



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM OCEANOGRAFIA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº

**CARACTERIZAÇÃO DOS PADRÕES
MORFODINÂMICOS EM CRISTAS DE PRAIAS NA
COSTA AMAZÔNICA**

Dissertação apresentada por:

EDINEUZA DOS SANTOS ROSÁRIO

Orientadora: Profa. Dra. Leilanne Almeida Ranieri (UFPA)

Coorientadora: Profa. Dra. Valdenira Ferreira dos Santos (IEPA)

BELÉM – PARÁ

2024

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) de acordo com ISBD
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Pará
Gerada automaticamente pelo módulo Ficat, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)**

R789c Rosário, Edineuza dos Santos.
Caracterização dos padrões morfodinâmicos em cristas de
praias na costa amazônica / Edineuza dos Santos Rosário. — 2024.
xiii,59 f. : il. color.

Orientador(a): Prof^ª. Dra. Leilanne Almeida Ranieri
Coorientação: Prof^ª. Dra. Valdenira Ferreira dos Santos
Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará,
Instituto de Geociências, Programa de Pós-Graduação em
Oceanografia, Belém, 2023.

1. Praias amazônicas. 2. Mudanças morfológicas. 3.
Sensoriamento remoto. 4. Processos oceanográficos. 5. Foz
do rio Amazonas. I. Título.

CDD 551.462



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Oceanografia

**CARACTERIZAÇÃO DOS PADRÕES
MORFODINÂMICOS EM CRISTAS DE PRAIAS
NA COSTA AMAZÔNICA**

Dissertação apresentada por

EDINEUZA DOS SANTOS ROSÁRIO

Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências Ambientais na Área de OCEANOGRÁFICA e Linha de Pesquisa Processos em sistemas costeiros e oceânicos.

Data de Aprovação: 29 / 09 / 2023

Banca Examinadora:

Documento assinado digitalmente
gov.br LEILANHE ALMEIDA RANIERI
Data: 29/09/2023 17:46:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Leilanne Almeida Ranieri
(Orientadora - UFPA)

Documento assinado digitalmente
gov.br VALDENIRA FERREIRA DOS SANTOS
Data: 06/02/2025 14:18:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dra. Valdenira Ferreira dos Santos
(Coorientadora - IEPA)

Documento assinado digitalmente
gov.br MAAMAR EL ROBRINI
Data: 23/01/2025 09:39:02-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Maâmar El Robrini
(Membro - UFPA)

Documento assinado digitalmente
gov.br LAURENT POLIDORI
Data: 23/01/2025 16:22:11-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Laurent Polidori
(Membro - UFPA)

Documento assinado digitalmente
gov.br SAVIO LUIS CARMONA DOS SANTOS
Data: 29/09/2023 17:55:44-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Dr. Savio Luís Carmona dos Santos
(Membro – UNIFAP)

Dedico este trabalho aos meus pais (Elza e Pedro) e irmãos (Flávio e Ednelza) pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, pelas oportunidades concedidas no caminho do aprendizado, por me dar forças a cada dia para concluir mais essa etapa.

À Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisas (FAPESPA) pelo apoio financeiro da bolsa que possibilitou o desenvolvimento desta pesquisa.

À Universidade Federal do Pará (UFPA), através do Programa de Mestrado em Oceanografia pelo apoio aos alunos nesse processo de transição de pandemia.

Às minhas orientadoras por terem acreditado na minha proposta e ao apoio durante todo esse trajeto. À Profa. Dra. Leilanne Ranieri (orientadora) por ter me auxiliado no desenvolvimento da dissertação, mesmo distante fisicamente, sempre esteve constantemente presente. À Profa. Dra. Valdenira Santos (coorientadora) por ter me guiado em outra etapa da minha vida profissional, e ao apoio logístico e financeiro para os campos.

Aos meus amigos e companheiros, do Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análises Espaciais aplicados a Ecossistemas Aquáticos (LASA), do Instituto de Pesquisa do Estado do Amapá (IEPA). Em especial a Francinete que participou ativamente deste o pré até o pós-campo, sem seu apoio eu não teria força para coletar todos dados, e aos amigos e colegas que toparam participar e ganharam experiência incríveis de campo, Kerly, Emily, a José Roberto (Chicão), Lorrana, Cristian. Aos demais companheiros de jornada pelo apoio incondicional, Fernanda, Maísa, Benedito, Luan, Jessica, Severino, Lana, Gabriel, Emariele, Diego.

A minha família, meus pais (Elza e Pedro) e irmã (Ednelza) pelo infinito amor, apoio e palavras constantes de incentivo.

E a todos que aqui não foram citados, mas que contribuíram de forma direta ou indireta para a realização deste trabalho, e de mais esta etapa. A todos vocês, minha imensa gratidão e carinho.

RESUMO

O conhecimento dos ambientes de praias requer uma abordagem morfodinâmica integrada com o uso de diferentes escalas espaço-temporal, a fim de compreender a atuação dos processos costeiros e marinhos na modificação da morfologia da praia. Existem algumas peculiaridades importantes sobre esses processos nas praias da região amazônica, como a grande descarga hidrossedimentar dos estuários, altos índices pluviométricos e a alta amplitude e intensidade das correntes de maré, que moldam os sistemas praias, muitas vezes complexos, como as cristas de praias. O objetivo desta pesquisa foi analisar a dinâmica morfológica de um segmento das cristas de praia, localizado ao norte da foz do rio Amazonas, no Goiabal (município de Calçoene), no setor costeiro oceânico do Estado do Amapá. A hipótese é que as mudanças morfológicas no segmento das cristas de praia em estudo são influenciadas pela dinâmica hidrossedimentar do rio Amazonas. A metodologia de investigação baseou-se em três etapas: (1) determinação da morfologia das cristas de praias e das suas alterações (variação do perfil de praia, depósitos sedimentares e classificação das praias); (2) análise dos processos morfossedimentares (agentes físicos costeiros como marés, ondas e correntes, e fornecimento de sedimentos como plumas sedimentares); (3) integração dos dados (correlação entre os processos analisados na primeira e na segunda etapa). Os resultados indicam variações médias significativas na morfossedimentação do sistema das cristas de praia em Goiabal, com migração sazonal (~24 a ~42 metros) em direção ao continente. A erosão e a deposição nas cristas e nos canais subsequentes foram, em média, inferiores a 0,30 m ao longo dos perfis de praia durante o ciclo sazonal. Os parâmetros oceanográficos indicam altura média de ondas de 0,25 m e uma amplitude média da maré de 5 m. As correntes costeiras são orientadas para oeste-sudoeste e há uma predominância de correntes de maré vazante durante o período chuvoso. A pluma de sedimentos do rio Amazonas estava mais próxima da área de estudo durante a estação chuvosa (~15 a 25 km), com predominância das correntes de maré vazante. Assim, pode-se concluir que o segmento das cristas de praia estudada sofre maior influência da pluma de sedimentos do rio Amazonas durante o período chuvoso, intensificando a deposição de sedimentos finos. A deslocamento das cristas de praias e o fornecimento de sedimentos têm uma forte relação com a dinâmica das marés na região.

Palavras-chave: praias amazônicas; mudanças morfológicas; sensoriamento remoto; processos oceanográficos; Foz do rio Amazonas.

ABSTRACT

Knowledge of beach environments requires an integrated morphodynamic approach using different spatio-temporal scales, in order to understand the role of coastal and marine processes in modifying beach morphology. There are some important peculiarities about these processes on the beaches of the Amazon region, such as the large hydro-sedimentary discharge from the estuaries, high rainfall rates and the high amplitude and intensity of the tidal currents, which shape the often complex beach systems, such as beach ridges. The objective of this research was to analyze the morphological dynamics of a beach ridge segment located north of the mouth of the Amazon River, in Goiabal (city of Calçoene), in the coastal ocean sector of the state of Amapá. The hypothesis is that the morphological changes in the segment of beach crest under study are influenced by the hydrosedimentary dynamics of the Amazon River. The research methodology was based on three stages: (1) determining the morphology of beach ridges and their changes (beach profile variation, sedimentary deposits and beach classification); (2) analysis of morphosedimentary processes (physical coastal agents such as tides, waves and currents, and sediment supply such as sediment plumes; (3) data integration (correlation between the processes analyzed in stage one and two). The results indicate significant average variations in the morphosedimentation of the Goiabal beach ridge system, with seasonal migration (~24 to ~42 meters) towards the mainland. Erosion and deposition on the ridges and subsequent channels averaged less than 0.30 m along the beach profiles during the seasonal cycle. The oceanographic parameters indicate an average wave height of 0.25 m and an average tidal range of 5 m. Coastal currents are directed west-southwest and there is a predominance of ebb tide currents during the rainy season. The sediment plume of the Amazon River was closer to the study area during the rainy season (~15 to 25 km), with a predominance of ebb tide currents. Thus, it can be concluded that the segment of beach crest studied has a greater influence from the Amazon River sediment plume during the rainy season, intensifying the deposition of fine sediments. The displacement of beach ridges and the supply of sediment have a strong relationship with tidal dynamics in the region.

Keywords: amazon beach; morphological changes; remote sensing; oceanographic processes; Amazon river Mouth.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 01 - Ilustração esquemática mostrando os processos propostos de formação das cristas de praias: Praia de cascalho construída por tempestade (A); Cristas de praia de areia eólica - praia reflexiva (B) e dissipativa (C); Crista de berma arenosa/com cascalho (soldagem de barra oscilante) (D); e Cristas de praia arenosa/com cascalho (oscilação do nível do mar) (E). Fonte: Tamura (2012).....5
- Figura 02 - Perfil esquemático dos limites da praia sob o ponto de vista hidrodinâmico. Fonte: Adaptado de Davis (1985).....7
- Figura 03 - Tipos de praias dominadas por maré com os subtipos praia refletiva e terraço de baixamar (corrente de retorno), praia refletiva e barra de baixamar com corrente de retorno e praia ultradissipativa, e B) praia modificada por maré (B) com os subtipos praia e terraço arenoso com cristas, praia e terraço arenoso e praia e planície de maré arenosa/lamosa. Fonte: Short (2020).....8
- Figura 04 - Representação esquemática das corrente longitudinal e deriva litorânea (praial) decorrente dos processos de refração da onda na praia. Fonte: Christopherson (2011).....11
- Figura 05 - Mapa do estado do Amapá (à esquerda), em destaque a localização da área de estudo (quadrado em vermelho). No detalhe (à direita) estão os pontos de coleta dos dados. A seta azul indica a direção da CNB no inverno (Fev-Mai). Em vermelho a direção da CNB no verão (Jun-Ago). A seta dupla preta mostra a direção da corrente de maré e as setas brancas a direção das ondas. Fonte: Figura produzida a partir da compilação de informações de Nittrouer *et al.* (1995), Geyer *et al.* (1991), Gensac *et al.* (2016), Iepa (2017). Imagem-base: Sentinel-2, composição colorida RGB, bandas NIR/Red/Green (à direita).....14
- Figura 06 - Precipitação média mensal entre os anos de 1990 – 2020 para a estação de Calçoene. Fonte: Figura produzida a partir da compilação de informações da Ana (2022), Gensac *et al.* (2016), Lentz & Limeburner (1995).....16
- Figura 07 - Fluxograma de trabalho dividido em três etapas: (1) determinação da morfologia das cristas de praias e suas mudanças; (2) análise dos processos morfossedimentares; e (3) Correlação dos dados (morfologia e processos morfossedimentares). As setas tracejadas indicam a correlação realizada.....19

- Figura 08 - Variação da morfologia por período climático (2021 - 2022) no transecto GT03 (A), GT02 (B) e GT01 (C). As setas indicam o sentido da migração das cristas de praias.....33
- Figura 09 - Variação do deslocamento e altura das cristas de praias entre os períodos climáticos no transecto GT03 (A), GT02 (B) e GT01 (C).....34
- Figura 10 - Variação dos depósitos sedimentares nos períodos seco (A e E) e chuvoso (C), e transições de períodos (B e D) e o balanço sedimentar entre os períodos sazonal climático (2021 - 2022) dos depósitos AS01, AS02, AS03 e AS04.....37
- Figura 11 - Variação do nível d'água dos períodos seco (2021 e 2022) e chuvoso (2022), e transição para o período seco (2022) para as medições realizadas no período de sizígia. O sensor S0 está localizado na zona de supramaré.....40
- Figura 12 - Mapa ilustrativo da estimativa da direção das correntes (litorâneas e maré) e ondas e sensor de pressão (A); gráfico em função da largura da zona de surf e direção das correntes litorâneas e maré nos pontos CL01 e CM01 (B) e CL02 e CM02 (C); tempo de duração das enchente, vazantes e estofo da enchente por período climático (D). O sensor S0 foi colocado na zona de supramaré da praia.....41
- Figura 13 - Dinâmica temporal e espacial da pluma de sedimentos (maré vazante) ao longo de 35 transectos, espaçamento de 1 km, ao norte Calçoene para o período de 2021 e 2022. Os quadrados são períodos secos, as bolas período chuvoso e os triângulos a transição dos períodos. Os valores de MPS utilizados para essa análise são da ordem de 60 a 80 mil mg/l.....46
- Figura 14 - Gráfico das componentes principais (PCA-1 e PCA-2) da distribuição da pluma de sedimentos por períodos climáticos a partir da análise de MPS de 2021 a 2021 imagens Sentinel-2, sensor MSI. Pontos marrons pluma localizada próximo da costa (10 a 20 km da linha d'água), pontos verdes pluma situada entre 20 a 35 km da linha d'água e pontos azuis, a pluma está concentrada após 35 km da linha d'água.....46
- Figura 15 - Relação das altitudes e as quatro classes de depósitos sedimentares em Goiabal por períodos climáticos (2021 - 2022). Tons de cinza os períodos climáticos.....48

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1 - Monitoramento sazonal dos transectos dentro de um ciclo sazonal.....	21
Tabela 4.2 - Comparativo das condições ambientais durante as coletas de dados em campo e condições das cenas Sentinel-2 órbita ponto 22NEH, selecionadas para analisar a morfologia do segmento das cristas de praia em Goiabal.....	24
Tabela 4.3 - Erro Quadrimétrico Médio (RMS) resultante do co-registro entre cenas. Indicar a cena base no quadro.....	24
Tabela 4.4 - Relação dos parâmetros usados para a geração das máscaras e classificação dos depósitos sedimentares nas imagens Sentinel-1, órbita/ponto NEH dos diferentes períodos sazonais.....	25
Tabela 4.5 - Comparativo das condições ambientais durante as coletas de dados em campo e condições das cenas Sentinel-2 órbita ponto 22NEH e os produtos OCN da imagem Sentinel-1 selecionadas para analisar as direções dos ventos ondas e correntes do segmento das cristas de praia em Goiabal.....	26
Tabela 4.6 - Monitoramento sazonal da sonda de nível d'água dentro de um ciclo sazonal....	27
Tabela 5.1 - Migração (m) e das cristas de praias (sentido oceano e continente), considerando os períodos climáticos analisados.....	34
Tabela 5.2 - Deposição e erosão (variação vertical) a partir das altitudes das cristas de praias (m) considerando os períodos climáticos analisados.....	34
Tabela 5.3 – Classificação da praia decorrente dos parâmetros morfodinâmicos e interpretação visual no segmento das cristas de praia em Goiabal por período climático.....	39
Tabela 6.1 - Direção das ondas proveniente de dados modelados e estimados nas imagens Sentinel-2, sensor MSI, por período climático.....	42
Tabela 6.2 - Dados de altura significativa, altura máxima e período da onda por períodos climáticos.....	43
Tabela 6.3 - Variação da distância e deslocamento da pluma de sedimentos por períodos climáticos.....	45

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT	vii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	viii
LISTA DE TABELAS	x
1 INTRODUÇÃO	1
2 SISTEMA PRAIAL	4
2.1 CRISTAS DE PRAIAS	4
2.1.1 Limites.....	6
2.1.2 Classificação das praias de macromarés	7
2.2 PROCESSOS MORFOSEDIMENTARES NO SISTEMA PRAIAL	8
2.2.1 Agentes oceanográficos.....	8
2.2.2 Transporte e balanço sedimentar no sistema praial.....	11
3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	13
3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO Á ÁREA	13
3.2 CARACTERÍSTICAS REGIONAIS	14
3.2.1 Aspectos climáticos regionais.....	14
3.2.2 Aspectos oceanográficos	16
3.2.3 Processos fluviais.....	17
3.2.4 Aspectos geológicos e geomorfológicos.....	18
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	19
4.1 MORFOLOGIA E MUDANÇAS DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIA	19
4.1.1 Dados topográficos.....	20
4.1.2 Dados de imagens de satélite.....	22

4.2	PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS E SEDIMENTARES DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIA.	25
4.2.1	Maré	26
4.2.2	Corrente e onda.....	27
4.2.3	Análise da Influência da Pluma do rio Amazonas.	28
4.3	CORRELAÇÃO DA MORFOLOGIA DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIA COM OS PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS E HIDROSEDIMENTARES.	29
5	ANÁLISE DAS MUDANÇAS MORFOLÓGICA DAS CRISTAS DE PRAIA EM GOIABAL	30
5.1	VARIAÇÃO DOS PERFIS DE PRAIA NA SAZONALIDADE CLIMÁTICA.	30
5.2	VARIAÇÃO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES NA SAZONALIDADE CLIMÁTICA	35
5.3	ESTADO MODAL DO SEGMENTO DAS CRISTAS DE PRAIA EM GOIABAL ..	38
6	ANÁLISE DOS PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS DAS CRISTAS DE PRAIA EM GOIABAL	40
6.1	DINÂMICA DA MARÉ LOCAL	40
6.2	DINÂMICA DA CIRCULAÇÃO COSTEIRA	42
6.3	PLUMA DE SEDIMENTOS NO OFFSHORE	44
7	MORFODINÂMICA DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIAS	47
7.1	VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA E OS PADRÕES SAZONAIS	47
7.2	VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA E OS AGENTES OCEANOGRÁFICOS	49
7.3	VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA E O SUPRIMENTO DE SEDIMENTOS	50
8	CONCLUSÕES	52
	REFERÊNCIAS	53
	ANEXO A - VARIAÇÃO DOS MPS NOS PERÍODOS SECO (NOV./2021 E OUT./2022) E CHUVOSO (MAI./2022), E TRANSIÇÕES DE PERÍODOS (FEV./2022) E JUN./2022).	59

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é composta por vários ambientes deposicionais formados dentro e no litoral das planícies costeiras, os quais preservam informações sobre múltiplas posições da costa (Boyd *et al.* 1992). Neste ambiente estão presentes as praias, formadas por sedimentos não consolidados que são depositados e remobilizados constantemente pela ação das ondas, marés e correntes (Short 1999). O que tornam elas altamente dinâmicas, espacialmente e temporalmente, em decorrência dos diferentes agentes físicos que interagem no sistema praial.

