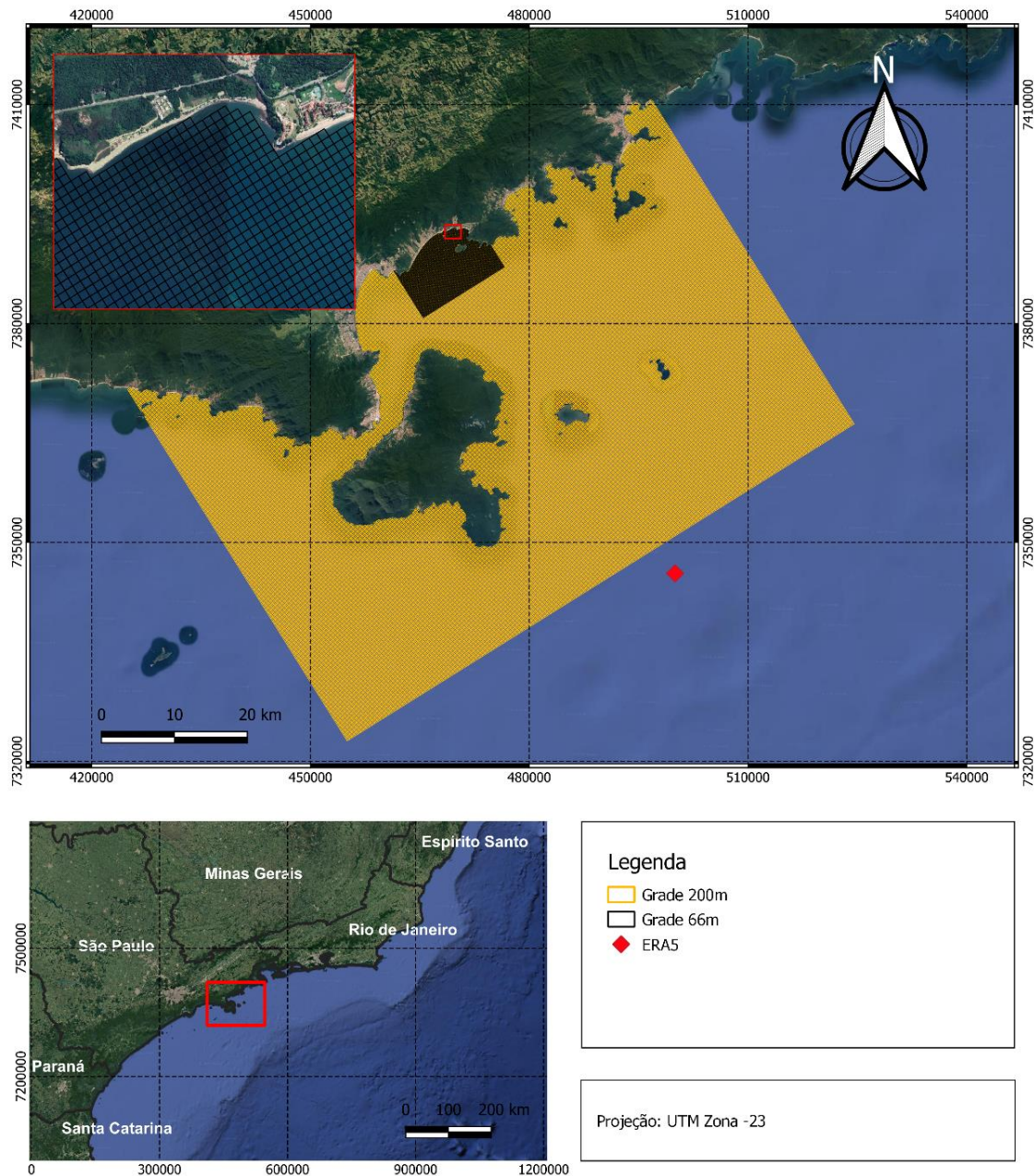


Figura 10: Grade utilizada para modelagem no Delft3D com o módulo WAVE e ponto de extração dos dados de onda utilizados do ERA.

5.4.2. Validação e Parâmetros Estatísticos

Para a validação do modelo, foram utilizados dados medidos com ADCP próximo à Praia de Maranduba, em Ubatuba, SP, possuindo medições de 17 de novembro de 2017 9:00 até dia 12 de dezembro de 2017 17:00 nas coordenadas $23^{\circ}31'45.25''$ S e $45^{\circ}11'21.14''$ W (Figura 11). Esses dados foram utilizados em função de serem os únicos dados disponíveis para

a região. Os parâmetros estatísticos utilizados são erro médio absoluto (*Relative Mean Absolute Error* - RMAE), índice de concordância (*Index of Agreement* - IOA) R quadrado.

O RMAE é definido através da equação:

$$RMAE = \frac{\sum_{i=1}^n |Obs_{(i)} - Mod_{(i)}|}{\sum_{i=1}^n |Obs_{(i)}|}$$

O RMAE ideal deve corresponder a zero, e a qualidade dos resultados de modelagem possui classificação de acordo com seu valor (WALSTRA *et al.*, 2001), conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2: Classificação da qualidade dos resultados do modelo, segundo os valores de RMAE.

RMAE	Classificação
$RMAE < 0,20$	Excelente
$0,20 < RMAE < 0,40$	Bom
$0,40 < RMAE < 0,70$	Razoável
$0,70 < RMAE < 1$	Ruim
$RMAE > 1$	Péssimo

O IOA ou método de Willmott e Wicks (1982), é definido de acordo com a equação abaixo. Caso seja maior que 0,5, o índice indica que a modelagem apresentou uma redução significativa de erros, sendo 1 o seu valor ideal (WILLMOTT, 1982).

$$IOA = 1 - \left[\frac{\sum_{i=1}^n (Obs_{(i)} - Mod_{(i)})^2}{\sum_{i=1}^n (|Mod_{(i)} - X_{Obs(i)}| + |Obs_{(i)} - X_{Obs(i)}|)^2} \right]$$

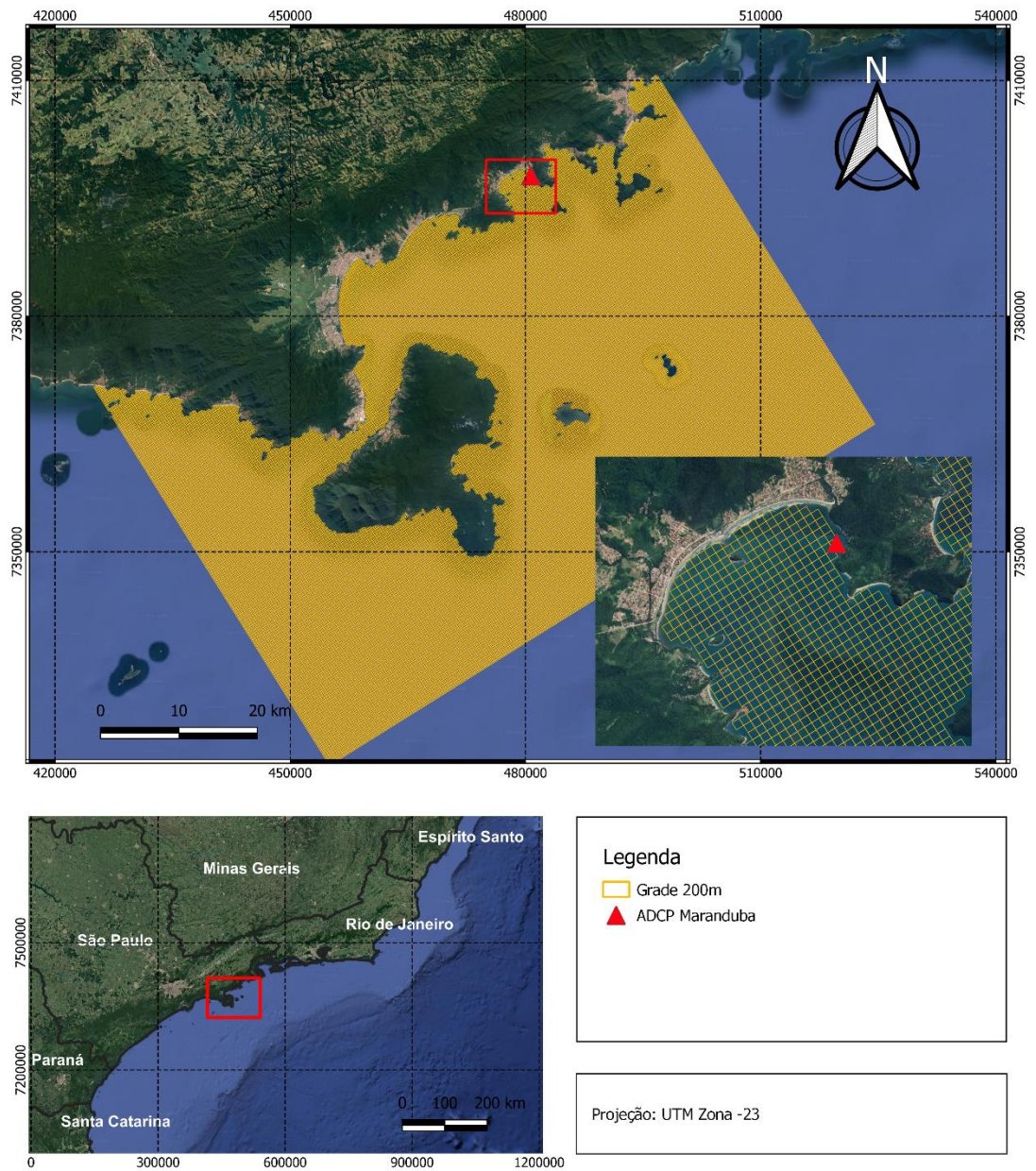


Figura 11: Localização do ADCP utilizado para validação.

5.5.SOBRELAVAGEM

A sobrelevagem é produto de uma comparação entre a altura da berma, duna ou de algum tipo de construção feita com o intuito de impedir a passagem de água para o continente e as possíveis alturas que o mar pode atingir em determinadas condições meteoceanográficas, chamadas sobrelevações. Na Figura 12 é apresentado um esquema com os parâmetros envolvidos no cálculo da sobrelevação, sendo: h a altura da berma, NTA o nível total de água, R o *runup*, NMM o nível médio do mar, MA a maré astronômica, MM a maré meteorológica e NM o nível do mar.

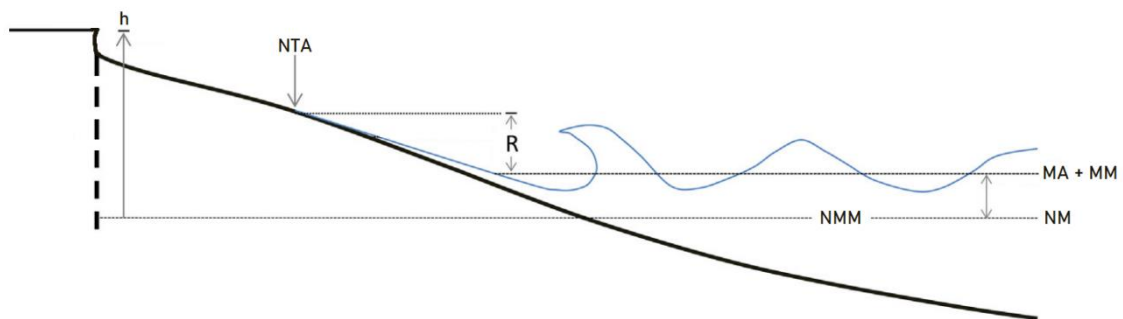


Figura 12: Esquema da praia em perfil indicando os parâmetros utilizados para o cálculo de sobrelevagem.
Fonte: Stein e Siegle, 2020, modificado.

Ou seja:

$$\text{Nível total da água (NTA)} = \text{Nível do mar (NM)} + \text{Runup (R)}$$

$$\text{NTA} > \text{Altura da berma} \rightarrow \text{Sobrelevagem}$$

$$\text{NTA} \leq \text{Altura da berma} \rightarrow \text{Não ocorre sobrelevagem}$$

Para o caso deste estudo, a altura a ser comparada foi do da berma acentuada na porção leste da praia (perfis 6 e 7) que contém quiosques em seu pós-praia, sendo a altura média de 2,5 m.

Para realizar os cálculos de sobrelevação foram combinados valores de *runup* e de nível do mar para ser possível a análise da altura atingida pela água nas diferentes condições. Para se obter os valores de *runup*, foram extraídos dos dados de ondas de 10 anos do ERA5, os 12 cenários mais frequentes e os três cenários mais extremos de alturas de onda (H_0) e seu

Esses valores foram utilizados nas formulações descritas por Holman (1986) e nas descritas por Mase *et al.* (2013), sendo o resultado das formulações as elevações de *runup* ($R_{\%}$). São propostos três diferentes valores de *runup*: $R_{2\%}$, $R_{37\%}$ e $R_{99\%}$, em que cada porcentagem representa o valor não excedido em 2%, 37% e 99%, respectivamente, dos casos da rodada de 100 ondas aleatórias para uma distribuição de Rayleigh do *runup*. Isso significa que o valor mais conservador a ser adotado para uma avaliação das maiores alturas atingidas pela água é o de 99% dos casos.

Os cálculos descritos por Holman (1986) são mais adequados para a área de estudo deste trabalho por serem desenvolvidos para praias arenosas naturais, entretanto, como apresenta apenas o $R_{2\%}$ (Equação (1)), foram utilizados os cálculos propostos por Mase *et al.* (2013) que calcula o valor de $R_{2\%}$, além dos outros dois valores mais conservadores de R (Equações (2), (3) e (4)) e possuem resultados parecidos com os obtidos pela formulação de Holman (1986).

$$R_{2\%} = H_0(0,83\xi + 0,2) \quad (1)$$

$$R_{2\%} = H_0(2,99 - 2,73e^{-0,57\xi}) \quad (2)$$

$$R_{37\%} = 1,09H_0(2,99 - 2,73e^{-0,57\xi}) \quad (3)$$

$$R_{99\%} = 1,54H_0(2,99 - 2,73e^{-0,57\xi}) \quad (4)$$

A formulação tem como variável principal o número de Iribaren (ξ) que é utilizado, principalmente, para descrever o tipo de quebra das ondas na praia com base na tangente do ângulo de inclinação da praia ($\tan\beta$), H_0 e L_0 .

$$\xi = \frac{\tan\beta}{\sqrt{H_0/L_0}}$$

Onde:

$$L_0 = \frac{gT_0^2}{2\pi}$$

Sendo $g = 9,8\text{m/s}^2$.

Já para os valores de nível do mar, devido à falta de dados medidos na região, foram utilizados os valores mais frequentes obtidos por Stein e Siegle (2020), que tiveram origem dos dados de nível do mar fornecidos pela CODESP medidos no Terminal de Fertilizantes de Conceiçãozinha do Porto de Santos de 1993 até 2008. Foram separadas as marés astronômica e meteorológica, sendo utilizados o máximo de sizígia e o máximo de quadratura para a astronômica e os valores mais frequentes e mais extremos para a meteorológica (Tabela 5).

Tabela 5: Valores de maré astronômica e maré meteorológica utilizados para os cálculos de sobrelevação.

Marés		m
Maré astronômica	Sizígia	0,90
	Quadratura	0,01
		0,00
Maré meteorológica	Mais frequentes	0,50
		0,75
	Mais extremos	1,00
		1,20

6. RESULTADOS

6.1. Análise Sedimentológica

O processamento das amostras de sedimentos forneceu a sua classificação granulométrica (Tabela 6). As amostras foram classificadas, em sua maioria, como areia média com relação ao diâmetro médio. Entretanto, três amostras foram classificadas como areia fina, na porção central (POS1_5) e leste (FPR_7 e POS1_8) da praia; e, apenas uma amostra foi classificada como areia grossa (POS2_2).

A seleção variou de 0,63 (POS1_8) a 0,96 (POS2_2), com média de 0,75. Todas as amostras foram classificadas como moderadamente selecionadas.

Quanto à simetria das amostras, a maioria se apresentou aproximadamente simétrica, possuindo algumas com assimetria positiva.

Em relação à curtose, as amostras se dividiram entre mesocúrticas (menores valores de curtose) e leptocúrticas (maiores valores de curtose).

Tabela 6: Resultado da granulometria para cada amostra obtido pelo programa *Sysgran*.

	Diâmetro médio	Classificação Seleção	Classificação	Assimetria	Classificação	Curtose	Classificação	
T1_pos1	1,39	Areia média	0,67	Moderadamente selecionado	-0,01	Aproximadamente simétrica	1,14	Leptocúrtica
T1_ant1	1,60	Areia média	0,75	Moderadamente selecionado	-0,03	Aproximadamente simétrica	1,07	Mesocúrtica
T2_pos2	0,99	Areia grossa	0,96	Moderadamente selecionado	0,16	Positiva	1,16	Leptocúrtica
T2_meio1	1,34	Areia média	0,93	Moderadamente selecionado	0,04	Aproximadamente simétrica	1,06	Mesocúrtica
T2_ant2	1,34	Areia média	0,70	Moderadamente selecionado	-0,01	Aproximadamente simétrica	1,12	Leptocúrtica
T3_pos3	1,50	Areia média	0,84	Moderadamente selecionado	-0,04	Aproximadamente simétrica	1,20	Leptocúrtica
T3_meio2	1,80	Areia média	0,74	Moderadamente selecionado	0,12	Positiva	1,05	Mesocúrtica
T3_ant3	1,86	Areia média	0,68	Moderadamente selecionado	0,11	Positiva	1,05	Mesocúrtica
T4_pos4	1,56	Areia média	0,83	Moderadamente selecionado	0,12	Positiva	1,29	Leptocúrtica
T4_meio3	1,80	Areia média	0,69	Moderadamente selecionado	0,06	Aproximadamente simétrica	1,03	Mesocúrtica
T4_ant4	1,76	Areia média	0,75	Moderadamente selecionado	0,10	Aproximadamente simétrica	1,12	Leptocúrtica
T5_pos5	2,02	Areia fina	0,66	Moderadamente selecionado	0,14	Positiva	1,01	Mesocúrtica
T5_ant5	1,31	Areia média	0,67	Moderadamente selecionado	-0,09	Aproximadamente simétrica	1,10	Mesocúrtica
T6_pos6	1,50	Areia média	0,74	Moderadamente selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	1,17	Leptocúrtica
T6_ant6	1,47	Areia média	0,79	Moderadamente selecionado	0,01	Aproximadamente simétrica	1,41	Leptocúrtica
T7_pos7	1,70	Areia média	0,74	Moderadamente selecionado	0,00	Aproximadamente simétrica	1,08	Mesocúrtica
T7_ant7	2,05	Areia fina	0,73	Moderadamente selecionado	0,02	Aproximadamente simétrica	0,94	Mesocúrtica
T8_banco1	2,28	Areia fina	0,63	Moderadamente selecionado	-0,07	Aproximadamente simétrica	0,95	Mesocúrtica
T8_banco2	1,84	Areia média	0,71	Moderadamente selecionado	0,11	Positiva	1,23	Leptocúrtica

6.2.Morfologia

Para a melhor compreensão dos processos costeiros que ocorrem na praia, esta foi dividida em três setores, tendo como base seus diferentes padrões morfológicos: Setor A, Setor B e Setor C (Figura 13). O Setor A é composto por uma faixa de areia mais extensa, com a presença de cúspides por toda a sua extensão. O Setor B é um pouco menos extenso, mas mostrou-se mais estável em comparação aos outros dois setores. Já o Setor C possui uma faixa de areia muito estreita, sendo o setor que sofreu as maiores alterações morfológicas.



Figura 13: Mapa georreferenciado indicando os setores em que a praia foi dividida.

A partir dos levantamentos morfológicos obtidos por meio dos caminhamentos com DGPS, foi possível construir modelos digitais de terreno para cada um dos quatro levantamentos de campo. Através desses modelos, foi obtido o volume de sedimento total da praia para cada situação. Nos modelos digitais de terreno pode-se destacar trechos subaéreos mais sujeitos à erosão, que são os locais mais estreitos e de menor elevação, com a observação de presença de bermas. Na Figura 14, observa-se que o trecho ao Norte é o mais estreito, entre 5 e 8 m, e com alturas topográficas de 0,6 a 1 m, enquanto o trecho Sul é mais largo, entre 26 e 58 m, além de alturas topográficas de 1,2 a 3,8 m.

