

# APLICAÇÃO DE DRONES NA ANÁLISE DA MORFODINÂMICA DA PRAIA ESTUARINA DE CARIPI, BARCARENA/PARÁ

*Application of drones in the analysis of the morphodynamics of the estuarine beach of Caripi, Barcarena/Pará*

**Aline de Castro Vitelli**

Universidade Federal do Pará, Brasil

[oceano.alinevitelli@gmail.com](mailto:oceano.alinevitelli@gmail.com)

**Maamar El-Robrini**

Universidade Federal do Pará, Brasil

[robrini@ufpa.br](mailto:robrini@ufpa.br)

Recebido: 05/04/2024

Aceito: 23/10/2024

## Resumo

A praia estuarina do Caripi, situada na orla portuária de Barcarena (Pará), próximo ao Furo do Arrozal é influenciada por meso-maré de (2 a 4m), correntes de maré que podem atingir máximas de (1,74m/s), ventos do NE-SW entre (0,5 a 2,5m/s), índice de chuva (de 2.700 e 3.000 mm/ano) sob o domínio climático equatorial. Diante destas forças, esta praia torna-se dinâmica e sensível, sujeita a riscos erosivos e variabilidade do perfil praiado. Este artigo objetiva analisar a morfodinâmica da praia do Caripi através da aerofotogrametria com drone, durante o ciclo sazonal, sob influência do evento *La Niña* (2022). A metodologia consistiu em: (1) aquisição de imagens aéreas com drone através da fotogrametria; (2) estacionamento da base GNSS Geodésica; (3) obtenção de pontos de controle pelo posicionamento estático-rápido com RTK e (4) medições de altura de ondas. Os resultados mostram que a praia apresentou menor extensão na estação chuvosa (132 m) do que na seca (142 m), sendo o setor leste o mais extenso. Os estágios morfodinâmicos foram: reflectivo, intermediário e dissipativo, sendo predominante o estágio intermediário no setor central e dissipativo no setor leste durante o chuvoso e seco, com declividades  $\beta^\circ$  que variam de (3,2°) a (1,4°) típicos de erosão e de acumulação temporária. Foi possível validar as imagens de acordo com o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC-PCD), além de destacar a importância do monitoramento periódico da morfodinâmica frente ao recente muro de contenção entre os anos de 2017 e 2018, pois apesar da sua efetividade, a migração dos sedimentos para o pós-praia é um indicativo de baixa durabilidade da obra frente a forte hidrodinâmica e morfodinâmica local.

**Palavras-chave:** Drone, Morfodinâmica, Balanço sedimentar, Orla costeira.

## Abstract

The Caripi estuarine beach, located on the port shore of Barcarena (Pará), near the Arrozal Hole, is influenced by a meso-tide of (2 to 4m), tidal currents that can reach maximums of (1.74m/s), NE-SW winds between (0.5 and 2.5m/s), rainfall (between 2,700 and 3,000 mm/year) under the equatorial climate domain. Given these forces, this beach becomes dynamic and sensitive, subject to erosion risks and beach profile variability. The aim of this article is to analyze the morphodynamics of Caripi beach using drone aerophotogrammetry

during the seasonal cycle under the influence of the La Niña event (2022). The methodology consisted of: (1) acquiring aerial images with a drone using photogrammetry; (2) parking the GNSS Geodetic base; (3) obtaining control points using static-fast positioning with RTK and (4) wave height measurements. The results show that the beach was shorter in the rainy season (132 m) than in the dry season (142 m), with the eastern sector being the longest. The morphodynamic stages were: reflective, intermediate and dissipative, with the intermediate stage predominating in the central sector and dissipative in the eastern sector during the rainy and dry seasons, with slopes  $\beta^\circ$  ranging from (3.2°) to (1.4°) typical of erosion and temporary accumulation. It was possible to validate the images according to the Cartographic Accuracy Standard (PEC-PCD), as well as highlighting the importance of periodically monitoring the morphodynamics of the recent retaining wall between 2017 and 2018, because despite its effectiveness, the migration of sediment to the post-beach is an indication of the work's low durability in the face of the strong hydrodynamics and local morphodynamics.

**Keywords:** Drone, Morphodynamics, Sediment balance, Coastline.

---

## 1. INTRODUÇÃO

As praias são compostas por acumulações de sedimentos de tamanhos variáveis (areia fina, pedregulhos, cascalhos), sob influência da altura e período das ondas e amplitude da maré (SHORT, 2016); com interações físicas, químicas e biológicas entre o oceano e o continente (SERRÃO, 2019). Em geral, são sistemas naturais variáveis, dominados por ondas e/ou marés (GÓMEZ-PUJOL; ORFILA, 2020), que resultam na sua mobilidade (MUEHE, 1998; 2022). As praias estuarinas e em baías diferem de praias de costa aberta, pois são parcialmente ou totalmente protegidas das ondas do mar com influência das marés e das correntes, na contribuição de erosão e deposição da praia (CONCEJO; GALLOP; LARGIER; 2020). Podem variar de seu estado inicial, dependendo da sazonalidade, vegetação, condições de ondas e marés, alterando a largura e extensão, sendo suscetíveis à erosão e distribuição granulométrica (ERICKSON *et al.*, 2017).

A Zona Costeira Amazônica Brasileira (Amapá, Pará e Maranhão) possui características particulares, como o clima (temperaturas altas e baixa variação térmica, precipitação), altura de maré (macro e meso) e extensos manguezais (RODRIGUES, 2020). Os eventos extremos de alta intensidade causam danos à costa e têm despertado interesse sobre os impactos (TAIT *et al.*, 2018). A precipitação é um dos agentes de mobilidade sedimentar, podendo ainda, ser influenciada por eventos de meso e grande escala como o *El Niño* e *La Niña* (TAVARES; COSTA; ARAÚJO, 2021).

A morfodinâmica de praias tem despertado o interesse de inúmeros pesquisadores, onde se destacam trabalhos pioneiros de Wright *et al.* (1982); Wright e Short (1984); Masselink e Short (1993); Calliari (2003); Short e Jackson (2013); Muehe e Oliveira (2014);

Muehe (2019); Muehe (2020); Jackson e Short (2020) fornecendo um novo paradigma de compreensão dos processos e formas atuantes em praias ao longo dos anos. No setor continental estuarino do Pará, onde está inserida a praia do Caripi, estudos sobre a morfodinâmica de praias estuarinas tem sido desenvolvidos: Morfodinâmica e sedimentologia da praia estuarina da ilha do Mosqueiro, Pará (VALENTE, 2019); Erosão e Progradação do Litoral do Pará (EL-ROBRINI *et al.*, 2018); A utilização do *Ground Penetrating Radar* (GPR) na definição de penetração de cunha salina e no monitoramento do nível freático em praia estuarina amazônica (CORREIA *et al.*, 2019); Morfodinâmica de praias estuarinas sob influência de macromaré – Ilha do Marajó (Amazônia Oriental) (EL-ROBRINI *et al.*, 2018); *Estimates of suspended solid transport in the Pará River Estuary* (CARNEIRO; PRESTES; ROLLINC, 2020); Morfologia e sedimentação de uma praia estuarina amazônica (Marahú/PA) durante amplitudes de marés distintas (RAMOS; RANIERI, 2021).

O perfil de praia apresenta terminologias que as definem (MUEHE, 2019), sendo alguns subambientes deposicionais, caracterizados por dunas, berma, escarpa erosiva, face de praia, calhas e bancos longitudinais (OLIVEIRA FILHO; FERNANDEZ, 2021). Segundo Muehe (2019) a inserção de orlas como medida de gestão costeira modifica os processos morfossedimentares; classificadas em obras artificiais ou naturais (BULHÕES, 2020).

As praias estão sujeitas a modificações, sendo o monitoramento *in situ* ideal para a medição da topografia de praias, seja por imagens de satélites artificiais, LIDAR (*Light Detection and Ranging*), pelo posicionamento por GNSS (*Global Navigation Satellite Systems*) ou uso da Estação Total pelo método estadia descrito por Birkmeier (1981). Cada técnica apresenta uma respectiva precisão e acurácia (SIMÕES, 2018). O uso dos drones, para a aerofotogrametria é uma técnica recente e inovadora no mapeamento costeiro, pela contribuição em diferentes tipos de estudos: análises de desastres naturais, vulnerabilidade costeira, mapeamento da linha de costa e geração de perfis (TURNER; HARLEY; DRUMMOND, 2016). Na última década, a fotogrametria baseada em UAS (*Unmanned Aerial System*) tornou-se comum em praias (CASELLA *et al.*, 2020), se tornando ferramenta de pesquisa padrão (MOLONEY *et al.*, 2018) no município de Barcarena, estado do Pará.

Este artigo objetiva analisar a morfodinâmica da praia do Caripi durante o ciclo hidrológico (chuvoso e seco) do ano de 2022, mediante uso de aerofotogrametria com drone. O método experimental ocorreu em condição de *La Niña* com intensidade fraca, que prolongou o período de precipitação na região amazônica.

Os resultados devem contribuir no conhecimento da morfodinâmica de praias estuarinas dominadas por mesomaré com aplicação de estudo na praia do Caripi, que apresenta uma importante intervenção antrópica (orla de contenção costeira) entre os anos de 2017 e 2018 devido aos riscos a população local e aos visitantes em decorrência de processos erosivos, em que se questiona a eficiência da obra e sua durabilidade, tendo em vista o avanço sedimentar para os pós praia.

## **2. LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

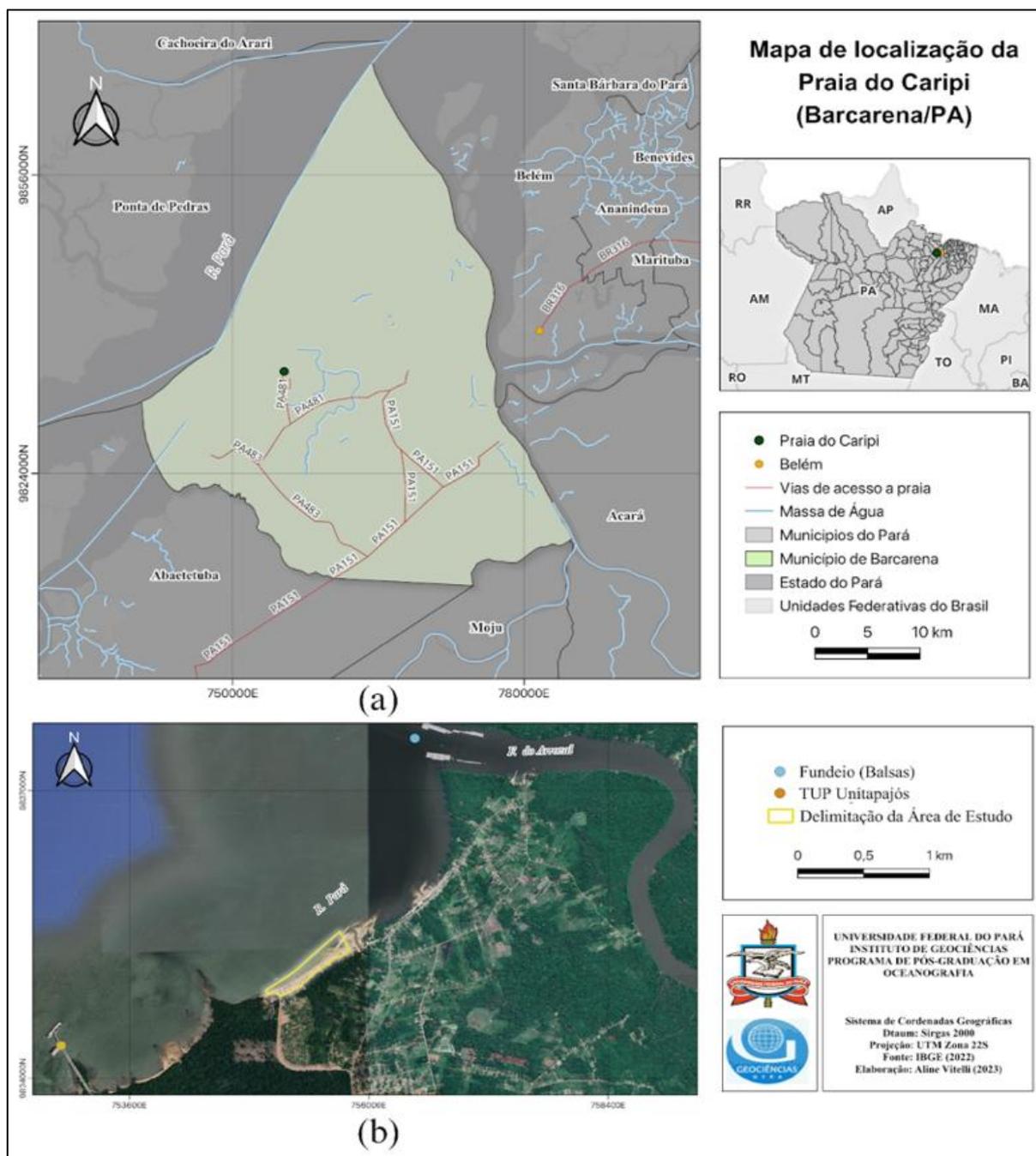
### **2.1. Área de estudo**

A praia do Caripi está situada em Barcarena, mesorregião metropolitana de Belém (SANTOS, 2018). O acesso à área pode ser feito via fluvial, através de embarcações que atravessam o complexo hídrico Guamá/Acará que aportam nos portos de Arapari e de São Francisco, seguindo de ônibus e/ou carro (PA – 151 e PA – 483) (CUNHA, 2017); ou por via terrestre partindo de Belém (BR-316 até a Alça Viária - PA-483), sobre os rios Guamá, Acará e Moju por 66 km. Ao chegar à sede municipal de Barcarena, o acesso à praia do Caripi se dá ao trevo da Vila dos Cabanos e à esquerda até chegar à estrada do Caripi, 2 - Murucupi PA-481, com coordenadas 1°29'25"S 48°42'18"W (Figura 1a).