Na região amazônica, as praias e demais ambientes costeiros estão sujeitos a agentes meteorológicos e oceanográficos bem distintos de outras regiões do país (Pereira *et al.* 2009). O grande sistema de dispersão hídrica e sedimentar do rio Amazonas (Nittrouer *et al.* 1995, Anthony *et al.* 2014), em contato com as águas salgadas do Oceano Atlântico, forma uma pluma de baixa salinidade e altas concentrações de sedimentos em suspensão. A pluma expande-se para noroeste (Lentz & Limeburner 1995) e ajuda a formar extensas planícies e cabos lamosos (Anthony *et al.* 2010).

A importação desses sedimentos em suspensão para a zona costeira adjacente ocorre em virtude do regime de macromarés semidiurnas, associado a altas velocidades de correntes de maré, superiores a 2 m/s na plataforma interna (Beardsley *et al.* 1995), e velocidades acima de 0,35 m/s no litoral do Amapá (Allison *et al.* 1994). Estes e outros processos que interagem com a própria dinâmica sedimentar da zona costeira, regulam as taxas de deposição e erosão dos ambientes de sedimentação localizados ao norte do rio Amazonas (Allison *et al.* 1995).

Desta forma, a compreensão do comportamento morfodinâmico de um ambiente praial amazônico, especialmente ao norte da foz do rio Amazonas, requer o conhecimento de outras variáveis potenciais. Além dos agentes oceanográficos (ondas, marés e correntes) e meteorológicos (direção e velocidade dos ventos) que originam processos costeiros (erosão, transporte e deposição). É necessário considerar a elevada influência de agentes fluviais e climáticos, como a intensa descarga hídrica e a grande capacidade do aporte sedimentar do rio Amazonas, assim como os altos índices de precipitação com sua variabilidade climática equatorial (período chuvoso a menos chuvoso ou seco).

Para entender a relação entre os agentes oceanográficos, meteorológicas, climáticas e fluvial sobre a morfodinâmica praial ao norte do rio Amazonas, escolheu-se

o segmento das cristas de praia da região oceânica de Goiabal. Este segmento faz parte de um conjunto de outros segmentos de praias no Estado do Amapá (no total 13 já mapeados) que se estende por mais de 110 km entre o sul do Cabo Cassiporé e foz do rio Flechal (Santos *et al.* 2016b), desenvolvidos em um litoral sob erosão (Allison *et al.* 1995, Silva 2010).

Desde a década de 90 há estudos realizados no sistema das cristas de praias da costa do Amapá e seu entorno que contribuíram para o conhecimento das características geológicas (Mendes 1994, Silveira 1998), físicas (Guimarães *et al.* 2010), químicas e, mais recentemente, biológicas (Vilhena *et al.* 2021a, Vilhena *et al.* 2021b, Souza *et al.* 2021, Silva *et al.* 2020). Contudo, do ponto de vista morfodinâmico não existem estudos que permitam compreender a dinâmica da interação dos processos oceanográficos neste sistema.

Estudos nesse sentido, auxiliam no entendimento das modificações morfossedimentares da região, uma vez que as cristas de praias são usadas como indicadores deposicionais da evolução costeira, associada a progradação de linhas de costa dominadas por onda e rios (Tamura 2012). A caracterização dos processos de formação e desenvolvimento destas cristas de praias possibilita definir o grau de atuação dos agentes costeiros que influenciam a dinâmica dos processos sedimentares na região.

Pretendeu-se confirmar a hipótese de que as mudanças morfológicas do segmento das cristas de praia em Goiabal é influenciada pela dinâmica hidrossedimentar do rio Amazonas.

Este trabalho baseia-se em duas abordagens morfodinâmicas proposta por Wright (1995): (1) análises das variabilidades espaço-temporais das condições ambientais, responsáveis pelas alterações das características morfológicas do segmento das cristas de praia, e (2) análise dos processos hidrodinâmicos de interação e transformação, responsáveis por produzir padrões morfológicos e suas alterações no ambiente. Assim, o trabalho utilizou-se de uma escala local de um segmento praial e escala sazonal (1 ano), por meio de coleta de dados *in situ* e técnicas de sensoriamento remoto.

O objetivo geral consistiu em analisar a dinâmica morfológica de um segmento das cristas de praia, localizado ao norte do rio Amazonas. Para isso, definiu-se como objetivos específicos: a) Identificar e analisar a morfologia do sistema das cristas de praia em função da sazonalidade climática (2021-2022); b) Caracterizar a dinâmica dos processos morfossedimentares que atuam no sistema através da análise de agentes

oceanográficos e fluviais em escala local; c) Analisar como as mudanças morfológicas respondem aos processos morfossedimentares.

Este trabalho está organizado em sete capítulos. No primeiro capítulo é apresentado a problemática da área de estudo e hipótese levantada, bem como os objetivos geral e específicos da pesquisa. No segundo capítulo, aborda-se os sistemas de praias, a caracterização das feições sedimentares, a classificação das praias de macromarés, e posteriormente agentes oceanográficos (maré, onda e corrente) e processos costeiros (erosão, transporte e deposição) que atuam na dinâmica do sistema. No terceiro capítulo são apresentadas as principais características ambientais da área de estudo, a fim de compreender a dinâmica sedimentar do segmento das cristas de praia em Goiabal.

No quarto capítulo estão descritos o material e métodos utilizados para atender os objetivos propostos e obter resposta sobre o problema desta pesquisa. Eles estão divididos de acordo com os objetivos específicos que inclui: a) o mapeamento da morfologia do segmento das cristas de praia em Goiabal (dados topográficos e dados de imagens de satélite); b) a caracterização dos processos oceanográficos e sedimentares (maré, corrente, onda e pluma estuarina); c) a correlação entre os dados. No quinto, sexto e sétimo capítulo são apresentadas as análises dos resultados do mapeamento da morfologia (variação dos dados topográficos e dos dados derivados das imagens de satélite), a caracterização dos processos morfossedimentares (padrões da dinâmica da maré, circulação costeira e o deslocamento da pluma estuarina) e integração e correlação dos dados da morfologia e dos processos morfossedimentares. As considerações finais do trabalho são apresentadas na seção 8.

2 SISTEMA PRAIAL

Na praia há feições sedimentares, denominadas cristas de praias. Neste capítulo apresenta-se a definição dessa feição, demonstrando os primeiros modelos de evolução e fatores que influenciam no seu desenvolvimento. Posteriormente, descreve-se as zonas das praias baseadas na morfologia e hidrodinâmica, bem como as classificações das praias de macromarés.

2.1 CRISTAS DE PRAIAS

Primeiramente, a praia é uma unidade geomorfológica frontal ao mar, ou às margens de estuários, formado por sedimentos não consolidados que são depositados e remobilizados constantemente pela ação das ondas, marés e correntes (Komar 1976, Davis 1978, Short 1999, Muehe 1994). Nas costas progradantes ocorre a formação das cristas de praias, resultantes dos processos marinhos dentro da zona de dissipação das ondas, formadas na zona de intermaré e/ou supramaré ou adjacente à praia (Stapor 1975).

Segundo Taylor & Stone (1996), os primeiros modelos de origem das cristas de praias são baseados na atuação das ondas. Destaca-se o modelo proposto por Redman (1852), que aponta a construção das cristas de praias por eventos de alta energia das ondas (como ondas de tempestades) (Figura 01A), capazes de depositar o cascalho no local. Johnson (1919) apresentou um modelo baseado na atuação de ondas de baixa energia (Figura 01B e C). Diferente de Redman (1852), o autor salienta que estas ondas são importantes na fase construtiva das cristas de praias, pois as ondas de tempestade iniciavam e mantinham a erosão das cristas de praias. Nesta mesma vertente, Carter (1986) propôs o modelo de agregação de barras litorâneas que emergiu através do acúmulo de sedimentos em condições de baixa energia de ondas (Figura 01D).

Carter (1986) propôs ainda dois modelos de construção e desenvolvimento das cristas de praias: a) Tipo 1, o processo inicia-se pela acreção gradual e posterior junção de barras *swash* na zona costeira, em decorrência do transporte de sedimentos normal à costa sob condições de ondas dissipativas. A forma estrutural é caracterizada por unidades oscilantes de mergulho em direção ao mar; b) Tipo 2, o processo decorre do alongamento e posterior sondagem de barras *nearshore*, normalmente, na zona de intermaré na direção do gradiente do processo dominante, mas devido às marés contrárias, pode fixar-se transversalmente a costa. Isto ocorre à medida que as barras passam do domínio de ondas

intermediárias para reflexivas ao longo da costa. Este modelo é caracterizado na face ativa da praia por unidades de mergulho voltadas para o continente e na face interna por depressões topográficas (Figura 01).

O ambiente praial é espacialmente e temporalmente dinâmico em virtude dos diferentes agentes físicos que interagem no sistema, conseqüentemente, vão influenciar no desenvolvimento e estabilização das cristas de praias. A progressão dessa feição morfológica está associada com a disponibilidade de sedimentos no local, e isso ocorre quando as correntes litorâneas transportam mais sedimentos que as ondas conseguem remover (Johnson 1919). Assim, o tamanho, força e direção das ondas e correntes, taxa de sedimentação e natureza dos sedimentos, associado com baixo gradiente e regime de ventos, controlam as dimensões das cristas de praias (Johnson 1919, Nossin 1964).

Wright (1970), em trabalho realizado nas cristas de praias próximo de rios, concluiu que essa proximidade influencia no tipo e tamanho dos sedimentos no local. Goiabal está localizado ao norte da foz do Rio Amazonas, responsável por $7,5 \times 10^8$ ton. por ano de suprimento sedimentar na plataforma amazônica e no litoral adjacente (Nittrouer *et al.* 1995, Anthony *et al.* 2014), que ajudam também a formar extensas planícies e cabos lamosos (Anthony *et al.* 2010).

Segundo Halls (1969), as marés possuem importante papel nas modificações sazonais nas cristas de praias. Na costa amazônica, este agente é responsável pela importação dos sedimentos em suspensão para a zona costeira adjacente, devido ao regime de macromarés semidiurnas da costa, associado as altas velocidades de correntes de marés (Beardsley *et al.* 1995).

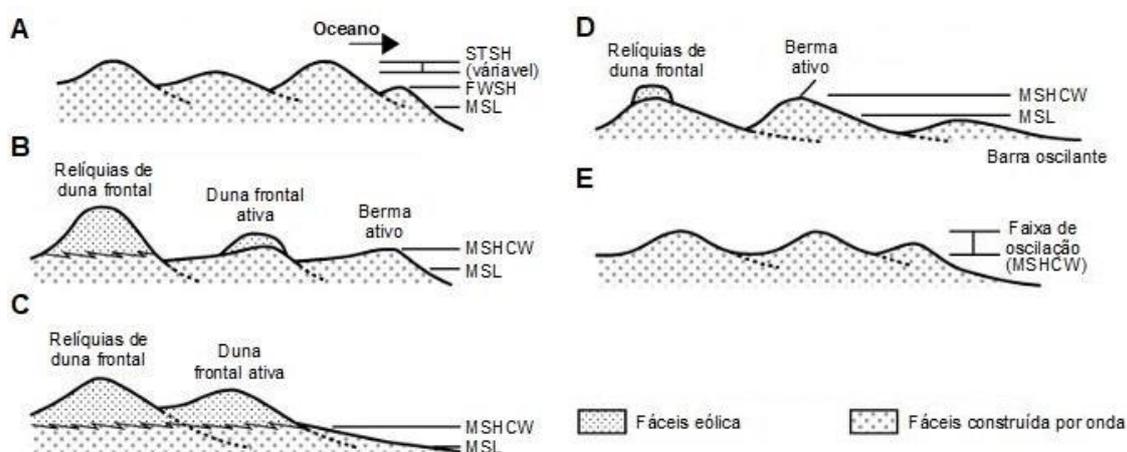


Figura 01 - Ilustração esquemática mostrando os processos propostos de formação de cristas de praias: Praia de cascalho construída por tempestade (A); Cristas de praia de areia eólica - praia reflexiva (B) e dissipativa (C); Crista de berma arenosa/com cascalho (soldagem de barra oscilante) (D); e Cristas de praia arenosa/com cascalho (oscilação do nível do mar) (E). Fonte: Tamura (2012)

2.1.1 Limites

Devido à influência principalmente da maré nos aspectos morfológicos e hidrodinâmicos na área de estudo, é apresentada a zonação proposta por Short (1999) e Davis (1985) (Figura 02).

Do ponto de vista morfológico nas áreas com influência de maré, teoricamente, pode-se delimitar a praia em três zonas (Figura 02). A zona de supramaré é a porção emersa da praia. No continente é limitada pela topografia, com a presença de falésia, duna, terraço marinho ou linha de vegetação permanente, ela é influenciada pela preamar de sizígia. A zona de intermaré é a região emersa e submersa da praia durante os ciclos de maré, está situada entre a área de atuação da preamar de sizígia (região superior), normalmente, marcada por uma feição, chamada de crista de berma, e o limite da baixamar de sizígia (região inferior). E a zona de inframaré é a porção submersa da praia, localizada a partir da baixamar de sizígia (parte superior) até onde há ação das ondas no substrato.

Do ponto de vista hidrodinâmico Davis (1985), de maneira teórica, também divide a praia em três zonas. A zona de arrebentação, corresponde a faixa onde ocorre o processo de empinamento e quebra das ondas incidentes em águas mais rasas, por isso esta faixa está associada à ocorrência de um banco arenoso seguido de uma cava. A zona de surfe corresponde ao espaço onde as ondas dissipam energias, localizada entre as zonas de arrebentação e de espraiamento, portanto, está associada ao modo de dissipação energética das ondas incidentes. Em praias com baixa declividade, as ondas quebram-se e reformam-se como ondulações na zona de surfe até chegar à zona de espraiamento. Enquanto que praias com maior declividade são dominadas por movimentos de frequência sub-harmônica. Durante o percurso das ondas, grande parte da energia é transferida para a geração de correntes longitudinais e transversais à praia. E a zona de espraiamento é a região onde se observa os processos de fluxo e o refluxo das ondulações na porção subaérea da praia (zona de intermaré), importante para o transporte e deposição de sedimentos.

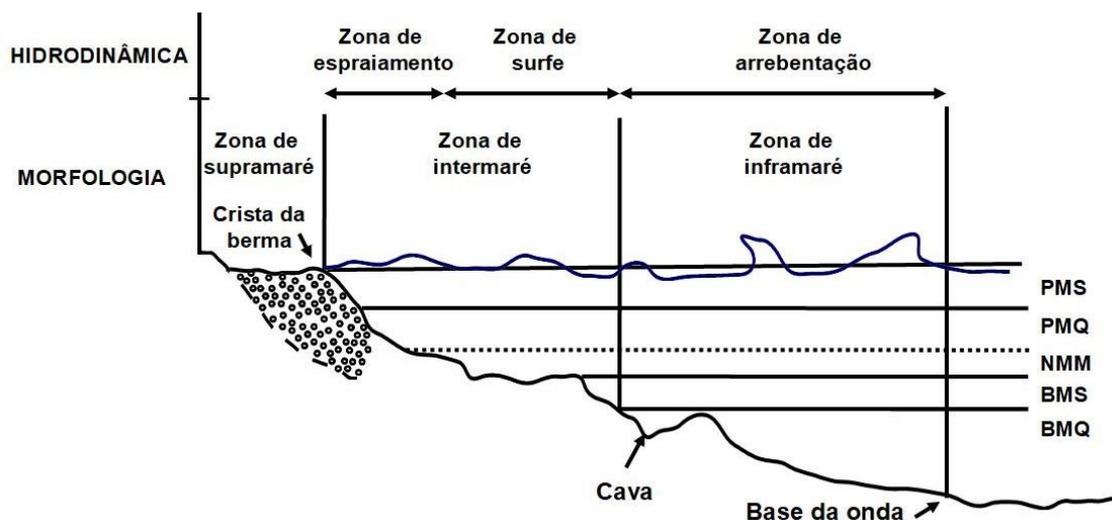


Figura 02 - Perfil esquemático dos limites da praia sob o ponto de vista hidrodinâmico. Fonte: Adaptado de Davis (1985).