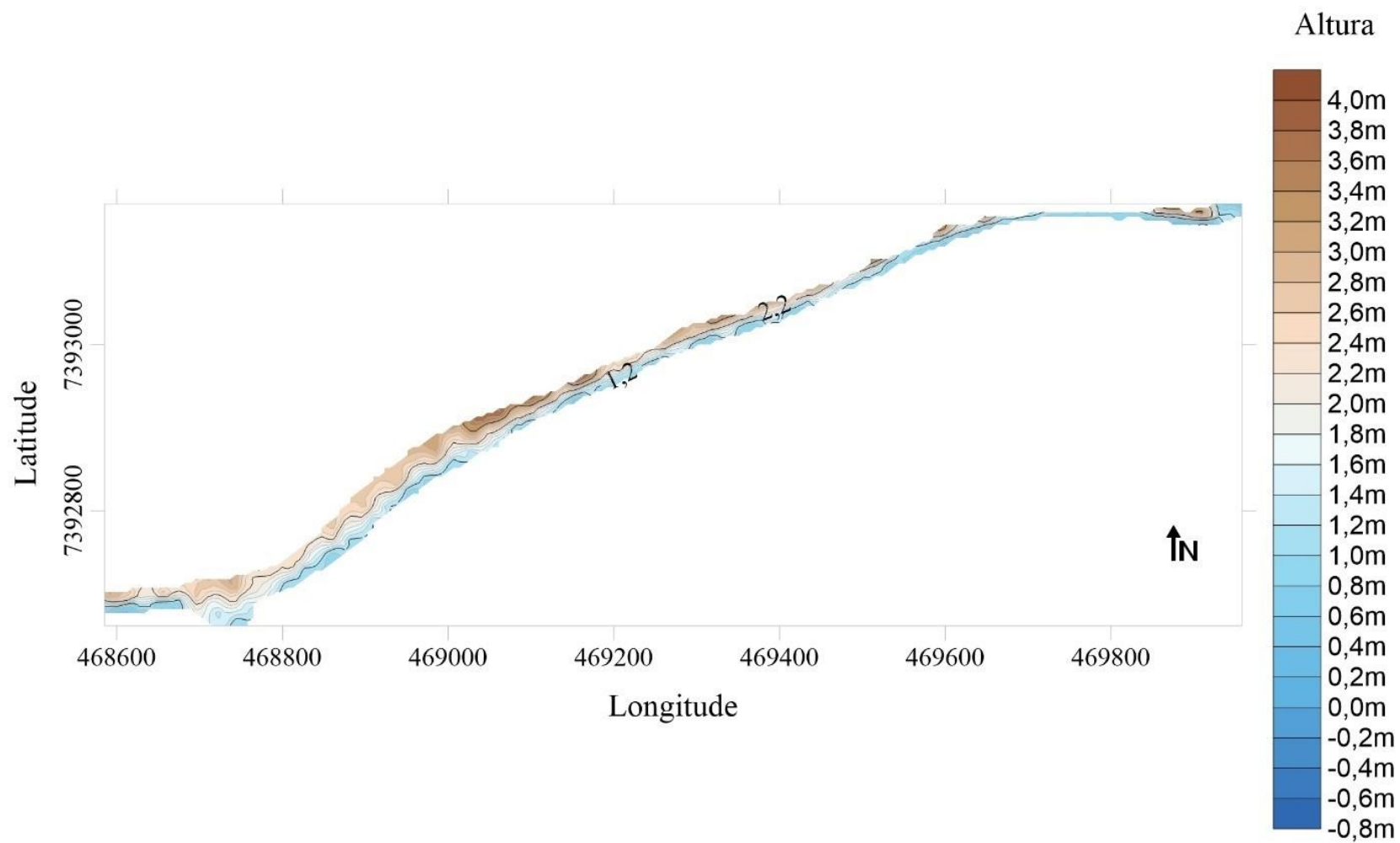


Figura 14: Modelo digital de terreno indicando as alturas topográficas da praia no dia do levantamento (20/03/19).

A Figura 15 representa a diferença entre o último (26/06/19) e o primeiro (20/03/19) levantamento, indicando os locais com erosão (valores negativos), e os locais com acreção (valores positivos). A praia como um todo sofreu erosão de -0,2 a -2,4 m, tendo maiores perdas de sedimento no trecho mais estreito a NE e em trechos localizados na face-praial ao longo da parte central da praia, onde as ondas incidem diretamente. Ocorreu acreção apenas nos trechos mais extremos da praia. No extremo SW, nos locais próximos às rochas e divisa com a praia de Massaguaçu e, no extremo NE, na boca do rio Mococa, um local mais dinâmico, com a presença de bancos associados ao delta de maré vazante do canal. Esses bancos são bastante dinâmicos, variando em tamanho e posição ao longo do ano.

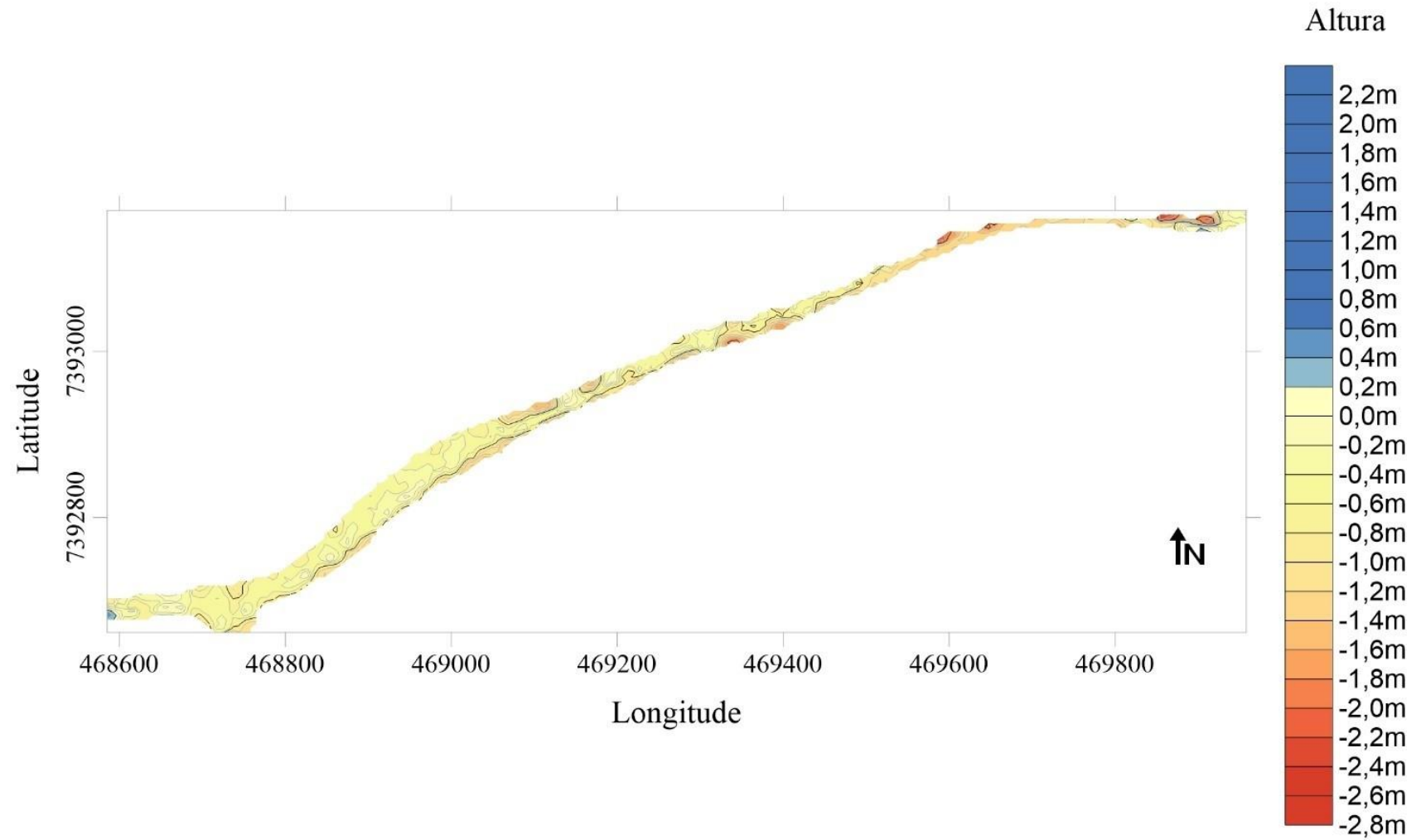


Figura 15: Modelo digital de terreno, mostrando a diferença, em metros, entre o primeiro e o último levantamento de campo.

A diferença de alturas topográficas entre os levantamentos mostra diferentes padrões de deposição e erosão no decorrer dos meses. Entre os levantamentos de março e abril, foi observada uma variação negativa, indicando perda de sedimentos em toda a sua extensão (Figura 16), com maiores diferenças de altura na face praial e na porção Norte. Diferentemente das demais comparações, entre os levantamentos de abril e maio (Figura 17), ocorreu uma variação mais positiva, indicando acréscimo de sedimento na praia como um todo, com maiores alturas na região do pós-praia. Por fim, entre os levantamentos de maio e junho (Figura 18), houve predominantemente uma diminuição na altura topográfica, representando a perda de sedimento, mas com algumas regiões pontuais no pós-praia com acreção.

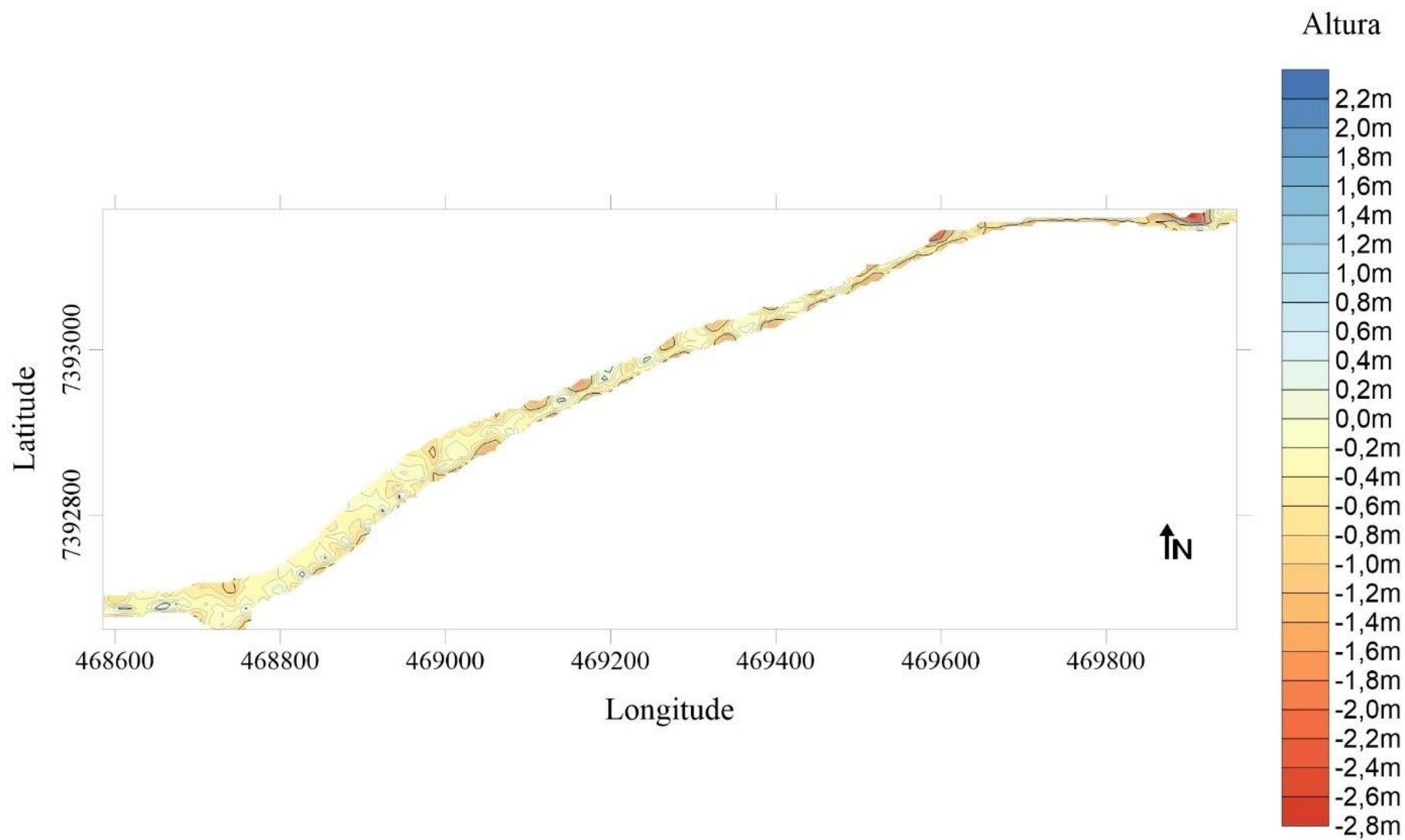


Figura 16: Mapa da diferença das alturas topográficas entre abril e março.

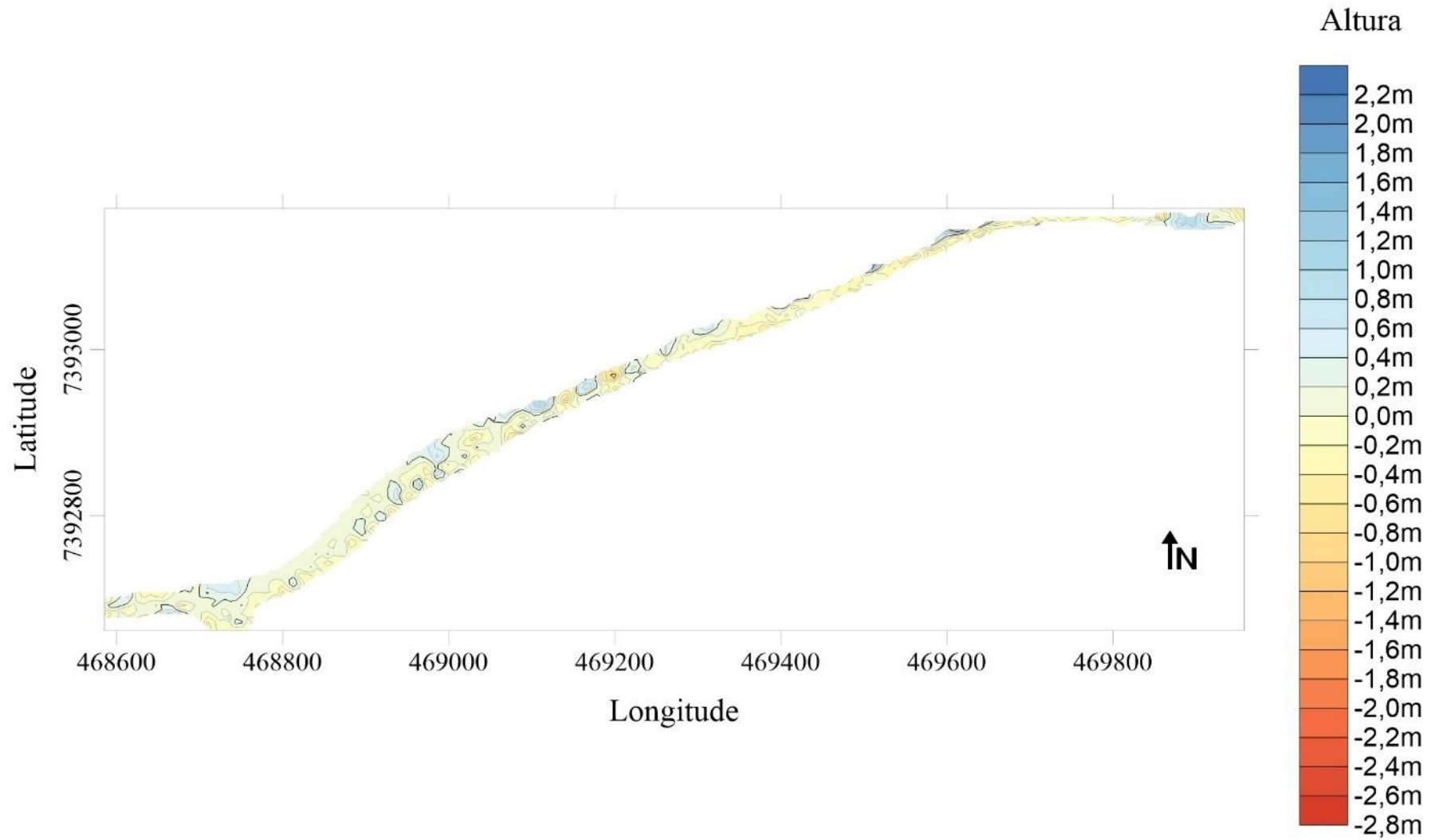


Figura 17: Mapa da diferença das alturas topográficas entre maio e abril.

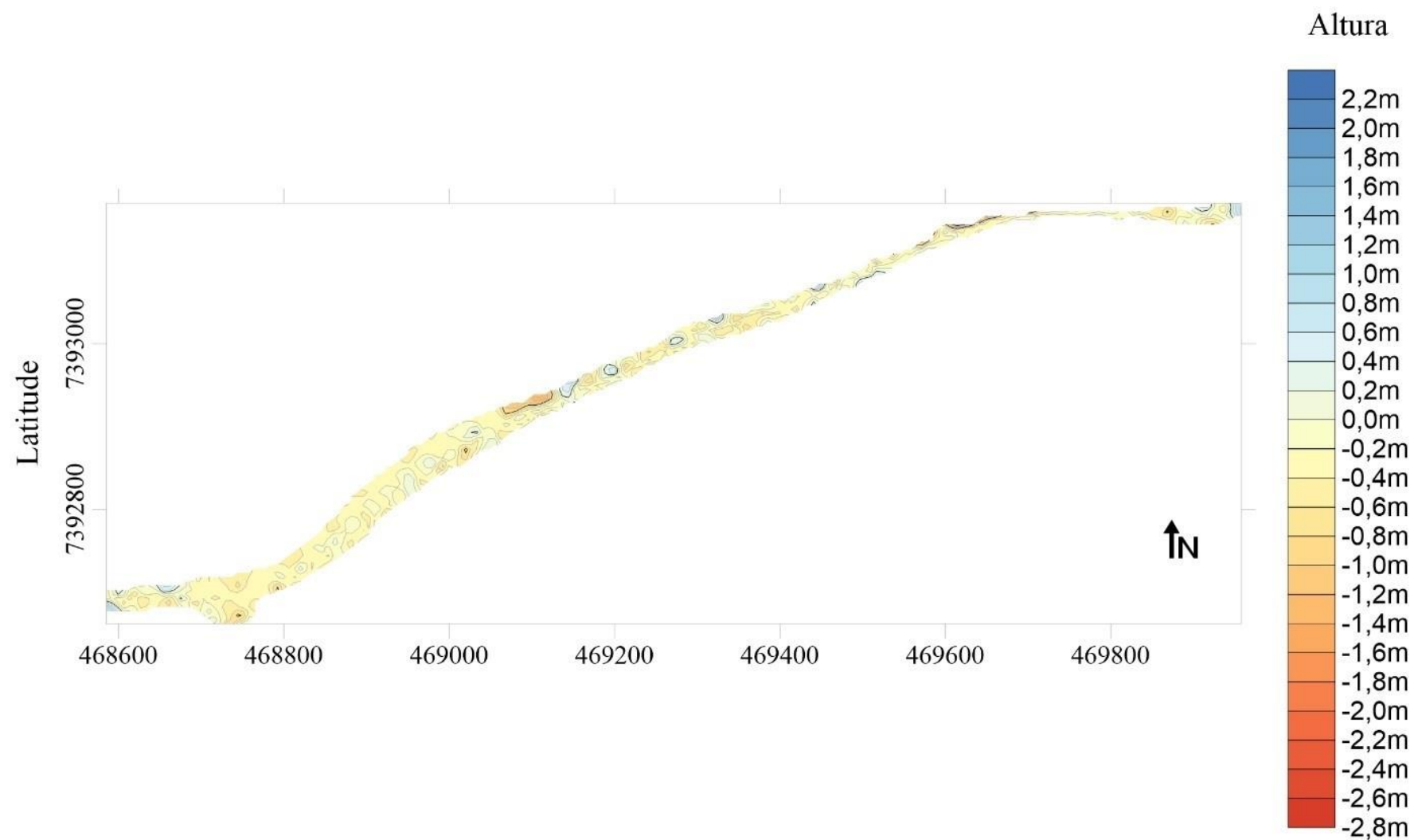


Figura 18: Mapa da diferença das alturas topográficas entre junho e maio.