A praia do Caripi encontra-se inserida no Distrito de Murucupi, com população estimada de 129.333 habitantes e densidade demográfica de 76,21 hab/km<sup>2</sup> (IBGE, 2021). A área é conhecida por abrigar um grande complexo industrial minerário como a HYDRO ALUNORTE (alumínio primário e bauxita) e portuário (Vila do Conde) (CUNHA, 2017). Além da Imerys Rio Capim Caulim que possui estação portuária própria, e realiza a importações/exportações (carbonatos de cálcio, caulim e perlita) (IMERYS, 2023).

A praia do Caripi apresenta faixa de areia estreita com largura que diminui do NE (Nordeste) em direção ao SW (Sudoeste), com extensão de 1 km e largura de 100 m, localizada no estuário superior do Rio Pará, sendo adjacente à foz do Furo do Arrozal (18 km de extensão), utilizado como fundeadouro (de balsas) (Figura 1b). A praia do Caripi conta com a construção de uma orla do tipo gabião ao longo de sua extensão, uma estrutura metálica semelhante a gaiolas, formato hexagonal; constituída de rochas de tamanhos irregulares (SILA; MORAES; STRUMINSKI, 2018).

As atividades socioeconômicas predominantes na área são as atividades portuárias, pesca artesanal, habitação e comércio; embora possa ter boa proposta econômica, o terminal portuário tem como consequência uma série de impactos ambientais à biodiversidade e efeitos (erosão/ assoreamento) (ALMEIDA; OLIVEIRA, 2022).



**Figura 1** - (a) Mapa de localização do município de Barcarena e principais vias de acesso à praia (PA-151 e PA- 481), partindo de Belém pela BR-316 e alça viária PA - 483; (b) Delimitação da área de estudo e localização das principais atividades antrópicas: à margem esquerda Terminal Portuário de Uso Privativo Unitapajós e à direita o Furo do Arrozal (fundeio de balsas).

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

Na área de estudo, afloram os sedimentos do Grupo Barreiras na parte continental, enquanto os sedimentos do Pós-Barreiras e recentes (Quaternário) como areias, lamas e cascalhos são predominantes nas ilhas (FERREIRA; SOUZA; OLIVEIRA, 2020). Na praia do Caripi, a ocorrência de sedimentos recentes de areia fina e média são predominantes. O prisma praiial do Caripi está assentado sobre sedimentos do Grupo Barreiras, que afloram

na forma de blocos de arenitos ferruginosos no setor oeste entre a intermaré e a inframaré, sendo predominante a ocorrência de aluviões lamosos na inframaré em ambos os setores.

De acordo com Novais e Machado (2023) a área de estudo possui o clima Equatorial úmido Amazônico Oriental-Eq<sup>o</sup>am, com subdomínio de clima Litorâneo, que segue as planícies marinhas, tabuleiros costeiros, até o limite com os planaltos, dividido em litorâneo Amazônico na Amazônia Oriental (Pará), com temperatura média anual de 27 °C. A região continental estuarina não apresenta estação seca definida, apenas observando-se os períodos “chuvoso” e “menos chuvoso/seco” (CUNHA, 2017).

Os eventos extremos como o *El Niño* e *La Niña* influenciam nas condições climáticas e meteorológicas. O aumento da precipitação e vazão dos rios na região Norte são ocasionadas pela ocorrência do *La Niña*, que se iniciou em setembro de 2020, com categoria moderada em 2021 e chuvas mais concentradas em 2022 que persistiu até fevereiro de 2023.

Com isso a distribuição climática sazonal de precipitação no Pará em 2022, apresentou acumulados pluviométricos entre os meses de novembro a maio, os quais se associam ao regime chuvoso, enquanto os menores ocorreram entre junho e outubro, denotando o regime seco na região (INMET, 2023).

A praia do Caripi está sob domínio das águas estuarinas do Rio Pará, que possui foz de 60 km de largura (ROSÁRIO, 2016), com curso de água alongado de direção NNE-SSW com 300 km de extensão (SILVA JUNIOR; LIMA; MORAES, 2022). A descarga hídrica é de 104 m<sup>3</sup> s<sup>-1</sup>, sob domínio de marés que atuam na plataforma continental do Amazonas (PRESTES; SILVA; ROLLINC, 2017). Dominada por marés semidiurnas, com duas preamares e duas baixamares e amplitude de maré que pode chegar a 3,6 m durante a sizígia (CUNHA, 2017).

A subdivisão no estuário Rio Pará, proposta por Ribeiro e Valadão (2021) reforça que a praia do Caripi se localiza no estuário superior, sob domínio de água doce ou limnético. A salinidade é ausente, que pôde ser comprovada, mediante medições in loco com sonda multi parâmetros, que apresentou salinidade 0 PSU durante o chuvoso e seco, que de acordo com Kjerfve (1987), compreende a zona de maré de rio e sua circulação é regulada por maré dinâmica (PRESTES *et al.*, 2020).

### 3. MATERIAL E MÉTODOS

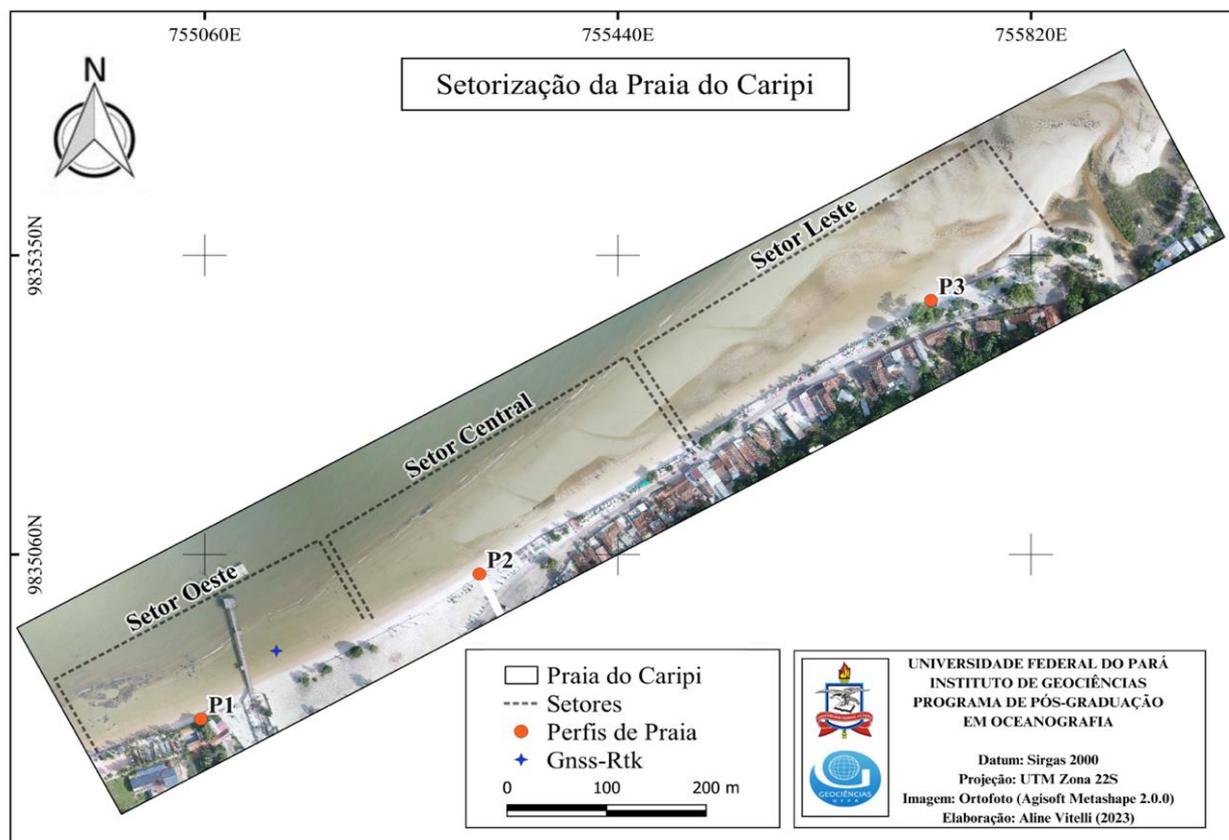
Foram realizadas atividades em campo em 02/07/2022 (estação chuvosa) e 26/11/2022 (estação seca). Os perfis topográficos foram extraídos respectivamente nos

setores: oeste (P1) que dista 295 m do setor central (P2) e 490 m do setor leste (P3) (Tabela 1, Figura 2). A aerofotogrametria foi realizada mediante uso de drone durante a baixamar de sizígia, a fim de capturar o máximo de faixa de areia exposta e realizado o posicionamento do GNSS geodésico. Em cada setor, concomitantemente ao levantamento por drone, foram realizadas medições de altura de ondas utilizados na interpretação dos principais estados morfodinâmicos estabelecidos por Wright e Short (1984).

**Tabela 1:** Coordenadas em Sirgas 2000/UTM 22S (EPSG: 31982), referentes ao ponto de partida de cada setor/perfil na praia do Caripi.

Setores/Perfis	Latitude	Longitude
Oeste	755056.44876	9334900.496808
Central	755312.641483	9835041.208323
Leste	755727.785197	9835306.254590

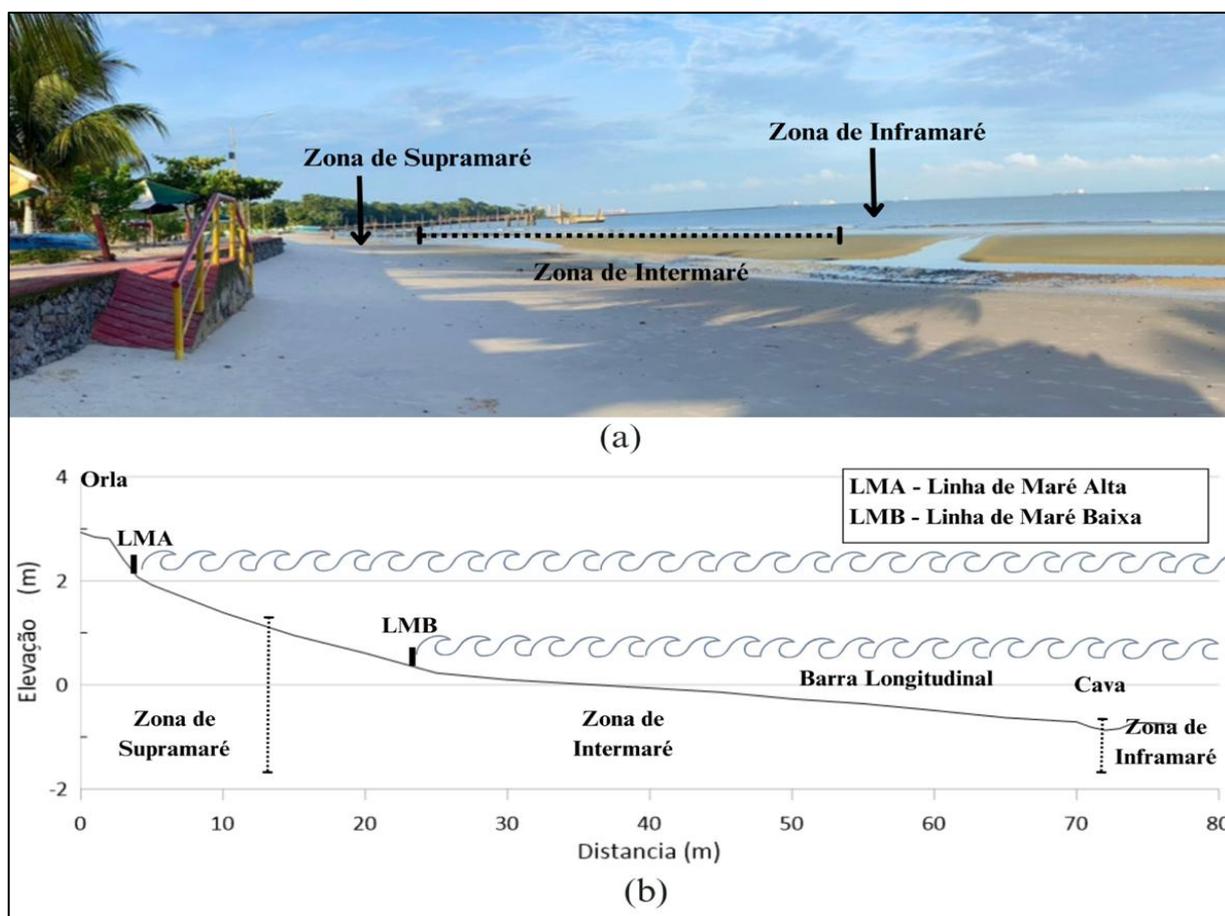
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.