2.1.2 Classificação das praias de macromarés

A morfodinâmica da praia permite caracterizar a morfologia e a dinâmica costeira (Calliari *et al.* 2003). Nesse sentido, Wright & Short (1984) propuseram um modelo de classificação de praia dominado por ondas. Contudo, este modelo foi desenvolvido em ambiente de praia de micromaré, diferente da área de estudo que se enquadra em ambiente macromaré.

Masselink & Short (1993) e Short (2006) propuseram modelos para contemplar os ambientes de macro a mesomaré, abordando tipologias e estágios morfodinâmicos que não se enquadraram na classificação das praias dominadas por ondas. Short (2006) propôs uma nova distribuição morfológica para os tipos de praia, distribuindo-as em três grupos. As praias dominando por ondas, compostas pelos seis estágios de praia descritos por Wright & Short (1984). As praias modificadas por maré, refere-se aos três subtipos de praias dominadas por maré relatado por Masselink & Short (1993). E as praias dominadas por maré e associados a plataforma rochosa, descrito pelo autor, como praia e terraço arenoso com calhas e cristas (*beach + sand ridges*), praia e terraço arenoso (*beach + sand flats*), praia e terraço de maré arenoso (*tidal sand flats*), praia e terraço de maré lamoso (*tidal mud flats*) (Figura 03).

Short (2020) propõe novos limites no parâmetro de variação relativa da maré (RTR - *Relative Tide Range*) (Masselink & Short 1994) a fim de atender às características morfológicas dos grupos supracitados e mais recentes. Dentre os parâmetros existentes, este é o mais adequado para atender as características morfológicas (presença de bancos

arenosos) e hidrodinâmicas (domínio de maré) da praia de Goiabal. Sendo assim, valores de RTR: < 3, praias dominadas por ondas; 3 e 10, praias modificadas por maré; e c) entre 10 a 50, praias dominadas por marés.

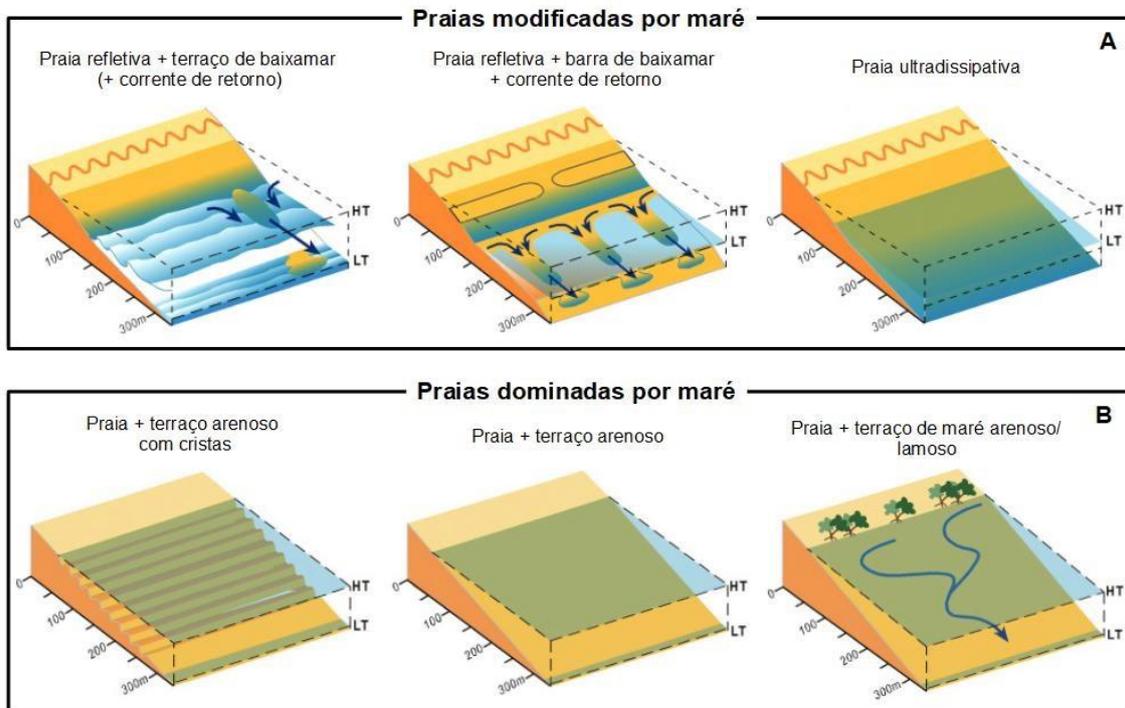


Figura 03 - Tipos de praias dominadas por maré com os subtipos praia refletiva e terraço de baixamar (corrente de retorno), praia refletiva e barra de baixamar com corrente de retorno e praia ultradissipativa, e B) praia modificada por maré (B) com os subtipos praia e terraço arenoso com cristas, praia e terraço arenoso e praia e planície de maré arenosa/lamosa. Fonte: Short (2020)

2.2 PROCESSOS MORFOSEDIMENTARES NO SISTEMA PRAIAL

Para compreender processos morfossedimentares no sistema das cristas de praia, descreveu-se a atuação dos agentes oceanográficos nos processos costeiros, bem como o transporte e balanço sedimentar no sistema.

2.2.1 Agentes oceanográficos

Os principais agentes oceanográficos que atuam na modelagem das praias são as marés, ondas e as correntes.

- Maré

A maré é um fenômeno de oscilação vertical resultante das forças de atração gravitacional da Lua e do Sol, que estão associadas à aceleração centrípeta da Terra. Em função disso, as oscilações do nível da maré podem variar em escalas de horas a anos (Hicks 2006a). Compreender esse fenômeno de acordo com a escala de análise é essencial para entender os processos de mudanças na morfologia da praia, uma vez que as correntes de maré são um dos mecanismos de transporte e deposição de material sedimentar provenientes do oceano.

As oscilações da maré podem condicionar maior ou menor transporte de sedimentos e nutrientes para a costa. Para entender essa relação da costa entre diferentes amplitudes, autores como Davies (1964), classificou a oscilação máxima da maré de sizígia em: micromaré (amplitude menor que 2 metros); mesomaré (amplitude de 2 a 4 metros); macromaré (entre 4 a 6 metros); e hipermaré (maior que 6 metros).

As oscilações máximas mensais da maré coincidem com as fases lunar, da lua cheia e nova (marés de sizígia), enquanto as menores oscilações acompanham as posições da lua quarto minguante e crescente (marés de quadratura) (Hicks 2006b).

A deposição e o transporte de sedimentos, pode ser influenciado pela assimetria de duração do tempo de enchente e vazante, baseado no princípio de conservação de volume. Eventos de enchente ou de vazante com menor duração implicam em maior velocidade e transporte de sedimentos em suspensão (French 1997).

- Onda

Os processos de transformação de energia das ondas aqui apresentados são decorrentes da análise em condições de águas rasas, a refração e difração (Dean & Dalrymple 1998).

O processo de refração (Figura 04) ocorre em decorrência do atrito da base da onda com o fundo marinho. O que provoca mudanças na direção e altura das ondas em função das variações de profundidade, assim este processo ajusta as ondas à topografia de fundo (Dean & Dalrymple 1998). Os efeitos desse processo podem ser a convergências de ondas numa mesma direção de propagação, ou seja, altas concentrações de energia das ondas convergentes podem causar maior força erosiva. Ao mesmo tempo, pode ocorrer a divergência delas, que provoca a dispersão da energia das ondas e, conseqüentemente, a

diminuição da altura das ondas que resultam em deposição de sedimentos (Dean & Dalrymple 1998).

O processo de difração das ondas ocorre pela mudança de propagação delas, causada por descontinuidade no campo da onda, em decorrência da interação com obstáculos. A energia das ondas se espalham lateralmente à direção dominante de propagação das ondas (Dean & Dalrymple 1998), ou seja, ao redor do obstáculo.

- Correntes

Na região costeira, as correntes são induzidas por ondas e pelas marés. As correntes geradas pelas ondas são formadas pela incidência das ondas de maneira oblíqua sobre a linha de costa, como as correntes longitudinais (*longshore currents*) (Figura 04). Estas correntes podem apresentar uma ou duas direções, classificadas como unidirecionais ou bidirecionais (Komar 1976).

As unidirecionais possuem duas componentes no mesmo sentido, as derivas litorâneas e deriva praial, que originam a deriva costeira (Komar 1976). As derivas litorâneas atuam no transporte de sedimentos paralelo à costa, como na zona de arrebentação e zona de surfe. E a deriva praial é responsável pelo transporte transversal de sedimentos (*cross-shore currents*) ao longo da costa. Ela ocorre em movimentos oblíquos na zona de espraiamento, representado pelo fluxo e refluxo das ondas (*uprush* e *backwash*, respectivamente) (Taggart & Schwartz 1988) (Figura 04).

As bidirecionais resultam da convergência de duas correntes longitudinais, que muitas das vezes dão origem às correntes de retorno (*rips currents*). Estas correntes também podem ter origem do encontro com obstáculo (natural ou artificial) (Komar 1976).

Outro tipo, é a corrente originária da componente horizontal do movimento da maré, denominada de corrente de maré. Ela é resultado da combinação de muitas ondas de maré, cada qual pode variar de uma onda progressiva à uma onda estacionária com diferentes períodos, comprimentos, fases e direções (King 1975). Possui caráter rotatório, em virtude da interação entre as forças astronômicas e a influência da rotação terrestre (Hicks 2006a). Os efeitos dessas correntes podem ser observados em regiões que possuem zona de arrebentação larga e na plataforma, pois tem a capacidade de mobilizar grandes quantidades de areia (Silva *et al.* 2004).

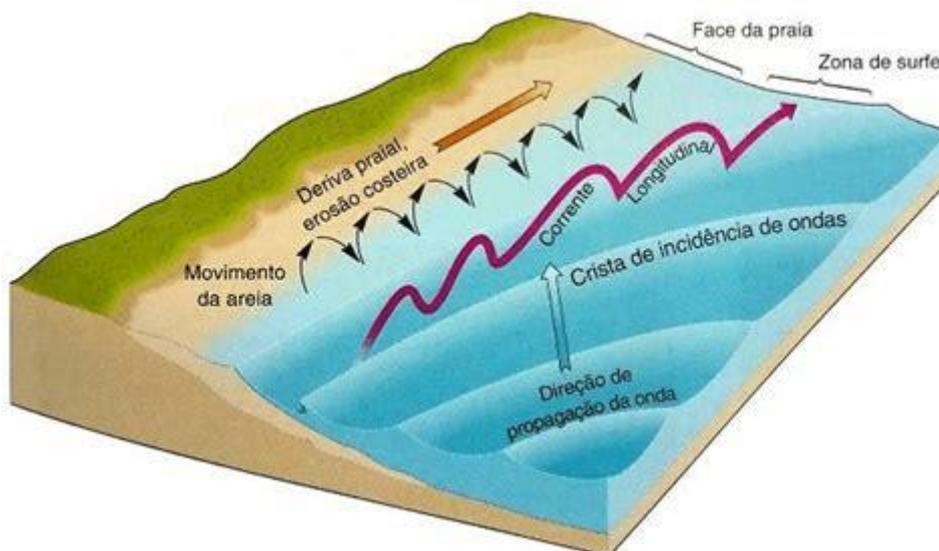


Figura 04 - Representação esquemática das correntes longitudinais e deriva litorânea (praial) decorrente dos processos de refração da onda na praia. Fonte: Christopherson (2011).

2.2.2 Transporte e balanço sedimentar no sistema praial

O transporte de sedimentos ao longo das zonas da praia ocorre, principalmente, de maneira longitudinal (Figura 04) e transversal. O transporte transversal representa o fluxo (em direção à praia) e o refluxo (em direção a plataforma) das ondas na zona de espraiamento (Taggart & Schwartz 1988). Este transporte é resultante do fluxo hidrodinâmico bidirecional perpendicular à linha de costa e de mecanismos de compensação do acúmulo das águas em direção à praia, associados ao processo de arrebentação das ondas. De acordo com Horikawa (1988), este transporte transversal à linha de costa responde pelas variações de curto prazo no estoque sedimentar praial.

O transporte longitudinal ou deriva litorânea é o encaminhamento longitudinal dos sedimentos em suspensão, mobilizados pelas ondas incidentes na zona de surfe e zona de arrebentação, podendo movê-los ao longo de vários quilômetros (Horikawa 1988). O transporte por deriva litorânea pode ser afetado igualmente pelo padrão da circulação hidrodinâmica, após a arrebentação. Este tipo de transporte pode assumir configuração unidirecional ou apresentar-se na forma de trânsito circular, induzido, principalmente, pela presença de correntes de retorno na zona de arrebentação (Carter 1988). O transporte sedimentar longitudinal é um dos principais responsáveis pelos principais processos morfossedimentares praias a longo prazo (Carter 1988), mas participa igualmente da dinâmica processual das praias no curto prazo (Horikawa 1988).

O equilíbrio ocorre quando as trocas sedimentares do ambiente praias permanecem nulas ao longo do tempo (entre períodos chuvoso e seco, por exemplo), mesmo quando esta oscilação acontecer entre os contextos extremos de erosão e de acreção, tanto pelo transporte transversal como pelo transporte longitudinal (Pikey & Cooper 2002).

3 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste capítulo são apresentados a descrição geral e caracterização da área de estudo com suas características geológicas e geomorfológicas, os agentes climáticos, oceanográficos e fluviais que interferem no suprimento sedimentar costeiro e na hidrodinâmica da região de estudo.

3.1 LOCALIZAÇÃO E ACESSO À ÁREA

A área de estudo faz parte de um sistema de praias entre o sul do Cabo Cassiporé e foz do rio Flechal no Estado do Amapá, está localizado ao norte da foz do rio Amazonas, ao sudeste da Guiana Francesa e ao oeste do Oceano Atlântico. Dentre os segmentos existentes no sistema das cristas de praias descritos por Santos *et al.* (2016b), escolheu-se o segmento na região de Goiabal (município de Calçoene/AP), adjacente aos cordões litorâneos antigos, do tipo *cheniers*. A área encontra-se entre dois canais de maré, os igarapés Goiabalzinho e Cocal, ao norte e sul do segmento, respectivamente.

O acesso à área é realizado por via terrestre, pela rodovia federal BR-156 até a sede da cidade de Calçoene (365 km), depois via ramal até Goiabal (10,5 km).

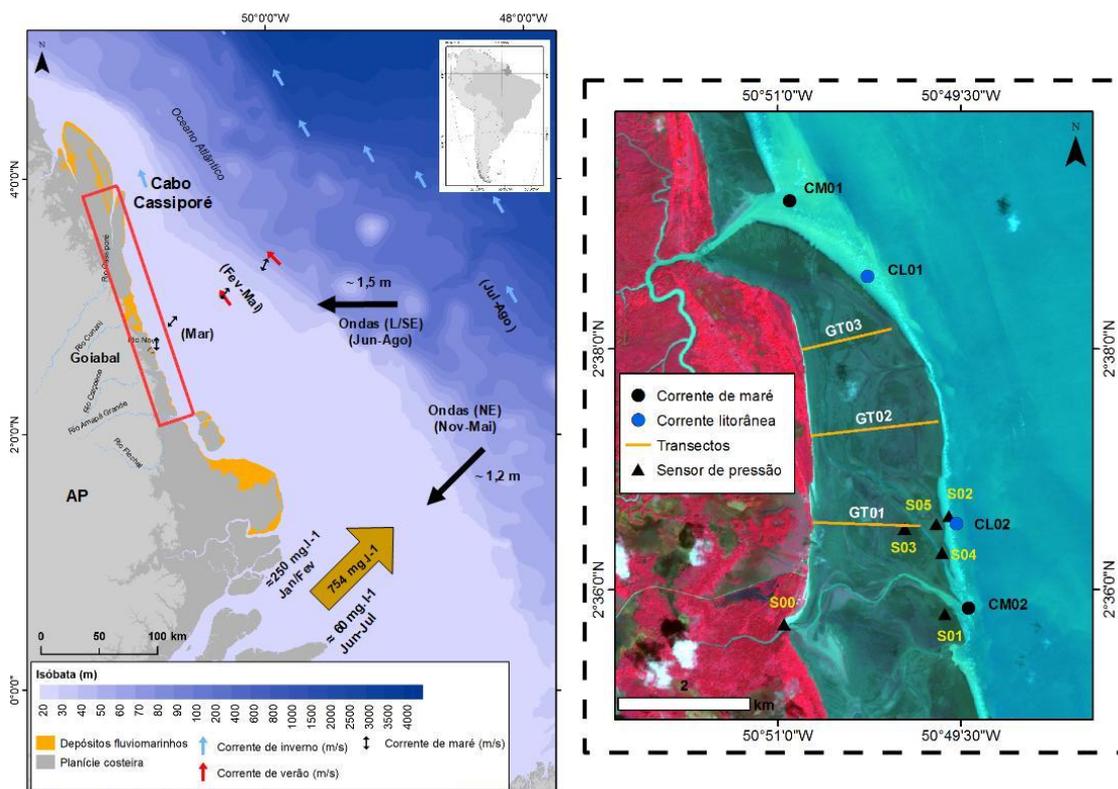


Figura 05 - Mapa do estado do Amapá (à esquerda), em destaque a localização da área de estudo (quadrado em vermelho). No detalhe (à direita) estão os pontos de coleta dos dados. A seta azul indica a direção da CNB no inverno (Fev-Mai). Em vermelho a direção da CNB no verão (Jun-Ago). A seta dupla preta mostra a direção da corrente de maré e as setas brancas a direção das ondas. Fonte: Figura produzida a partir da compilação de informações de Nittrouer *et al.* (1995), Geyer *et al.* (1991), Gensac *et al.* (2016), Iepa (2017). Imagem-base: Sentinel-2, composição colorida RGB, bandas NIR/Red/Green (à direita).