O volume total de sedimentos na praia foi estimado para cada um dos levantamentos (Figura 19). O levantamento de março foi o que apresentou maior volume, com cerca de 116.885m^3 , seguido por um grande decréscimo em abril, com volume total de cerca de 94.870m^3 , um pequeno acréscimo em maio (96.189 m^3) e menor volume em junho, de aproximadamente 84.345m^3 .

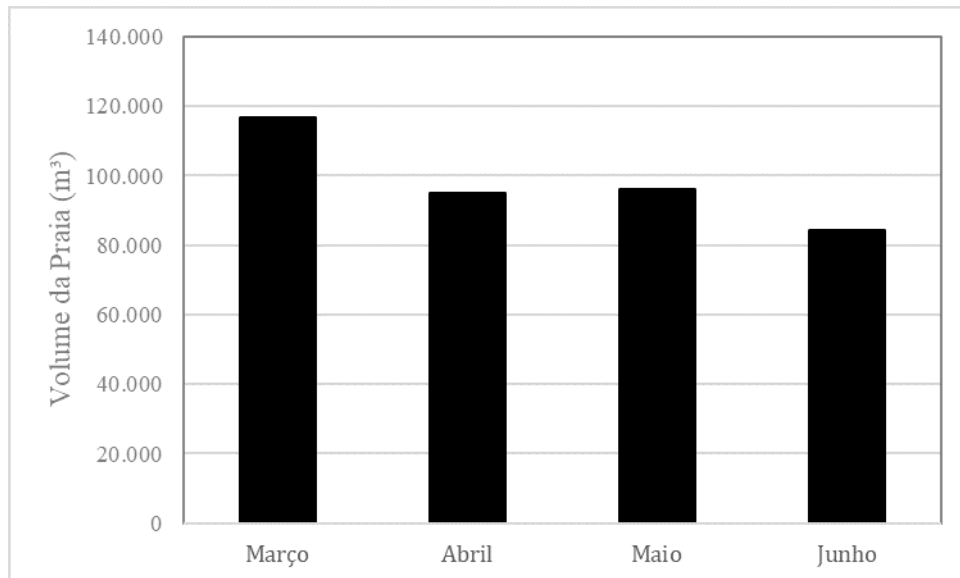


Figura 19: Gráfico do volume total de sedimento estimado para cada levantamento.

Para uma melhor comparação das perdas e ganhos de volume, a Figura 20 apresenta um gráfico representando as variações de volume ao longo do tempo. A maior variação de volume ocorreu entre os levantamentos de março e abril, devido à passagem de uma forte frente fria, com uma perda de aproximadamente $-18,83\%$ do volume total. Entre os levantamentos de abril e maio, ocorreu um acréscimo de $+1,39\%$, devido ao processo natural de recuperação da praia após a passagem de eventos energéticos. Já entre os meses de maio e junho, ocorreu uma perda de volume de aproximadamente $-12,31\%$.

A diferença entre os levantamentos de junho e março representa a variação total de volume de sedimento durante todo o período do levantamento, sendo representado pela perda de $-27,84\%$, evidenciando um período erosivo.

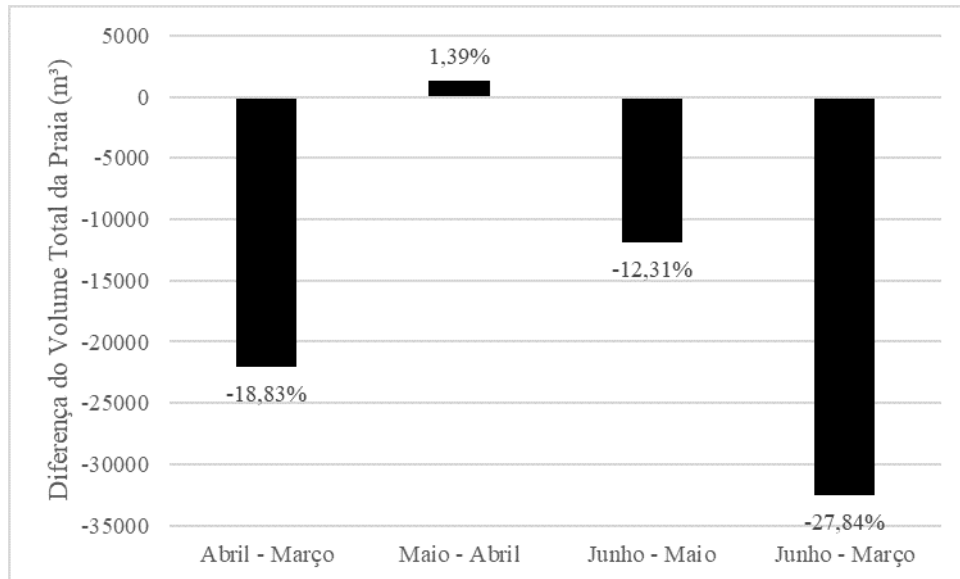


Figura 20: Gráfico representando a variação do volume total de sedimento da praia em metros cúbicos.

Com a finalidade de se analisar os processos de transporte que ocorrem na praia, a mesma foi dividida em setores, como especificado no tópico 5.3.1. Para cada setor, foi calculado seu volume e, em seguida, o volume obtido foi dividido pela área do setor para que fosse feita uma normalização para tornar possível a comparação direta dos setores. A Figura 21 representa o volume por área dos setores no decorrer dos campos, mostrando que o Setor A possui o maior volume por área dentre os três, sendo seu máximo no mês de março e o mínimo no mês de junho. Esse padrão se repete também nos outros dois setores, B e C. Entretanto, o Setor C apresentou o menor volume por área, o que era esperado devido às menores alturas topográficas desse setor em comparação com os outros dois, A e B.

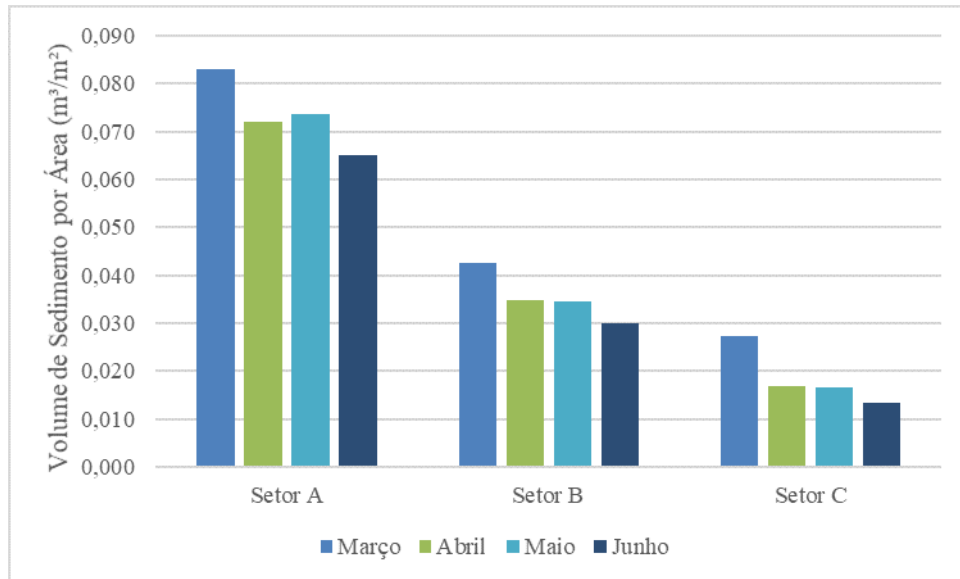


Figura 21: Gráfico do volume de setores normalizado dividindo-se o volume de cada setor por sua própria área (m^3/m^2). Cada cor representa o levantamento feito em cada um dos meses.

A Figura 22 mostra a diferença do volume por área de cada setor nos diferentes meses. A maior variação ocorreu de março para abril e a menor variação de abril para maio, assim como foi observado na variação do volume total. Isso demonstra que a praia teve uma perda de sedimentos como um todo, mas com diferentes intensidades. O Setor B foi o mais estável entre os três, mostrando uma maior estabilidade frente aos processos que ocorrem na praia.

É interessante observar que tanto o Setor A quanto o Setor C, perderam $-0,011m^3/m^2$ de sedimento entre março e abril; mesmo que o volume por área do Setor A seja muito maior, comparativamente, que o do Setor C, indicando uma intensa erosão na região mais ao Norte da praia. Diferentemente do que ocorreu entre março e abril, entre maio e junho, o Setor C não sofreu uma perda de volume tão significativa quanto no período anterior.

Outro ponto a se destacar é a maior capacidade de recuperação do Setor A, $+0,002m^3/m^2$, após um evento energético do que o Setor C, que foi praticamente zero.

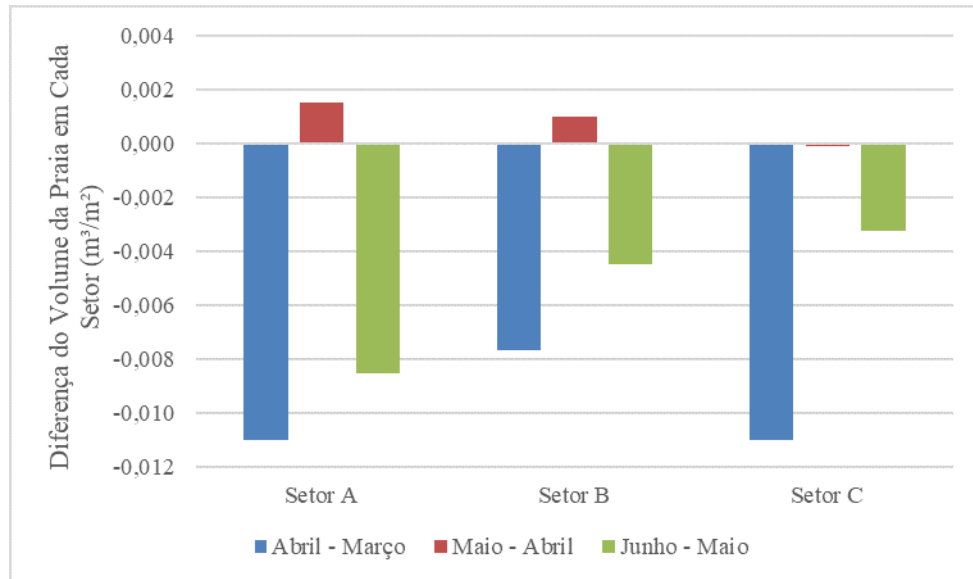


Figura 22: Diferença do volume da praia normalizado em cada setor.

Para uma melhor visualização da variação das alturas topográficas, foram extraídos perfis em cada setor a partir dos modelos digitais de elevação (Figura 23). A partir da Figura 24 com todos os perfis, pode-se observar que o Setor A possui as maiores extensões praias, chegando a 38 m, e as menores inclinações. O Setor B possui extensões médias de cerca de 23 m e é mais inclinado. Por fim, o Setor C possui as menores extensões praias, 15 m, e as maiores declividades.

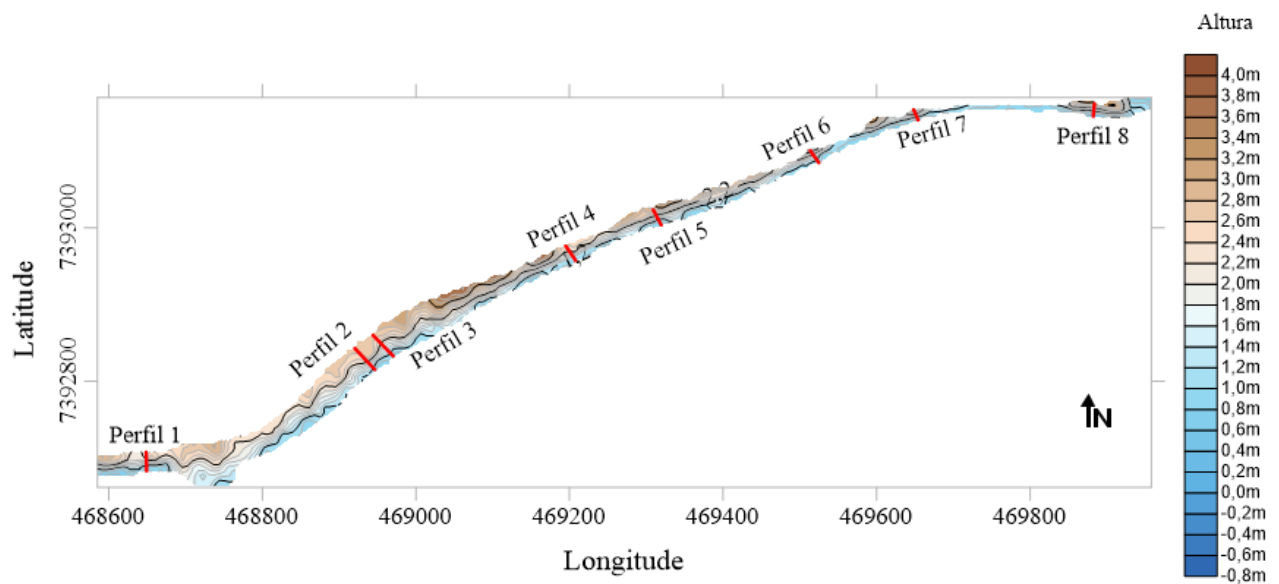


Figura 23: Mapa georreferenciado indicando os locais de cada perfil.

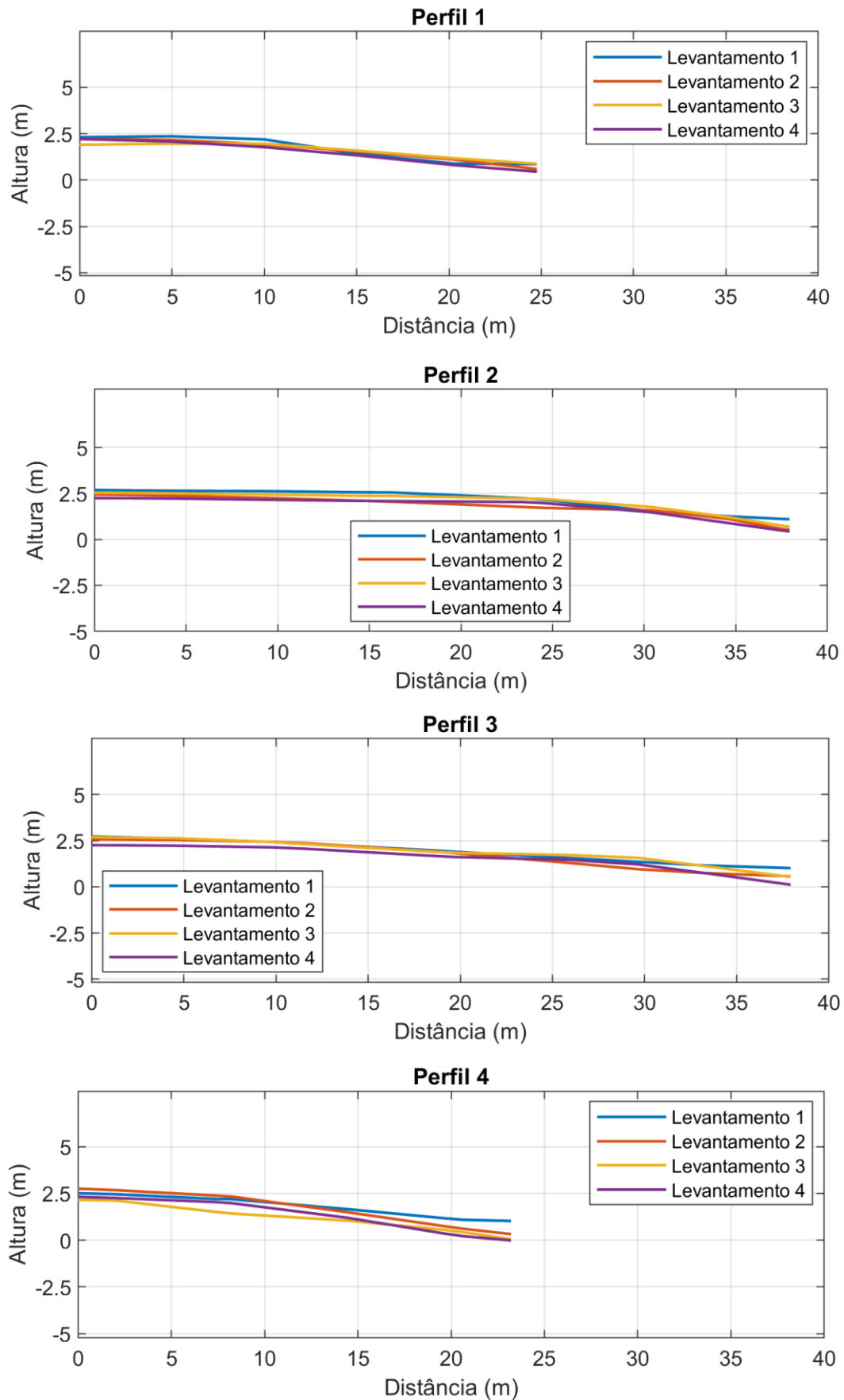


Figura 24: Comparação dos perfis praias no decorrer dos levantamentos em diferentes transectos feitos ao longo da praia.

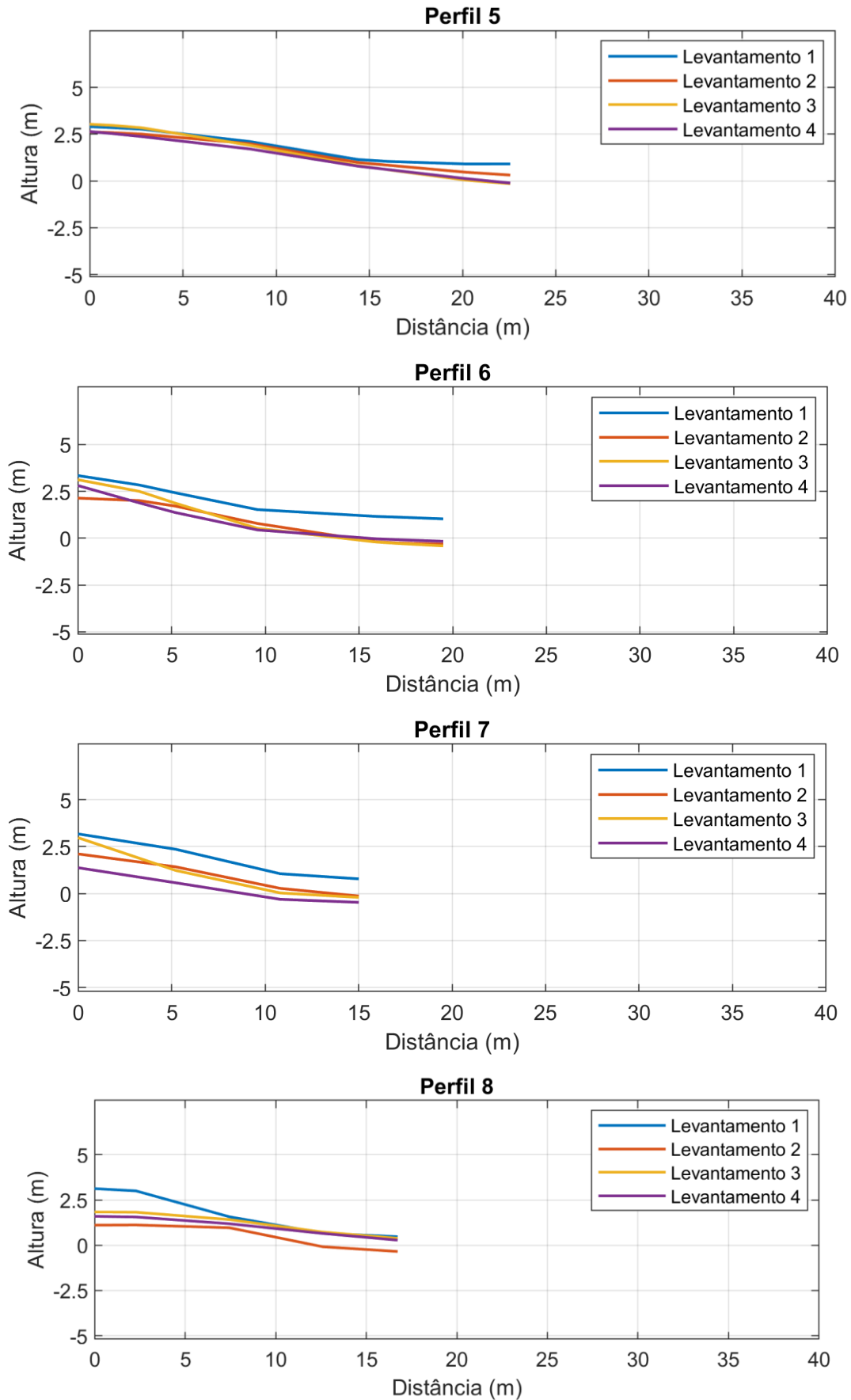


Figura 25: Comparação dos perfis praias no decorrer dos levantamentos em diferentes transectos feitos ao longo da praia.