**Figura 2** – Mapa de localização da setorização da praia do Caripi (Setor Oeste/P1, Setor Central/P2 e Setor Leste/P3); dos pontos levantados e estacionamento do GNSS - RTK para a coleta de pontos de controle. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

A morfologia e hidrodinâmica da praia pode ser classificada de diferentes formas. Portanto, para a setorização da praia do Caripi foi adotado a subdivisão proposta por Wright *et al.* (1982), que leva em consideração a variação média das marés de sizígia e de quadratura. Os levantamentos foram realizados na maré baixa de sizígia, com isso foi

possível subdividir o perfil de praia em três zonações morfológicas: Supramaré, Intermaré e Inframaré (Figura 3a), sendo sua geomorfologia composta por parte de praia ocupada por uma estrutura rígida de contenção costeira, zona de intermaré extensa com acumulação de sedimentos rochosos grossos e barras arenosas longitudinais planas de baixa declividade, seguido de calha compreendendo a parte submersa (Figura 3b).



**Figura 3** – Zonação Morfológica da praia do Caripi em três respectivas zonas: Supramaré, Intermaré e Inframaré; (a) Vista panorâmica do setor central; (b) Recorte transversal do perfil de praia durante o período seco (novembro 2022).

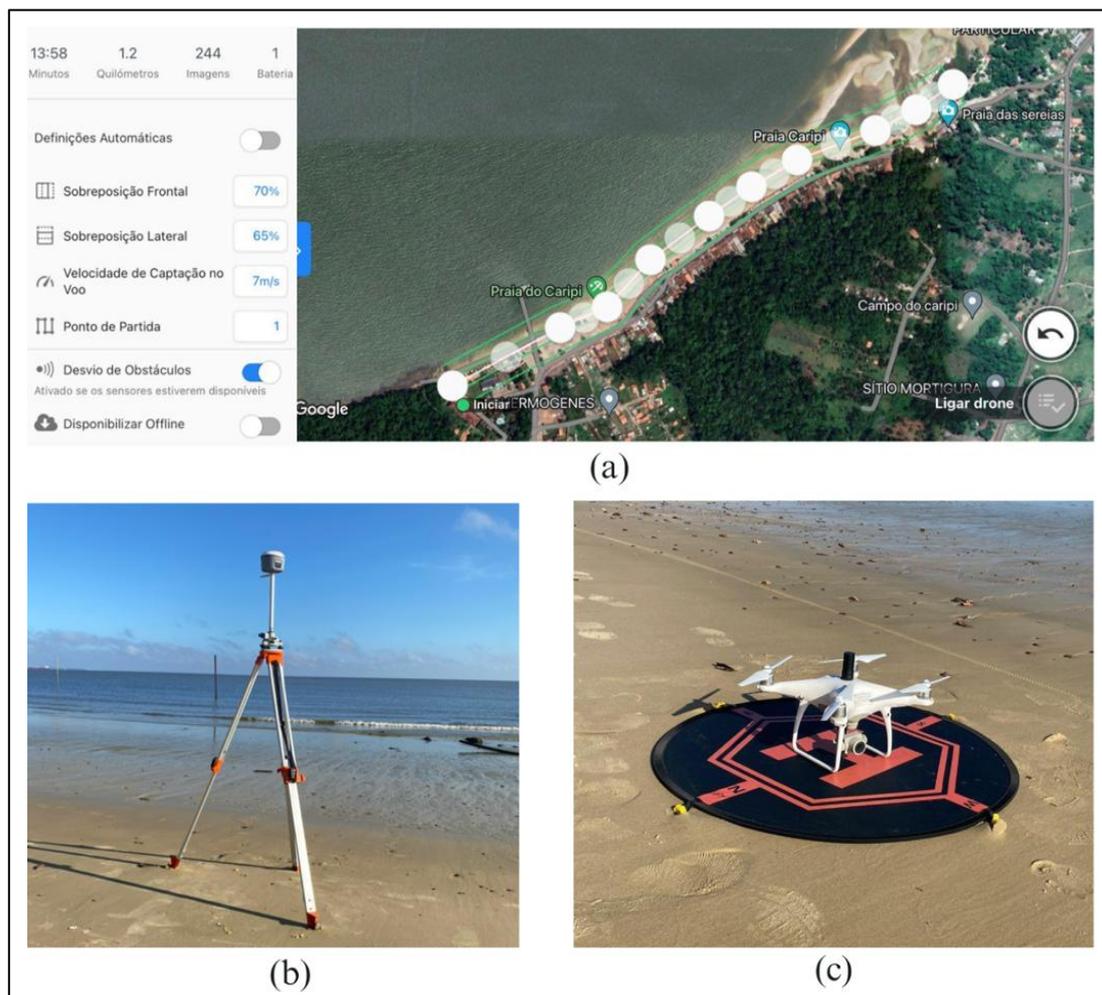
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

### 3.1. Aerofotogrametria com drone

Para a captura das imagens aéreas com drone, seguiu-se as seguintes etapas: construção do plano de voo, seguimento das normas de segurança, instalação da base GNSS Geodésica, voo com drone e determinação dos pontos de controle.

A construção do plano de voo foi feita mediante o uso de aplicativos com a funcionalidade de executar uma rota pré-determinada do drone para a captura de fotografias de forma automatizada (“plano de voo”). É necessário que as fotografias estejam sobrepostas, ou seja, parte da área de uma fotografia tem que estar na fotografia

subjacente. Dessa forma, é possível, a partir da estereoscopia, gerar a terceira dimensão e obter dados sobre a topografia do terreno. Aplicativos como o *Drone Deploy* permitem ao operador definir o plano de voo e configurar aspectos como a sobreposição entre imagens (percentual), velocidade, altura e direção de voo, além de fornecer informações de tempo de voo, consumo de bateria e quantidade de fotos (Figura 4a). Neste artigo, foi utilizada uma sobreposição lateral de 65 % e frontal de 70 % com 120 m de altura.



**Figura 4** – Atividades e equipamentos utilizados para o levantamento da aerofotogrametria na praia do Caripi (a) Delimitação da área e rota de voo (Aplicativo *Drone Deploy*); (b) Base GNSS - RTK CHCNAV i50 ®; (c) Drone- DJI *Phantom 4 pró-advanced*.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

Priorizando medidas de segurança os sobrevoos realizados nas duas campanhas foram aprovados pelo Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA/SARPAS) (Protocolo: 58461B2A), uma das principais agências reguladoras do uso de drones no Brasil, com aeronave devidamente registrada no Sistema de Aeronaves não Tripuladas (SISANT) (PP-327707081). Recomenda-se realizar voos em áreas abertas e amplas, obedecendo a altura máxima permitida (120 m); estando distantes de aeroportos e rotas

aéreas, rodovias, residências e de linhas de transmissão de energia. Alguns fatores ambientais podem influenciar na execução do voo, como velocidade do vento e precipitação (SIMÕES *et al.*, 2019). Quanto às condições de voo, utilizou-se o UAV *Forecast*, que atestou positivamente para ambas as campanhas.

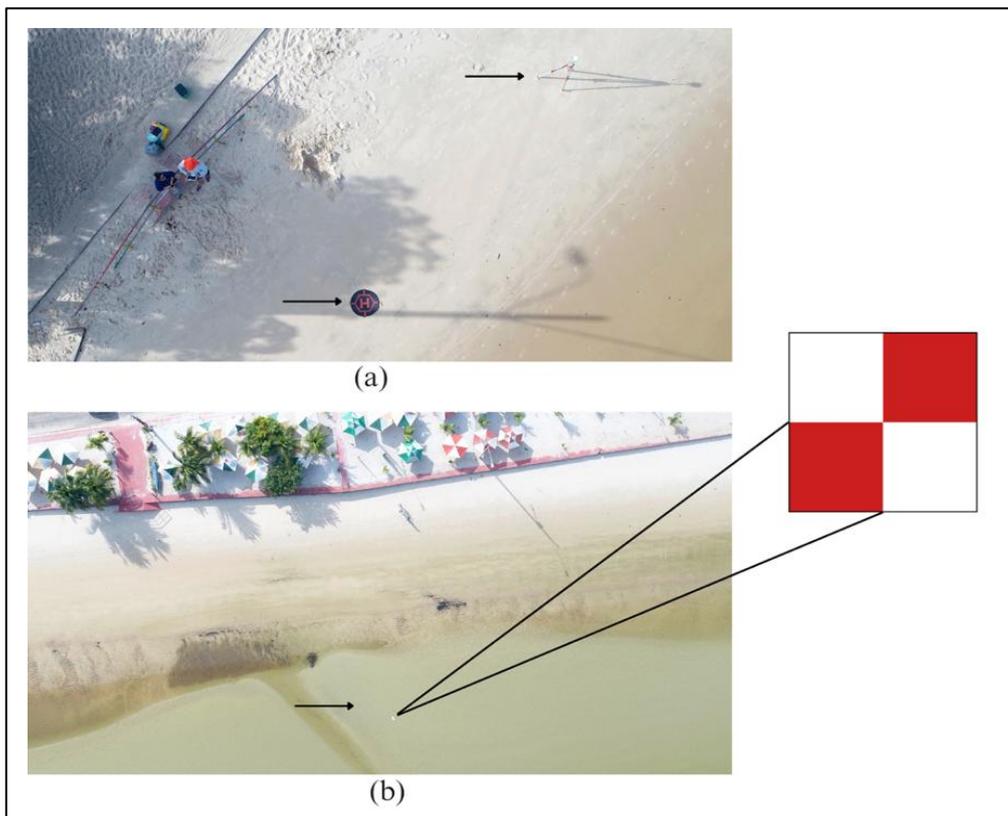
Sendo assim, foi realizada a instalação da base GNSS Geodésica. Para fins de medições topográficas, é necessário aumentar a acurácia das coordenadas das imagens. Para isso, existem métodos como o uso de pontos de verificação e dispositivos RTK e PPK. Na praia do Caripi, a aeronave utilizada conta com um dispositivo PPK, que aumenta a exatidão das coordenadas das fotografias junto aos dados de uma base GNSS geodésica. Foi utilizado o GNSS CHCNAV i50 (Figura 4b) para rastrear os dados da base paralelamente ao voo de drone. Dessa forma, tanto o dispositivo PPK quanto a base geodésica rastream os mesmos sinais.

O voo foi realizado através de uma Aeronave Remotamente Pilotada (ARP) - Drone, modelo DJI *Phantom 4 Advanced* (Figura 4c). Este é composto por um GPS de navegação que lhe permite gravar um ponto de partida ao decolar e adicionar metadados espaciais às fotografias obtidas (SIMÕES *et al.*, 2019). O drone utilizado, possui um equipamento PPK acoplado na parte superior minimizando a margem de erro nas imagens obtidas. Foram coletadas 244 imagens no período chuvoso e 64 imagens no período seco, reforçando que o número de imagens obtidas de um levantamento a outro, apesar de discrepantes, a área de interesse para estudo foi apenas a de cobertura de solo, ou seja, a faixa de areia exposta da praia. O número elevado de imagens na primeira campanha foi em decorrência do plano de voo, que cobriu além da faixa de areia boa parcela da coluna de água.

O uso do método PPK não requer o uso de GCPs (*Ground Control Points* - Pontos de Controle) (FAMIGLIETTI *et al.*, 2021), pois a correção é feita a partir do processamento dos dados rastreados pelo equipamento. Entretanto, em campo, foram implantados 3 pontos de verificação em novembro e apenas um em julho para determinar o grau de melhoramento da precisão nas imagens, utilizando como referência as coordenadas do ponto de decolagem do drone e do marco principal da base GNSS (Figura 5a) e um ponto ao banco arenoso (Figura 5b), e em julho apenas obteve-se as coordenadas da base geodésica como marco principal.

O PPK permite adquirir os dados GNSS brutos do *Rover* no UAV (*Rover log*) e de uma base (*Base log*), e processá-los, este equipamento provou ser uma solução mais flexível do que o RTK. Porém, o uso de pontos de controle distribuídos no terreno é imprescindível para o melhoramento da acurácia das imagens e validação de produtos cartográficos,

sendo utilizado o RTK pelo método de posicionamento estático rápido, em que o receptor base rastreia dados de coordenadas conhecidas e propaga a correção para o outro *receptor rover*.