3.2 CARACTERÍSTICAS REGIONAIS

As características regionais na área ao norte da foz do rio Amazonas são descritas de acordo com os períodos climáticos amazônicos. Sendo assim, considerou-se quatro situações climáticas na região: período seco (setembro a novembro), período chuvoso (março a maio), transição do período seco-chuvoso (dezembro a fevereiro) e do chuvoso-seco (junho a agosto) (Figura 06).

3.2.1 Aspectos climáticos regionais

Os agentes climáticos, como o El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), condicionam mudanças interanuais e sazonais, respectivamente, no clima da região, pois influenciam nos regimes de circulação eólica e oceânica que vai conduzir aos processos de mistura e transporte de sedimento, como se pode observar na Figura 06.

As mudanças interanuais condicionadas pelo ENOS nos últimos 30 anos (1991 a 2022), mostram 20 anos em fases quentes (*El Niño*) e 20 anos em fases frias (*La Niña*). Entre os anos de 2021 e 2022 quando foi realizado o estudo, a área estava sob atuação da fase fria do ENOS, que resultou em maior volume de precipitações na área de estudo (<https://www.origin.cpc.ncep.noaa.gov>).

A ZCIT é responsável pelas mudanças sazonais no regime de precipitação. Nos meses de janeiro a março, quando ela está mais próxima da Linha do Equador, ocorrem meses chuvosos e ventos fortes. A partir de abril, a ZCIT migra em direção ao Norte e retorna (direção ao Sul) em setembro (Gensac *et al.* 2016), que resulta em meses com menor ou nenhuma precipitação (setembro a novembro)(Figura 06).

A área apresenta valores de precipitação acima de 500 mm durante a maior parte do ano (janeiro a maio). O período chuvoso (março a maio) apresenta volume de precipitação de ~600 mm), enquanto que no período seco (setembro a novembro), o volume de precipitação está abaixo de 100 mm. As transições dos períodos climáticos possuem diferenças entre si, nos meses de dezembro a fevereiro ocorre maior volume de precipitação e nos meses de junho a agosto acontece o menor volume de precipitação das transições (Figura 06).

Na plataforma continental amazônica, os ventos variam de velocidade e direção ao longo do ano. Na transição para o período chuvoso (Dez – Fev), os ventos possuem as maiores velocidades (~6.4 m/s) com alcance máximo em fevereiro (6.5 m/s), a direção fica para NE (50°). No período chuvoso (Mar – Mai) e na transição para o período seco (junho e julho) as direções mudam para E/SE (100°) e as velocidades diminuem para 4 m/s. A partir do período seco (Set - Nov), ocorre o retorno da direção dos ventos para NE e aumento da velocidade para 5 m/s⁻¹ (Gensac *et al.* 2016).

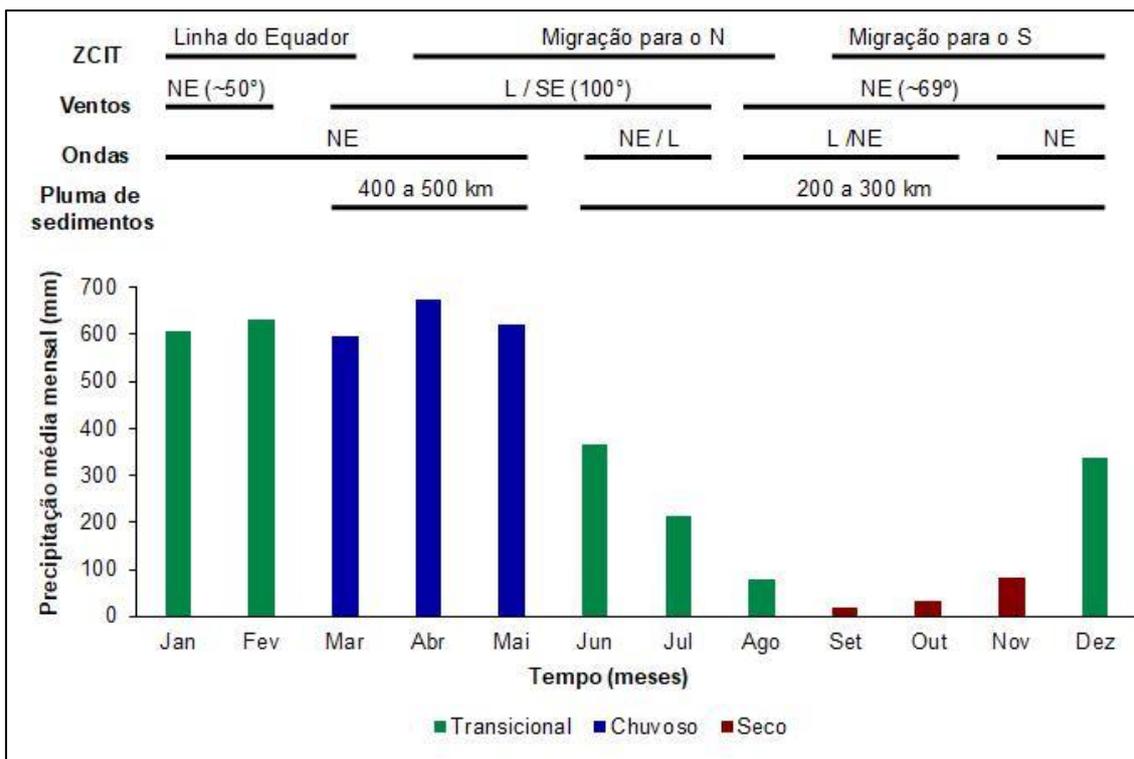


Figura 06 - Precipitação média mensal entre os anos de 1990 – 2020 para a estação de Calçoene. Fonte: Figura produzida a partir da compilação de informações da Ana (2022), Gensac *et al.* (2016), Lentz & Limeburner (1995).

3.2.2 Aspectos oceanográficos

- Marés e correntes

Na zona costeira amazônica, as marés são de natureza semidiurna, condicionadas em dois momentos de transporte e deposição de sedimentos durante o dia lunar, possui fluxo na zona de submaré, na plataforma continental, direcionadas para o noroeste (Geyer *et al.* 1991).

Próximo ao Goiabal, entre a foz do rio Cunani e o do rio Calçoene, foram registradas oscilações máximas de 4 m (Iepa 2017) durante a maré de sizígia. O que classifica este local sobre o regime de macromaré, de acordo com a classificação de Davies (1964).

As marés atuam em direção perpendicular à linha de costa e nas oscilações quinzenais da maré também são observadas variação da intensidade das correntes de maré (Geyer *et al.* 1991). Geyer & Kineke (1995) registraram na desembocadura do rio Amazonas correntes de 2 m/s (maré sizígia) e 0,7 m/s (marés de quadratura). No rio Novo, localizado cerca de 6 km, ao norte da área de estudo foram registradas intensidades

máximas de corrente de 1,06 m/s durante marés de enchente e intensidades mínimas de 0,73 m/s na maré vazante no período chuvoso (em março) (Iepa 2017).

Quanto às correntes marítimas, a principal corrente que atua na região é a Corrente Norte do Brasil (CNB), proveniente da Corrente Sul Equatorial. Ela é a principal responsável pelo deslocamento da pluma de sedimentos proveniente do rio Amazonas para a costa do Amapá e para a costa da Guiana Francesa (Nittrouer *et al.* 1995). As correntes de verão apresentam máximas velocidades (1,35 a 1,85m/s) durante a transição para o período chuvoso (Dez - Fev) e as correntes de inverno com maior velocidade (1,6 m/s) na transição para o período seco (Jul - Ago) (Iepa 2017).

- Ondas

As ondas coincidem com as direções dos ventos (Figura 06). Na plataforma continental amazônica, na transição para o período chuvoso amazônico (Dez – Fev), as ondas são do quadrante NE e possuem as maiores alturas significativas, com máxima de 1,5 m em fevereiro. Na transição para o período seco (Jun – Ago), as direções das ondas mudam para o quadrante NE/E, as alturas diminuem com mínima altura em agosto, e com direção vindas de E. No período seco (Set - Nov), a onda incide na direção E/NE e ocorre o aumento novamente da altura delas (Geyer *et al.* 2016). Próximo à área de estudo foi registrado altura de até 0,5 m (Iepa 2017).

3.2.3 Processos fluviais

A descarga hídrica do rio Amazonas é a principal responsável pelo aporte sedimentar na plataforma amazônica e para o adjacente litoral. Representa $7,5 \times 10^8$ ton. por ano de suprimento de sedimentos (Nittrouer *et al.* 1995, Anthony *et al.* 2014). A sua descarga líquida tem seu pico máximo em julho ($2,4 \times 10^5$ m³/s) e mínimo em novembro (1×10^5 m³/s) (Gensac *et al.* 2016).

Devido mudança nos ciclos hidrológicos dos principais afluentes do rio Amazonas (como rio Negro, Madeira e Solimões) ocorre diferenças entre os pico da descarga sólida (máximo em março – $1,1 \times 10^8$ ton. por mês, e mínimo em outubro - 3×10^7 ton. por mês) e o pico de descarga dos materiais particulados em suspensão (MPS) (máximo em janeiro ou fevereiro de ~ 250 mg/l, e mínima em junho e junho de ~ 60 mg/l) que formam um pluma de sedimentos do rio Amazonas (Gensac *et al.* 2016).

Quando a pluma entra em contato com as águas do oceano (alta salinidade) se desloca para norte da foz do Amazonas na plataforma continental devido ao regime de macro a hipermaré semidiurna, altas velocidades das correntes marítimas e ventos de NE (Beardsley *et al.* 1995, Gensac *et al.* 2016, Lentz & Limeburner, 1995).

A variação dessas e de outros agentes contribuem para modular a extensão da pluma de sedimentos do rio Amazonas na plataforma continental (Anthony *et al.* 2014). A pluma desloca-se cerca de 400 a 500 km em março e maio (período chuvoso), e 200 a 300 km entre junho a dezembro (após o período chuvoso e seco) (Lentz & Limeburner 1995) (Figura 06).

3.2.4 Aspectos geológicos e geomorfológicos

A região de Goiabal está inserida no domínio marinho da planície costeira, caracterizada por relevo plano e baixo (<30 m) (Silveira 1998) com presença de depósitos sedimentares efêmeros que recobre lamas superconsolidadas durante períodos de progradação costeira (Allison *et al.* 1995, Nittrouer *et al.* 1991).

Nesta região, desde a década da 90, há indícios de configuração de um sistema de praia, na forma de uma cunha arenosa, mas é recoberta de maneira abrupta por sedimentos argilosos na zona de intermaré (Mendes 1994), e formam feições geomorfológicas de cristas de praias ou cordões arenosos (Silveira 1998).

Em estudo posterior, Santos (2016a) mapeou esses depósitos arenosos do litoral atlântico do Amapá como sistemas de praias dissipativas de areia fina exposta, associada a uma planície de maré arenosa exposta. No mesmo ano (Santos *et al.* 2016b) classificou esses depósitos como parte de um sistema das cristas de praias, localizados entre o sul do Cabo Cassiporé e rio Flechal, formado por 13 segmentos (~110 km) e composto de areia fina, com inclinação de 2°, seguido por uma região mais plana, que possui cerca de 2 km. Os sedimentos arenosos de acordo com Mendes (1994) são provenientes de fontes próximas do embasamento pré-cambriano e sedimentos terciários transportados pelas drenagens que cortam os terrenos na região.

Em direção ao continente esses sistemas estão em contatos com manguezais (Iepa 2017) e planícies de cheniers estudadas por Silveira (1998).

4 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento da pesquisa foi realizado pelo método descritivo e comparativo com o intuito de analisar a relação entre as mudanças morfológicas do segmento das cristas de praia em Goiabal e os processos oceanográficos, bem como a influência do aporte sedimentar do rio Amazonas. Para isso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica sistemática, coleta de dados em trabalho de campo e análises de dados derivados de sensores remotos.

Os dados foram analisados em escala local, abrangendo um segmento do sistema das cristas de praia em Goiabal, e escala temporal de 2021 a 2022, utilizando dados multiespectrais do satélite Sentinel-2 que foram correlacionados, com dados de campo coletados durante o período de um ano (Tabela 4.1) (Figura 07).

O material e métodos utilizados na coleta e processamento dos dados estão descritos com mais detalhe nas seções seguintes.

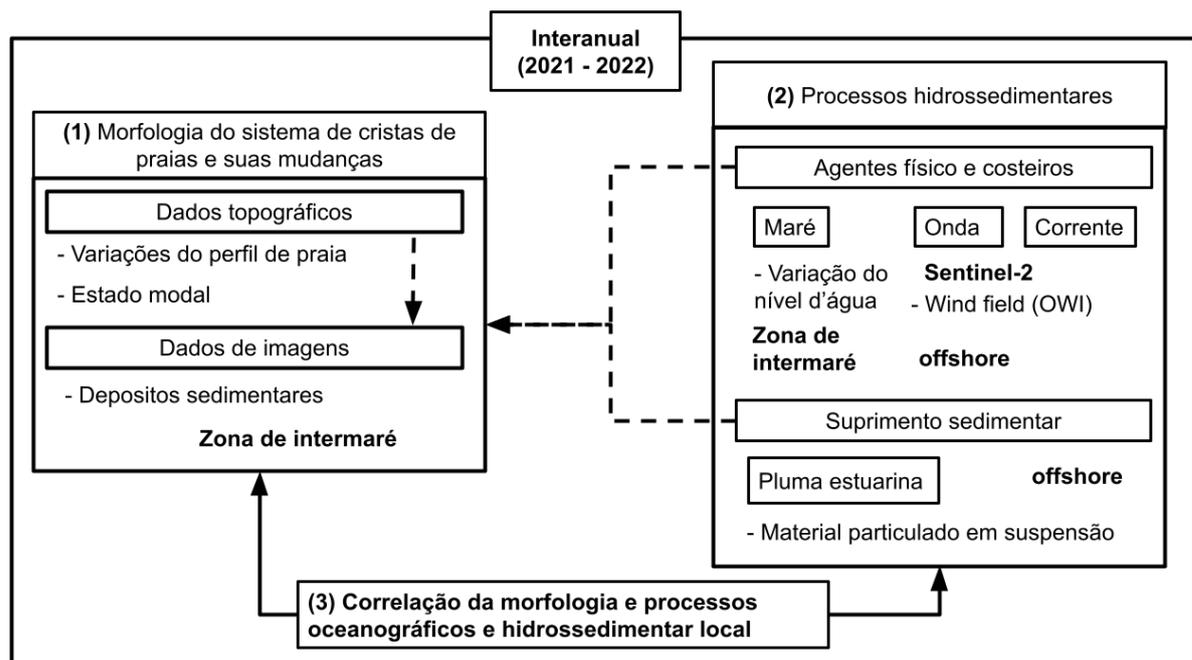


Figura 07 - Fluxograma de trabalho dividido em três etapas: (1) determinação da morfologia das cristas de praias e suas mudanças; (2) análise dos processos morfossedimentares; e (3) Correlação dos dados (morfologia e processos morfossedimentares). As setas tracejadas indicam a correlação realizada.

4.1 MORFOLOGIA E MUDANÇAS DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIA

O mapeamento da morfologia do segmento das cristas de praia aconteceu por meio de coleta de dados topográficos (feições sedimentares) e dados de satélite (depósitos sedimentares,

estado modal) com intuito identificar e analisar os padrões de mudanças do segmento durante um período sazonal.

Os dados de campo foram coletados mediante receptores GNSS, marca Topcon, modelo Hiper II, a fim de obter perfis topográficos e, posteriormente, identificar as cristas de praias. Os dados derivados de sensores remotos ocorreram através de imagens multiespectrais do satélite SENTINEL-2, sensor MSI. A escolha desse satélite está baseada na resolução geométrica (10 e 20 m) que possibilita mapear os depósitos sedimentares e identificar o estado modal, e associado com a resolução temporal (10 dias) permite realizar monitoramento dos mesmos.

Os dados foram coletados entre os anos de 2021 e 2022, nos períodos sazonais amazônicos, e a coleta aconteceu na zona de intermaré do segmento das cristas de praia (2021-2022) (Tabela 4.1 e 4.2).

4.1.1 Dados topográficos

- Variações do perfil de praia

Inicialmente, planejou-se cinco transectos transversais com espaçamento de 1,3 km mediante a análise de imagem SENTINEL-2 (15 de setembro de 2021, sensor MSI), próximo a baixamar, considerando a área (aproximadamente 6 km de extensão e 2 km de largura), a variabilidade de substratos e os canais de maré no segmento das cristas de praia. Para o monitoramento sazonal, considerou-se os períodos climáticos e escolheu-se três transectos que melhor representavam o segmento: a) GT01 composto de substrato arenoso e lamoso (porção sul do arco de praia); b) GT02 possui maior comprimento e apresenta substrato arenoso e lamoso (região central do arco de praia); c) GT03 possui somente substrato arenoso (porção norte do arco de praia) (Figura 05).

Realizou-se cinco períodos de coleta de dados *in situ*, mas devido a danos no equipamento, os dados da última coleta foram inconsistentes (dezembro de 2022 – transição para o período seco) (Tabela 4.1).

A coleta de dados topográficos foi realizada pelo método de posicionamento diferencial e a técnica GPS diferencial (*Differential Global Positioning System* – DGPS), no modo cinemático. O receptor em modo base (estação de referência) foi instalado no marco geodésico (IEPA10 ou IEPA11), construídos e materializados na zona de supramaré a fim de obter maior alcance na transmissão das correções diferenciais. O receptor em modo rover

(estação móvel) foi fixado no carrinho ou prancha adaptada com auxílio de um suporte de alumínio, altura 11 e 16 cm, respectivamente. Os dados foram coletados a cada 5 segundos (modo base) e 1 segundo (modo rover) durante os períodos de marés de sizígia, em situação de baixamar (BM).