6.3. Aerofotogrametria

O levantamento de dados por meio da utilização de drone foi realizado apenas no terceiro levantamento (28/05/19). Por meio do programa *Agisoft*, foi realizado o processamento das imagens para a geração de um ortomosaico e a grade de pontos (x, y, z) foi extraída para a elaboração do modelo de elevação digital (Figura 26) O ortomosaico permite a observação detalhada das feições presentes na praia, como por exemplo as cúspides na porção oeste da praia, as altas bermas na porção leste da praia e o banco de sedimento formado na desembocadura do rio (Figura 27).

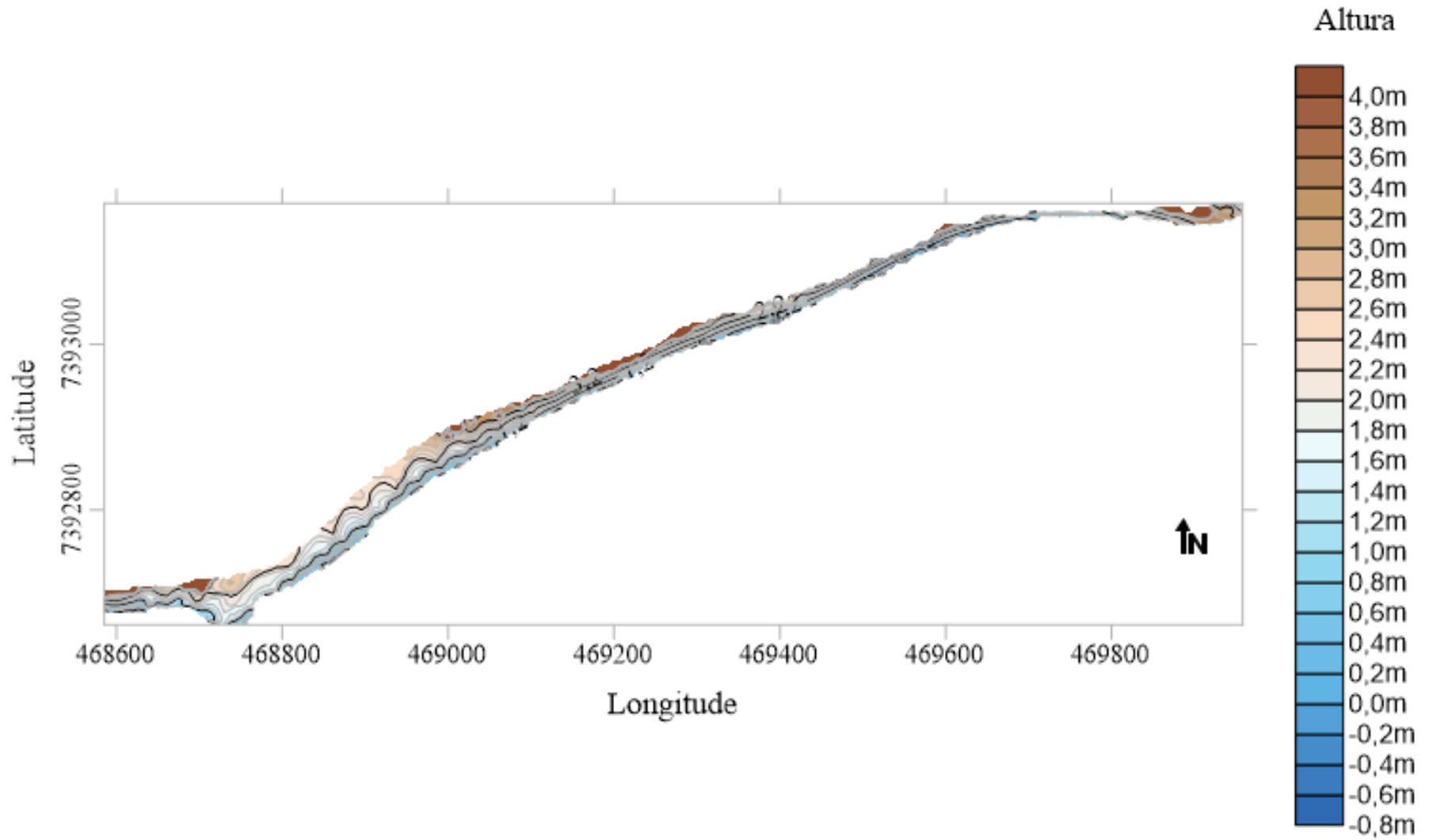


Figura 26: Modelo digital de elevação obtida por meio da aquisição de dados via VANT.

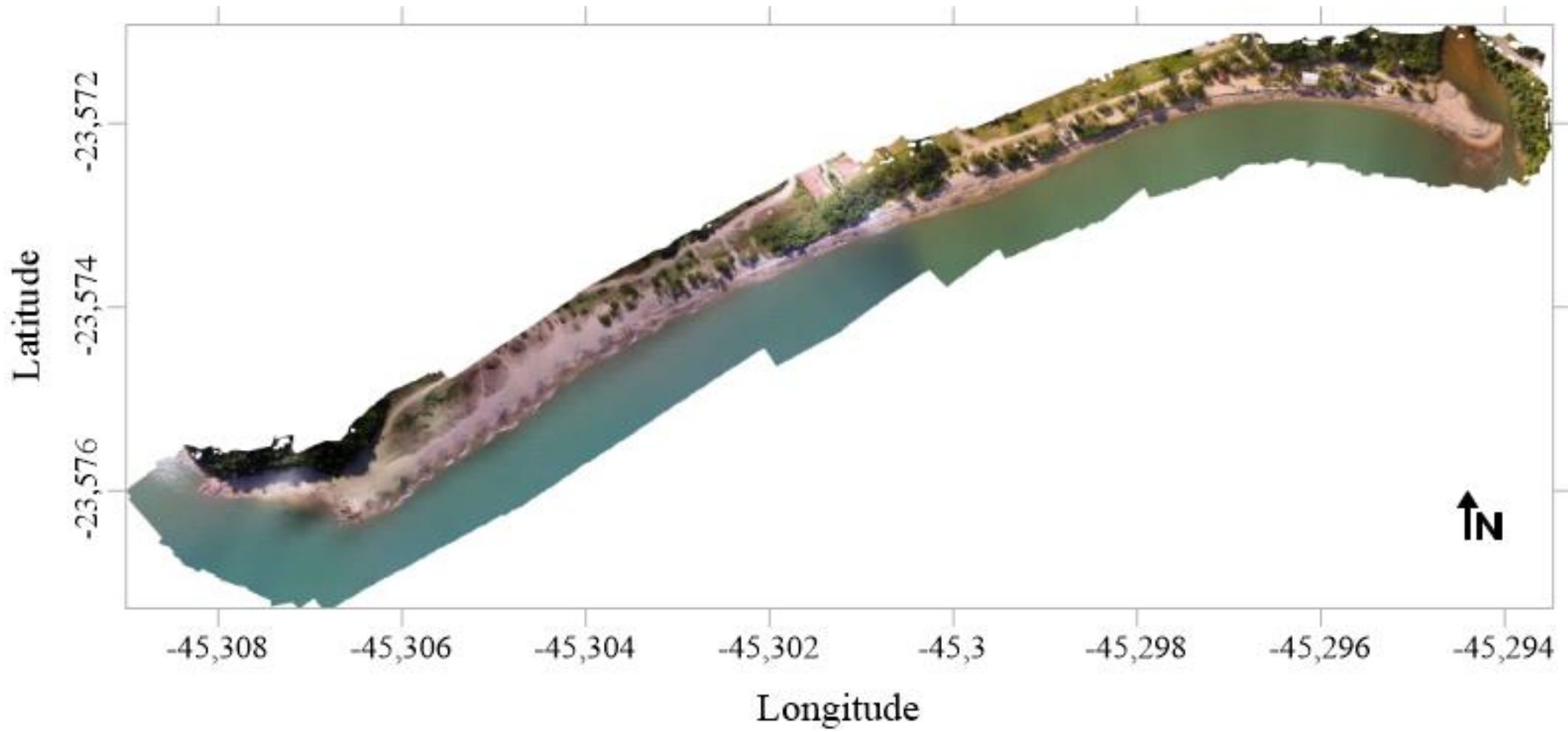


Figura 27: Ortomosaico do campo do dia 28/05/19 mostrando os detalhes da morfologia praial.

A validação do levantamento com o VANT foi realizada através da comparação com o levantamento realizado simultaneamente com o DGPS. A comparação dos levantamentos mostra grande similaridade, comprovando a eficácia do método, com erros de poucos centímetros (Figura 28), com a diferença das alturas sendo, em média, iguais a zero. Apenas na região da desembocadura do rio, a diferença foi maior, devido aos erros de interpolação das imagens, principalmente por não terem sido estabelecidos pontos de controle nessa região.

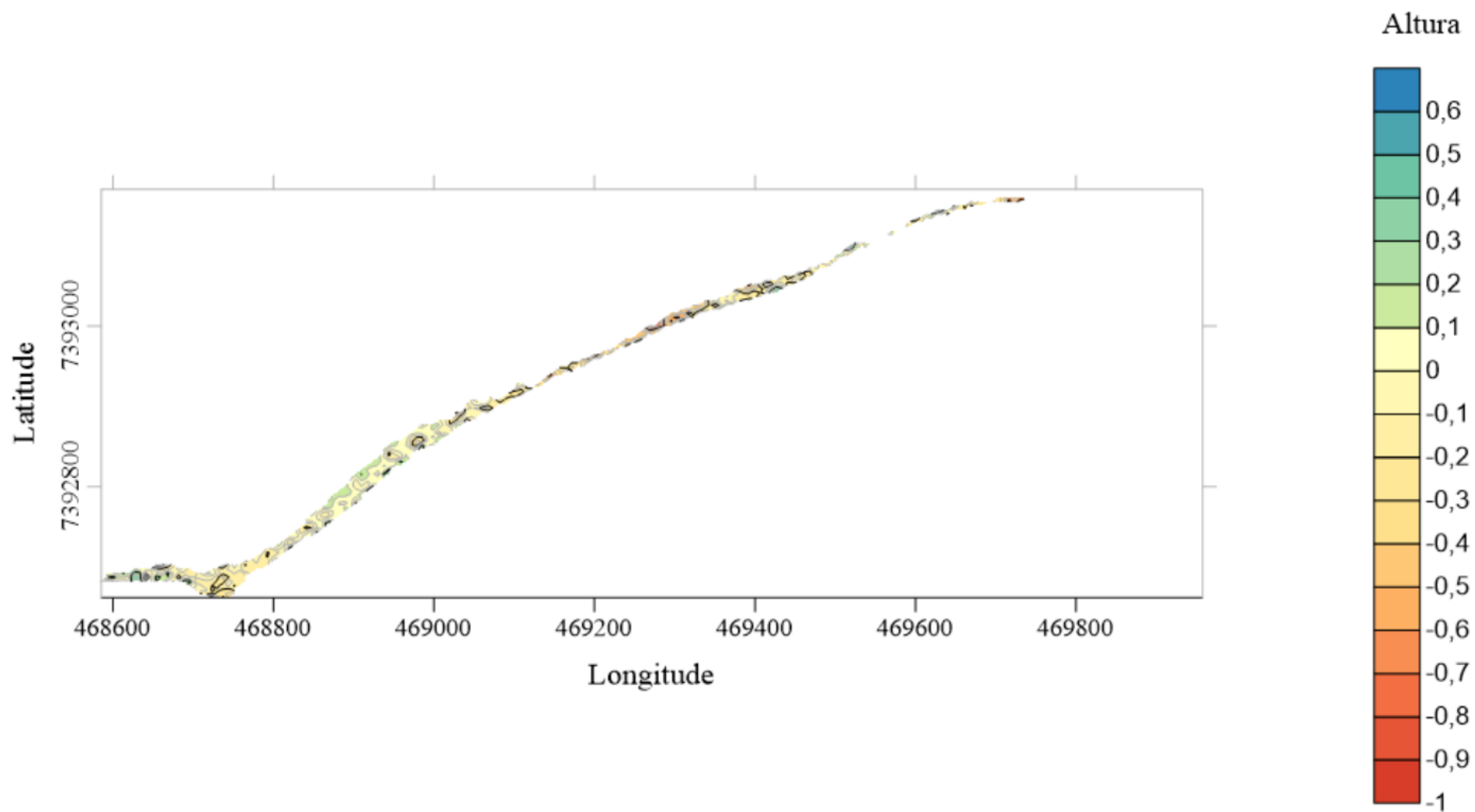


Figura 28: Diferença entre os MDTs obtidos por meio do caminhamento com DGPS e pelas imagens do VANT.

6.4. Modelagem de Ondas

6.4.1. Validação

Por não existirem dados medidos próximos à área de interesse, a validação foi realizada por meio da comparação com dados medidos na praia de Maranduba, Ubatuba-SP, em um fundeio realizado em uma área relativamente abrigada, próxima ao costão rochoso. Devido à essa proximidade com o costão, o ADCP foi fundeado em uma zona de sombra, sendo uma área que recebe ondas menores, dificultando a comparação.

O modelo apresentou um padrão parecido com os obtidos pelo ADCP, entretanto, a diferença de magnitude entre o modelo e os dados das alturas de onda chegaram a até 0,3 m (Figura 29). O modelo apresentou RMAE de 0,34, considerado bom e um IOA de 0,67, o que significa que a modelagem apresentou uma redução significativa de erros.

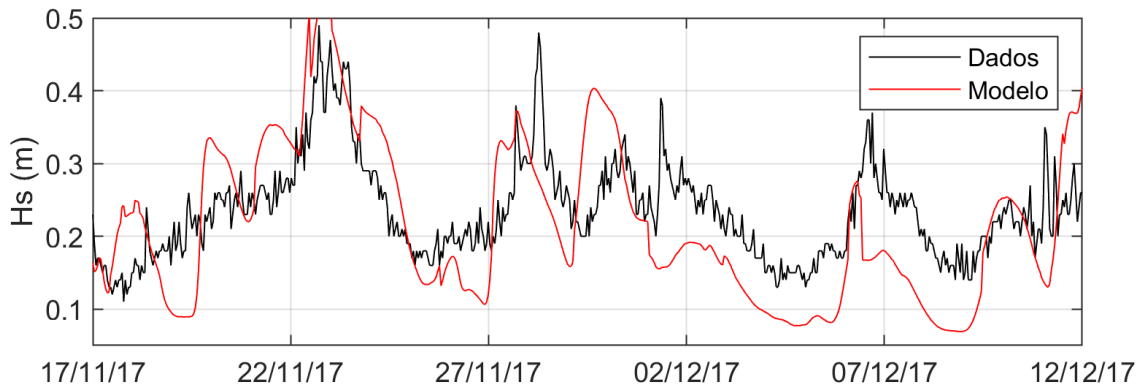


Figura 29: Comparação entre os dados medidos pelo ADCP na praia de Maranduba, Ubatuba-SP e os dados obtidos pela modelagem.

Em função de ficar na zona de sombra de parte do costão, é uma área que recebe ondas menores, dificultando a comparação. Adicionalmente, em função da inexistência de dados medidos para uso de condição de contorno, o modelo é forçado com dados do modelo global de geração de ondas ERA5. Esse é outro fator que pode trazer incertezas na comparação com os dados medidos.

Apesar das limitações citadas anteriormente em relação à falta de dados próximos à área de interesse e a utilização de dados de um modelo global (ERA5) como forçantes nas bordas, o padrão geral das ondas é reproduzido pelo modelo.

6.4.2. Resultados da Modelagem Numérica de Propagação de Ondas

Para a análise das ondas incidentes na Praia da Mococa durante o período de levantamento, foram escolhidos quatro pontos, sendo um para cada setor e outro mais externo na parte mais central da praia (Figura 30).

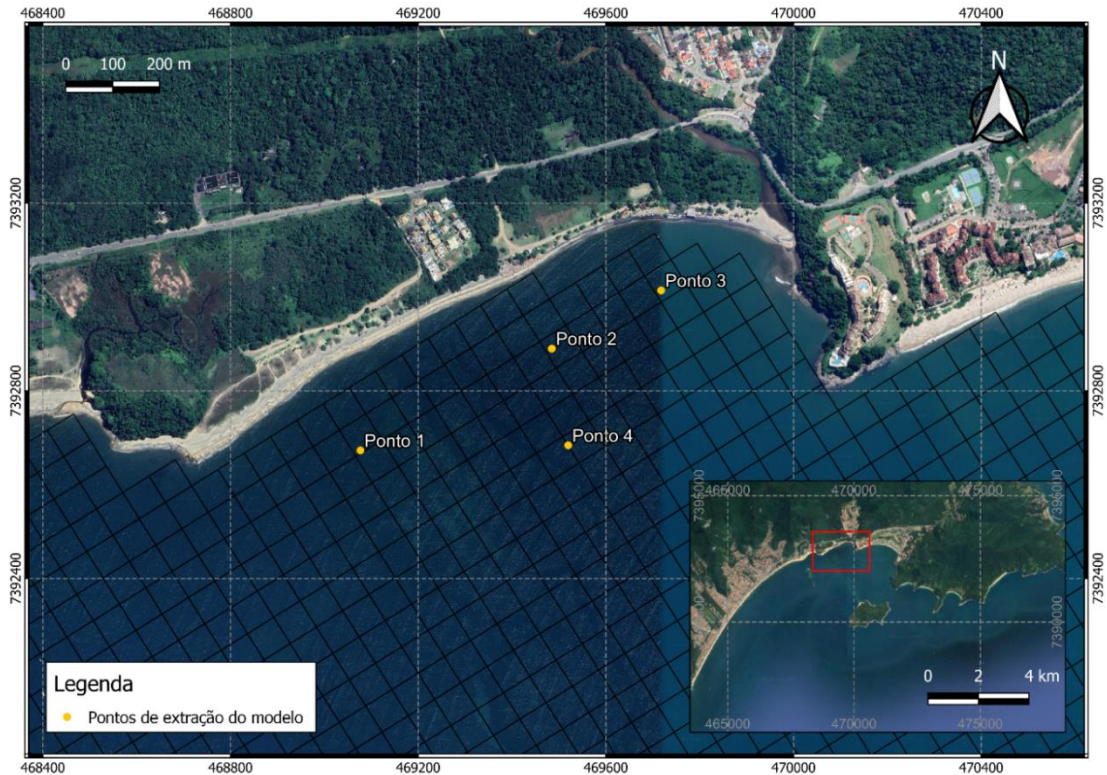


Figura 30: Localização do ponto utilizado para análise dos resultados do modelo.

Como resultado do modelo, foram obtidas alturas de onda menores que 1,5 m durante todo o período dos levantamentos de campo (Figura 31). O período que apresentou as maiores alturas de onda foi entre o Levantamento 1 (março) e o Levantamento 2 (abril).

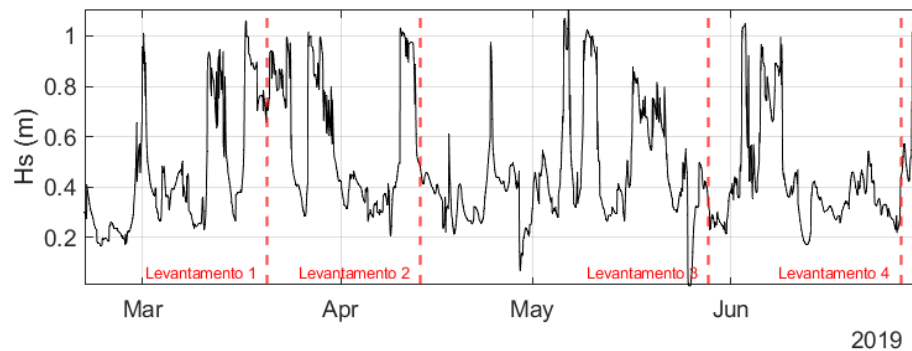
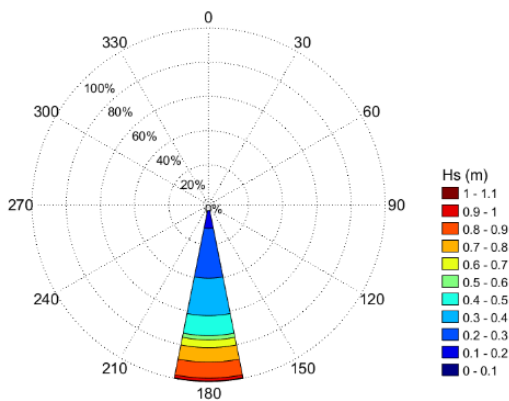


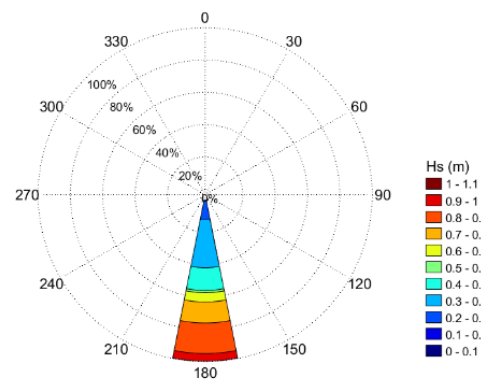
Figura 31: Altura de onda do modelo para o ponto próximo à Praia da Mococa, indicando em vermelho os dias de cada levantamento.