**Figura 5** – Imagens aéreas com os pontos de controle in campo (a) base GNSS receptora de dados de coordenadas geográficas via satélite (b) ponto de verificação de EVA posicionado no banco longitudinal. **Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

### 3.2. Medição de altura de ondas

Para posterior cálculo de estado morfodinâmico, foi realizada a medição da altura da onda em um período de tempo na zona de arrebentação em cada setor, para posterior cálculo de estado morfodinâmico da praia (RANIERI; EL-ROBRINI, 2020). As medições *in loco* foram feitas com um operador segurando uma régua graduada e outro operador realizando as contagens e filmagens, para a revisão de dados. Foi identificada a altura e o tempo de passagem das 11 cristas sucessivas, para posterior cálculo da média das ondas, como adotado por Silva (2015). O período de ondas ( $T$ ) é resultante do intervalo de tempo de passagem das cristas em segundos em um ponto fixo, sendo o tempo da passagem das 11 cristas dividido por 10 (determinação do período médio).

### 3.3. Tratamento de dados

Inicialmente, realiza-se o ajuste de posicionamento das fotos a partir do levantamento realizado em campo. Foram processados os dados da base GNSS em conjunto com os dados rastreados pelo dispositivo PPK do drone para ajuste das coordenadas geográficas. Esse processamento é feito seguindo etapas em programas disponibilizados pelo próprio fabricante do equipamento. Primeiramente, é necessário processar os dados da base em conjunto com os dados da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), para acessar os valores de coordenadas planas e altitude geométrica do ponto instalado. Isso é feito a partir do serviço online para pós processamento de dados GNSS do IBGE (IBGE-PPP) (Figura 6).

 <b>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</b> Relatório do Posicionamento por Ponto Preciso (PPP)						
<b>Sumário do Processamento do marco: 3399498</b>						
Início:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/11/26 10:47:45,00					
Fim:AAAA/MM/DD HH:MM:SS,SS	2022/11/26 11:44:37,00					
Modo de Operação do Usuário:	ESTÁTICO					
Observação processada:	CÓDIGO & FASE					
Modelo da Antena:	CHCI50 NONE					
Órbitas dos satélites: <sup>1</sup>	RÁPIDA					
Frequência processada:	L3					
Intervalo do processamento(s):	1,00					
Sigma <sup>2</sup> da pseudodistância(m):	5,000					
Sigma da portadora(m):	0,010					
Altura da Antena <sup>3</sup> (m):	1,866					
Ângulo de Elevação(graus):	10,000					
Resíduos da pseudodistância(m):	1,20 GPS 1,23 GLONASS					
Resíduos da fase da portadora(cm):	0,61 GPS 0,56 GLONASS					
<b>Coordenadas SIRGAS</b>						
	Latitude(gms)	Longitude(gms)	Alt. Geo.(m)	UTM N(m)	UTM E(m)	MC
Em 2000.4 (é a que deve ser usada) <sup>4</sup>	-1° 29' 31,6489"	-48° 42' 25,3220"	-23,11	9834942.024	755132.258	-51
Na data do levantamento <sup>5</sup>	-1° 29' 31,6398"	-48° 42' 25,3252"	-23,11	9834942.304	755132.160	-51
Sigma(95%) <sup>6</sup> (m)	0,075	0,134	0,131			

**Figura 6** – Parte do relatório do processamento da base no IBGE-PPP.

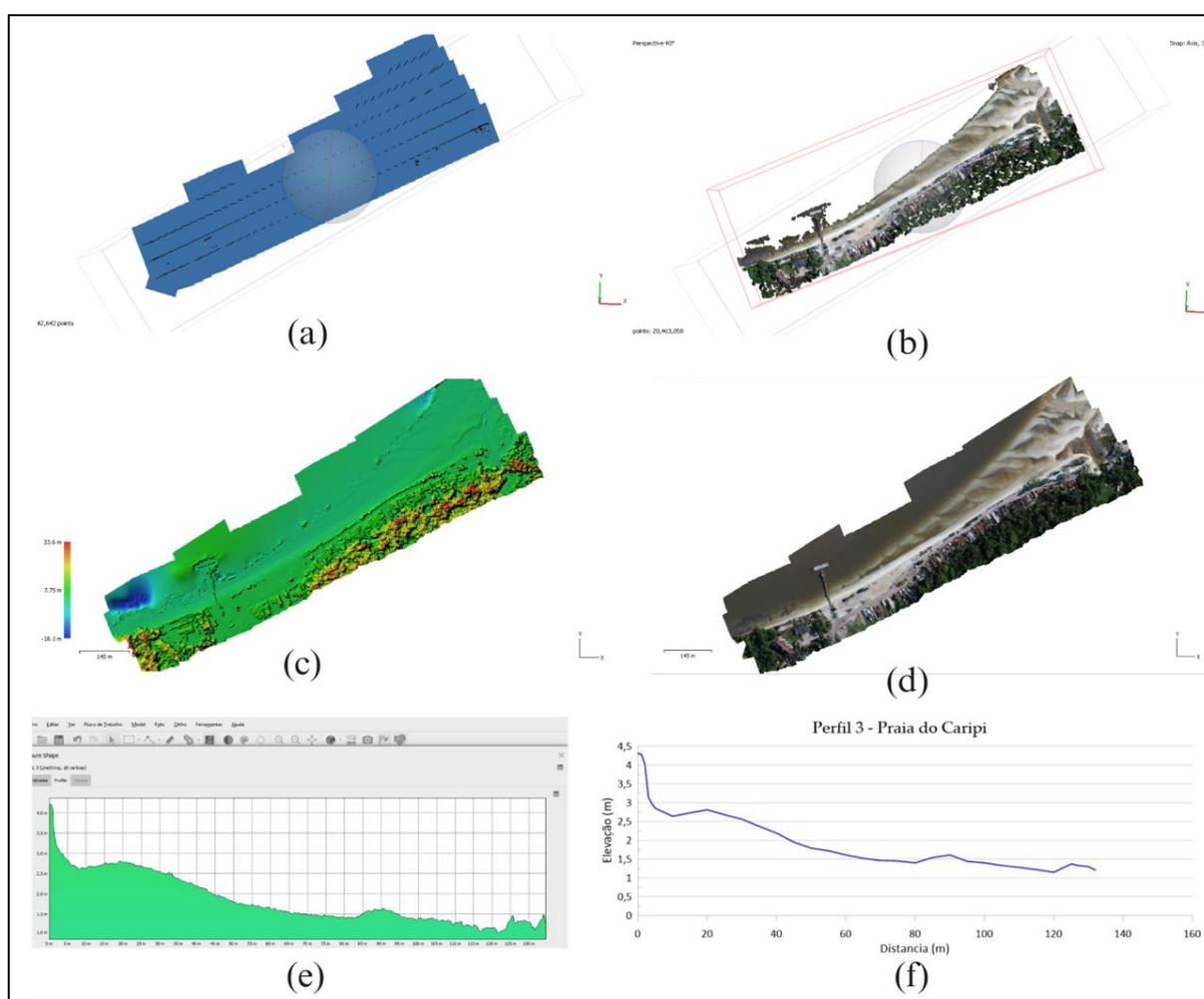
**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

O segundo passo é processar os dados do dispositivo PPK do drone. Para isso, utiliza-se o RTK *Conv*, que fará a conversão do arquivo.ubx para o formato rinex. Feito isso, utiliza-se agora o programa RTK *Post*, que fará o ajuste das coordenadas geográficas rastreadas pelo dispositivo PPK de acordo com os dados coletados e processados pela base GNSS. Aqui utiliza-se os dados brutos do drone, da base e as informações do processamento IBGE-PPP.

Por fim, far-se-á a correção do posicionamento das fotografias a partir dos dados do PPK corrigidos. Para isso utiliza-se o programa T2R *Geotagger*. Nele é necessário inserir os dados corrigidos do PPK, os dados brutos da base e as fotografias originais. Esse programa faz o geotagueamento das fotos originais com as coordenadas geográficas corrigidas nos passos anteriores, gerando as fotos corrigidas que deverão ser utilizadas no

processamento final, levando em consideração o valor sigma (desvio-padrão) que representa a confiabilidade interna do processamento.

As imagens obtidas na aerofotogrametria foram descarregadas em sistema computacional, para tratamento no *software Agisoft Metashape* versão 2.0.0, desenvolvendo o alinhamento das imagens sobrepostas entre si, com base nos ângulos formados entre elas, ajuste para *check*, originando uma nuvem de pontos densa e obter o modelo digital de elevação (DEM) e ortomosaico (Figura 7 a-d); as duas últimas etapas (Figura 7 e-f) configuram os dados da altitude e distância do perfil de praia, obtidos a partir da aerofotogrametria com drone.



**Figura 7** – Esquema de construção do geoprocessamento das imagens (*software Agisoft Metashape* versão 2.0.0). Alinhamento de fotos e calibração das câmeras; (b) Geração de nuvens de pontos densa; (c) DEM e (d) Ortomosaico (e); Dados de perfil topográfico para correção de elevação (f) Plotagem do perfil no *software Grapher* 19.1.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

Os dados dos perfis topográficos obtidos no *Agisoft Metashape* versão 2.0.0 (Figura 7e), foram organizados em planilha *Microsoft Office Excel*, no qual foi gerado um banco de dados referente à altitude e distância dos perfis de praia. Os dados foram ajustados ao nível médio do mar empregando o método sugerido por Muehe; Roso; Savi (2003) que consiste na determinação de uma única referência de nível vertical ajustada ao nível médio do mar, permitindo a comparação entre os perfis levantados em diferentes períodos utilizando um único ponto de partida como referência até a linha de baixamar.

Para a plotagem de sobreposição da topografia dos perfis, foi utilizado o *software Grapher 19.1* (Figura 7f) onde notou-se as variações geomorfológicas, morfodinâmicas e o volume sedimentar  $V_v$  ( $m^3/m$ ) de cada perfil.

Para fins de validação de qualidade das imagens foi realizada a avaliação da acurácia dos MDE (Modelo Digital de Elevação) gerados a partir das imagens, denominada como padrão de qualidade, com valores de tolerâncias definidos em função da escala obtida no processamento das imagens (HOLLER *et al.*, 2018).

No Brasil, tem-se o Decreto no 89.817/1984, que “estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional”. O decreto dispõe sobre os procedimentos que devem ser seguidos para elaborações cartográficas, com valores de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e o Erro Padrão (EP) para planimetria e altimetria para então classificá-las como Classe A, B ou C (FERREIRA, 2022). A tabela 2 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional para a escala 1:2000.

**Tabela 2:** Padrão de exatidão cartográfica altimétrica dos pontos cotados e do MDE para a produção de produtos cartográficos digitais.

Classe PEC	Classe PEC – PCD	1:2000 Altimetria		1:2000 Planimetria	
		PEC (m)	EP (m)	PEC (m)	EP (m)
-	A	0,27	0,17	0,56	0,34
A	B	0,50	0,33	1,00	0,60
B	C	0,60	0,40	1,60	1,00
C	D	0,75	0,50	2,00	1,20

**Fonte:** Adaptado de DSG, 2016.

Para análise da variação entre as coordenadas geográficas da imagem com relação às coordenadas de campo por meio do Decreto Lei nº 89.817 foi utilizado o *software* livre GeoPEC (versão 3.6). A escala escolhida para a presente análise foi 1:2000, de acordo com o decreto mencionado, e equidistância altimétrica de 1 m. Para o enquadramento dos dados devem ser atendidas duas condições:

1. Noventa por cento (90%) dos pontos coletados, quando comparadas com as levantadas em campo, por método de alta precisão, ou levantadas em outro dado espacial de maior acurácia, deverão apresentar valores de discrepâncias posicionais iguais ou inferiores ao valor da tolerância “PEC” em relação a classe testada.

2. O Erro Médio Quadrático (RMS) da amostra de discrepâncias posicionais deve ser igual ou inferior à tolerância “EP” definido pela norma, para a escala e classe testada.

§ 1o - Padrão de Exatidão Cartográfica é um indicador estatístico de dispersão, relativo a 90% de probabilidade, que define a exatidão de trabalhos cartográficos.