Tabela 4.1 - Monitoramento sazonal dos transectos dentro de um ciclo sazonal.

Sazonalidade climática	Data de coletas (<i>in situ</i>)	Transectos	Tipo de maré	Fase da maré
Período Seco	19 a 21/11/2021	GT01, GT02 e GT03	Sizígia	BM
Transição de períodos	16 a 18/02/2022	GT01, GT02 e GT03	Sizígia	BM
Período Chuvoso	15 a 17/05/2022	GT01, GT02 e GT03	Sizígia	BM
Período Seco	24 a 26/09/2022	GT01, GT02 e GT03	Sizígia	BM

No laboratório, adquiriu-se as efemérides precisas (arquivos e correções dos relógios dos satélites), disponibilizadas pelo *International GNSS Service* (IGS). Realizou-se o pós-processamento dos dados no software *Topcon Tools* (mesmo fabricante do equipamento), a fim de obter coordenadas corrigidas e suas precisões (verticais e horizontais) e desvio padrão para cada transecto.

A filtragem ocorreu com a remoção dos pontos: a) valores de desvios padrão altos (acima de 0,5), dados espúrios (pontos cujo posicionamento foram alocados fora do transecto e que não correspondem à realidade dos levantamentos); e b) erros dos satélites na captura dos dados. Para auxiliar no tratamento dos dados, exportou-se as coordenadas em formato *Shapefile* e usou-se fotografias geoespacializadas dos locais de realização dos transectos. Foram realizadas coletas de amostras de sedimentos a cada 100 metros, porém essas amostras não foram utilizadas nesta análise da dissertação. Ficando para trabalhos futuros.

As coordenadas foram representadas em perfil topográfico no programa *Excel*, no eixo vertical foi expresso a altimétrica em metros e no eixo horizontal, a distância metros (eixo horizontal). No perfil, identificou-se as cristas de praias por interpretação visual, conforme a descrição de Taylor & Stone (1996), e as extraiu-se as coordenadas das cristas de praias para realizar seu monitoramento.

No monitoramento, realizou-se três análises (Tabela 4.1): a) seco (Nov/2021) e transição para o chuvoso (Fev/2022); b) transição para o chuvoso (Fev/2022) e o chuvoso (Mai/2022); e c) chuvoso (Mai/2022) e seco (Set/2022). Nos resultados das análises, definiu-se nos dados de alturas, erosão da crista nos resultados negativos e deposição quando valor for positivo. Nos dados de distâncias, deslocamento da crista em direção ao continente quando o resultado for negativo e deslocamento em direção ao oceano, se o valor for positivo.

Nas análises entre os períodos realizou-se estatística descritiva univariada, como medidas de tendência central (média, valor máximo e mínimo) e medidas de dispersão (desvio padrão). E para auxiliar nesta análise, geoespacializou-se as cristas de praias e usou-se imagens de Sentinel-2, sensor MSI, em cada coleta.

- Estágios morfodinâmicos

A caracterização do estágio modal ocorreu através do cálculo da Amplitude Relativa da Maré (*Relative Tide Range*) ou RTR (Masselink 1993), expresso pela equação abaixo. A classificação da praia ocorreu pelo limite proposto por Short (2020). Para auxiliar na interpretação dos dados, usou-se a faixa espectral do SWIR-1 do satélite SENTINEL-2, onde identificou-se por interpretação visual as feições morfológicas descritas em Short (2006) para a classificação da praia, como a presença de cúspides na praia, banco /e terraço e corrente de retorno.

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

Onde TR é a variação média da maré em metros e Hb é a altura significativa (m) das ondas na arrebentação (valores provenientes de análise dos dados coletados pelo sensor de pressão) - metodologia da coleta descrita no item 4.2.1

4.1.2 Dados de imagens de satélite

- Depósitos sedimentares

As imagens de satélite, órbita/ponto 22NEH, foram acessadas de forma gratuita, no banco de dados da Agência Espacial Europeia (*European Space Agency* - ESA (<https://scihub.copernicus.eu>)). Adotou-se os seguintes critérios na escolha das cenas: a) escala interanual (2021-2022); b) Escala sazonal (períodos climáticos amazônicos e transição de períodos); d) oscilação diária da maré (próximo da baixamar); e) cenas próximas as datas de coleta de campo; e f) condições técnicas das imagens, como cobertura mínima de nuvens sobre o sistema praial (Tabela 4.1).

As imagens selecionadas estão no Nível 1C (correção radiométrica e geométrica; ortorretificação, e reflectância no topo da atmosfera). Para este trabalho usou-se as faixas do

visível (*Blue, Green e Red*), infravermelho próximo (NIR) e infravermelho de ondas curtas (SWIR-1). E realizou-se os seguintes processamentos nas cenas a fim de obter mais detalhes das feições de interesse: a) conversão para reflectância de superfície através da técnica Sentinel Atmospheric Correction (Main-Knorn *et al.* 2017); b) redução dos pixels da faixa *Shortwave Infrared* (SWIR-1) para 10 m por meio da técnica super-resolution de Brodu (2017), no programa SNAP; e c) realce das feições de cristas de praias através especificação de histograma (Gonzalez e Woods 2000).

Para comparar os resultados entre as imagens, realizou-se o co-registro pelo método imagem-imagem (Jensen 1986) com objetivo de ajustar o posicionamento dos pixels de diferentes datas de imagens e assim comparar os resultados entre as cenas (Tabela 2). A imagem de referência é a cena de 20 de outubro de 2022), com objetivo de ajustar o posicionamento dos pixels, devido ao deslocamento dos pixels de diferentes datas de imagens.

O mapeamento dos objetos de interesse ocorreu por classificação não-supervisionada, utilizando a técnica do *Objeto-Basead Image Analysis* (OBIA) no programa Ecognition. Os modelos e algoritmos usados estão descritos na Tabela 4.4. Os erros no mapeamento foram editados manualmente.

Definiu-se três níveis de mapeamento (Tabela 4.4), no Nível 1 e Nível 2 criou-se máscaras para isolar a zona de intermaré e assim melhorar o desempenho do algoritmo de classificação e diminuir o tempo de edição dos dados. No Nível 3 estimou-se os depósitos sedimentares com o mapeamento do Índice de Água de Diferença Normalizada Modificada - MNDWI (Xu 2006), usou-se o modelo *multi-threshold segmentation* (Cuevas *et al.*, 2010). Este índice atenua o ruído do solo e da vegetação na resposta espectral das feições aquáticas, pois usa a faixa do infravermelho de onda curta.

De acordo com a resposta do índice (valor mais próximo de -1, representa maior quantidade de água no solo) e dados de campo (dados altimétricos, registros fotográficos e observação visual.), definiu-se quatro classes de depósitos sedimentares baseado no teor de água no solo (Tabela 4.4).

As classes AS01 e AS02 são depósitos sedimentares com maior teor de água. Estas classes está localizada na altimetria baixa e relevo plano, está mais sujeito à ação da maré e acúmulo de chuva, é composto de substrato menos permeável (sedimento lamoso) e matéria orgânica, que ajudam a reter água no solo, favorecendo a umidade no solo. E as classes AS04 e AS03 representam depósitos sedimentares com menor teor de água. As classes estão situadas na altimetria alta e relevo inclinado, está menos sujeito à ação da maré e acúmulo de chuva, é

composto de substrato mais permeável (sedimento arenoso), que facilita a absorção de água no solo.

Posteriormente, realizou-se o monitoramento dos depósitos sedimentares em quatro momentos abrangendo os períodos e a transição dos períodos: a) período seco (Nov/2021) e transição para o período chuvoso (Fev/2022); b) transição do período seco (Fev/2022) e período chuvoso (Mai/2022); c) período chuvoso (Mai/2022) e transição para o período seco (Jun/2022); e d) transição para o seco (Jun/2022) e período seco (Out/2022). Definiu-se, erosão os resultados dos cálculos for valor negativo e deposição quando o resultado for positivo. A análise dos dados entre os períodos climáticos ocorreu por meio de estatística descritiva univariada, como medidas de tendência central (média, valor máximo e mínimo).

Tabela 4.2 - Comparativo das condições ambientais durante as coletas de dados em campo e condições das cenas Sentinel-2 órbita ponto 22NEH, selecionadas para analisar a morfologia do segmento das cristas de praia em Goiabal.

Sazonalidade climática	Dados de campo			Imagem Sentinel-2			
	Data de coletas de campo	Tipo de maré	Fase da maré	Data da passagem	Hora da passagem	Tipo de maré	Fase da maré
Período Seco	19 a 21/11/2021	Sizígia	BM	29/11/2021	10:51:11	Quadratura	BM
Transição de períodos	16 a 18/02/2022	Sizígia	BM	27/02/2022	10:51:21	Sizígia	BM
Período Chuvoso	15 a 17/05/2022	Sizígia	BM	28/05/2022	10:51:21	Sizígia	BM
Transição de períodos	*	*	*	12/06/2022	10:47:09	Sizígia	BM
Período Seco	24 a 26/09/2022	Sizígia	BM	20/10/2022	10:47:09	Sizígia	BM

* Sem dados de campo

Tabela 4.3 - Erro Quadrimétrico Médio (RMS) resultante do co-registro entre cenas. Indicar a cena base no quadro.

Data da imagem	Data da imagem de referência	Número de pontos de controle	X (pixel)	Y (pixel)	RMS
29/11/2021	20/10/2022	18	10	10	0,345665
27/02/2022	20/10/2022	13	10	10	0,389842
28/05/2022	20/10/2022	10	10	10	0,370046
12/07/2022	20/10/2022 ¹	12	10	10	0,256762

*Imagem de referência.

Tabela 4.4 - Relação dos parâmetros usados para a geração das máscaras e classificação dos depósitos sedimentares nas imagens Sentinel-1, órbita/ponto NEH dos diferentes períodos sazonais.

Níveis	Segmentação				Classificação		
	Algoritmo	Escala	Forma	Compacidade	Algoritmo	Atributos	Classes

N1	Multiresolution	35	0.2	0.8	Membership Functions	Brightness	Sombra_nuvens
N1	Multiresolution	35	0.2	0.8	Assign Class	B2	Nuvens
N1	Multiresolution	35	0.2	0.8	Assign Class	NDVI	Terra
N1	Multiresolution	35	0.2	0.8	Assign Class	NDWI	Corpos_agua
N2	Multiresolution	500	0.1	0.5	Membership Functions	NDWI	Agua
N2	Multiresolution	500	0.1	0.5	Membership Functions	NDWI	Zona_Intermare
N3	Multi-limiar	10		0.08	Multi-limiar	NDWI	AS04
N3	Multi-limiar	10		0.2	Multi-limiar	NDWI	AS03
N3	Multi-limiar	10		0.6	Multi-limiar	NDWI	AS02
N3	Multi-limiar	10		1	Multi-limiar	NDWI	AS01

4.2 PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS E SEDIMENTARES DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIA.

A caracterização dos processos oceanográficos e sedimentares ocorreu através da coleta de dados de campo (amplitude da maré e altura das ondas) e dados de satélite (direção das onda e correntes, pluma de sedimentos) com intuito de discriminar os padrões de atuação dos mesmos na dinâmica no segmento durante um período sazonal.

Os dados de campo foram coletados por meio de sonda de nível d'água, marca HOB0, modelo U20-001-02, 1 Hz, com intuito de identificar a dinâmica da maré e o clima de ondas. Posteriormente, os dados foram referenciados em um plano geodésico local, através da coleta de dados altimétricos dos locais dos sensores, obtidos pelo receptor GNSS, marca Topcon, modelo Hiper II. Os dados derivados de sensores remotos foram obtidos por meio de imagens do satélite SENTINEL-2, sensor MSI (4.1.2). A escolha ocorreu em função da resolução geométrica (10 e 20 m) que permite discriminar os padrões de direção das correntes de maré e derivas litorâneas, bem como mapear a pluma de sedimentos, e associado com sua resolução temporal (10 dias) possibilita monitorar os mesmos.

Para auxiliar na interpretação e validação dos dados de ondas usou-se produtos nível 2, o *Ocean Wind field* (modo de aquisição IW) decorrente da imagem SENTINEL-1, no formato *shapefile* (Tabela 4.5), disponível no banco de dados da ESA (<https://scihub.copernicus.eu>). Os critérios de escolha estão descritos no item 4.1.2.

Tabela 4.5 - Comparativo das condições ambientais durante as coletas de dados em campo e condições das cenas Sentinel-2 órbita ponto 22NEH e os produtos OCN da imagem Sentinel-1 selecionadas para analisar as direções dos ventos ondas e correntes do segmento das cristas de praia em Goiabal.

	Dado de campo	Imagem Sentinel-2	Sentinel-1
--	---------------	-------------------	------------

Sazonalidade climática	Data de coletas de campo	Tipo de maré	Data da passagem	Tipo de maré	Data da passagem	Hora da passagem	Tipo de maré
Período Seco	19 a 21/11/21	Sizígia	29/11/21	Quadratura	26/11/21	09:05:09	Quadratura
Transição de períodos	16 a 18/02/22	Sizígia	27/02/22	Sizígia	18/02/22	06:05:09	Sizígia
Período Chuvoso	15 a 17/05/22	Sizígia	28/05/22	Sizígia	25/5/22	06:05:09	Sizígia
Transição de períodos	-		12/06/22	Sizígia	18/6/22	08:05:09	Sizígia
Período Seco	24 a 26/09/22	Sizígia	20/10/22	Sizígia	16/10/22	13:05:09	Quadratura

A coleta dos dados ocorreu entre os anos de 2021 e 2022, nos períodos sazonais climáticos amazônicos. A área de coleta foi a zona de intermaré (maré e onda), a zona de surfe (onda e corrente) e a zona de offshore (pluma de sedimentos) (Tabela 4.1 e 4.2).

4.2.1 Maré

Inicialmente, planejou-se coletas de dados em um ponto fixo na zona de intermaré e na supramaré, mas por causa da instabilidade e a falta de estrutura física na zona de intermaré, que provocou perda do equipamento (fevereiro de 2022), e o monitoramento sazonal, a coleta ocorreu somente na zona de intermaré e em diferentes locais da mesma. O sensor registrou dados a cada 5 minutos (planejamento inicial de campo), 20 segundos (período seco de 2021) e 25 segundos (período seco, chuvoso e transição de período de 2022) (Tabela 4.6, Figura 05).

No início ou final da coleta da sonda obteve-se dados altimétricos pelo método de posicionamento diferencial, usando a técnica GPS diferencial no modo estático. O receptor em modo base foi fixado no marco geodésico (IEPA10 ou IEPA11) e o receptor em modo rover foi posicionado nos locais das sondas de nível d'água com auxílio de um bastão. Os dados foram coletados a cada 5 segundos (modo base) e 1 segundo (modo rover) durante os períodos de marés de sizígia, em situação de BM. A metodologia para o pós-processamento dos dados altimétricos está descrita no item 4.1 (Dados topográficos).

Tabela 4.6 - Monitoramento sazonal da sonda de nível d'água dentro de um ciclo sazonal.

Sazonalidade climática	Data de coletas de campo	Sensor de pressão	Taxa de coleta	Local da coleta	Tipo de Maré	Fase da maré
------------------------	--------------------------	-------------------	----------------	-----------------	--------------	--------------

Período Seco	20 a 21/09/2021	S0	5 min	Zona de supramaré	Sizígia	
Período Seco	20 a 21/09/2021	S1	5 min	Zona de intermaré	Sizígia	BM
Período Seco	19 a 20/11/2021	S2	20 seg	Zona de intermaré	Sizígia	BM
Período Seco	24 a 27/09/2022	S4	25 seg	Zona de intermaré	Sizígia	BM
Período Chuvoso	15 a 18/05/2022	S3	25 seg	Zona de intermaré	Sizígia	BM
Transição de períodos	07 a 10/12/2022	S5	25 seg	Zona de intermaré	Sizígia	BM

No software *HOBOWare Pro* (mesmo fabricante do equipamento) os dados de pressão foram convertidos em metros da coluna d'água por meio da constante de pressão barométrica e usou-se como nível de referência da água, os dados altimétricos processados. Posteriormente, definiu-se o mesmo referencial de taxa de coleta por meio do filtro da média móvel no *software Matlab*.

Na análise dos resultados utilizou os dados de duração da maré (enchente, vazante e estofo de enchente) e a variação de nível d'água apresentado na forma de gráfico.

4.2.2 Corrente e onda

A coleta de dados de onda *in situ* são provenientes da sonda do nível da maré, desta forma os parâmetros e locais de coletas estão descritos no tópico da maré (subtópico 4.2.1, Tabela 4.6, Figura 05). Os dados de altura e período das ondas foram obtidos pelo o método de cruzamento de zero ascendente e de zero descendente no *software Matlab*.

Os dados de ondas e corrente derivados das imagens Sentinel-2 ocorreram por interpretação visual das feições dos objetos de interesse. Os critérios de escolha das cenas e processamento realizados estão descritos no tópico Morfologia e mudanças do sistema das cristas de praia (subtópico Dado de Imagem – 4.1.2).

Nos dados de direção de ondas, usou-se as feições decorrentes do contraste visual das tonalidades da massa de água provocada pela circulação costeira, perceptível na composição RGB (NIR-Red-Green). Para auxiliar na interpretação dos dados usou-se direção de ventos provenientes da imagem Sentinel-1 (produtos ONC) para cada coleta (Tabela 4.5).