Para o Ponto 1 (Figura 32), na porção mais oeste da praia, próximo ao Setor A, as ondas apresentaram uma predominância de ondas de sul, ocorrendo 100% das vezes para todos os campos. O período que antecedeu o Levantamento 2 foi o que apresentou maior frequência de ondas de 0,7 a 1 m, chegando a mais de 36% de frequência de ocorrência.

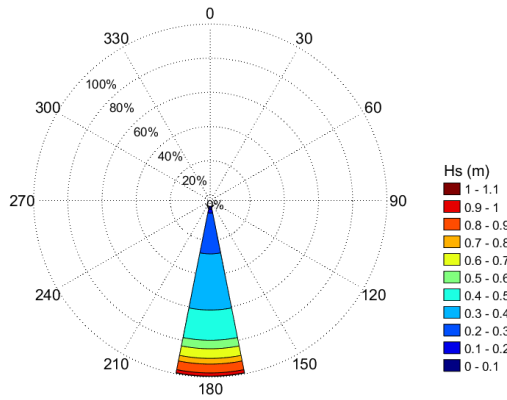
a) Levantamento 1



b) Levantamento 2



c) Levantamento 3



d) Levantamento 4

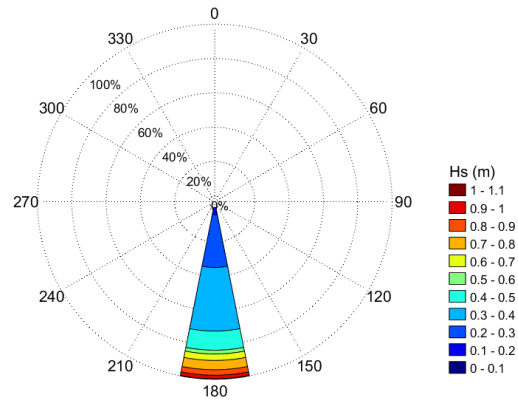
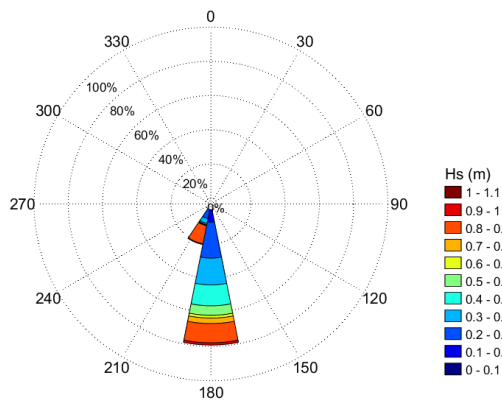


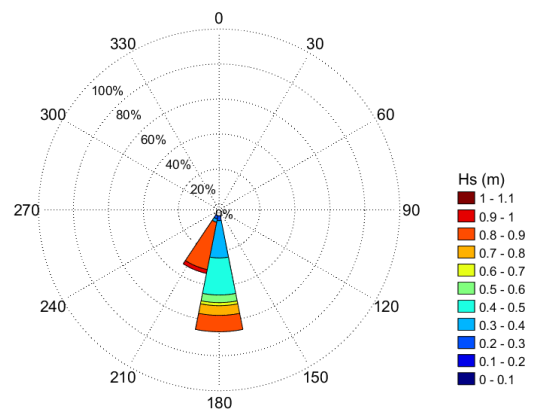
Figura 32: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 1 – setor A para o período que antecedeu o: a) levantamento 1 (março), b) levantamento 2 (abril), c) levantamento 3 (maio) e d) levantamento 4 (junho).

Para o Ponto 2 (Figura 33), na porção mais central da praia, próximo ao Setor B, as ondas também apresentaram uma predominância de ondas de sul e SSW, ocorrendo aproximadamente 70% e 20% das vezes, respectivamente, para todos os levantamentos. Assim como para o Ponto 1, o período que antecedeu o levantamento 2 foi o que apresentou maior ocorrência de ondas de 0,7 a 1 metro. Além disso, observa-se que as ondas advindas de SSW foram as que apresentaram maiores alturas.

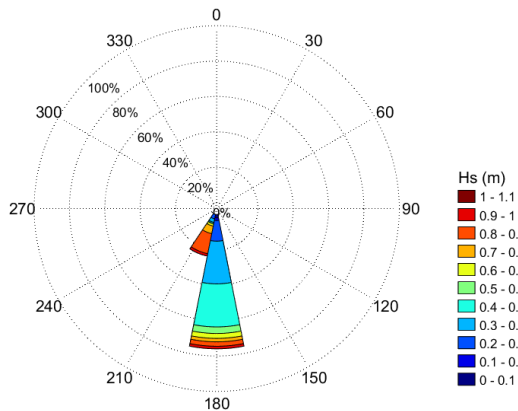
a) Levantamento 1



b) Levantamento 2



c) Levantamento 3



d) Levantamento 4

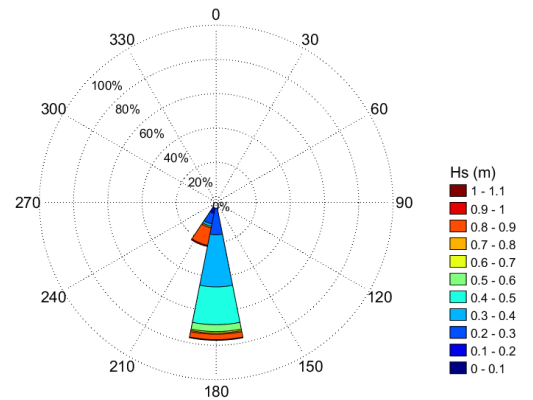
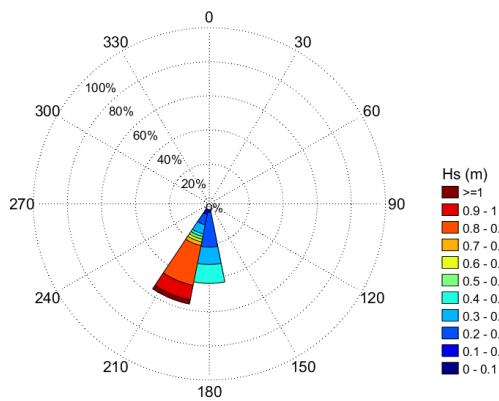


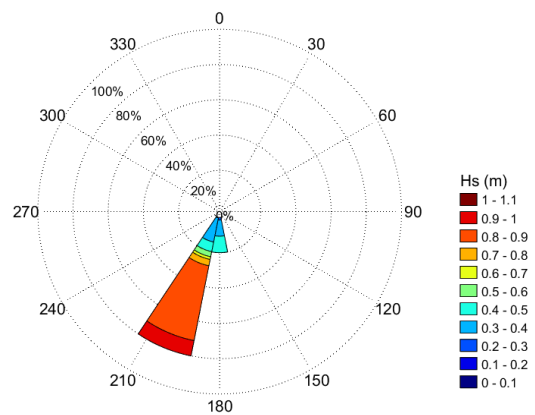
Figura 33: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 2 – setor B para o período que antecedeu o: a) Levantamento 1 (março), b) Levantamento 2 (abril), c) Levantamento 3 (maio) e d) Levantamento 4 (junho).

Para o Ponto 3 (Figura 34), na porção mais leste da praia, próximo ao Setor C, houve uma mudança de direção predominante, sendo as ondas de SSW as mais frequentes, com mais de 50%, chegando a 80% no período que antecedeu o Levantamento 2. Neste mesmo período, foi observada uma frequência de mais de 50% de alturas de onda entre 0,8 e 1 m. O período entre o Levantamento 2 e Levantamento 3 foi o que apresentou a maior altura de onda, sendo de 1,17 m, além de apresentar cerca de 7% de ocorrência de ondas de 1 a 1,2 m.

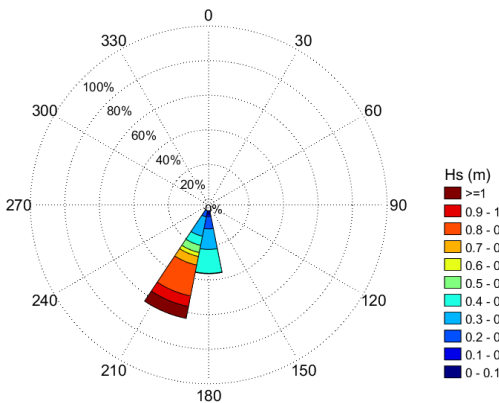
a) Levantamento 1



b) Levantamento 2



c) Levantamento 3



d) Levantamento 4

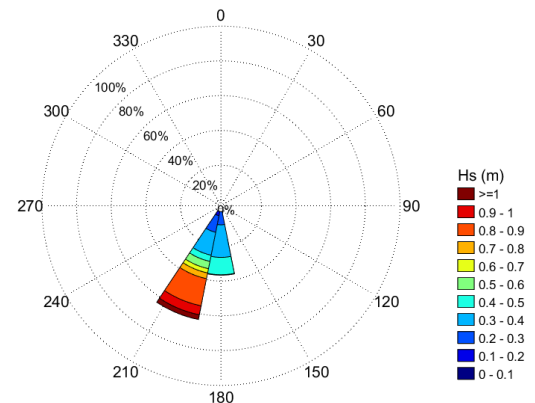
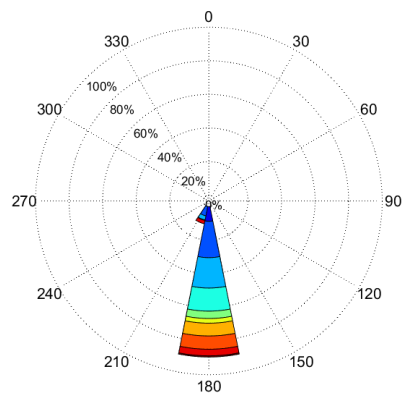


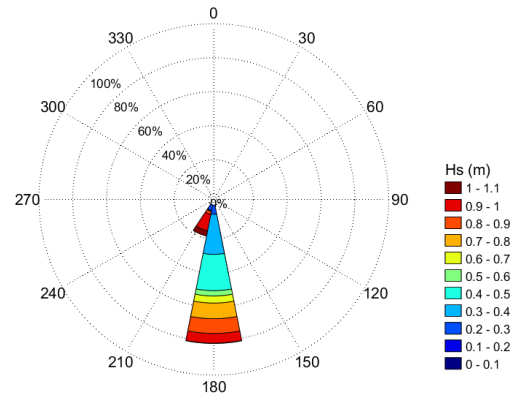
Figura 34: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 3 – setor C para o período que antecedeu o: a) Levantamento 1 (março), b) Levantamento 2 (abril), c) Levantamento 3 (maio) e d) Levantamento 4 (junho).

Para o Ponto 4 (Figura 35), o mais afastado e central da praia, observou-se uma predominância de ondas de S, com mais de 80% de frequência para todos os levantamentos, seguido pela direção SSW, com aproximadamente 20%. O histograma direcional para o Levantamento 2 apresentou uma maior ocorrência de ondas maiores que 0,8 metros, representando um período mais energético. Por outro lado, o Levantamento 3 apresentou a menor ocorrência de ondas dessa altura, representando um período de maior calmaria.

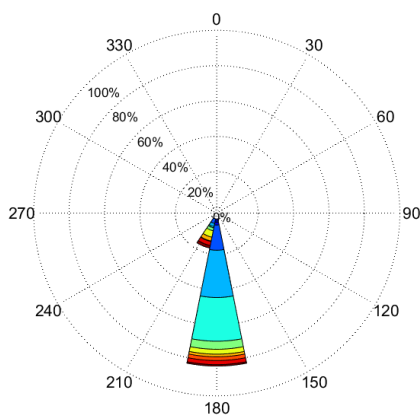
a) Levantamento 1



b) Levantamento 2



c) Levantamento 3



d) Levantamento 4

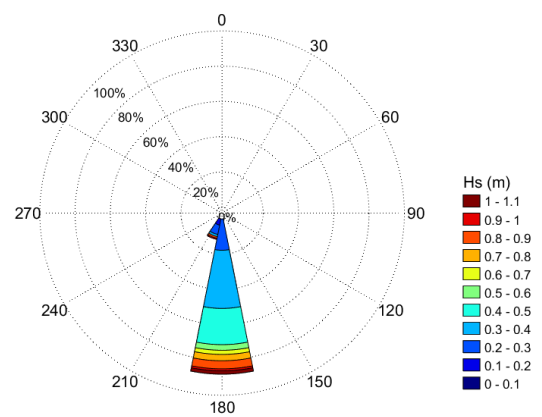
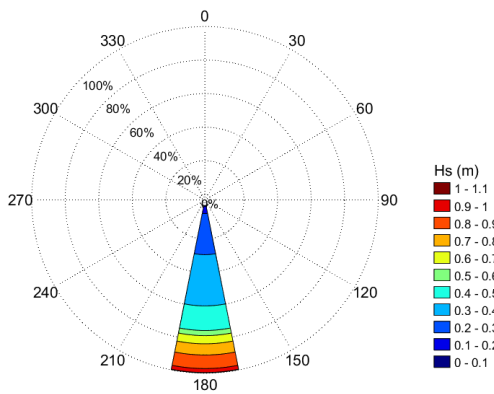


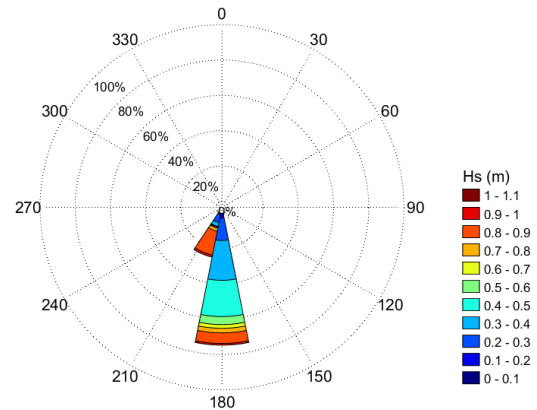
Figura 35: Histograma direcional da altura de onda e direção no ponto 4 – mais afastado ao centro para o período que antecedeu o: a) Levantamento 1 (março), b) Levantamento 2 (abril), c) Levantamento 3 (maio) e d) Levantamento 4 (junho).

A Figura 36 apresenta os histogramas direcionais totais para cada um dos pontos. É possível observar que ocorre uma mudança na direção principal de ocorrência das ondas do Setor A para o Setor C, indo de 100% de frequência de ondas de S para 66% de frequência de ondas de SSW. Além da alteração da direção da onda, observa-se um aumento na altura das ondas da porção oeste para a leste, indicando que o Setor C recebe as ondas mais energéticas entre os três setores.

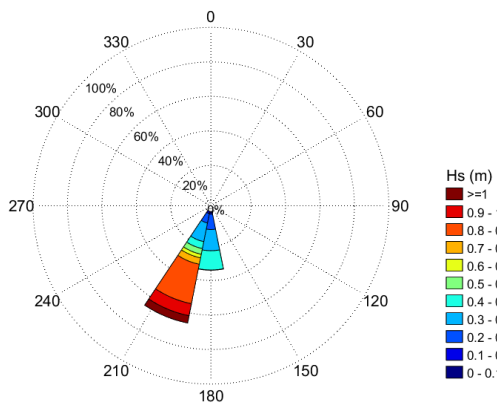
a) Ponto 1



b) Ponto 2



c) Ponto 3



d) Ponto 4

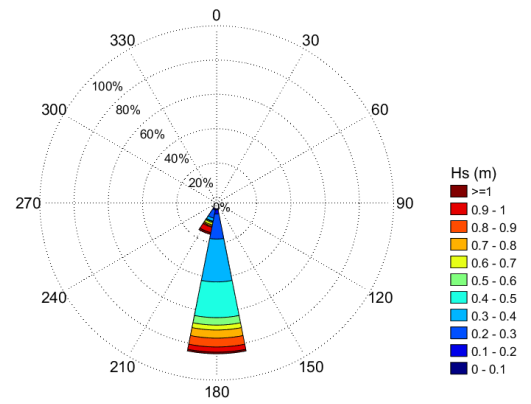
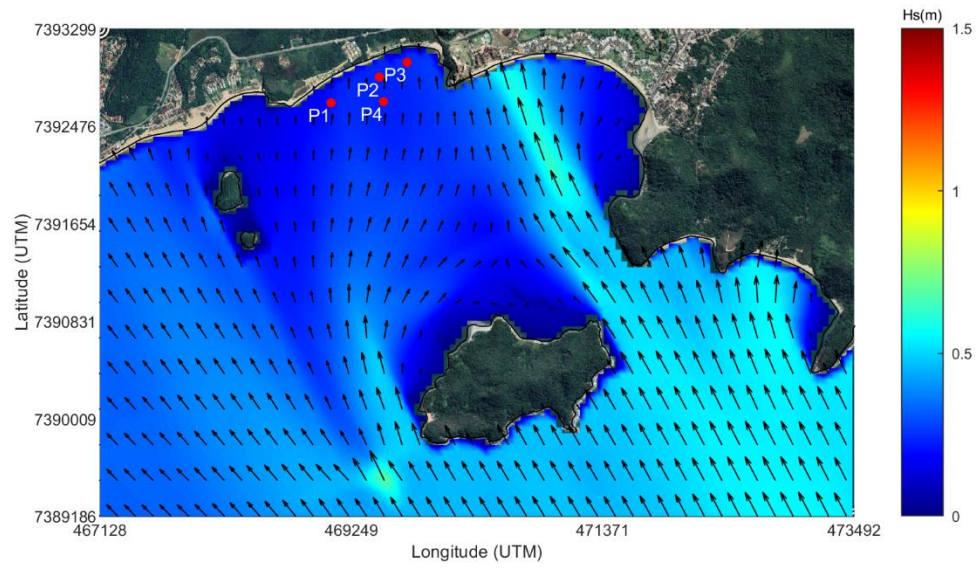


Figura 36: Histograma direcional total da altura de onda e direção no a) ponto 1, b) ponto 2, c) ponto 3 e d) ponto 4.

A representação dos resultados das simulações de propagação de ondas em direção à costa, para as condições máximas e mínimas para cada mês, são apresentados nas Figura 37 a Figura 40. Por meio dos campos vetoriais e de distribuição das alturas, é possível a observação dos padrões das ondas para a região próxima da praia. Nota-se que as maiores alturas de onda atingem a praia na porção leste quando as ondas que passam entre a porção leste da Ilha do Tamanduá e o continente, depois de difratarem, atingem diretamente a praia devido à incidência de ondas que entram com ângulo de aproximadamente 45° . Ondas com essa direção de incidência são menos atenuadas pela Ilha do Tamanduá, fazendo com que elas atinjam diretamente a praia com maiores alturas.