Após o processo de validação, buscou-se definir o estágio/estado morfodinâmico de praia. Usado para designar de o comportamento deposicional e a sua relação com os processos hidrodinâmicos. Para a classificação do estado morfodinâmico seguiu os estudos de Wright e Short (1984) utilizando o parâmetro adimensional ômega ( $\Omega$ ) de Dean (1973) Equação (1); considerando a análise de Masselink e Short (1993) sobre a influência da maré verificou-se a interação desta com a altura de onda. Esta interação foi resumida na formulação do índice RTR (“*relative tidal range*”) Equação (2), o qual corresponde a razão entre a amplitude de maré (TR) e a altura da onda na arrebentação (Hb).

$$\Omega = Hb/(Ws*T) \quad (1)$$

$$RTR = TR/Hb \quad (2)$$

Assim, empregaram-se os seguintes parâmetros morfométricos de cada perfil praial: Vv – volume sedimentar (m<sup>3</sup>/m), Yb – largura da praia (m) e  $\beta$  – declividade da praia (°). Sendo este último parâmetro determinante para caracterização do estado morfodinâmico de cada perfil de praia, considerando os índices propostos por Sazaki (1980); Souza (1997) e adotado por Ramos e Ranieri (2021) (Tabela 4). A declividade da face praial ( $\beta$ ) foi obtida através da Equação (3) que inclui a declividade da face praial ( $\beta$ ).

$$\text{Tang}\beta = \text{oposto/adjacente} \quad (3)$$

Diferentes modelos sequenciais de evolução de praias arenosas têm sido propostos, destacando as escolas de Geomorfologia Costeira Americana (SAZAKI, 1980) e australiana (WRIGHT e SHORT 1984). Sazaki (1980) estabeleceu um modelo baseado nas características ambientais principais das praias, segundo três estágios/ estados morfodinâmicos: dissipativo, reflexivo/refletivo e intermediário (Quadro 1).

**Quadro 1:** Classificação dos estados morfodinâmicos de praias arenosas, segundo Sasaki (1980); Souza (1997).

<b>ESTADO MORFODINÂMICO</b>			
<b>PARÂMETROS</b>	<b>DISSIPATIVO</b>	<b>INTERMEDIÁRIO</b>	<b>REFLEXIVO</b>
<b>ONDAS</b>			
Tipo de Quebra	Deslizante	Deslizante/mergulhante	Mergulhante/frontal
Número de Quebras	> 3	1-3	1
Refletividade	Baixa	-	Alta
Nível Relativo de Energia	Alto	Médio	Baixo
Ângulo de Incidência	Normal a costa	Médio (0-10°)	Oblíquo (10-45°)
<b>CORRENTES</b>			
Horizontais	Grandes giros	Pequenos giros	Unidirecional
Costa Afora	Correntes de retorno intensas	Correntes de retorno médias	Fluxo rumo ao sotamar
<b>MORFOLOGIA</b>			
Barras	Múltiplas, paralelas	em crescente	sem barras
Declividade Média	< 2°	2-4°	> 4°
Cúspides e irregularidades da linha de costa	embaixamentos rítmicos/ aperiódicos	Cúspides de surfe	Cúspides de espriamento
Perfil praiial	Plano	Transicional (berma)	em degraus (berma)
<b>TRANSPORTE DE SEDIMENTOS</b>			
Longitudinal	Baixo	Médio	Alto
Costa adentro/ Costa a fora	Alto	Médio	Baixo
Modo dominante	Suspensão	Misto	Carga de fundo
Granulometria	Fina	Média	Grossa
Atividade Eólica	Alta	Média	Baixa

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

#### 4. RESULTADOS

Os aspectos e as principais mudanças morfológicas foram resultantes de cálculos morfométricos (Tabela 3) em que foram obtidos Yb - largura do perfil praiial;  $\beta$  (°) - declividade e Vv (m<sup>3</sup>/m) - volume sedimentar por perfil, durante as estações chuvosa e seca para ambos os setores.

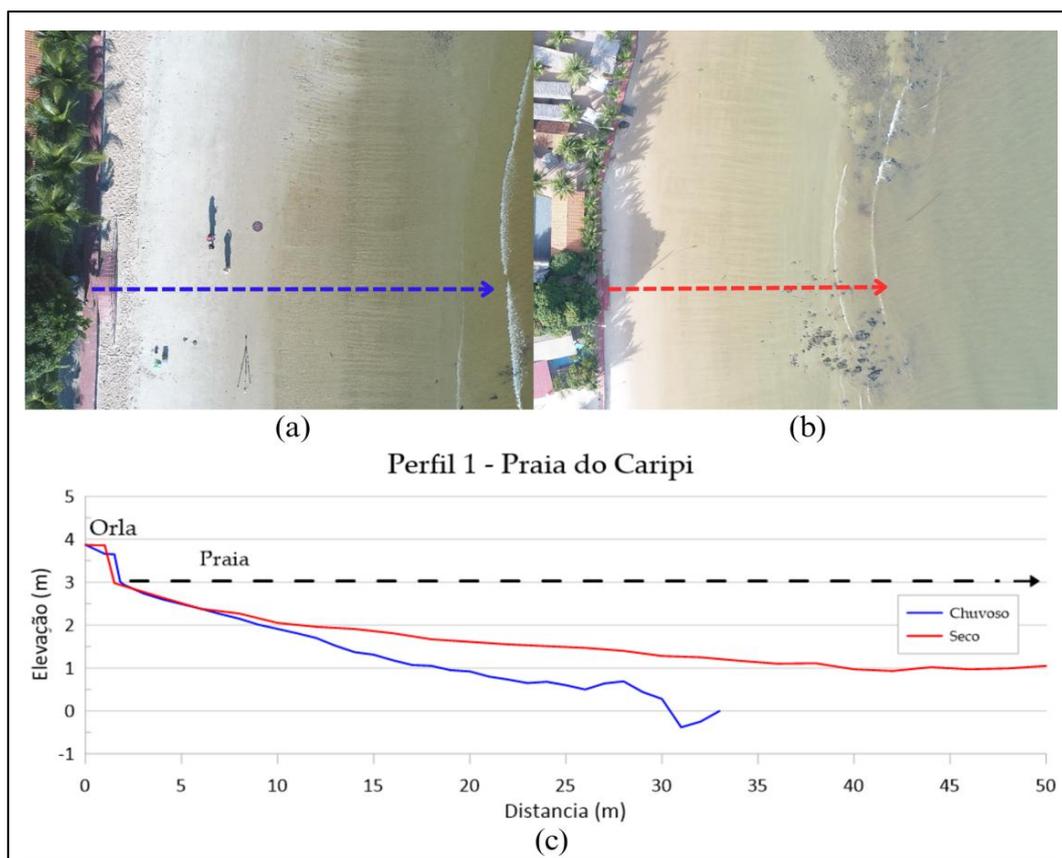
**Tabela 3** –Parâmetros morfométricos sobre os dados topográficos e sedimentares de cada perfil da praia do Caripi.

Setor/Perfis	Maré de sizígia (chuvoso)			Maré de sizígia (seco)		
	Yb (m)	$\beta$ (°)	Vv (m <sup>3</sup> /m)	Yb (m)	$\beta$ (°)	Vv (m <sup>3</sup> /m)
Oeste/P1	32	7,4°	46,00	50	3,2°	81,04
Central/P2	78	2,9°	393,61	60	2,7°	338,17
Leste/P3	138	1,4°	114,99	142	1,7°	274,24

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

#### 4.1. Morfologia praial

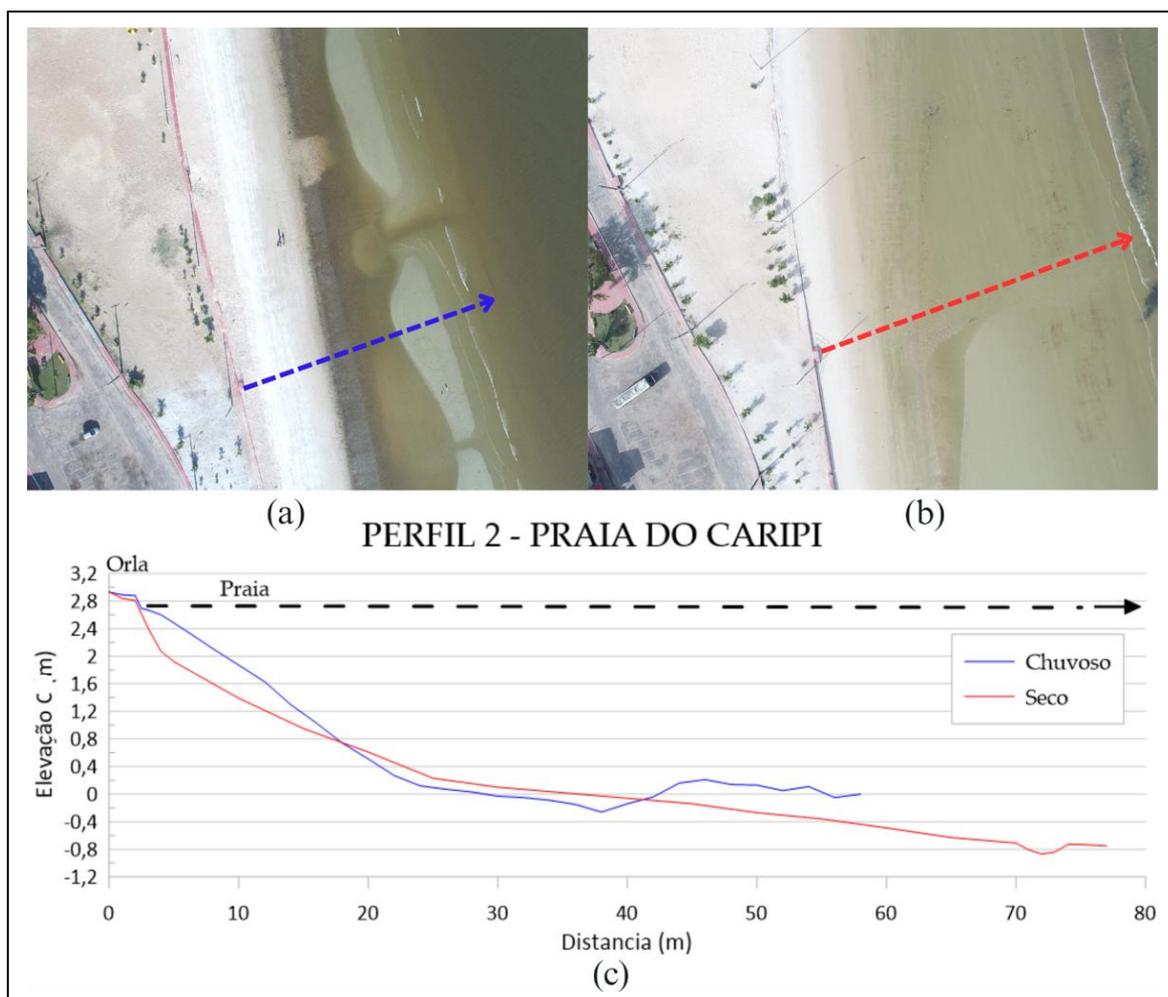
O ponto inicial do perfil 1 (nível de referência), localiza-se a partir da escadaria da orla, na margem esquerda do píer de acesso à praia (Setor Oeste). O perfil em azul compreende a estação chuvosa com 32 m e em vermelho com 50 m de largura (Yb) a estação seca. A declividade praial diminuiu de 7,4° do chuvoso para 3,2° o seco, com variação da largura praial  $\Delta Yb$  (m) de 18 m. Obteve-se um balanço positivo de 35,04 m<sup>3</sup>/m, que variou de 46,00 m<sup>3</sup>/m (chuvoso) para 81,04 m<sup>3</sup>/m (seco) (Figura 8).



**Figura 8** – Descrição do perfil topográfico de praia no setor oeste - P1; (a) Referência do ponto de partida e trajeto realizado na estação chuvosa; (b) ilustração referente à estação seca; (c) Sobreposição dos perfis topográficos referentes no Grapher 19.0.

**Fonte:** Elaborado pelos autores (2023).

O perfil 2 (P2) localiza-se a partir da segunda escadaria da orla, na margem direita do píer de acesso à praia (Setor Central). O perfil em azul refere-se à estação chuvosa com 58 m de extensão e o perfil em vermelho com 77 m (Yb) a estação seca apresenta em um acréscimo na largura praial  $\Delta Yb$  (m) de 19 m. A declividade varia de 2,9° do chuvoso para 2,7 ° para o seco, com balanço positivo de 91,2 m<sup>3</sup>/m no volume sedimentar (Figura 9).