Nos dados de direção de correntes obteve-se produtos resultantes das ondas (correntes litorâneas) e maré (corrente de maré) em dois pontos de observação. Nas correntes litorâneas, usou-se as feições decorrentes da alta refletância gerada pela turbulência das partículas de água

na zona de surfe, perceptível na faixa do vermelho. E nas correntes de maré usou-se a morfologia dos canais de maré para discriminar as feições, perceptível na composição RGB (NIR-Red-Green).

Os pontos de observações das correntes litorâneas (CL) ocorreram em dois pontos na zona de surfe, os locais foram escolhidos em função do processo de refração das ondas: a) CL01 está localizado parte inclinada da zona de intermaré (ao norte do arco de praia), indica um local sujeito aos efeitos de divergência da energia de onda; e b) o CL02 está situado na região reta da zona de intermaré (ao sul do arco de praia), indica um local propício aos efeitos de convergência da energia de onda (Figura 05).

Os pontos de observações das correntes de maré (CM) ocorreram nos dois canais de maré do arco praial: a) CM01 está situado no canal de maré Goiabalzinho (norte do arco praia); e b) CM02 está localizado no canal de maré Cocal (sul do arco de praia)

4.2.3 Análise da Influência da Pluma do rio Amazonas.

O mapeamento da pluma de sedimentos ocorreu mediante o uso de modelo analítico para estimativa dos Materiais Particulados em Suspensão (MPS) no corpo d'água. Os critérios de escolha das cenas e processamento realizados estão descritos no tópico Morfologia e mudanças do sistema das cristas de praia (subtópico Dado de Imagem – 4.1.2). Para realizar o cálculo, usou-se o algoritmo desenvolvido e validado para águas turvas na região costeira da Índia (dentro da faixa de 10 km), na faixa do vermelho (Tripathy *et al.* 2018). Agrupou-se os resultados em oito classes de MPS (intervalos de 1.000 mg/l (ANEXO A), posteriormente definiu-se duas classes com maior valor de material em suspensão (60 a 80.000 mg/l), como a classe de pluma de sedimentos.

$$SPM = (A) \left(\frac{\rho_w}{I} \right) - \frac{\rho_w}{C} \quad (02)$$

Onde $A = 327,84 \text{ gm}^{-3}$, $C = 0,1708$ e $\rho_w =$ reflectância da imagem.

Para o monitoramento temporal e espacial da classe pluma de sedimentos, extraiu-se os valores por meio de transectos transversais (50 km de comprimento) e longitudinal (35 km de comprimento) à costa com espaçamento de 1 km, entre o rio Cunani e as proximidades do rio Calçoene. A área foi dividida e subdividida de acordo os seguintes objetivos:

1) Verificar o padrão de distribuição da pluma de sedimentos em relação à costa (eixo X), subdividiu em: a) 0 a 15 km (P = próximo à costa); b) 15 a 35 km (M = média distante da costa); e c) 35 a 45 km (D = muito distante da costa).

2) Analisar o padrão de distribuição da pluma de sedimentos em relação foz do rio Amazonas e drenagens costeiras adjacentes (eixo Y), subdividiu em: a) 200 a 210 km (até rio Calçoene); b) 210 a 220 km (do rio Calçoene até o sul de Goiabal); e c) 220 a 235 km (após o sul de Goiabal).

A análise dos dados entre os períodos climáticos ocorreu por meio de estatística descritiva univariada, como medidas de tendência central (média, valor máximo e mínimo) e medidas de dispersão (desvio padrão). E análise multivariada, por meio da técnica da Análise de Componentes Principais (PCA).

4.3 CORRELAÇÃO DA MORFOLOGIA DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIA COM OS PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS E HIDROSEDIMENTARES.

Primeiramente, realizou-se uma análise quantitativa entre os perfis topográficos e as classes dos depósitos sedimentares (mapeamento morfológico) com intuito de verificar a relação dos mesmos. Para isto usou-se o gráfico de *boxplot*, que permite averiguar o grau de associação e distribuição dessas duas variáveis. Em seguida, associou-se essas análises com o estado modal da praia durante o período sazonal.

No segundo momento, ocorreu a correlação dos dados morfológicos (cristas de praias e depósitos sedimentares) com os agentes oceanográficos com intuito de identificar a resposta das mudanças morfológicas das cristas de praias em função da atuação dos processos oceanográficos. E no terceiro momento, correlacionou-se os dados morfológicos com os dados de pluma de sedimentos provenientes do rio Amazonas a fim de verificar a sua interferência na dinâmica costeira local. As correlações foram realizadas por associação entre os dados..

5 ANÁLISE DAS MUDANÇAS MORFOLÓGICA DAS CRISTAS DE PRAIA EM GOIABAL

No mapeamento da morfologia são apresentadas a quantificação da variação vertical e horizontal das feições sedimentares nos transectos (item 5.1) no segmento de Goiabal, bem como distribuição temporal e espacial dos depósitos sedimentares (item 5.2) e o estado modal com intuito de entender os processos costeiros (deposição e erosão) e a migração das cristas de praias em Goiabal.

5.1 VARIAÇÃO DOS PERFIS DE PRAIA NA SAZONALIDADE CLIMÁTICA.

Nos perfis observou-se diferentes altitudes e composição sedimentar no arco praiial, orientação Oeste-Leste: a) o perfil GT02 (centro), situado na maior altitude (3,06 m), apresenta substrato arenoso e lamoso e maior comprimento dos transectos (~1.857 m); b) o perfil GT01 (sul), localizado na menor altitude (2,13 m), possui substrato arenoso e lamoso e extensão moderada dos transectos (~1.521 m); e c) o perfil GT03 (norte), situado em altitude moderada (2,74 m), apresenta somente substrato arenoso e menor extensão dos transectos (~1.396 m).

Sazonalmente (entre os períodos climatológicos), as cristas de praias apresentaram diferentes padrões de mudanças, na parte Sul (GT01), inicialmente, possuía quatro cristas (1, 2, 3 e 4) (Figura 08C e 09C). Uma nova crista (nº 5) surgiu na transição (fevereiro de 2022) para o período chuvoso, na porção próxima à linha de costa na baixamar (Figura 09C). Nesta região também ocorreu as maiores migrações das cristas (máxima de ~90 m em direção ao continente no período seco de 2022). De maneira geral, as cristas de praias demonstraram padrão de deslocamento em direção ao continente entre os transectos analisados, com migração média sazonal de 42,24 m (Tabela 5.1). Quanto à variação sedimentar, apresentou um padrão de equilíbrio de retirada e depósitos de sedimentos, com predominância de deposição entre os períodos analisados (Tabela 5.2). O maior valor de depósito (máximo de 0,40 m) e erosão (máximo de 0,25 m), entre os períodos analisados, ocorreu no período chuvoso (maio de 2022) (Figura 09C).

Na região Central (GT02), inicialmente, tinha três cristas de praias (1, 2 e 4) (Figura 08B e 09B). No período seco (setembro de 2022) surgiu uma nova crista (nº 4), também próximo a linha de baixamar, nesta porção aconteceu o maior deslocamento das cristas em direção ao continente, máximo de ~60 m (período chuvoso de 2022) (Figura 09B). O transecto demonstra um padrão de equilíbrio de migração entre os perfis analisados, média sazonal de

migração de 23,94 m (para o continente) e 27 m (para o oceano) (Tabela 5.1). Esse padrão de equilíbrio, também é observado na erosão e deposição das cristas de praias, com valores médios sazonais 0,30 m (Tabela 5.2). O perfil apresenta o valor máximo de ~0,50 m de deposição e erosão no período chuvoso (maio de 2022) e seco (setembro de 2022), respectivamente (Figura 09B).

A porção Norte (GT03), inicialmente, possuía quatro cristas de praias (1, 2, 4, 5) (Figura 09A e Figura 09A). Este perfil demonstrou uma instabilidade a partir de fevereiro de 2022 (transição para o período chuvoso), resultando no desaparecimento (nº 2 e 4) e surgimento de novas cristas (nº 3), localizadas no centro do perfil (Figura 09A). Este perfil possui um padrão de deslocamento em direção ao oceano (média sazonal de 67,26 m) e erosional sedimentar (média de 0,16 m) entre os transectos analisados (Tabela 5.1 e 5.2). O maior deslocamento (~100 m em direção ao oceano) e deposição (~0,5 m) das cristas de praias ocorreu próximo a linha de costa da baixamar no período seco de 2022) (Figura 09A).

Nos três perfis se observou diferentes padrões morfológicos, isso pode estar relacionado aos modelos de construção e desenvolvimento das cristas de praias. No perfil no central (GT02) e ao sul (GT01) do arco praiial, notou a presença de estruturas internas como depressão, ondulação no leito da calha da barra, característico do modelo do Tipo 2 de Carter (1986). Estas estruturas são indícios de mudanças no domínio de ondas ao longo da costa, que resultaram no alongamento e posterior sondagem de barras *nearshore*, neste caso, a posição transversal da barra indica ação de marés contrárias. No perfil ao norte, não há presenças dessas estruturas internas, assim este perfil se enquadra no modelo do tipo 1 (Carter 1986), indícios da ação de ondas dissipativas na zona costeira que provocou a acreção gradual e posterior junção de barras *swash*.

O desenvolvimento dos dois modelos na mesma praia, também foi observado em Magilligan - Irlanda do Norte (Carter 1986), no Tipo 1 ocorreu em decorrência do transporte normal de sedimentos originados da erosão das falésias das dunas e no Tipo 2 aconteceu em virtude do transporte de sedimento pelas correntes ascendentes. Em Goiabal ainda não há estudo neste contexto para diferenciar os dois tipos de modelos de construção das cristas de praias. Contudo, observou-se que os perfis estão em diferentes atitudes na zona de intermaré inferior, uma demonstração da atuação de diferentes agentes na construção e desenvolvimento da morfologia do local.

Os transectos demonstram padrões de mudanças de curto período (sazonal), observa-se o processo de entrada e saída de material sedimentar entre os períodos climatológicos amazônicos (chuvoso e seco). Este processo assemelha-se ao fenômeno de Beach Rotation

(Rotação de praia) que consiste no movimento periódico lateral de sedimento entre extremidades de uma praia de enseada (Short & Masselink 1999). Em Goiabal, no período chuvoso ocorre maior erosão na zona de intermaré próximo à linha de baixamar, provavelmente, pela incidência das ondas ou as correntes de maré. E posterior, transporte de sedimentos pelas correntes, o que provoca o empilhamento ou elevações topográficas em direção ao continente na praia.

As mudanças morfológicas também são observadas nos mesmos períodos climatológicos. Os perfis GT02 e GT01 (modelo do Tipo 02), apresentaram as maiores migrações sazonais das cristas de praias. Enquanto que no perfil GT03 (modelo do Tipo 01), as mudanças sazonais ocorreram de maneira menos acentuada. Isso demonstra novamente as diferentes intensidades dos agentes oceanográficos (maré, onda e corrente) e dos suprimentos sedimentares para desenvolvimento das cristas de praias (Johnson 1919).

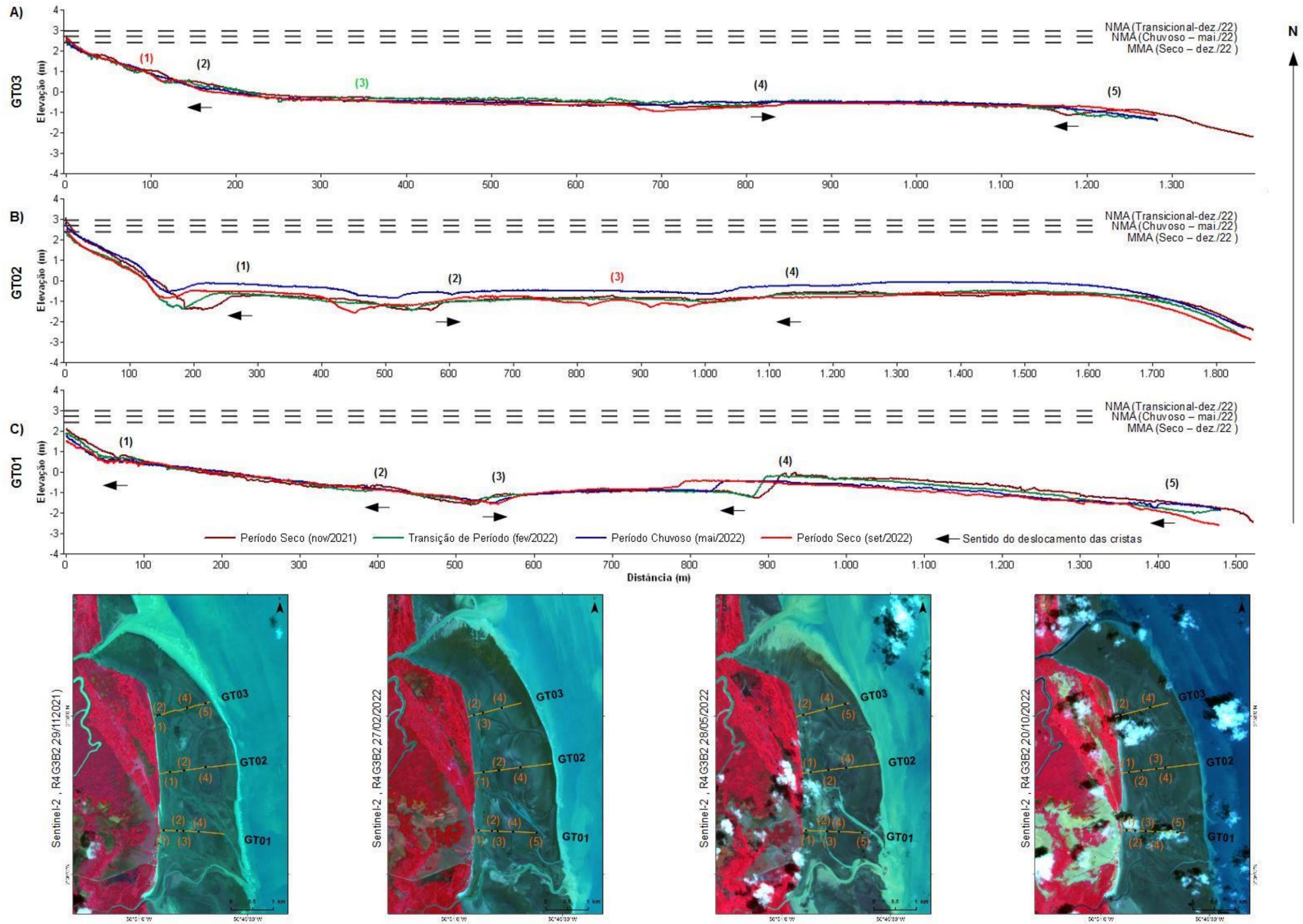


Figura 08 - Variação da morfologia por período climático (2021 - 2022) no transecto GT03 (A), GT02 (B) e GT01 (C). As setas indicam o sentido da migração das cristas de praias.

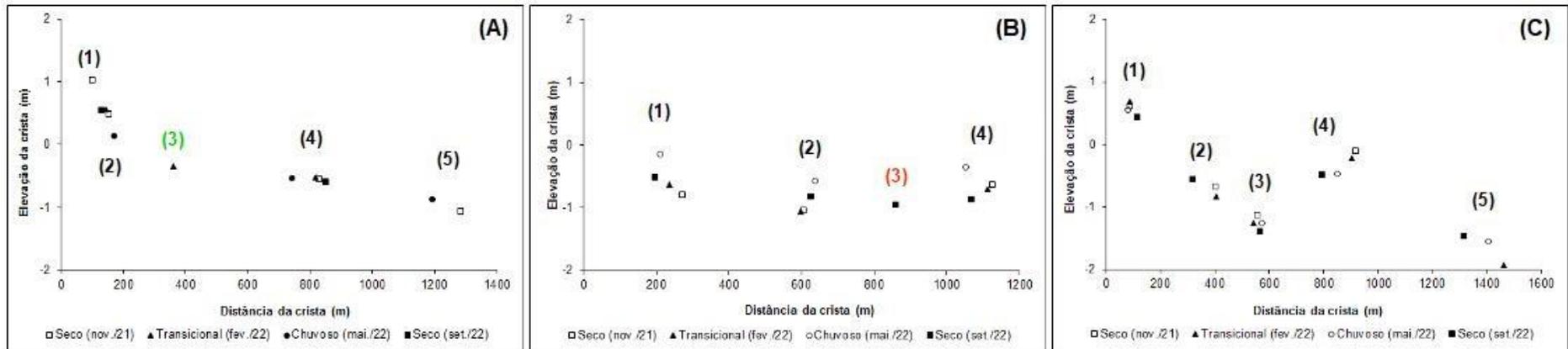


Figura 09 - Variação do deslocamento e altura das cristas de praias entre os períodos climáticos no transecto GT03 (A), GT02 (B) e GT01 (C)

Tabela 5.1 - Migração (m) e das cristas de praias (sentido oceano e continente), considerando os períodos climáticos analisados.

	GT01		GT02		GT03	
	Oceano	Continente	Oceano (m)	Oceano	Oceano	Continente
Deslocamento máximo	35,37	92,03	39,28	60,72	108,49	76,21
Deslocamento mínimo	1,74	8,90	15,41	6,39	26,02	9,93
Média	17,33	42,24	27,35	23,94	67,26	34,24
Desvio padrão	15,67	29,14	11,94	17,57	41,24	27,18

Tabela 5.2 - Deposição e erosão (variação vertical) a partir das altitudes das cristas de praias (m) considerando os períodos climáticos analisados.