Por outro lado, as ondas que são difratadas do lado oeste da ilha são mais atenuadas e entram na região da praia com menores alturas. Quando as ondas que atingem a praia são decorrentes principalmente de ondas de ESE, o momento é caracterizado por ser de menor energia.

a)



b)

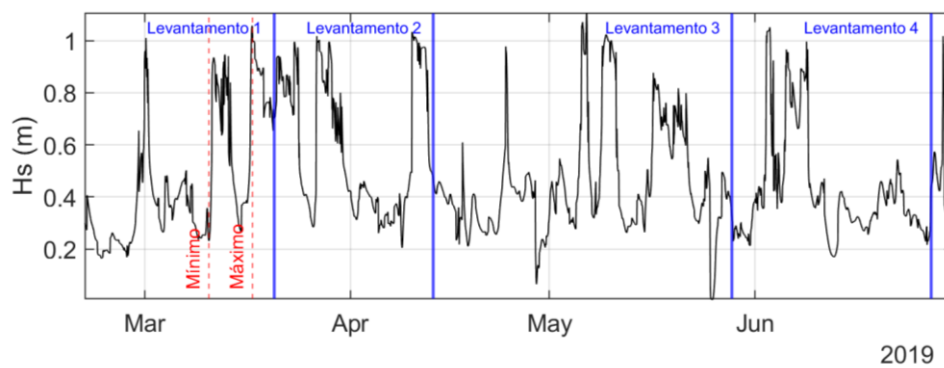
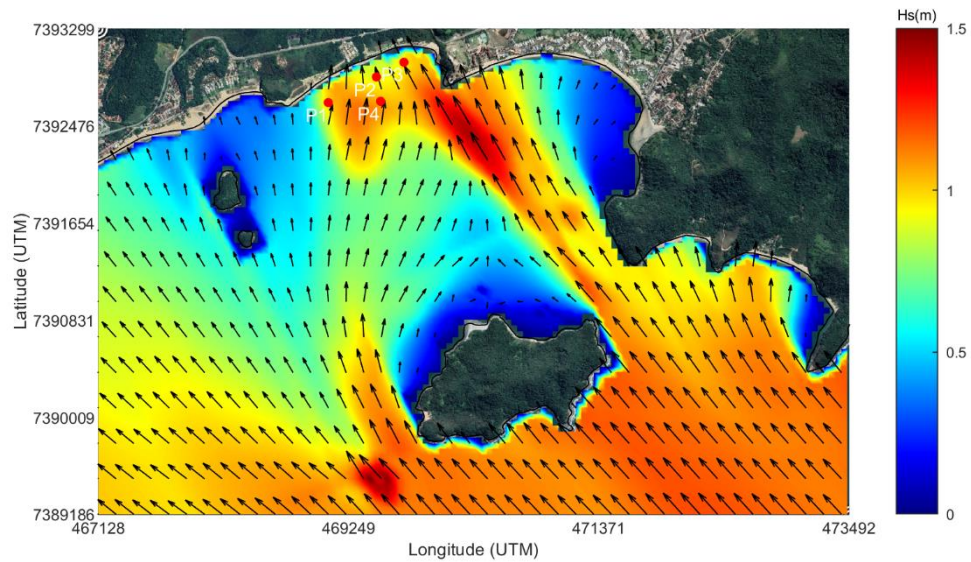
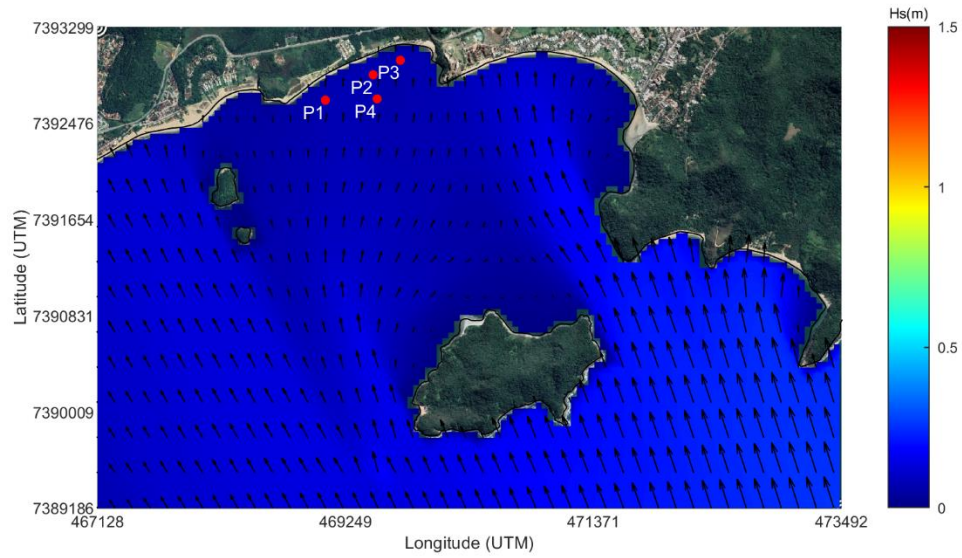


Figura 37: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para março de 2019.

a)



b)

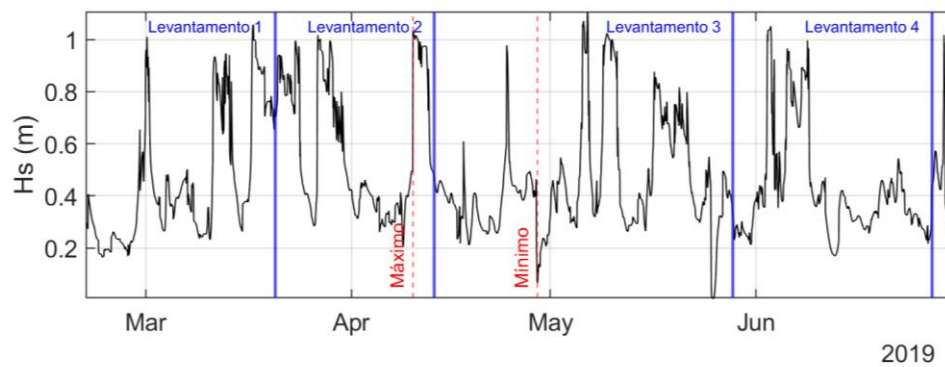
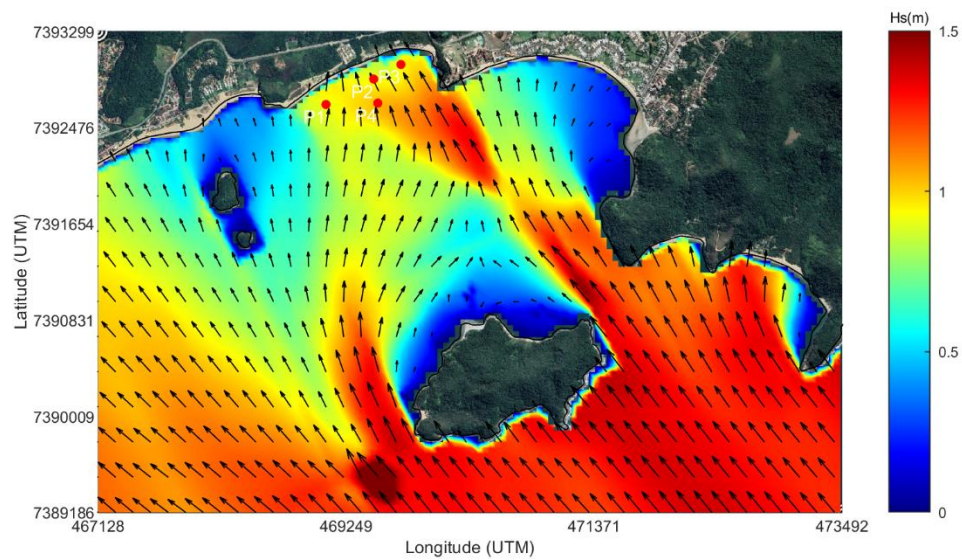
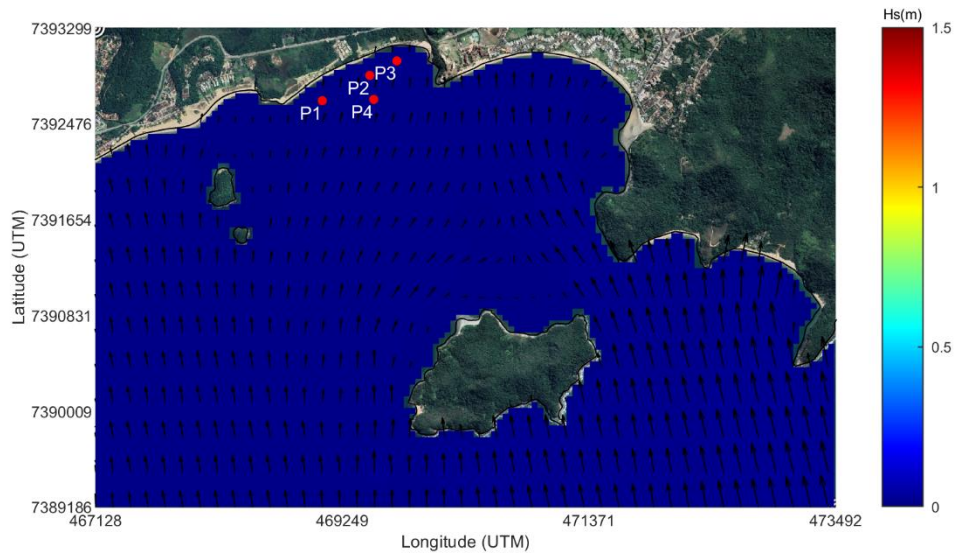


Figura 38: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para abril de 2019.

a)



b)

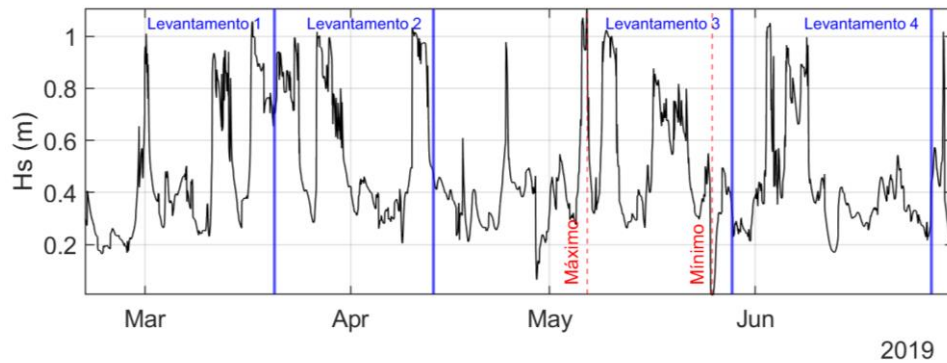
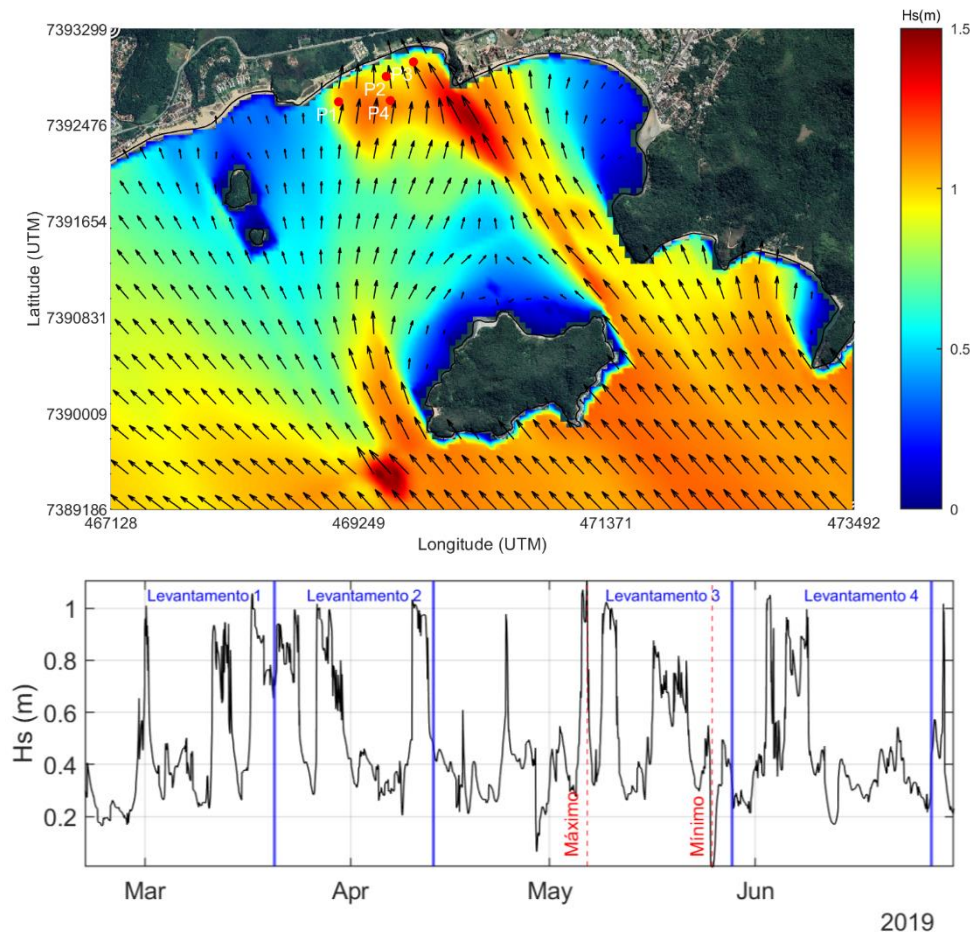


Figura 39: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para maio de 2019.

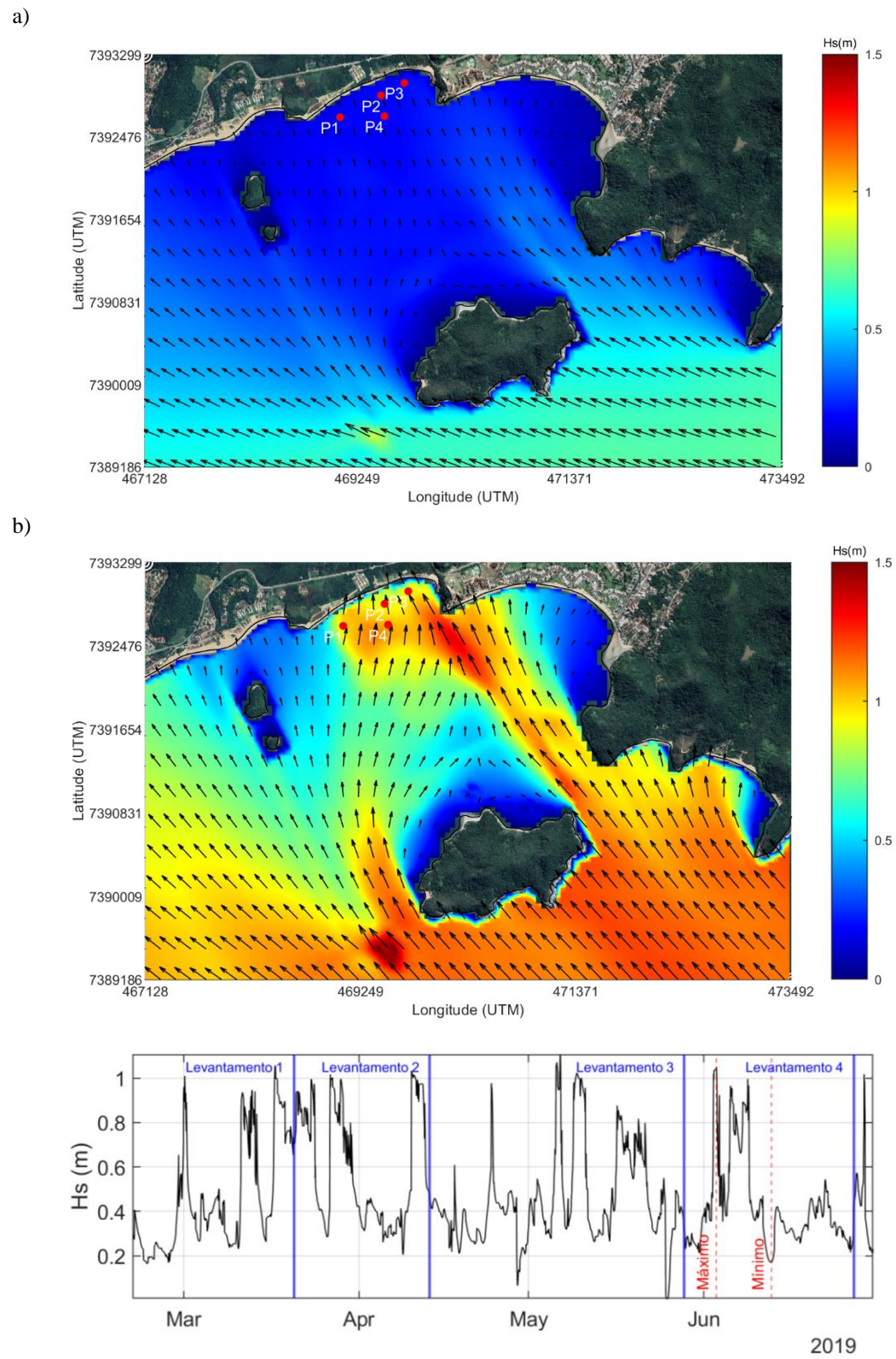


Figura 40: Campo de ondas para o instante de menor (a) e maior (b) altura de onda para junho de 2019.

Observando o campo de ondas da grade maior é possível notar que, além da altura da onda, outro importante fator para explicar a incidência de ondas maiores na praia é a direção que as ondas mais externas incidem na região. Nos instantes em que ocorreram as maiores alturas de onda na região próxima à praia, a altura das ondas externas era de aproximadamente 2 m com direção SSW. Entretanto, nos picos mínimos de altura de onda próximas à praia, as ondas externas continuam com um valor de 2 m, no entanto, com direção SE. Isso acontece em função da direção de incidência das ondas, que controla o quanto elas podem ser atenuadas pela Ilhabela. Quando as ondas externas possuem direção SSW, a Ilhabela acaba gerando uma grande zona de sombra, atenuando as ondas que incidiriam na Praia da Mococa. Por outro lado, quando as ondas externas possuem direção SE não são atenuadas pela Ilhabela, atingindo quase que diretamente a praia, sendo assim, as ondas que alcançam a praia com as maiores alturas.

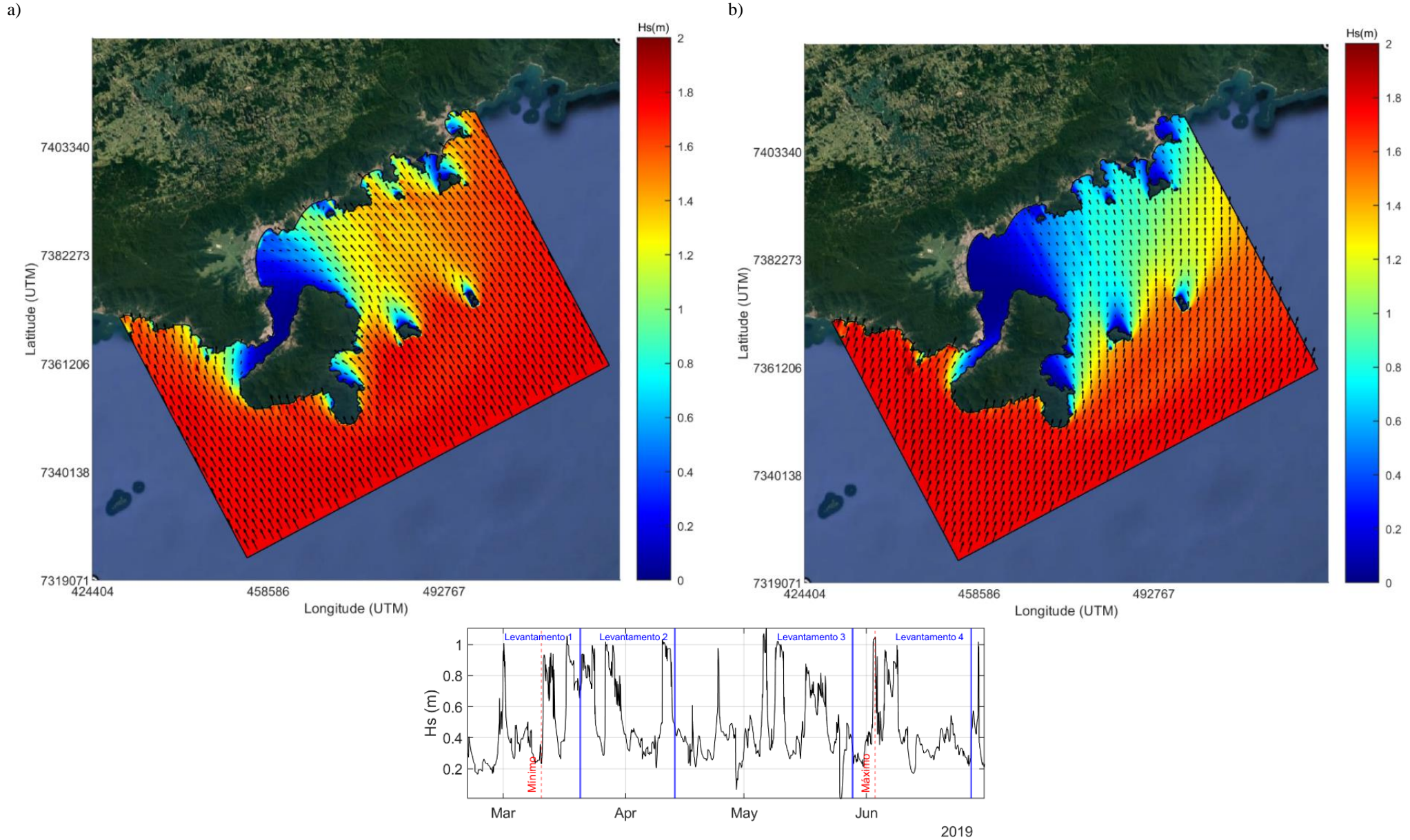


Figura 41: Campo de ondas para instantes de máxima (a) e mínima (b) alturas de onda na praia da Mococa para a grade regional.