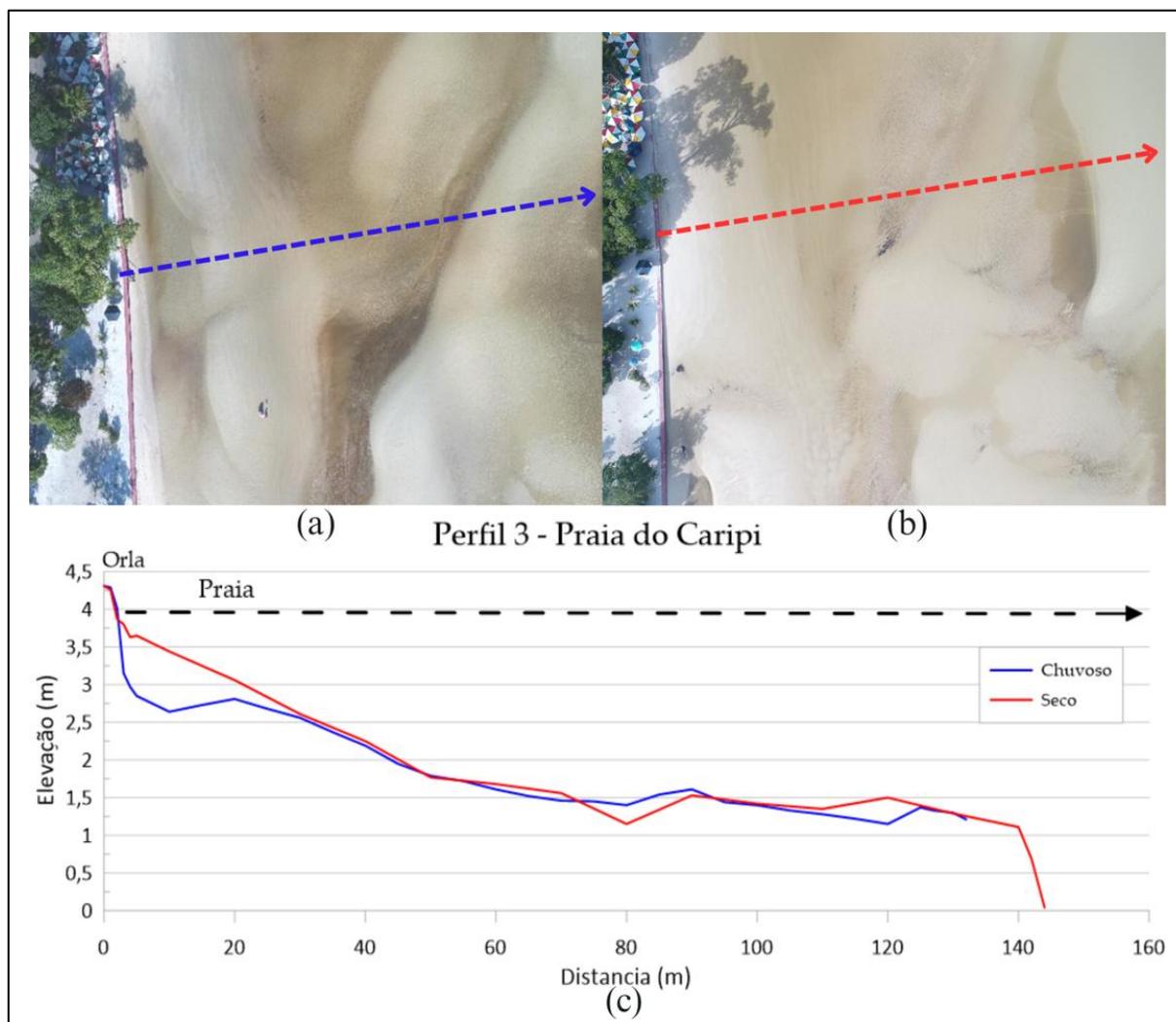
**Figura 9** – Descrição do perfil topográfico de praia no setor central - P2; (a) Ponto de partida e trajeto realizado na estação chuvosa; (b) ilustração referente à estação seca; (c) Sobreposição dos perfis topográficos no *Grapher 19.0*.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

O perfil 3, localiza-se a partir da escadaria de madeira da orla em frente ao restaurante Timoeiro, sendo o mais próximo à foz do canal de maré. O perfil em azul compreende a estação chuvosa com 132 m de extensão e em vermelho com 142 m (Yb) na estação seca, com acréscimo no coeficiente de variação da largura praial  $\Delta Y_b$  (m) de 10 m, este ponto compreende ao perfil mais longo desta praia. Com declividade de  $1,4^\circ$  para  $1,7^\circ$  do período chuvoso para o seco, e balanço positivo de  $806 \text{ m}^3/\text{m}$  no volume sedimentar (Figura 10).

A validação dos perfis de praia extraídos a partir do modelo digital de elevação -MDE, foi realizada a partir da cobertura da área de estudo. No chuvoso (julho) cobriu uma área de  $0.41 \text{ km}^2$  e no período seco (novembro) apresentou uma cobertura de  $0.271 \text{ km}^2$  com resolução de 12 e 13 cm/pix. Através do software GeoPEC, foram obtidos dados estatísticos das discrepâncias do erro posicional planimétrico (RMS) que para fins de validação, o produto do período seco (novembro) com três pontos de verificação, se mostrou acurado

sob análise do erro posicional planialtimétrico de 0,046, pertencente a classe **A** em uma escala de 1:2000 (Figura 11a).

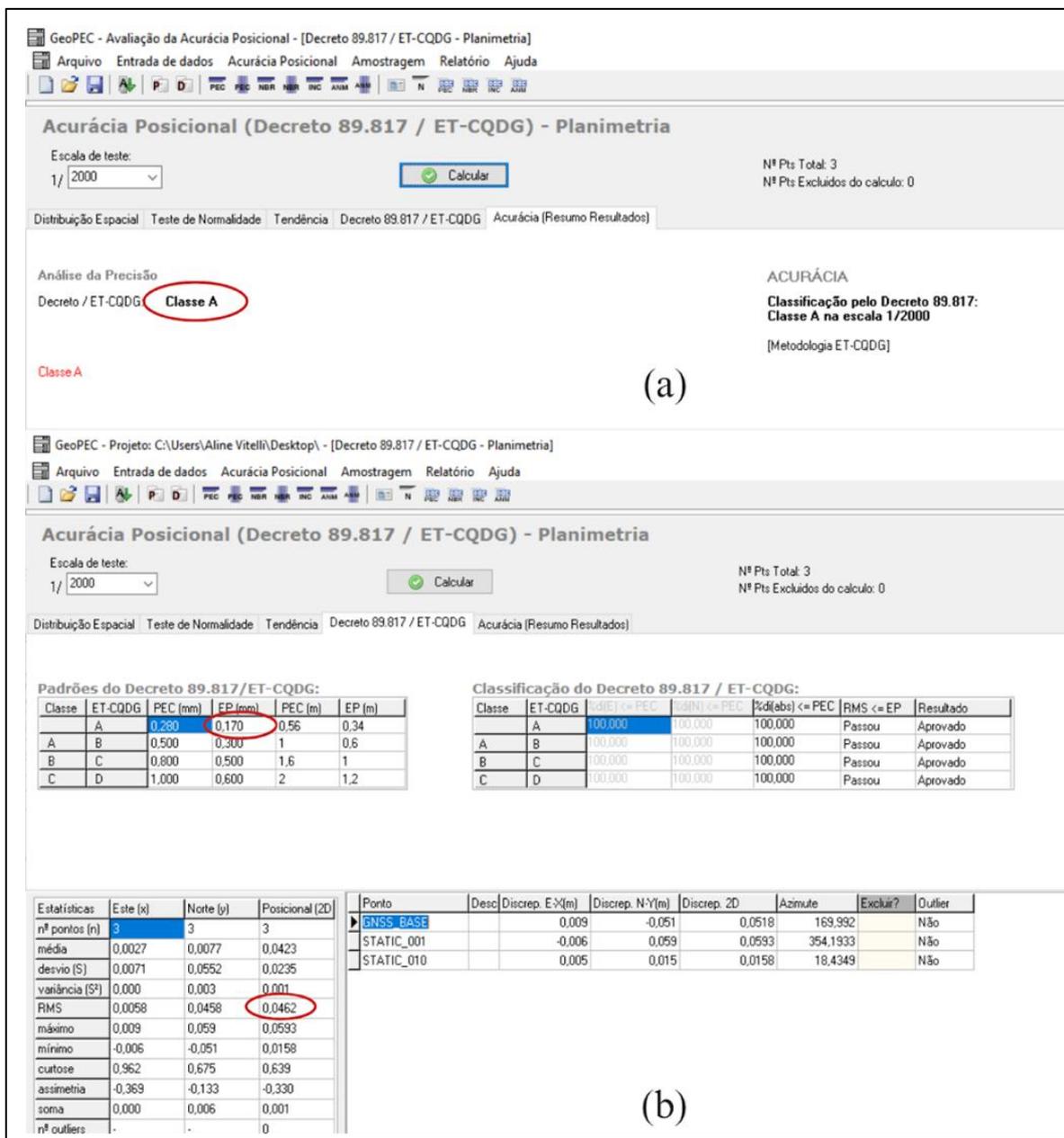


**Figura 10** – Descrição do perfil topográfico no setor leste - P3; (a) Ponto de partida e trajeto realizado na estação chuvosa; (b) ilustração referente à estação seca; (c) Sobreposição dos perfis topográficos referentes no *Grapher 19.0*.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

Ainda com o GeoPEC obteve-se a classificação da imagem para a escala 1:2000 quanto ao Decreto Lei nº 89.817 e a Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais. Com base nas análises obtidas, nota-se que o erro posicional altimétrico foi de 0,17 (EP) e o erro médio quadrático (RMS) de 0,046 como de acordo com a (Figura 11b), ressaltando que as discrepâncias posicionais devem ser iguais ou inferiores à tolerância definida pela norma, para a escala e classe testada. Sendo assim, apurado que a classe e o erro posicional dos produtos atendem ao decreto para o padrão de exatidão cartográfica, de acordo com a classificação dos estados morfodinâmicos de praias arenosas (SAZAKI, 1980; SOUZA, 1997) (Tabela 2), que ilustra

os valores de tolerância pré-determinados pelo decreto para a validação de produtos cartográficos digitais, sendo nesta pesquisa aborda-se modelos digitais de elevação (MDE) da praia do Caripi, provenientes da aerofotogrametria.



**Figura 11** – (a) Classificação das imagens de acordo com o Decreto Lei nº 89.817, em que ilustra a qualidade do produto como aprovado de acordo com os valores de exatidão da PEC e EP; (b) Planimetria dos dados estatísticos fornecidos pelo software GeoPEC 5.6, com representação da acurácia posicional (RMS).

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## 4.2. Altura das ondas

A partir da contagem das cristas de ondas, obteve-se a média da altura de ondas para cada setor e de acordo com a Tabela 4, nota-se que as maiores alturas foram de 0,49 m no

setor Oeste (julho) e 0,39 m no setor Leste (novembro) que se manteve instável, enquanto as menores registradas encontram-se no setor Central. Os dados hidrodinâmicos de ondas foram utilizados na classificação dos principais estados morfodinâmicos estabelecidos por Wright e Short (1984).

**Tabela 4:** Dados das medições de altura das ondas obtidas nas duas campanhas na praia do Caripi.

Praia do Caripi	Setor Oeste (m)	Setor Central (m)	Setor Leste (m)
Chuvoso (02/07/2022)	0,49	0,30	0,39
Seco (26/11/2022)	0,30	0,22	0,39

Fonte: Elaborado pelos autores, 2023.

## 5. DISCUSSÃO

### 5.1. Contribuição do drone no estudo da morfodinâmica praial

As Aeronaves Remotamente Pilotadas (ARPs), conhecidas como drones, mostram-se uma excelente alternativa para o monitoramento de diversos ambientes, como no âmbito da geomorfologia costeira e na obtenção de dados topográficos para avaliação das alterações morfodinâmicas em que as praias estão sujeitas (ALBUQUERQUE *et al.*, 2020).

O drone utilizado na pesquisa é da linha *Phantom*, e possibilitou a extração de perfis topográficos e a identificação de feições geomorfológicas. O equipamento utilizado em campo possui uma adaptação com um PPK (*Post Processed Kinematic*) que diminui a necessidade de vários pontos de controle com o GNSS RTK, auxiliando na geração de produtos cartográficos de maior precisão.

Entretanto, Santos *et al.* (2016) destacam a utilização de pontos de controle dependendo da magnitude do trabalho realizado. Importante considerar que os erros são inevitáveis, visto que os MDEs são visões simplificadas da realidade. Sendo assim, foi possível mensurar a qualidade do produto através do *software* GeoPEC 5.6 que atestou o produto de novembro positivamente, justifica-se a acurácia na estação chuvosa (julho) através dos dados obtidos no processamento das imagens no *software* Agisoft Metashape 2.0.2, por meio de valores de acurácia de 10.000 e DEM com 12 cm/pix e 13 cm/pix e orto mosaico um grau de resolução de 3 cm/pix.

Não foi possível realizar a validação do período chuvoso, devido a inexistência de pontos de verificação, sendo utilizado apenas o marco principal (GNSS) como ponto de controle, o que não inviabiliza a sua qualidade, levando em consideração que o PPK otimiza o erro das coordenadas geográficas obtidas nas imagens junto a base GNSS.

## 5.2. Morfologia e estado morfodinâmico

Segundo o modelo proposto por Wright e Short (1984), que utiliza o parâmetro empírico adimensional  $\Omega$  de Dean (1973), a praia estudada apresentou três estados morfodinâmicos distintos, de acordo com a energia de onda. Durante o período chuvoso ocorrem sistemas de banco de calhas longitudinais com  $\Omega$  4,54, no setor oeste e no seco, terraço de baixamar, com parâmetro  $\Omega$  2,48. Entretanto, no setor central, o estado morfodinâmico variou de banco de praias cúspide com  $\Omega$  3,59 (chuvoso) a reflexivo  $\Omega$  1,32 (seco). No setor leste, ocorreu terraço de baixa-mar  $\Omega$  2,71 no período chuvoso para tal  $\Omega$  2,50 no seco.