	GT01		GT02		GT03	
	Deposição (m)	Erosão (m)	Deposição (m)	Erosão (m)	Deposição (m)	Erosão (m)
Máximo	0,38	0,24	0,49	0,51	0,42	0,42
Mínimo	0,00	0,02	0,00	0,07	0,00	0,01
Média	0,16	0,13	0,30	0,30	0,09	0,16
Desvio padrão	0,14	0,06	0,14	0,16	0,14	0,18

5.2 VARIAÇÃO DOS DEPÓSITOS SEDIMENTARES NA SAZONALIDADE CLIMÁTICA

Os depósitos sedimentares são classificados em quatro classes, as classes AS01 e AS02 caracterizam-se por depósitos com maior teor de água, presença de substratos argiloso ou arenoso fino e matéria orgânica. Eles estão localizados em áreas de baixa altimetria e relevo plano. E as classes AS04 e AS03 indicam depósitos com menor teor de água, composto de substrato arenoso grosso a fino, sem presença de matéria orgânica. Eles estão situados em áreas de maior altimetria e relevo inclinado.

A variação espacial e sazonal dos depósitos sedimentares foram analisados em quatro momentos durante o ano. Eles apresentaram média sazonal de 1,50 km² de áreas erosionais e 1,60 km² de áreas deposicionais (Figura 10F). No primeiro momento (Nov/2021 - Fev/2022) ocorre transferência dos depósitos sedimentares que estão nas áreas com maior altitude (AS04 e AS03), percebe-se isso pelos valores correspondentes das áreas de depósito e erosão (~3 km² de área) (Figura 10). No segundo momento (Fev/2022 - Mai/2022) continua a ocorrer o mesmo padrão de transferência de áreas (perda de 3 km² das áreas de areia grossa a fina), mas com a diminuição do volume de depósitos de areia fina e sedimento argiloso (ganho de 2 km² de área).

A partir do terceiro momento (Mai/2022 - Jun/2022), a dinâmica espacial inverteu-se, houve o acréscimo de material nas áreas elevadas (3 km² de área), nas bordas das cristas arenosas próximo ao oceano e a diminuição da área dos substratos com menor teor de água (2 km² de área). No quarto momento de análise (Jun/2022 - Out/2022) ocorre a estabilização dos depósitos no segmento das cristas de praia, pois não há quase mudanças, apenas a continuação da retirada de material das áreas menos elevadas (1 km² de área) (Figura 10F).

Isso reforça padrões de mudanças sazonais na morfologia em Goiabal, semelhante ao fenômeno de rotação praias descrito anteriormente por Short & Masselink (1999). Apesar do fenômeno ser observado em praias de enseadas, se observa em Goiabal um ciclo de mudanças. Nos períodos seco-chuvoso acontece a transferência dos depósitos sedimentares das áreas elevadas para as áreas baixas. Posteriormente, nos períodos chuvoso-seco ocorre o retorno desses depósitos sedimentares para as porções elevadas (Figura 10).

Em praias oceânicas da Amazônia Oriental, Ramos & Ranieri (2021), Ranieri & El-Robrini (2020) e Guerreiro *et al.* (2013) identificaram comportamentos semelhantes ao segmento de Goiabal. As variações nessas praias oceânicas estavam relacionadas às variações na vazão fluvial e correntes de maré vazantes que removem mais sedimentos das praias no

período chuvoso (período de maior precipitação e maior alcance das águas sobre a linha de costa) (Guerreiro et al. 2013).

Normalmente, o fenômeno de rotação praial ocorre em resposta às mudanças no transporte longitudinal, devido às alterações súbitas no clima das ondas incidentes (como direção e altura) (Short & Masselink 1999). Contudo, em uma praia de enseada na costa da Guiana Francesa, localizado ao norte de Goiabal. Anthony *et al.* (2002) identificam como principal fator da rotação praial a migração de bancos de lama proveniente da desembocadura do Rio Amazonas.

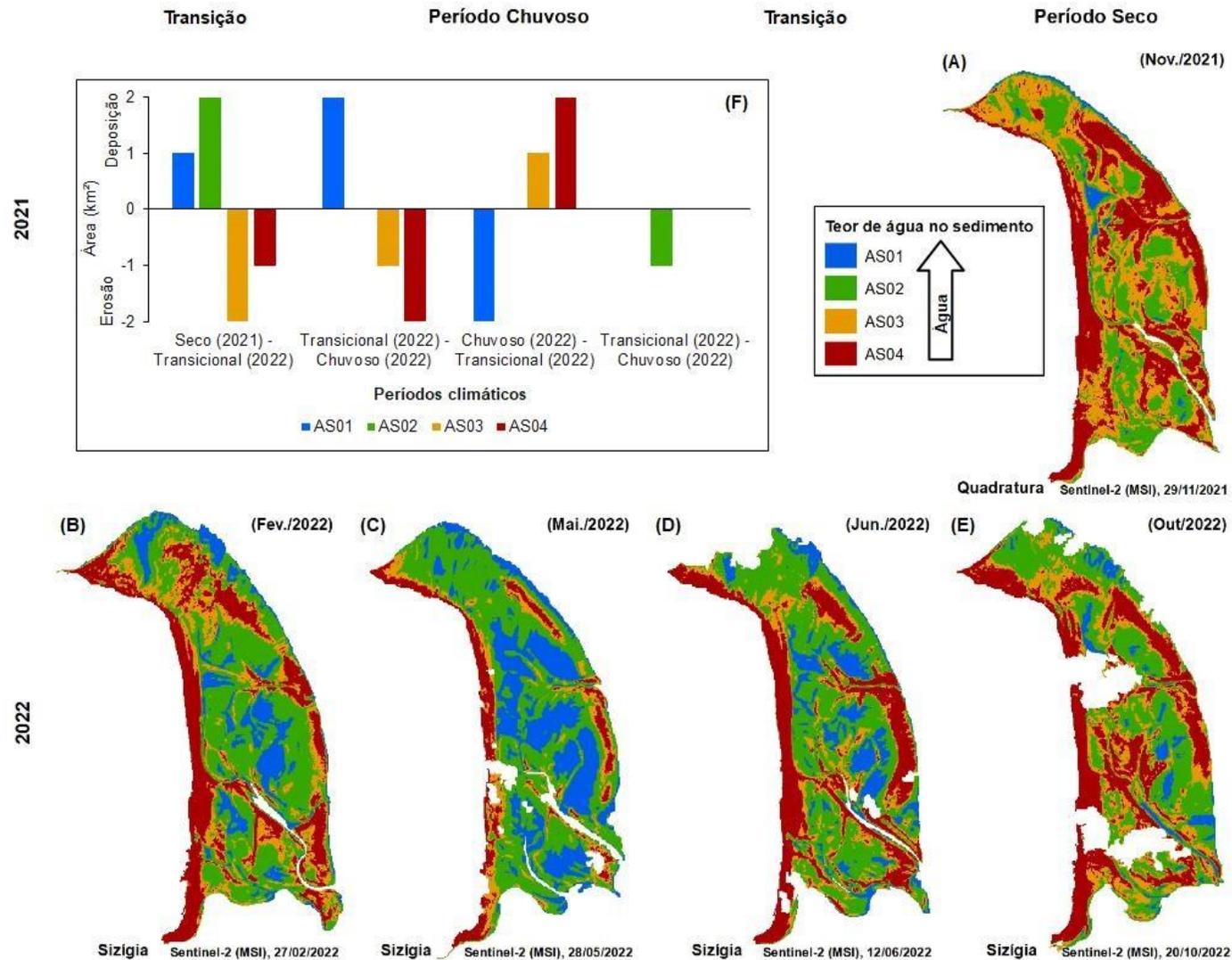


Figura 10 - Variação dos depósitos sedimentares nos períodos seco (A e E) e chuvoso (C), e transições de períodos (B e D) e o balanço sedimentar entre os períodos sazonal climático (2021 - 2022) dos depósitos AS01, AS02, AS03 e AS04.

5.3 ESTADO MODAL DO SEGMENTO DAS CRISTAS DE PRAIA EM GOIABAL

O segmento das cristas de praia em Goiabal é côncavo, possui aproximadamente 6 km de extensão, 2 km de largura, e não possui feições tridimensionais na porção superior da praia, mas apresenta feições de cristas na barra agregada à praia, conforme o modelo de origem das cristas de praias de Carter (1986). A região apresenta domínio da macromaré, enquadrando-se, portanto, entre o modelo de classificação de uma praia modificada a dominada por maré.

De acordo com os parâmetros RTR (Tabela 4.3), o local apresentou dois estados modais durante os anos de 2021 e 2022. Em novembro de 2021 (período seco) possuía características de uma praia e terraço de maré arenoso e nos demais períodos climáticos, comportou-se como uma praia e terraço arenoso.

De maneira geral, esses tipos morfológicos de sistema praial caracterizam-se por baixa energia de onda (altura significativa de ~ 0,2 m) e baixo a acentuado gradiente, associado a terraço de baixamar soldado à praia (Short 2006). No sistema de Goiabal, observou-se a presença de cristas e calhas e canais no terraço transversal (Figura 08), e de acordo com essas feições e características morfológicas descrita por Short (2020), o segmento de Goiabal se enquadra como praia e terraço arenoso com calhas e cristas, assim a praia é dominada por maré.

Nascimento & Pereira (2016), Pereira *et al.* (2014), Ranieri & El-Robrini (2012) identificaram padrão de mudanças semelhante em outras praias de macromarés ao sul da foz do rio Amazonas. Essas mudanças estavam associadas às mudanças sazonais da maré e da energia da onda. Por exemplo, a praia de Ajuruteua dominada pela maré, comportou-se como planície de maré e praia ultradissipativa (Nascimento & Pereira 2016), Oliveira *et al.* 2014) e as praias de Atalaia e Romana, apresentaram características ora de uma praia dominada pela maré, ora dominado por onda (Pereira *et al.* 2014, Ranieri & El-Robrini 2012).

Tabela 5.3 – Classificação da praia decorrente dos parâmetros morfodinâmicos e interpretação visual no segmento das cristas de praia em Goiabal por período climático.

Sazonalidade climática	Dado de campo			Imagem Sentinel-2				
	Data de coletas	RTR	Classificação	Banco/Terraço	Feições no banco/terraço	Feições na praia	Corrente de retorno	Classificação
Período Seco	Nov/21	27	Praia + terraço de maré arenoso/lamoso	Transversais	Cristas e calhas, canais de maré	Ausente	Ausente	Praia + terraço arenoso com calhas e cristas
Transição de períodos	Fev/22	*	*	Transversais	Cristas e calhas, canais de maré	Ausente	Ausente	Praia + terraço arenoso com calhas e cristas
Período Chuvoso	Mai/2022	14	Praia + terraço arenoso	Transversais	Cristas e calhas, canais de maré	Ausente	Ausente	Praia + terraço arenoso com calhas e cristas
Período Seco	Set/2022	18	Praia + terraço arenoso	Transversais	Cristas e calhas, canais de maré	Ausente	Ausente	Praia + terraço arenoso com calhas e cristas
Transição de períodos	Dez/22	17	Praia + terraço arenoso	Transversais	Cristas e calhas, canais de maré	Ausente	Ausente	Praia + terraço arenoso com calhas e cristas

*Sem dados de campo

6 ANÁLISE DOS PROCESSOS OCEANOGRÁFICOS DAS CRISTAS DE PRAIA EM GOIABAL

6.1 DINÂMICA DA MARÉ LOCAL

O sistema das cristas de praia em Goiabal é dominado pelo regime de macromaré semidiurna, com amplitudes superiores a 5 m, registrada no início da transição para o período chuvoso (fevereiro de 2022). Isso pode estar associado à vazão fluvial das bacias hidrográficas, principalmente, rio Amazonas e bacias adjacentes ao rio Calçoene e presença de canais de maré, Goiabalzinho e Cocal. (Figura 12A).

A curva da maré é assimétrica, com fase de vazante mais longa do que a enchente (Figura 11). Isso ocorre devido a modificação da propagação da onda da maré (Miranda *et al.* 2002) na extensa plataforma amazônica ou mesmo pelo bloqueio causado por barra arenosa submarina, como relatado por Oliveira *et al.* (2014) na praia de macromarés de Ajuruteua. Associado a isso, em Goiabal há canais de maré que podem ter ocasionado modificação do sinal de onda captado pelo sensor instalado.

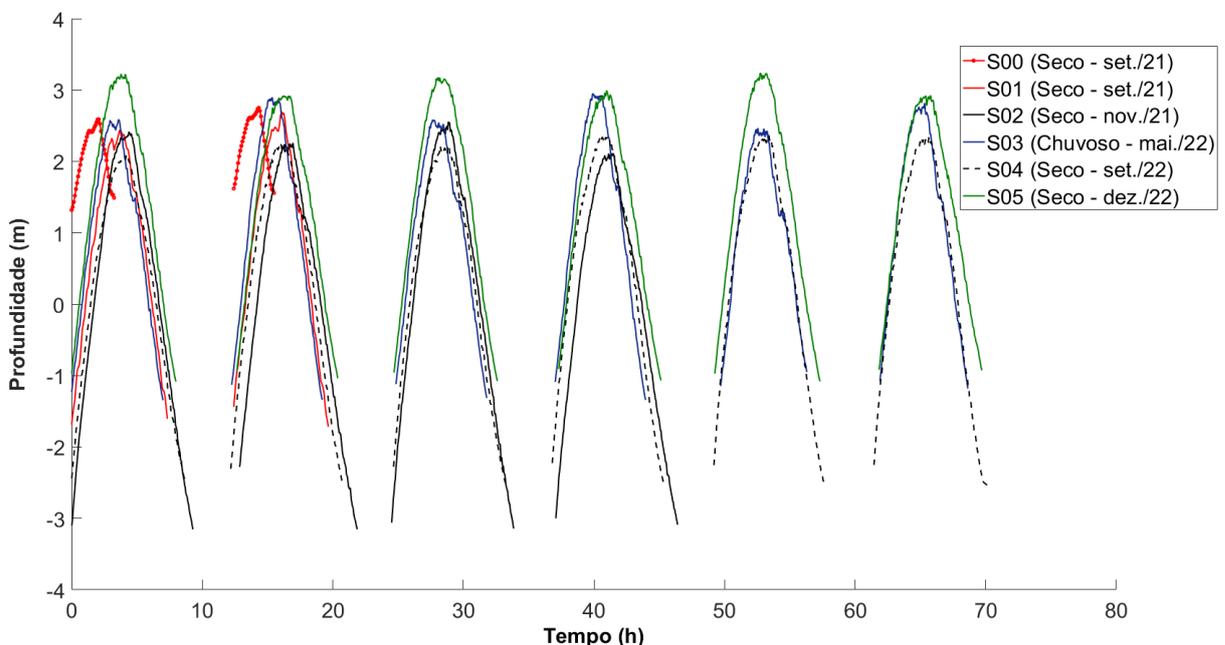


Figura 11 - Variação do nível d'água dos períodos seco (2021 e 2022) e chuvoso (2022), e transição para o período seco (2022) para as medições realizadas no período de sizígia. O sensor S0 está localizado na zona de supramaré.

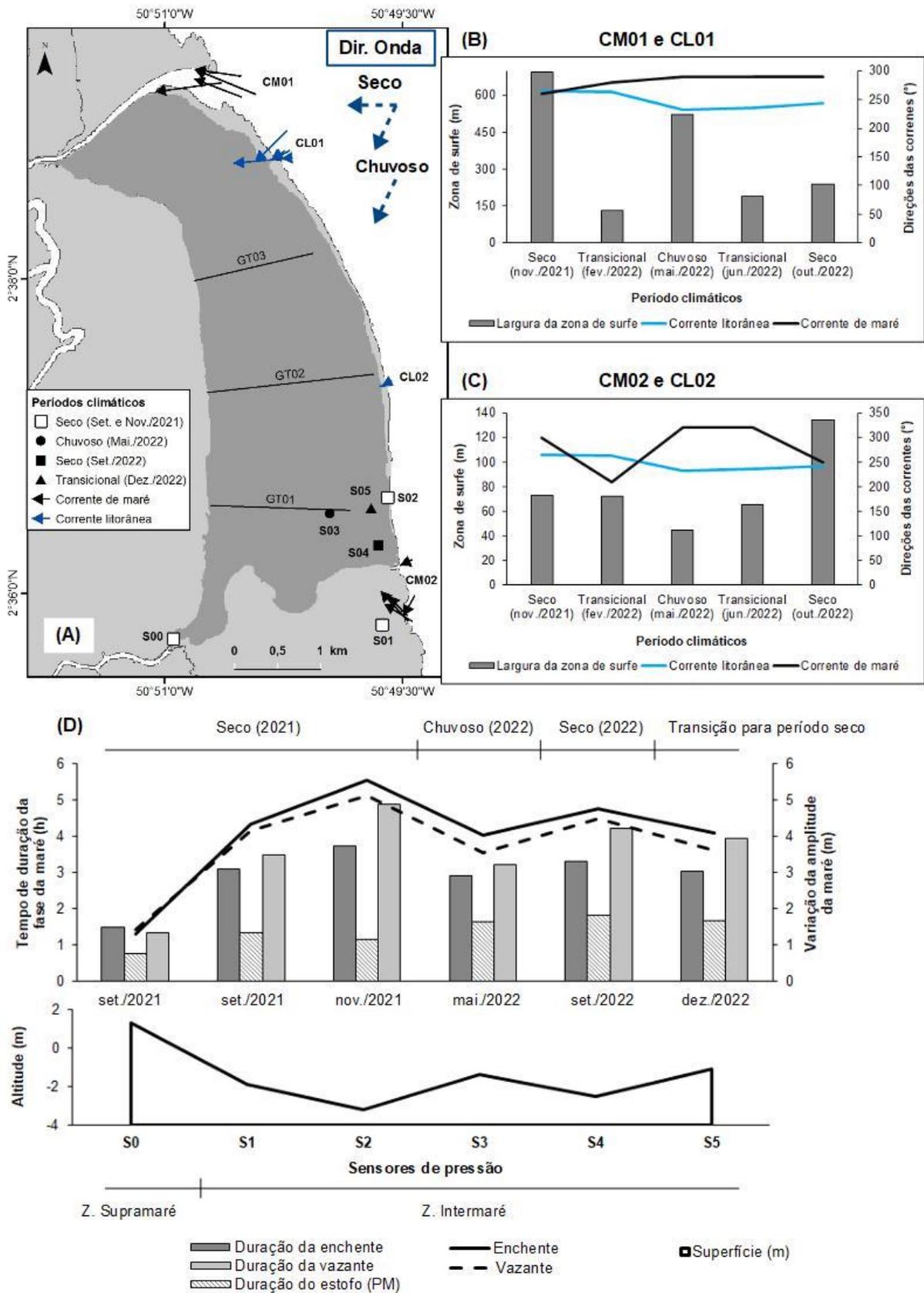


Figura 12 - Mapa ilustrativo da estimativa da direção das correntes (litorâneas e maré) e ondas e sensor de pressão (A); gráfico em função da largura da zona de surf e direção das correntes litorâneas e maré nos pontos CL01 e CM01 (B); e CL02 e CM02 (C); tempo de duração das enchentes, vazantes e estofos da enchente por período climático (D). O sensor S0 foi colocado na zona de supramaré da praia.