6.5.Eventos de Sobrelavagem

A partir dos cenários de ondas extraídos foram aplicadas as fórmulas de *runup* e as somatórias dos valores obtidos com os diferentes cenários de nível do mar foram comparadas com a altura média da berma de 2,5 m para os perfis 6 e 7. Da Tabela 7 até a Tabela 10 é possível observar os valores máximos para cada um dos cenários, sendo destacado em vermelho os valores que ultrapassaram a altura da berma e que resultariam em um evento de sobrelavagem.

Comparando os valores de nível total da água calculados com a formulação de Holman (1986) e a de Mase *et al.* (2013), é possível notar que os valores de Mase superestimam os valores obtidos por Holman, entretanto, com pouca diferença, sendo de aproximadamente 0,1 m para os menores valores de onda e nível do mar e de 0,3 metros para maiores valores. Essa pequena diferença reitera a possibilidade de utilizarmos a formulação de Mase para termos uma estimativa dos cenários e magnitudes dos possíveis eventos de sobrelavagem.

Em ambas as formulações, observa-se que o fator de mais destaque para a ocorrência ou não de um evento de sobrelavagem é a maré astronômica, já que a grande maioria dos eventos ocorrem em marés de sizígia. Para a maré de quadratura a maioria dos cenários não ultrapassou a altura da berma, apenas em casos mais extremos em que a altura de onda é maior que 3 m. Outro fator de destaque é a maré meteorológica, principalmente ao coincidir com a maré de sizígia, resultando em eventos de sobrelavagem para todos os cenários de onda com o *runup* de 99%.

Como esperado, os resultados apresentados pelo $R_{99\%}$ foram de maior magnitude com relação ao $R_{37\%}$ e o $R_{2\%}$ devido aos cálculos serem mais conservadores e adotarem maiores valores para as ondas aleatórias, chegando à diferença de até 0,6 m de nível total da água em comparação como $R_{37\%}$. Entretanto, nota-se que não houve uma diferença expressiva entre o $R_{2\%}$ e o $R_{37\%}$, com a diferença sendo de no máximo 0,1 m. O valor máximo obtido foi 4,2 m em maré de sizígia, 1,2 m de maré meteorológica e ondas de 4,5 m com período de 16 s.

Tabela 7 : Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 6 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Holman (1986). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.

Quadratura R2%						Sizígia R2%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m		0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.224	0.724	0.974	1.224	1.424	1.0m 7s	1.115	1.615	1.865	2.115	2.315
1.0m 8s	0.226	0.726	0.976	1.226	1.426	1.0m 8s	1.117	1.617	1.867	2.117	2.317
1.0m 9s	0.228	0.728	0.978	1.228	1.428	1.0m 9s	1.119	1.619	1.869	2.119	2.319
1.0m 10s	0.230	0.730	0.980	1.230	1.430	1.0m 10s	1.121	1.621	1.871	2.121	2.321
1.0m 11s	0.232	0.732	0.982	1.232	1.432	1.0m 11s	1.123	1.623	1.873	2.123	2.323
1.5m 9s	0.332	0.832	1.082	1.332	1.532	1.5m 9s	1.223	1.723	1.973	2.223	2.423
1.5m 10s	0.334	0.834	1.084	1.334	1.534	1.5m 10s	1.225	1.725	1.975	2.225	2.425
1.5m 11s	0.337	0.837	1.087	1.337	1.537	1.5m 11s	1.228	1.728	1.978	2.228	2.428
1.5m 12s	0.339	0.839	1.089	1.339	1.539	1.5m 12s	1.230	1.730	1.980	2.230	2.430
2.0m 12s	0.444	0.944	1.194	1.444	1.644	2.0m 12s	1.335	1.835	2.085	2.335	2.535
2.5m 13s	0.552	1.052	1.302	1.552	1.752	2.5m 13s	1.443	1.943	2.193	2.443	2.643
3.0m 14s	0.659	1.159	1.409	1.659	1.859	3.0m 14s	1.550	2.050	2.300	2.550	2.750
3.5m 15s	0.767	1.267	1.517	1.767	1.967	3.5m 15s	1.658	2.158	2.408	2.658	2.858
4.0m 16s	0.875	1.375	1.625	1.875	2.075	4.0m 16s	1.766	2.266	2.516	2.766	2.966
4.5m 16s	0.979	1.479	1.729	1.979	2.179	4.5m 16s	1.870	2.370	2.620	2.870	3.070

Tabela 8: Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 7 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Holman (1986). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.

Quadratura R2%						Sizígia R2%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m		0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.231	0.731	0.981	1.231	1.431	1.0m 7s	1.122	1.622	1.872	2.122	2.322
1.0m 8s	0.234	0.734	0.984	1.234	1.434	1.0m 8s	1.125	1.625	1.875	2.125	2.325
1.0m 9s	0.237	0.737	0.987	1.237	1.437	1.0m 9s	1.128	1.628	1.878	2.128	2.328
1.0m 10s	0.240	0.740	0.990	1.240	1.440	1.0m 10s	1.131	1.631	1.881	2.131	2.331
1.0m 11s	0.243	0.743	0.993	1.243	1.443	1.0m 11s	1.134	1.634	1.884	2.134	2.334
1.5m 9s	0.343	0.843	1.093	1.343	1.543	1.5m 9s	1.234	1.734	1.984	2.234	2.434
1.5m 10s	0.347	0.847	1.097	1.347	1.547	1.5m 10s	1.238	1.738	1.988	2.238	2.438
1.5m 11s	0.351	0.851	1.101	1.351	1.551	1.5m 11s	1.242	1.742	1.992	2.242	2.442
1.5m 12s	0.355	0.855	1.105	1.355	1.555	1.5m 12s	1.246	1.746	1.996	2.246	2.446
2.0m 12s	0.462	0.962	1.212	1.462	1.662	2.0m 12s	1.353	1.853	2.103	2.353	2.553
2.5m 13s	0.573	1.073	1.323	1.573	1.773	2.5m 13s	1.464	1.964	2.214	2.464	2.664
3.0m 14s	0.684	1.184	1.434	1.684	1.884	3.0m 14s	1.575	2.075	2.325	2.575	2.775
3.5m 15s	0.796	1.296	1.546	1.796	1.996	3.5m 15s	1.687	2.187	2.437	2.687	2.887
4.0m 16s	0.909	1.409	1.659	1.909	2.109	4.0m 16s	1.800	2.300	2.550	2.800	3.000
4.5m 16s	1.015	1.515	1.765	2.015	2.215	4.5m 16s	1.906	2.406	2.656	2.906	3.106

Tabela 9: Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 6 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Mase *et al.* (2013). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.

Quadratura R2%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.296	0.796	1.046	1.296	1.496
1.0m 8s	0.300	0.800	1.050	1.300	1.500
1.0m 9s	0.304	0.804	1.054	1.304	1.504
1.0m 10s	0.308	0.808	1.058	1.308	1.508
1.0m 11s	0.311	0.811	1.061	1.311	1.511
1.5m 9s	0.442	0.942	1.192	1.442	1.642
1.5m 10s	0.446	0.946	1.196	1.446	1.646
1.5m 11s	0.451	0.951	1.201	1.451	1.651
1.5m 12s	0.456	0.956	1.206	1.456	1.656
2.0m 12s	0.595	1.095	1.345	1.595	1.795
2.5m 13s	0.738	1.238	1.488	1.738	1.938
3.0m 14s	0.883	1.383	1.633	1.883	2.083
3.5m 15s	1.027	1.527	1.777	2.027	2.227
4.0m 16s	1.173	1.673	1.923	2.173	2.373
4.5m 16s	1.310	1.810	2.060	2.310	2.510

Quadratura R37%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.322	0.822	1.072	1.322	1.522
1.0m 8s	0.326	0.826	1.076	1.326	1.526
1.0m 9s	0.330	0.830	1.080	1.330	1.530
1.0m 10s	0.334	0.834	1.084	1.334	1.534
1.0m 11s	0.339	0.839	1.089	1.339	1.539
1.5m 9s	0.481	0.981	1.231	1.481	1.681
1.5m 10s	0.486	0.986	1.236	1.486	1.686
1.5m 11s	0.491	0.991	1.241	1.491	1.691
1.5m 12s	0.496	0.996	1.246	1.496	1.696
2.0m 12s	0.647	1.147	1.397	1.647	1.847
2.5m 13s	0.804	1.304	1.554	1.804	2.004
3.0m 14s	0.961	1.461	1.711	1.961	2.161
3.5m 15s	1.119	1.619	1.869	2.119	2.319
4.0m 16s	1.277	1.777	2.027	2.277	2.477
4.5m 16s	1.427	1.927	2.177	2.427	2.627

Quadratura R99%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.451	0.951	1.201	1.451	1.651
1.0m 8s	0.457	0.957	1.207	1.457	1.657
1.0m 9s	0.463	0.963	1.213	1.463	1.663
1.0m 10s	0.469	0.969	1.219	1.469	1.669
1.0m 11s	0.475	0.975	1.225	1.475	1.675
1.5m 9s	0.675	1.175	1.425	1.675	1.875
1.5m 10s	0.682	1.182	1.432	1.682	1.882
1.5m 11s	0.690	1.190	1.440	1.690	1.890
1.5m 12s	0.697	1.197	1.447	1.697	1.897
2.0m 12s	0.911	1.411	1.661	1.911	2.111
2.5m 13s	1.132	1.632	1.882	2.132	2.332
3.0m 14s	1.355	1.855	2.105	2.355	2.555
3.5m 15s	1.577	2.077	2.327	2.577	2.777
4.0m 16s	1.801	2.301	2.551	2.801	3.001
4.5m 16s	2.013	2.513	2.763	3.013	3.213

Sizígia R2%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	1.187	1.687	1.937	2.187	2.387
1.0m 8s	1.191	1.691	1.941	2.191	2.391
1.0m 9s	1.195	1.695	1.945	2.195	2.395
1.0m 10s	1.199	1.699	1.949	2.199	2.399
1.0m 11s	1.202	1.702	1.952	2.202	2.402
1.5m 9s	1.333	1.833	2.083	2.333	2.533
1.5m 10s	1.337	1.837	2.087	2.337	2.537
1.5m 11s	1.342	1.842	2.092	2.342	2.542
1.5m 12s	1.347	1.847	2.097	2.347	2.547
2.0m 12s	1.486	1.986	2.236	2.486	2.686
2.5m 13s	1.629	2.129	2.379	2.629	2.829
3.0m 14s	1.774	2.274	2.524	2.774	2.974
3.5m 15s	1.918	2.418	2.668	2.918	3.118
4.0m 16s	2.064	2.564	2.814	3.064	3.264
4.5m 16s	2.201	2.701	2.951	3.201	3.401

Sizígia R37%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	1.213	1.713	1.963	2.213	2.413
1.0m 8s	1.217	1.717	1.967	2.217	2.417
1.0m 9s	1.221	1.721	1.971	2.221	2.421
1.0m 10s	1.225	1.725	1.975	2.225	2.425
1.0m 11s	1.230	1.730	1.980	2.230	2.430
1.5m 9s	1.372	1.872	2.122	2.372	2.572
1.5m 10s	1.377	1.877	2.127	2.377	2.577
1.5m 11s	1.382	1.882	2.132	2.382	2.582
1.5m 12s	1.387	1.887	2.137	2.387	2.587
2.0m 12s	1.538	2.038	2.288	2.538	2.738
2.5m 13s	1.695	2.195	2.445	2.695	2.895
3.0m 14s	1.852	2.352	2.602	2.852	3.052
3.5m 15s	2.010	2.510	2.760	3.010	3.210
4.0m 16s	2.168	2.668	2.918	3.168	3.368
4.5m 16s	2.318	2.818	3.068	3.318	3.518

Sizígia R99%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	1.342	1.842	2.092	2.342	2.542
1.0m 8s	1.348	1.848	2.098	2.348	2.548
1.0m 9s	1.354	1.854	2.104	2.354	2.554
1.0m 10s	1.360	1.860	2.110	2.360	2.560
1.0m 11s	1.366	1.866	2.116	2.366	2.566
1.5m 9s	1.566	2.066	2.316	2.566	2.766
1.5m 10s	1.573	2.073	2.323	2.573	2.773
1.5m 11s	1.581	2.081	2.331	2.581	2.781
1.5m 12s	1.588	2.088	2.338	2.588	2.788
2.0m 12s	1.802	2.302	2.552	2.802	3.002
2.5m 13s	2.023	2.523	2.773	3.023	3.223
3.0m 14s	2.246	2.746	2.996	3.246	3.446
3.5m 15s	2.468	2.968	3.218	3.468	3.668
4.0m 16s	2.692	3.192	3.442	3.692	3.892
4.5m 16s	2.904	3.404	3.654	3.904	4.104

Tabela 10: Resultado da sobrelevação total dos cenários de ondas e maré meteorológica no perfil 7 para maré de sizígia e quadratura com a formulação proposta por Mase *et al.* (2013). Os valores de sobrelevação que se apresentaram maiores que a altura da berma (2 m) são destacados em vermelho, indicando os cenários em que houveram sobrelevagem.

Quadratura R2%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.310	0.810	1.060	1.310	1.510
1.0m 8s	0.315	0.815	1.065	1.315	1.515
1.0m 9s	0.321	0.821	1.071	1.321	1.521
1.0m 10s	0.327	0.827	1.077	1.327	1.527
1.0m 11s	0.332	0.832	1.082	1.332	1.532
1.5m 9s	0.463	0.963	1.213	1.463	1.663
1.5m 10s	0.470	0.970	1.220	1.470	1.670
1.5m 11s	0.477	0.977	1.227	1.477	1.677
1.5m 12s	0.484	0.984	1.234	1.484	1.684
2.0m 12s	0.627	1.127	1.377	1.627	1.827
2.5m 13s	0.778	1.278	1.528	1.778	1.978
3.0m 14s	0.929	1.429	1.679	1.929	2.129
3.5m 15s	1.081	1.581	1.831	2.081	2.281
4.0m 16s	1.234	1.734	1.984	2.234	2.434
4.5m 16s	1.375	1.875	2.125	2.375	2.575

Quadratura R37%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.337	0.837	1.087	1.337	1.537
1.0m 8s	0.343	0.843	1.093	1.343	1.543
1.0m 9s	0.349	0.849	1.099	1.349	1.549
1.0m 10s	0.355	0.855	1.105	1.355	1.555
1.0m 11s	0.361	0.861	1.111	1.361	1.561
1.5m 9s	0.504	1.004	1.254	1.504	1.704
1.5m 10s	0.511	1.011	1.261	1.511	1.711
1.5m 11s	0.519	1.019	1.269	1.519	1.719
1.5m 12s	0.527	1.027	1.277	1.527	1.727
2.0m 12s	0.683	1.183	1.433	1.683	1.883
2.5m 13s	0.847	1.347	1.597	1.847	2.047
3.0m 14s	1.012	1.512	1.762	2.012	2.212
3.5m 15s	1.178	1.678	1.928	2.178	2.378
4.0m 16s	1.344	1.844	2.094	2.344	2.544
4.5m 16s	1.498	1.998	2.248	2.498	2.698

Quadratura R99%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	0.472	0.972	1.222	1.472	1.672
1.0m 8s	0.481	0.981	1.231	1.481	1.681
1.0m 9s	0.489	0.989	1.239	1.489	1.689
1.0m 10s	0.498	0.998	1.248	1.498	1.698
1.0m 11s	0.507	1.007	1.257	1.507	1.707
1.5m 9s	0.708	1.208	1.458	1.708	1.908
1.5m 10s	0.719	1.219	1.469	1.719	1.919
1.5m 11s	0.729	1.229	1.479	1.729	1.929
1.5m 12s	0.740	1.240	1.490	1.740	1.940
2.0m 12s	0.961	1.461	1.711	1.961	2.161
2.5m 13s	1.193	1.693	1.943	2.193	2.393
3.0m 14s	1.426	1.926	2.176	2.426	2.626
3.5m 15s	1.660	2.160	2.410	2.660	2.860
4.0m 16s	1.895	2.395	2.645	2.895	3.095
4.5m 16s	2.113	2.613	2.863	3.113	3.313

Sizígia R2%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	1.201	1.701	1.951	2.201	2.401
1.0m 8s	1.206	1.706	1.956	2.206	2.406
1.0m 9s	1.212	1.712	1.962	2.212	2.412
1.0m 10s	1.218	1.718	1.968	2.218	2.418
1.0m 11s	1.223	1.723	1.973	2.223	2.423
1.5m 9s	1.354	1.854	2.104	2.354	2.554
1.5m 10s	1.361	1.861	2.111	2.361	2.561
1.5m 11s	1.368	1.868	2.118	2.368	2.568
1.5m 12s	1.375	1.875	2.125	2.375	2.575
2.0m 12s	1.518	2.018	2.268	2.518	2.718
2.5m 13s	1.669	2.169	2.419	2.669	2.869
3.0m 14s	1.820	2.320	2.570	2.820	3.020
3.5m 15s	1.972	2.472	2.722	2.972	3.172
4.0m 16s	2.125	2.625	2.875	3.125	3.325
4.5m 16s	2.266	2.766	3.016	3.266	3.466

Sizígia R37%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	1.228	1.728	1.978	2.228	2.428
1.0m 8s	1.234	1.734	1.984	2.234	2.434
1.0m 9s	1.240	1.740	1.990	2.240	2.440
1.0m 10s	1.246	1.746	1.996	2.246	2.446
1.0m 11s	1.252	1.752	2.002	2.252	2.452
1.5m 9s	1.395	1.895	2.145	2.395	2.595
1.5m 10s	1.402	1.902	2.152	2.402	2.602
1.5m 11s	1.410	1.910	2.160	2.410	2.610
1.5m 12s	1.418	1.918	2.168	2.418	2.618
2.0m 12s	1.574	2.074	2.324	2.574	2.774
2.5m 13s	1.738	2.238	2.488	2.738	2.938
3.0m 14s	1.903	2.403	2.653	2.903	3.103
3.5m 15s	2.069	2.569	2.819	3.069	3.269
4.0m 16s	2.235	2.735	2.985	3.235	3.435
4.5m 16s	2.389	2.889	3.139	3.389	3.589

Sizígia R99%					
	0.0m	0.5m	0.75m	1.0m	1.2m
1.0m 7s	1.363	1.863	2.113	2.363	2.563
1.0m 8s	1.372	1.872	2.122	2.372	2.572
1.0m 9s	1.380	1.880	2.130	2.380	2.580
1.0m 10s	1.389	1.889	2.139	2.389	2.589
1.0m 11s	1.398	1.898	2.148	2.398	2.598
1.5m 9s	1.599	2.099	2.349	2.599	2.799
1.5m 10s	1.610	2.110	2.360	2.610	2.810
1.5m 11s	1.620	2.120	2.370	2.620	2.820
1.5m 12s	1.631	2.131	2.381	2.631	2.831
2.0m 12s	1.852	2.352	2.602	2.852	3.052
2.5m 13s	2.084	2.584	2.834	3.084	3.284
3.0m 14s	2.317	2.817	3.067	3.317	3.517
3.5m 15s	2.551	3.051	3.301	3.551	3.751
4.0m 16s	2.786	3.286	3.536	3.786	3.986
4.5m 16s	3.004	3.504	3.754	4.004	4.204

7. DISCUSSÃO

Por meio da abordagem combinada entre levantamentos de campo e aplicação de modelo numérico de propagação de ondas, foi possível analisar diversos aspectos relacionados à dinâmica morfo-sedimentar da Praia da Mococa. A Mococa se mostrou uma praia de caráter erosivo durante o período de estudo, tendo como principal forçante a ação das ondas. Isso corrobora com o que foi descrito por Souza (1997), que afirma que o perfil das praias mais ao Norte de Caraguatatuba, SP, estão sujeitas a fortes processos erosivos.