Outro modelo utilizado para aferir o estado morfodinâmico de praias é o RTR, utilizado para praias com grandes amplitudes de maré (MASSELINK e SHORT, 1993), a exemplo da área de estudo. Os valores médios de RTR na praia do Caripi tiveram valores que variam de 5,9 a 11,0 nos períodos chuvoso e seco, respectivamente, caracterizando a praia como dominada pela interação de ondas e maré.

A praia do Caripi variou dos estados reflectivo/reflexivo, dissipativo e intermediário, sendo os dois últimos estados de maior permanência, com declives de praia moderados a altos, onde ocorrem ondas mergulhantes ou ascendentes, de acordo com Sasaki (1980) e Souza (1997) (Tabela 2). O setor oeste (Figura 10), passou do estado reflectivo (chuvoso) ( $7,4^\circ$ ) para intermediário ( $3,2^\circ$ ) (seco). Observa-se a formação de banco arenoso entre 28 e 30 m de distância e inframaré com a presença de promontórios rochosos irregulares e de tamanhos variados.

No setor central, houve a estabilidade do estado intermediário, com declive médio de ( $2,9^\circ$ ) e ( $2,7^\circ$ ) (Figura 11). Na intermaré ocorrem sistemas de bancos longitudinais sucessivos e alongados e calhas no chuvoso que no seco são preenchidos pela deposição de sedimentos entre as calhas, evidenciando a mobilidade sedimentar. Neste setor nota-se a acumulação de areia que avançou da praia para o pós-praia no período seco.

No setor leste, ocorrem calhas rasas durante o período chuvoso, um declive de face praial ainda mais suave, característico de estado dissipativo ( $1,4^\circ$ ) e ( $1,7^\circ$ ) nas duas campanhas (Figura 12). Neste setor o perfil praial é o mais longo com 132 m (chuvoso) e 142 m (seco), com declividade média, barras múltiplas e paralelas suaves em direção a linha de maré baixa, sendo o perfil de equilíbrio mais evidente da área.

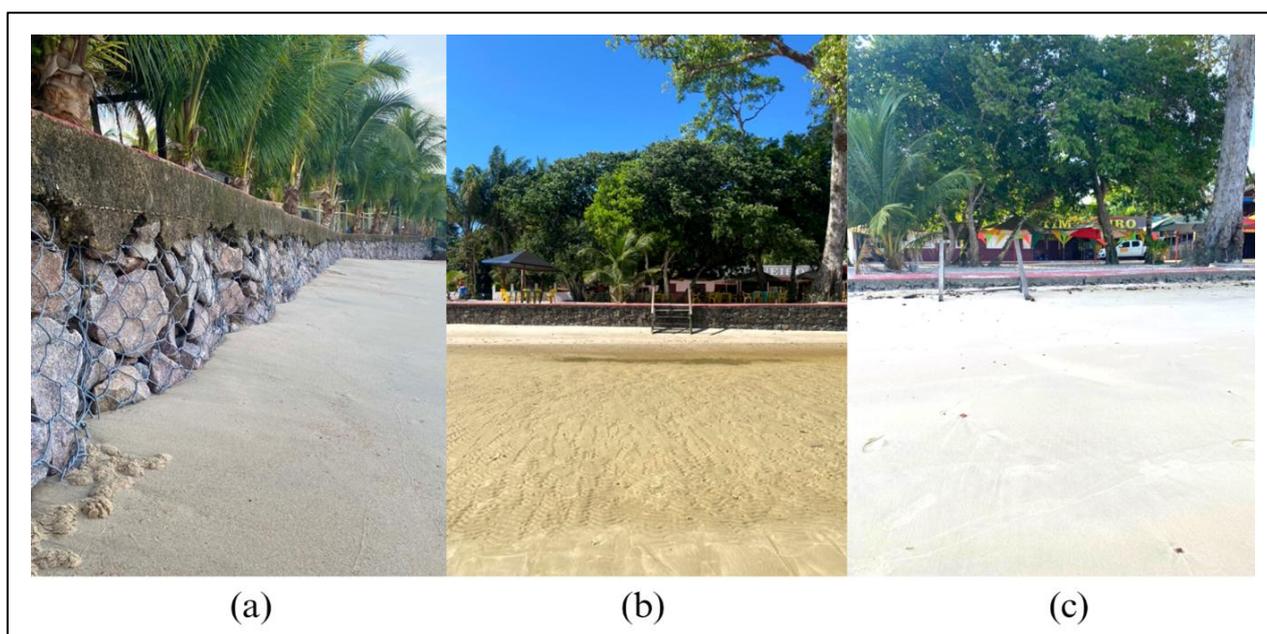
A altura das ondas na praia do Caripi, foi mínima de 0,30 m no chuvoso e 0,22 m no seco e máxima de 0,49 m no chuvoso e 0,39 m no seco. Os valores referentes a altura significativa de ondas ( $H_b$ ) em um determinado período, foram fundamentais na

identificação dos estados morfodinâmicos nos setores (oeste, central e leste), de acordo com o parâmetro empírico adimensional  $\Omega$  de Wright *et al.* (1984).

### 5.3. Implantação de obras de contenção na praia do Caripi

A erosão costeira é um problema ambiental de ordem pública, ao ser uma resposta da natureza às intervenções antrópicas, causando prejuízos ao poder público e à população (SILVA, 2022). Dentro dos instrumentos de gestão da zona costeira, o município de Barcarena, a partir da Lei Municipal nº 2200/2017, possui a implantação do projeto orla, sendo um projeto de abrangência municipal desde 2018 até 2021 (SEMAS, 2020).

A orla projetada para a praia do Caripi é do tipo gabião (Figura 12a) adotada como medida de intervenção costeira, em decorrência de processos erosivos. Os muros de gabiões são estruturas flexíveis, constituídas por caixas de estrutura metálica de alta resistência, com dimensões que vêm em frações de meio metro, preenchidas com blocos de rocha resiliente ao intemperismo ou desintegração com dimensões suficientes, para evitar perda de material e comprometer o tempo de vida do muro (CINTRA, 2013).



**Figura 12** – Estrutura de intervenção costeira na praia do Caripi; (a) Muro do tipo gabião; (b) Remoção sedimentar da face praial na estação chuvosa no setor leste e (c) Deposição sedimentar no seco.

**Fonte:** Elaborado pelos autores, 2023.

Entre as principais vantagens deste tipo de estrutura, destaca-se a flexibilidade pois permite recalques e deformações sem perder a sua eficiência e função estrutural (GERSCOVICH; SARAMAGO; DANZIGER, 2019), sendo considerada um dos métodos convencionais empregados em áreas costeiras sujeitas a processos erosivos intensos, uma

vez que o avanço da maré é inevitável e as alternativas para impedir esse fenômeno são consideravelmente caras para os municípios (SILA; MORAES; STRUMINSKI, 2018).

O balanço sedimentar da praia do Caripi é influenciado pela sazonalidade amazônica, caracterizado pela remoção de sedimentos da face praial durante o chuvoso (Figura 12b) e o acréscimo ou retorno dos mesmos na estação seca (Figura 12c), nota-se que a orla tem atuado na instabilidade da morfodinâmica local. A partir dos registros fotográficos com os perfis gerados em cada setor tanto em julho (chuvoso para o seco) quanto em novembro (seco para o chuvoso) foi possível traçar um comparativo visual do comportamento morfossedimentar da praia do Caripi.

A partir desses registros, identificou-se o avanço e recuo de sedimentos frente ao muro de contenção, em que nos setores oeste e central a deposição nos dois períodos é parcialmente similar, com pouco grau de exposição do muro e acumulação temporária de sedimentos. No que se refere ao comportamento deposicional dos sedimentos, os setores oeste e central, apresentam maior cobertura sedimentar em ambos os períodos, ou seja, o avanço sedimentar para o pós-praia é mais atuante nestes setores.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo investigou o potencial do uso da fotogrametria com drone no estudo da morfodinâmica da praia do Caripi, sendo possível mostrar que a metodologia adotada é tão eficiente quanto às demais já realizadas para o levantamento descritivo de perfis praias. Pôde-se constatar que tal ferramenta, associada a base GNSS geodésica e PPK, funcionam como ferramentas dependentes, para que haja uma precisão nos resultados, trazendo o mesmo o mais próximo da realidade, para que assim, possa-se inferir nas principais alterações morfológicas.

Sendo assim, a metodologia aplicada foi satisfatória e que apesar da validação ter sido aplicado ao produto da estação seca, porém, levou-se em consideração o processamento das imagens no *Agisoft Metashape*, que apresentaram o grau de resolução, erro estimado de *pixel* e valor de acurácia similares e consideráveis, entretanto, é válido mensurar a importância do uso de pontos de controle; pois segundo Albuquerque *et al.* (2020) para trabalhos que necessitem de informações de alta precisão. Ressaltamos a eficácia do *software* Livre GeoPEC 5.6 como uma importante ferramenta de validação de dados cartográficos digitais, por se enquadrar no Decreto de Lei nº 89.817.

Através da fotogrametria com drone, também foi possível descrever os perfis praias e definir os estágios morfodinâmicos, além de detectar a presença de feições

geomorfológicas e tendência de deposição e remoção de sedimentos associados às marés e à sazonalidade. Os parâmetros ambientais de ondas e precipitação auxiliaram na análise descritiva da distribuição sedimentar aos perfis de praia, sendo possível compreender as variações de um período a outro.

A sazonalidade na região amazônica possui dois períodos bem definidos "chuvoso" e "seco" que apresenta meses de maior e menor intensidade pluviométrica fortemente influenciada pelas condições meteorológicas de meso e grande escala. Os eventos meteorológico-oceanográficos de maior intensidade alteram a dinâmica de períodos chuvosos e secos, pois de acordo com Pereira *et al.* (2013) os eventos *La Niña* provocam aumento das chuvas e das descargas fluviais. No caso de 2022 a área de estudo estava sob influência do *La Niña* que intensificou e perdurou o número de meses chuvosos, sendo uma das forças atuantes no transporte e balanço sedimentar da área de estudo configurando a geomorfologia costeira (bancos e calhas) e de largura praial.

A partir dos dados apresentados e das observações em campo, é possível concluir que a construção da orla do Caripi é benéfica para a contenção da erosão, além de grande atrativo socioeconômico. Ressalta-se que a obra tem cumprido seu papel sob a ótica sazonal e hidrodinâmica, sendo possível constatar que o comportamento dos perfis topográficos está associado a remoção e deposição sedimentar.

Apesar dos perfis atestarem um balanço sedimentar positivo em seu volume, o avanço da areia para o pós praia é um indicativo de durabilidade mediana para a construção, tendo em vista que a estrutura de aço galvanizado apresenta pequenas rupturas que podem resultar em sua instabilidade e que não a exime de problemas futuros, fomentando que é imprescindível o seu monitoramento contínuo como ferramenta de gestão do espaço.

## AGRADECIMENTOS

Ao LAGEOC - Laboratório de Geologia Oceânica e ao GEMC - Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros da Universidade Federal do Pará - UFPA. Ressaltamos o agradecimento à FAPESPA (Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas) pelo incentivo financeiro, que muito contribuiu para o andamento da pesquisa e a Fly Mapping Escola de Drones.

## REFERÊNCIAS

ALBUQUERQUE, M. G. et al. Estudo comparativo entre modelos digitais de elevação obtidos por duas diferentes aeronaves remotamente pilotadas: estudo de caso em uma costa arenosa. **Revista eletrônica do PRODEMA Fortaleza**, v. 14, n. 1, p. 134-150, 2020.

ALMEIDA, V. M.; OLIVEIRA, E. C. XIV Dinâmica morfosedimentar influenciada pelo porto moderno de Ilhéus-Ba. In: PAULA, P. D *et al.* Entre-margens: a eterna «torna-viagem». Vivendo no limite dos recursos costeiros e marinhos? **Tomo XI da Rede Braspor**. 2022 p. 215-222.

BIRKMEIER, W. A. 1981. Fast accurate two-person beach survey. Coastal Engineering Technical Aid 81-11. U.S. Army Engineers Waterways Experiment Station. Vickburg, Mississippi, **Coastal Engineering Research Center**, Vickburg, 22p.

BRASIL. **Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984**. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 22 de junho de 1984.

BULHÕES, E. Erosão Costeira e Soluções para a Defesa do Litoral. In: **Geografia Marinha: Oceanos e Costas na Perspectiva de Geógrafos**, 2020. p. 655-688, 2020. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/345765641\\_Cap\\_29\\_Erosao\\_Costeira\\_e\\_Solucoes\\_para\\_a\\_Defesa\\_do\\_Litoral](https://www.researchgate.net/publication/345765641_Cap_29_Erosao_Costeira_e_Solucoes_para_a_Defesa_do_Litoral). Acesso em: 06 abr. 2022.