O resultado das análises granulométricas ocorreu dentro do esperado para as praias dessa região, sendo majoritariamente areia média e moderadamente selecionada, assim como observado por Souza (1997) que também afirma que esse padrão de sedimento se mantém constante no decorrer do ano. Segundo Tanner (1995), a curtose é sensível à energia das ondas, estando inversamente relacionadas. Foi observado que amostras coletadas na face praial e algumas coletadas na região pós-praia mais próxima ao mar obtiveram menores valores de curtose e foram classificadas como mesocúrticas, estando relacionadas a locais de alta energia. Já as amostras coletadas no pós-praia mais distante, obtiveram maiores valores, sendo classificadas como leptocúrticas, indicando locais de menor energia.

A praia apresentou trechos com diferentes estados morfodinâmicos, algo característico das praias da região de acordo com os trabalhos de Souza (1997) e Hurtado *et al.* (2004). O trecho leste (Setor C) apresentou-se mais estreito e com menores alturas topográficas, com estado morfodinâmico de caráter refletivo de alta energia. A partir da modelagem numérica de ondas, observou-se que as maiores ondas que chegam até a praia incidem nesse setor, principalmente quando as ondas externas chegam com direção de SE, o que justifica a maior erosão ocorrida na região. Por outro lado, o trecho oeste (Setor A) da praia apresentou-se mais largo e com maiores alturas topográficas, possuindo um caráter refletivo de menor energia, por estar situado na zona de sombra da Ilha do Tamanduá independente da direção que as ondas mais externas incidem.

Analisando os histogramas direcionais de ondas, observa-se que há um aumento na ocorrência de maiores alturas de onda no período que antecedeu o campo 2, sendo menos acentuado para o Setor B. Esse aumento é observado na perda de sedimento ocorrida para esse período, sendo a maior diferença de volume de sedimento entre os campos, com uma perda de aproximadamente 19% do sedimento total. Além disso, há uma diminuição na altura dos perfis, chegando a mais de 1 metro de diferença nos locais mais críticos, como no Setor C. Essa erosão é acentuada para esse setor não apenas por receber as maiores alturas de onda, mas também por

se tratar de um setor com caráter intermediário a refletivo, sendo o tipo de praia refletivo o que mais sofre com a influência de eventos extremos, sendo mais suscetíveis à erosão (SHIH E KOMAR, 1994 e KOMAR, 1998). Essa erosão foi notada pela comunidade local, principalmente no dia 10 de abril de 2019 (BURIHAN, 2019), em que houve uma forte ressaca na praia, destruindo parte dos quiosques construídos neste setor. Esse pico de onda foi representado no modelo, mostrando mais uma vez que a modelagem conseguiu representar bem a realidade local.

O acréscimo de sedimentos ao longo de toda a praia só foi observado entre os meses de abril e maio. Esse aumento de volume se deve principalmente ao grande impacto da intensa frente fria que atingiu a região. O evento extremo causou a perda de um grande volume de sedimentos e, em resposta a isso, o ambiente possui uma capacidade natural de reposição após grandes eventos energéticos (e.g. BRENNER, 2018). Ademais, observou-se uma maior deposição na porção pós-praia mais afastada do mar, sendo essas, áreas de menor energia que favorecem a deposição, como também refletido pela curtose nas amostras sedimentares.

Por meio da Figura 22, nota-se que, durante o mês de maio, o Setor A apresentou a maior acreção, seguido pelo Setor B e por último o Setor C, que teve uma variação aproximadamente negativa. Esse padrão sugere que o transporte de sedimentos ocorre de Norte para Sul, Setor C para o Setor A para esse período do ano, corroborando com estudos prévios realizados na área, que indicaram predomínio de transporte para o sul (SOUZA, 1997).

Entre maio e junho (levantamentos 3 e 4), houve um aumento na incidência de ondas maiores que 0,9 m, representando um período de maior energia com frentes frias atingindo a região com maior frequência, condição típica de outono e inverno no litoral de São Paulo, com cerca de 9,5 ocorrências entre junho e agosto (CARDOZO, 2015). Esse aumento na altura de ondas incidente resultou em uma perda de cerca de 12% de volume de sedimento praial e redução de 0,5 m na altura dos perfis.

A partir dos perfis praias e da visualização do ortomosaico, foi possível a análise da morfologia local. Observou-se a presença de cúspides na porção sul/oeste da praia, característica de praias refletivas com menor energia e com maior acúmulo de sedimentos na porção emersa (e.g. ROBERT & DOUGLAS, 1975). Entretanto, com o aumento de energia de ondas em junho, as cúspides formadas foram destruídas e aplainadas, explicando a maior perda de sedimentos por área no Setor A. Além disso, segundo Souza (1997), os perfis da Praia da Mococa se mostraram como sendo os de maior declividade do litoral de Caraguatatuba e a mais refletiva da Enseada. A grande declividade foi confirmada nos setores B e, principalmente, C,

região mais ao norte/leste da praia, com a presença de altas bermas, além do grande estreitamento desses perfis.

Adicionalmente, a análise dos perfis praias demonstrou um aplainamento dos setores de março para junho. Esse processo é a resposta à maior entrada de energia na praia, quando as ondas tendem a erodir as bermas e tornar os perfis mais planos, levando sedimentos para zona submersa. A tendência contrária é esperada para os meses de verão, com menor energia, causando a deposição de sedimentos e acreção da praia (e.g. ALMAR *et al.*, 2008).

Assim como já descrito por estudos prévios realizados por Mascagni *et al.* (2019) em praia da mesma região, observa-se que, para o litoral norte de São Paulo, as ondas são a principal força modeladora do perfil praias, sendo responsáveis por gerarem transporte de sedimentos predominantemente transversal (*cross-shore*) em escala temporal curta, mas com um aumento crescente da influência do transporte litorâneo em escala temporal maior ao longo dos meses.

Avaliando os resultados obtidos pelos cálculos de sobrelavagem é possível notar que praias mais íngremes, como o perfil 7, possuem maiores valores de alturas extremas do nível total do mar, como observado primeiramente por Wright *et al.* (1979) e, mais recentemente, por QI *et al.* (2010), que afirmam que os efeitos de tempestade afetam muito mais praias mais íngremes com caráter refletivo do que praias com menor declividade e mais dissipativas. Isso porque, praias com um menor ângulo costumam ter uma área maior para a dissipação da energia das ondas, enquanto que praias mais inclinadas sofrem com a quebra das ondas mais próximas à parte emersa.

Os resultados de nível total da água calculados mostraram que os eventos de sobrelavagem da berma ocorrem quase que exclusivamente em marés de sizígia, com exceção dos dados de altura de onda mais extremos no $R_{99\%}$ que prevê as maiores alturas entre os 3 valores de *runups* das diferentes porcentagens. A maré de sizígia, principalmente quando combinada com maiores valores de maré meteorológica, aproxima ainda mais a quebra de onda da praia, ocasionando uma entrada de maior energia, possibilitando que o nível total da água atinja maiores alturas, além de, naturalmente, aproximar mais o mar das bermas. Além disso, outros três parâmetros que impactaram diretamente em maiores valores de sobrelevação foram: a altura de onda (H_0), o período da onda e a inclinação da praia, sendo todos esses diretamente proporcionais com a altura atingida pela sobrelevação, assim como observado também por Stein e Siegle (2020).

Por fim, é importante destacar que, apesar de ocorrerem muitos eventos de sobrelavagem durante marés de sizígia, para as combinações mais frequentes de altura de onda e seu respectivo período, sendo de no máximo 1,5 m e 12 s de período, a sobrelavagem só ocorre durante eventos extremos de maré meteorológica (maiores que 1 m). Entretanto, apesar de serem menos prováveis, são possíveis e devem ser consideradas para o planejamento de uso e ocupação da praia.

8. CONCLUSÕES

Com o objetivo de melhor compreender a dinâmica morfo-sedimentar da Praia da Mococa, o presente trabalho se baseou em dados de levantamentos de campo e na aplicação de modelo numérico de propagação de ondas. Essa análise permitiu entender o funcionamento da praia e a sua resposta em relação a eventos que possam causar sobrelavagem. A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- A Praia da Mococa possui um caráter refletivo e erosivo, sendo a erosão mais acentuada na porção leste da praia.
- O modelo numérico de propagação de ondas apontou que as ondas incidentes de SE ao largo, chegam à praia na porção leste com maiores alturas por não serem atenuadas pela Ilhabela. Além disso, os resultados mostram que as maiores ondas atingem o Setor C, que não possui uma proteção direta, dependendo da incidência de onda. Por outro lado, os setores A e B estão mais bem abrigados pela Ilha do Tamanduá.
- O mês de abril apresentou as maiores mudanças tanto morfológicas quanto de volume de sedimento (-18,83%), característica prevista pelo modelo de onda que mostrou maiores alturas de onda para a região nesse período, além de registrar a entrada da forte frente fria ocorrida na região no dia 10 de abril de 2019.
- O mês de maio foi o único que obteve uma média de acréscimo de sedimentos (+1,39%), tendo como locais de deposição, aqueles com menor energia, como a região pós-praia mais distante do mar.
- O mês de junho, apresentou o menor volume de sedimento total (84.345m³), sendo caracterizado por um mês com uma grande frequência de entrada de fortes frentes frias, que acabam erodindo a praia como um todo.
- O transporte longitudinal de sedimento ocorreu no sentido sudoeste, indo do Setor C ao Setor A durante o período do levantamento. Além disso, feições morfológicas sofreram mudanças frente à entrada de eventos energéticos, tendo seus perfis aplainados.
- Os locais mais suscetíveis a sofrerem com os eventos extremos de sobrelavagem estão no Setor C devido às suas maiores inclinações e incidência mais direta das ondas.
- Os cenários mais propensos para a ocorrência de eventos de sobrelavagem na praia são os que ocorrem com concomitância de diversos fatores de maiores magnitudes, como

maré de sizígia, maiores valores de maré meteorológica, maior inclinação e maiores alturas de onda.

- Em função da configuração geológica, a Praia da Mococa é controlada pela presença das ilhas, fazendo com que direções específicas de ondas atuem em seu controle morfodinâmico.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGISOFT, L. L. C.; ST PETERSBURG, Russia. Agisoft photoscan professional edition. **AgiSoft LLC**, 2016.

ALMAR, Rafael et al. Video observations of beach cusp morphodynamics. **Marine geology**, v. 254, n. 3-4, p. 216-223, 2008.

BRENNER, Owen T. et al. Characterizing storm response and recovery using the beach change envelope: Fire Island, New York. **Geomorphology**, v. 300, p. 189-202, 2018.

BRIGATTI, Newton; NETO, João Lima Sant'Anna. DINÂMICA CLIMÁTICA E VARIAÇÕES DO NÍVEL DO MAR NA GERAÇÃO DE. **Formação (Online)**, v. 2, n. 15, 2008.

BURIHAN, Salim. Estragos provocados por ressaca na Praia da Mococa em Caraguá. **Tamoios News**, 2019. Disponível em: <<https://www.tamoiosnews.com.br/meio-ambiente/impressionante-video-mostra-estragos-provocados-por-ressaca-na-praia-da-mococa-em-caragua/>>. Acesso em: 20 out. 2021.

CARDOZO, Amanda Balbino et al. Climatologia de frentes frias na América do Sul e sua relação com o modo anular sul (Climatology of cold fronts over South America and its relation with the southern annular mode). **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, 2015.

CETESB, Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Plano de Área do Porto de Santos e Região–PAPS**, 2015.

CLARKE, D. J.; ELIOT, I. G.; FREW, J. R. Variation in subaerial beach sediment volume on a small sandy beach over a monthly lunar tidal cycle. **Marine Geology**, v. 58, n. 3-4, p. 319-344, 1984.

COLI, A. B.; MATA, M. M. Caracterização das alturas de onda no Atlântico Sul Ocidental através da altimetria TOPEX/POSEIDON. **Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, 1996.

DAVIS JR, Richard A.; FITZGERALD, Duncan M. **Beaches and coasts**. John Wiley & Sons, 2009.

DE ALMEIDA, Fernando Flávio Marques; CARNEIRO, Celso Dal Ré. Origem e evolução da Serra do Mar. **Brazilian Journal of Geology**, v. 28, n. 2, p. 135-150, 1998.

DELTARES, 2014. User manual delft3d-wave. simulation of short-crested waves with swan.

DOLAN, Robert; GODFREY, Paul. Effects of Hurricane Ginger on the barrier islands of North Carolina. **Geological Society of America Bulletin**, v. 84, n. 4, p. 1329-1334, 1973.

DONNELLY, Chantal et al. Coastal overwash: part 1, overview of processes. 2004.

DONNELLY, Chantal; KRAUS, Nicholas; LARSON, Magnus. State of knowledge on measurement and modeling of coastal overwash. **Journal of coastal research**, v. 22, n. 4 (224), p. 965-991, 2006.

DOS SANTOS, Cláudia Regina; POLETTE, Marcus; VIEIRA, Ricardo Stanziola. GESTÃO E GOVERNANÇA COSTEIRA NO BRASIL: O PAPEL DO GRUPO DE INTEGRAÇÃO DO GERENCIAMENTO COSTEIRO (GI-GERCO) E SUA RELAÇÃO COM O PLANO DE AÇÃO FEDERAL (PAF) DE GESTÃO DA ZONA COSTEIRA. **Costas**, v. 1, n. 2, p. 136-162, 2019.

FERREIRA, ALEXANDRE MORENO RICHWIN et al. Utilização de aeronaves remotamente pilotadas para extração de mosaico georreferenciado multiespectral e modelo digital de elevação de altíssima resolução espacial. **Anais do Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR)**, 2013.

GARREAUD, RenéD; WALLACE, John M. Summertime incursions of midlatitude air into subtropical and tropical South America. **Monthly Weather Review**, v. 126, n. 10, p. 2713-2733, 1998.

GONÇALVES, J. A.; HENRIQUES, Renato. UAV photogrammetry for topographic monitoring of coastal areas. **ISPRS journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 104, p. 101-111, 2015.

HARARI, J.; CAMARGO, R. Simulações da circulação de maré na região costeira de Santos (SP) com modelo numérico hidrodinâmico. **Pesquisa Naval**, v. 10, p. 173-188, 1997.

HOEFEL, Fernanda Gemaél. Morfodinâmica de praias arenosas oceânicas: uma revisão bibliográfica. 1998.

HOLMAN, R. A. Extreme value statistics for wave run-up on a natural beach. **Coastal Engineering**, v. 9, n. 6, p. 527-544, 1986.

IBGE, 2019. Posicionamento geodésico. URL: <http://ibge.gov.br/geociencias/informacoes-sobre-posicionamento-geodesico.html>. acesso em: 5 de março de 2021.

JENTOFT, Svein; CHUENPAGDEE, Ratana. Fisheries and coastal governance as a wicked problem. **Marine policy**, v. 33, n. 4, p. 553-560, 2009.

KOMAR, P. D. Beach processes and sedimentation, 1998.

KOUSKY, Vernon E. Frontal influences on northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 107, n. 9, p. 1140-1153, 1979.

MACHADO, Giseli Modolo Vieira. Análise morfossedimentar da praia, antepraia e plataforma continental interna da linha de costa do Parque Nacional de Jurubatiba-Rio de Janeiro. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 2, n. 1-2, 2010.

MASE, Hajime et al. Wave runup and overtopping at seawalls built on land and in very shallow water. **Journal of waterway, port, coastal, and ocean engineering**, v. 139, n. 5, p. 346-357, 2013.

MASCAGNI, Mario Luiz et al. Morphodynamics of a wave dominated embayed beach on an irregular rocky coastline. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 66, p. 172-188, 2018.

MCLACHLAN, Anton. Sandy beach ecology—a review. In: *Sandy Beaches as Ecosystems: Based on the Proceedings of the First International Symposium on Sandy Beaches, held in Port Elizabeth, South Africa, 17–21 January 1983*. Springer Netherlands, 1983. p. 321-380.

MELO, MS de; PIRES NETO, A. G. Esboço geológico da província costeira entre as Serras do Juqueriquerê e Parati, Estado de São Paulo. **SIMP. BRAS. GEOL**, v. 1, p. 303-323, 1977.

MUEHE, Dieter. Critérios morfodinâmicos para o estabelecimento de limites da orla costeira para fins de gerenciamento. **Revista brasileira de geomorfologia**, v. 2, n. 1, 2001.

MUEHE, Dieter. Estado morfodinâmico praias no instante da observação: uma alternativa de identificação. **Revista brasileira de Oceanografia**, v. 46, n. 2, p. 157-169, 1998.

NOVAK, Lígia Padilha; POLETTE, Marcus. O processo de governança costeira nos municípios de Balneário Camboriú e Itajaí (SC), Brasil. **Geosul Florianópolis**, v. 29, n. 58, p. 73-88, 2014.

PEREIRA DA SILVA, C. **Gestão Litoral: A integração de estudos de percepção da paisagem e imagens digitais na definição da capacidade de carga de praias—O troço litoral S. Torpes-Ilha do Pessegueiro**. 2002. Tese de Doutorado. Tese de Doutoramento, Lisboa, FCSH/UNL, 2002, 370 pp (45p).

PIANCA, Cássia; MAZZINI, Piero Luigi F.; SIEGLE, Eduardo. Brazilian offshore wave climate based on NWW3 reanalysis. **Brazilian Journal of Oceanography**, v. 58, n. 1, p. 53-70, 2010.

QI, Hongshuai et al. The response of three main beach types to tropical storms in South China. **Marine geology**, v. 275, n. 1-4, p. 244-254, 2010.

ROBERT, T. Guza; DOUGLAS, L. Inman. Edge waves and beach cusps. **Journal of Geophysical Research**, v. 80, n. 21, p. 2997-3012, 1975.

SELUCHI, Marcelo E.; MARENGO, José A. Tropical–midlatitude exchange of air masses during summer and winter in South America: Climatic aspects and examples of intense events. **International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 20, n. 10, p. 1167-1190, 2000.

SHIH, Shyuer-Ming; KOMAR, Paul D. Sediments, beach morphology and sea cliff erosion within an Oregon coast littoral cell. **Journal of coastal Research**, p. 144-157, 1994.

SHORT, A. D.; HOGAN, C. L. Rip currents and beach hazards: their impact on public safety and implications for coastal management. **Journal of Coastal Research**, p. 197- 209, 1994.

SILVA, Carlos Pereira da. *Gestão Litoral: integração de estudos de percepção da paisagem e imagens digitais na definição da capacidade de carga de praias. O Troço Litoral S. Torpes-Ilha do Pessegueiro.* 2001.

SONU, Choule J. Field observation of nearshore circulation and meandering currents. **Journal of Geophysical Research**, v. 77, n. 18, p. 3232-3247, 1972.

SOUZA, Celia Regina de Gouveia. **As células de deriva litorânea e a erosão nas praias do Estado de São Paulo.** 1997. Tese de Doutorado. Universidade de São Paulo.

STEIN, Luiza P.; SIEGLE, Eduardo. Overtopping events on seawall-backed beaches: Santos Bay, SP, Brazil. **Regional Studies in Marine Science**, v. 40, p. 101492, 2020.

STRONGE, W. B. Beaches, tourism and economic development. **Shore and Beach**, v. 62, n. 2, p. 6-8, 1994.

SUGUIO, Kenitiro. **Introdução à sedimentologia.** 1973.

SUNAMURA, T. Beach morphologies and their change. **Nearshore dynamics and coastal processes.**, p. 136-161, 1988.

TANNER, William Francis. **William F. Tanner on environmental clastic granulometry.** Florida Geological Survey, 1995.

TESSLER, Moysés Gonzalez; GOYA, Samara Cazzoli. Processos costeiros condicionantes do litoral brasileiro. **Revista do Departamento de Geografia**, v. 17, p. 11-23, 2005.

TRIMBLE. Differential GPS., 2020. Disponível em: <**Erro! A referência de hiperlink não é válida.**>. Acesso em: 02 jul. 2020.

WILLMOTT, Cort J. Some comments on the evaluation of model performance. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 63, n. 11, p. 1309-1313, 1982.

WRIGHT, L. D. et al. Morphodynamics of reflective and dissipative beach and inshore systems: Southeastern Australia. **Marine Geology**, v. 32, n. 1-2, p. 105-140, 1979.

WRIGHT, L. D.; THOM, B. G. Coastal depositional landforms: a morphodynamic approach. **Progress in Physical Geography**, v. 1, n. 3, p. 412-459, 1977.

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