CALLIARI, L. J. *et al.* Morfodinâmica praias: uma breve revisão. **Revista Brasileira de Oceanografia**, v. 51, p. 63-78, 2003.

CARNEIRO, A. G.; PRESTES, Y. O.; ROLLINC, M. Estimates of suspended solid transport in the Pará River Estuary. **Ocean and Coastal Research**, v. 68, p. 1-8, 2020.

CASSELLA, E. *et al.* Accuracy of sand beach topography surveying by drones and photogrammetry. **Geo-Mar**, n. 40, p. 255-268, 2020.

CINTRA, J. C. A.; AOKI, N.; TSUHA, C. H. C.; GIACHETI, H. L. **Fundações: ensaios estáticos e dinâmicos**. São Paulo: Oficina de Textos, 2013. 114p.

CONCEJO, A. V.; GALLOP, S. L.; LARGIER, J. L. Sandy beaches in estuaries and bays. **Sandy Beach Morphodynamics**, n. 15, p. 3343-362, 2020.

CORREIA, K. A. *et al.* A utilização do Ground Penetrating Radar (GPR) na definição de penetração de cunha salina e no monitoramento do nível freático em praia estuarina amazônica. **Revista Águas Subterrâneas**, v. 33, n. 1, p. 87-101, 2019.

CUNHA, I. R. V. **Permeabilidade da praia do Caripi (Barcarena – PA) a eventuais derrames de derivados de hidrocarbonetos**. Monografia (Trabalho de Conclusão de Graduação) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.

DNH. **Diretoria de Hidrografia e Navegação**. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados\\_de\\_mare/08-vila\\_do\\_conde\\_tabua\\_2022\\_0.pdf](https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/08-vila_do_conde_tabua_2022_0.pdf). Acesso em: 01 jul. 2022.

DNH. **Diretoria de Hidrografia e Navegação**. Disponível em: [https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados\\_de\\_mare/08-vila\\_do\\_conde\\_tabua\\_2022\\_0.pdf](https://www.marinha.mil.br/chm/sites/www.marinha.mil.br.chm/files/dados_de_mare/08-vila_do_conde_tabua_2022_0.pdf). Acesso em: 25 nov. 2022.

DSG. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais (et-cqdg)**. Departamento de Ciência e Tecnologia Diretoria do espaço

geográfico. 2016. Disponível em: <https://bdgex.eb.mil.br/portal/media/cqdg>. Acesso em: 20 jul. 2023.

EL-ROBRINI, M.; RANIEIRI, L. A.; SILVA, P. V. M et al. PARÁ. In: MUEHE, D.; EL-ROBRINI, M.; RANIEIRI, L. A. SILVA, P. V. M.; GUERREIRO, J. S.; ALVES, M. A. M. S.; OLIVEIRA, R. R. S.; SILVA, M. S. F. AMORA, P. B. C.; EL-ROBRINI, M. H. S.; FENZIL, N.; FARIAS, D. R. **Panorama da Erosão Costeira do Brasil**. Brasília, DF, MMA. 2018. p. 65-166.

ERIKSON, L. *et al.* Climate change-driven cliff and beach evolution at decadal to centennial time scales. **Coastal Dynamics**, n. 210, p. 125-136, 2017.

FAMIGLIETTI, N. A. *et al.* A Test on the Potential of a Low-Cost Unmanned Aerial Vehicle RTK/PPK Solution for Precision Positioning. **Sensors**, v. 21, p. 1-14, 2021.

FERREIRA, D. B. S.; SOUZA, E. B.; OLIVEIRA, J. V. Identificação de extremos de precipitação em municípios do estado do Pará e sua relação com os modos climáticos atuantes nos oceanos Pacífico e Atlântico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 27, p.197-222, 2020.

FERREIRA, S. P. **Análise da qualidade cartográfica de produtos gerados por RPAS Multi-Rotor de pequeno porte**. 2022. Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) - Instituto Federal de Educação e Tecnologia, Goiânia, 2022.

GEOPEC. **Software GeoPEC (versão 3.6)**. 2023. Disponível em: <http://www.geopec.com.br/>. Acesso em: 06 out. 2023.

GERSCOVICH, D.; SARAMAGO, R.; DANZIGER, B. R. **Contenções: Teoria e aplicações em obras**. São Paulo: Oficina de textos, 2019. 320p.

GÓMEZ-PUJOL, L.; ORFILA, A. Reflective–dissipative continuum. **Sandy Beach Morphodynamics**, n. 18, p. 421-437, 2020.

GRAPHER. **Software Grapher Six (versão 19.0)**. Disponível em: <https://www.goldensoftware.com/products/grapher/trial>. Acesso em: 06 out. 2023.

HOLLER, W. J. *et al.* Avaliação de acurácia e precisão de modelos digitais de superfície a partir de diferentes aeronaves remotamente pilotadas. **Revista Técnico-Científica do CREA-PR**, n. 3, p. 1-20, 2018.

IBGE. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Belém**. 2023. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/barcarena.html>. Acesso em: 06 out. 2023.

IMERYS. **Belém**. 2023. Disponível em: <https://www.imerys.com/pt-br/brasil>. Acesso em: 06 out. 2023.

INMET. INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. 2023. Disponível em: <https://portal.inmet.gov.br/>. Acesso em: 06 out. 2023.

JACKSON, D. W.; SHORT A. D. 2020. Introduction to beach morphodynamics. **Sandy Beach Morphodynamics**, v. 1, p. 1-14, 2020.

KJERFVE, B. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: DAY Jr. *et al.* (eds.). **Estuarine Ecology**. New York, Wiley, p. 47-78, 1987.

MASSELINK, G.; SHORT, A. D. The Effect of Tide Range on Beach Morphodynamics and Morphology: A Conceptual Beach Model. **Journal of Coastal Research**, v. 9, p. 785– 800, 1993.

MOLONEY, J. G. *et al.* Coastal Dune Surveying Using a Low-Cost Remotely Piloted Aerial System (RPAS). **J. of Coastal Research**, v. 345, n. 5, p. 1244–1255, 2018.

MUEHE, D. Gestão e mudanças climáticas globais. BRIANA, B.; TURRA, A.; POLETTE, M. **Gestão de praias do conceito à prática**. São Paulo, 2022. p.259-283.

MUEHE, D. O litoral brasileiro e sua compartimentação. In: CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (Org.) **Geomorfologia do Brasil**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. p. 273-349.

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

MUEHE, D. Pós-praia não deve ser traduzido como backshore – uma revisão da terminologia brasileira do sistema praia – antepraia. **Quaternary and Environmental Geosciences**, v. 10, n. 1, p. 40-43, 2019.

MUEHE, D.; OLIVEIRA, L.A.K. Deslocamento da linha de costa versus mobilidade praial. **ResearchGate**, v. 5, n.2, p. 121-124, 2014.

MUEHE, D.; ROSO, H. R.; SAVI, D. C. Avaliação de Método Expedito de Determinação do Nível do Mar como Datum Vertical para Amarração de Perfis de Praia. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 4, n. 1, p. 53-57, 2003.

NOVAIS, T. G.; MACHADO, L. A. Os climas do Brasil: segundo a classificação climática de Novais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 32, p. 1-39, 2023.

OLIVEIRA FILHO, S. R.; FERNANDEZ, G. B. Coastal MD: programa de cálculo de parâmetros adimensionais para classificação morfodinâmica de praias arenosas. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 3, p. 717-729, 2021.

PEREIRA, L. C. C. *et al.* What happens on an equatorial beach on the Amazon coast when La Niña occurs during the rainy season? **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 135, p. 116-127, 2013.

PRESTES, Y. O. *et al.* The m<sup>2</sup> and m<sup>4</sup> tides in the Pará river estuary. **Tropical Oceanography**, v. 45, n. 1, p. 26-37, 2017.

PRESTES, Y. O. *et al.* Um modelo estacionário de descarga para o sistema estuarino Pará-Amazônia. **Journal of Hydrology: Regional Studies**, v. 28, p. 1-12, 2020.

RAMOS, C. C.; RANIERI, L. A. Morfologia e Sedimentação de uma Praia Estuarina Amazônica (Marahú/PA) Durante Amplitudes de Marés Distintas. **Revista Brasileira de Geografia Física** v. 14, n. 05, p. 2916-2930, 2021.

RANIERI, L. A.; EL-ROBRINI, M. Morfologia e Sedimentação em Praias Oceânicas da Amazônia Oriental Durante a Variação Anual de Chuvas. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 13, n. 5, p. 2086-2102, 2020.

RIBEIRO, R. S.; VALADÃO, C. R. Efeitos marinho e fluvial na dinâmica dos ambientes inundáveis do Estuário Superior do Rio Pará, Norte do Brasil. **Revista Brasileira de Geomorfologia**, v. 22, n. 4, p. 876-898, 2021.

RODRIGUES, H. C. T. *et al.* Análise da vulnerabilidade ambiental do município de Barcarena-PA. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 1, p. 1598-1612, 2020.

ROSÁRIO, R. P. *et al.* Variability of salinity in Pará River Estuary: 2D analysis with flexible Mesh Model. **Journal of Coastal Research, Special Issue**, n. 75, p.128-132, 2016.

SANTOS, A. A. *et al.* Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a Norma Brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.

SANTOS, A. T. L. M. **Análise Temporal dos Impactos Socioambientais das Barragens de Rejeito na Bacia Hidrográfica do Rio Murucupi, Barcarena – PA.** Dissertação (Mestrado em Segurança de Barragem e Gestão Ambiental) – Programa de Pós-graduação em Engenharia de Barragem e Gestão Ambiental, Universidade Federal do Pará, Tucuruí, 2018.

SAZAKI, T. O. Proceedings of Coastal '80. **ASCE**, v. 80, p. 3197-3209, 1980.

SERRÃO, P. F. **Formação e manutenção de correntes de retorno: influência da morfologia e ondas incidentes.** Dissertação (Mestrado em Oceanografia Geológica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

SHORT, A. D.; JACKSON, D. W. T. Beach Morphodynamics. In: SHRODER, J. (Editor in Chief), SHERMAN, D. J. (Ed.). *Treatise on Geomorphology*. Academic Press, San Diego, CA. **Coastal Geomorphology**, v. 10, p. 106–129, 2013.

SHORT, A. D.; KLEIN, A. H. F. Brazilian Beach Systems. **Coastal Research Library**, v. 17, p. 1-74, 2016.

SILA, I. G.; MORAES, F. S.; STRUMINSKI. Comparação de técnicas de contenção de ondas. **Ciências exatas e tecnológicas**, v. 4, n. 3, p. 25-34, 2018.

SILVA JUNIOR, J. A.; LIMA, A. M. M.; MORAES, B. C. **Gestão de riscos e desastres: experiências e desafios.** Cap. Vulnerabilidade e risco à erosão costeira: Estuário do Rio Pará. p. 07-23, 2022.

SILVA, P. V. M. **Estudo da Morfodinâmica Sazonal e Quantificação de Transporte Sedimentar Costeiro nas Praias de Fortalezinha e Princesa, Algodual/Maiandua (Nordeste do Estado do Pará).** Dissertação (Mestrado em Geologia) - Programa de pós-graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

SILVA, R. C. We will invade your beach: on the relationship between urbanization, tourism, and coastal erosion in Brazil. **Brazilian Journal of Development, Curitiba**, v. 8, n. 12, p. 78243-78276, 2022.

SIMÕES, R. S. *et al.* Uso de drone de pequeno porte para análise costeira: enfoque metodológico. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 12, n. 2, p. 622-640, 2019.

SIMÕES, R. S. **Mobilidade do limite praia duna no balneário Mostardense – RS: monitoramento por drone.** 2018. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Pós-Graduação em Geografia, Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande, 2018.

SOUZA, C. R. G. **As Células de Deriva Litorânea e a Erosão nas Praias do Estado de São Paulo.** 1997. 371p. Tese (Doutorado em Geociências) - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997.

TAIT, J.; ORLOWSKI, R.; BREWER, J. E.; MILLER, M. Coastal sediment management as a response to intensifying storms and sea level rise. In: HEIDKAMP, P. C.; MORRISSEY, J. (Eds.). **Towards Coastal Resilience and Sustainability**, Londres: Routledge, 2018. p. 205–212.

TAVARES, L. C. *et al.* O uso do índice de vegetação por diferença normalizada na análise multitemporal da cobertura vegetal no complexo industrial do município de Barcarena–Pará-Brasil. **Research, Society and Development**, v. 10, n. 7, p. 1-19, 2021.

TURNER, I. L. *et al.* UAVs for coastal surveying. **Coastal Engineering**, v. 114, p. 19–24, 2016.

VALENTE, H. M. **Variabilidade morfológica das praias estuarinas da Ilha do Mosqueiro (Belém - PA).** Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia de Pesca) - Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2019.

WRIGHT, L. D. *et al.* Morphodynamics of a macrotidal beach. **Marine Geology**, v. 50, p. 97-128, 1982.

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

Recebido: 05/04/2024

Aceito: 23/10/2024