6.2 DINÂMICA DA CIRCULAÇÃO COSTEIRA

O resultado das análises das direções dos ventos proveniente das imagens de satélite Sentinel-1, com intuito de inferir o clima de ondas na região de estudo, mostraram predominância dos ventos nas direções NE–E, semelhantes aos padrões de ondas modelados na Plataforma Continental Amazônica por Gensac *et al.* (2016).

A caracterização sazonal do clima de ondas no período seco (setembro a novembro), mostra que as ondas incidentes na região de estudo são provenientes do quadrante E-ENE e no período chuvoso (março a maio) são provenientes do quadrante NE (Tabela 6.1). Entre as transições de períodos (dezembro a fevereiro e junho a agosto), as ondas se propagam dos quadrantes NE-E.

Tabela 6.1 - Direção das ondas proveniente de dados modelados e estimados nas imagens Sentinel-2, sensor MSI, por período climático.

Sazonalidade climática	Período de meses	Ondas		Ventos	
		Direção (modelado)	Direção (imagem)	Direção (modelado)	Direção (imagem)
Período Seco	Set–Nov	E - NE	L - ENE	NE	E - ENE
Transição de períodos	Dez–Fev	NE	NE - E	NE	NE - E
Período Chuvoso	Mar–Mai	NE	ENE	NE - SE	ENE
Transição de períodos	Jun–Ago	NE - E	NE - E	NE - SE	NE - E

O Goiabal apresentou alturas de ondas pequenas, com variação entre 0,20 a 0,30 m (Tabela 6.2), valores abaixo das alturas médias de ondas em praias de macromarés estudadas por Oliveira *et al.* (2014) e Ranieri & El-Robrini (2020) na costa amazônica. Esta altura de onda é menor que o valor registrado entre o rio Calçoene e Cunani (0,5 m) (Iepa 2017). Essas diferenças podem estar relacionadas à extensão e baixo gradiente da plataforma amazônica que atenua a energia de ondas na costa amapaense. Contudo, o valor calculado ainda é característico de praias dominadas por maré descrito por Short (2006, 2020).

A menor altura de onda foi observada no período seco, com pequena diferença nesse período durante o ano. A maior altura de ondas ocorreu no período chuvoso, resultado ainda da mudança de direção dos ventos e do ápice das altas velocidades em fevereiro (Gensac *et al.* 2016) (Figura 06, Tabela 6.2). E a maior altura máxima das ondas ocorreu na transição do período seco para chuvoso (Dez/2022), quando também ocorre mudança de direção e aumento das velocidades dos ventos de acordo com os dados de Gensac *et al.* (2016) (Figura 06).

Tabela 6.2 - Dados de altura significativa, altura máxima e período da onda por períodos climáticos.

Sazonalidade climática	Data de coletas de campo	Sonda de nível d'água	Altura significativa (Hs) (m)	Altura máxima (Hmax) (m)
Período Seco	Nov/21	S2	0,20	0,42
Período Chuvoso	Mai/2022	S3	0,30	0,62
Período Seco	Set/2022	S4	0,26	0,65
Transição de períodos	Dez/22	S5	0,26	0,52

Os processos de transformação das energias das ondas e atuação das correntes são observados no ponto CL01, localizado na porção inclinada do segmento, (ao norte), sujeito a divergência da energia das ondas (Figura 12B). E no ponto CL02, localizado na região reta do segmento, sujeito a convergência da energia das ondas (Figura 12C).

O ponto CL01 possui maior largura da zona de surfe, onde os períodos secos apresentam diferentes larguras da zona de surfe, com maior largura em novembro de 2021 (~650 m). O período chuvoso (Mai/2022) (~500 m) apresentou a segunda maior largura (Figura 12B e C). O que demonstra maior mudanças na morfologia nessa região entre os períodos seco-chuvoso, como retirada e depósitos de sedimentos nesse setor.

As correntes litorâneas apresentam também diferenças no período seco, em novembro de 2021 está direcionada para oeste, enquanto que em setembro de 2022, a direção está para sudoeste, esse comportamento iniciou no período chuvoso. Nota-se que as mudanças das direções das ondas e ventos influenciam nas direções das correntes (Tabela 6.1). Doeglas (1955) menciona que perto da costa, os ventos fortes provenientes do mar são importante parâmetro para controlar o local e por sua vez influenciar as correntes na direção da terra e do oceano.

Quanto às correntes de maré, observa-se também diferenças nos períodos secos, tanto entre os meses analisados, quanto entres os pontos de observação. No ponto CM01, no mês mais recente (novembro de 2021) ocorre a predominância das correntes de maré enchente e no mês mais antigo (outubro de 2022), a predominância são das correntes de maré vazante (Figura 12B). No ponto CM02, a predominância das correntes acontecem de maneira inversa (Figura 12C). Observa-se também diferenças de predominância das correntes na transição para o período chuvoso (fevereiro de 2022) (Figura 12B e C).

No período chuvoso e na transição para o período seco acontecem a predominância das correntes de maré vazantes (Figura 12B e C). Indícios da influência do aporte sedimentar fluvial, principalmente do rio Amazonas pelo transporte dessas correntes.

6.3 PLUMA DE SEDIMENTOS NO OFFSHORE

Os resultados demonstram a distribuição temporal e espacial da pluma de sedimentos durante a maré vazante nos períodos climáticos. Na área de estudo, a pluma de sedimentos (60 a 80 mil mg/l) está cerca de 235 km distante da foz do rio Amazonas. Os valores calculados estão dentro dos limites do deslocamento da pluma de sedimentos mencionado por Lentz & Limeburner (1995). Contudo, o valor estimado da concentração da pluma de sedimentos é grande em comparação aos valores calculados por Gensac *et al.* (2016) na plataforma amazônica, e de Vantrepotte *et al.* (2013) na costa da Guiana Francesa.

Em relação à distância da costa, os períodos climáticos secos (2021 e 2022) possuem padrões diferentes de distribuição da pluma (Figura 13 e 14). No mês de novembro de 2021, a pluma de sedimentos está mais próximo da costa (média de 12 km) (Tabela 6.3) e em menor influência no gráfico da PCA (Figura 13); enquanto que em outubro de 2021, situa-se mais distante da costa (média de 40 km) (Tabela 6.3).

Neste período a estrutura da pluma sob condições de vento, assemelha-se às condições “rápida” (Geyer *et al.* 1996). A pluma está sob influência da tensão do vento com direção mais ao sul e do aumento da aceleração de Coriolis, o que resulta, respectivamente, na aceleração e alargamento da pluma na plataforma, e posterior divergência na costa (Geyer *et al.* 1996). Logo, a alteração no clima de ventos pode explicar as diferenças encontradas no mesmo período climatológico, como é o caso em estudo. A pluma de sedimentos do mês de outubro de 2022 encontra-se na mudança dos ventos nos quadrantes L/NE e, em novembro de 2021, a pluma está sob a influência de ventos em direção NE.

No período chuvoso, a pluma de sedimentos encontra-se em média 17 km de distância da costa (Tabela 6.3) e está concentrada próxima a área de estudo (Figura 13 e 14). Essa disposição assemelha-se às condições “lenta” da estrutura da pluma proposto por Geyer *et al.* (1996), neste caso, a formação é resultante de ventos contrários (direção mais ao norte). A aceleração de Coriolis não é suficiente para equilibrar a tensão do vento, assim a pluma fica presa perto da foz do rio e colapsa na direção transversal (Geyer *et al.* 1996).

As transições entre os períodos climáticos, apresentam valores médios de concentração (23 a 25 km) e localização próximo à costa. A pluma de fevereiro de 2022 assemelha-se às condições “lentas” (Geyer *et al.* 1996), como aconteceu no período chuvoso, que provoca retenção da pluma na foz do rio e, posteriormente, a projeção para o oceano. Contudo, o mês de fevereiro está sob influência dos ventos de direção NE e possuem as maiores velocidades (Gensac *et al.*, 2016).

No mês de junho de 2022, a pluma está em condições “intermediárias”, ou seja, sob tensão normal do vento (Geyer *et al.* 1996). Esta situação de vento equilibra o balanço transversal da pluma, o gradiente de pressão baroclínico e a aceleração de Coriolis na plataforma, que resulta na pluma aproximadamente paralela à costa (Geyer *et al.* 1996). Neste período começa a retroflexão da CNB (junho-julho) que se desvia para leste, a fim de ligar-se à Contracorrente Norte Equatorial (Nikiema *et al.* 2007).

A influência dos ventos e das correntes, nos respectivos períodos, justifica a posição semelhante da pluma de sedimentos na costa amapaense nos meses das transições de períodos climáticos. Portanto, não pode ser aplicado para os demais meses nas transições climatológicas em estudo.

Tabela 6.3 - Variação da distância e deslocamento da pluma de sedimentos por períodos climáticos.

Sazonalidade climática	Data da imagem	Distância da pluma de sedimento em relação à linha d'água em baixamar (km)			Distância da pluma de sedimento em relação ao rio Amazonas (km)		
		Máxima	Mínima	Média	Máxima	Mínima	Média
Período Seco	Nov/21	18	3	12	232	202	221
Transição de períodos	Fev/22	45	4	23	235	203	225
Período Chuvoso	Mai/2022	41	3	17	235	201	220
Transição de períodos	Jun/22	47	1	25	235	201	226
Período Seco	Out/22	47	27	40	235	202	221

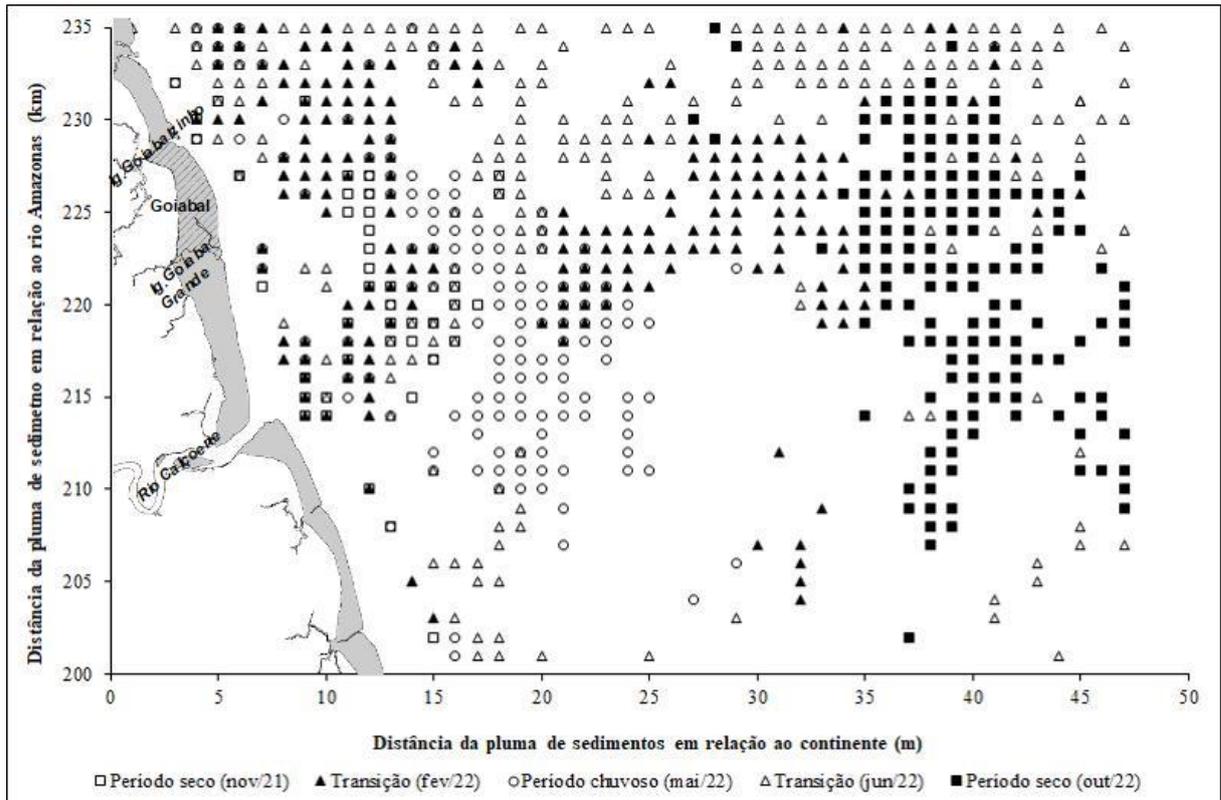


Figura 13 - Dinâmica temporal e espacial da pluma de sedimentos (maré vazante) ao longo de 35 transectos, espaçamento de 1 km, ao norte Calçoene para o período de 2021 e 2022. Os quadrados são períodos secos, as bolas período chuvoso e os triângulos a transição dos períodos. Os valores de MPS utilizados para essa análise são da ordem de 60 a 80 mil mg/l.

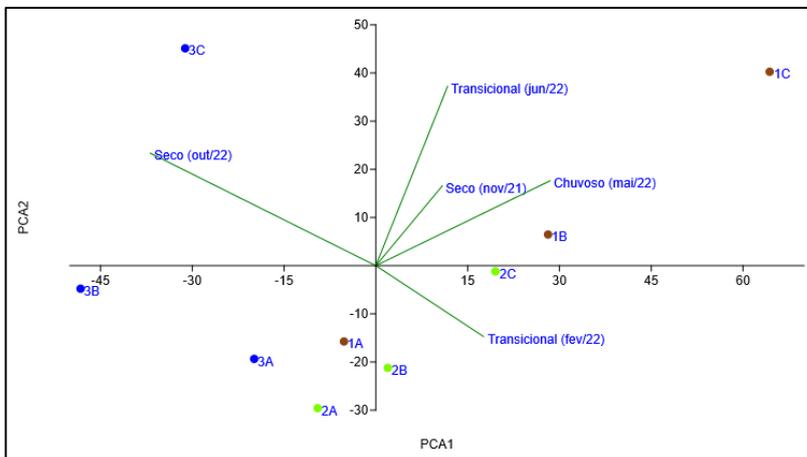


Figura 14 - Gráfico das componentes principais (PCA-1 e PCA-2) da distribuição da pluma de sedimentos por períodos climáticos a partir da análise de MPS de 2021 a 2021 imagens Sentinel-2, sensor MSI. Pontos marrons pluma localizada próxima da costa (10 a 20 km da linha d'água), pontos verdes pluma situada entre 20 a 35 km da linha d'água e pontos azuis, a pluma está concentrada após 35 km da linha d'água.

7 MORFODINÂMICA DO SISTEMA DAS CRISTAS DE PRAIAS

7.1 VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA E OS PADRÕES SAZONAIS

A dispersão dos dados de altitudes e depósitos sedimentares nos transectos, demonstra novamente o padrão de mudanças sazonais na morfologia da praia (Figura 15). Estas mudanças estão condicionadas, no período seco para o chuvoso, a transferência dos depósitos sedimentares das áreas de maior altitude (substrato arenoso grosso a fino) para região com menor altitude (substrato lamoso e arenoso fino). Isso pode ser verificado por meio da maior dispersão dos dados, diferentemente, das áreas em menor altitude. Posteriormente, do período chuvoso para o seco, essas áreas foram consolidadas, observado na maior variabilidade dos dados de altitudes, o que dar indicativo de maior acúmulo de sedimentos no local, com destaque para os transectos no Sul (GT01) e Centro (GT02) do segmento.

Outro ponto, é a interferência dos agentes oceanográficos e climáticos durante o ano, pois auxiliam na remobilização dos sedimentos na zona de intermaré, principalmente, próximo da linha de costa da baixamar, e no transporte dos depósitos sedimentares em direção ao continente, que resulta na migração das cristas de praias no mesmo sentido.

Destaque também em Goiabal, padrão diferente de dispersão dos dados no período seco de novembro de 2021 em relação aos outros períodos analisados, o que corrobora com a mudança de estado modal do segmento das cristas de praia em Goiabal (Tabela 5.2).

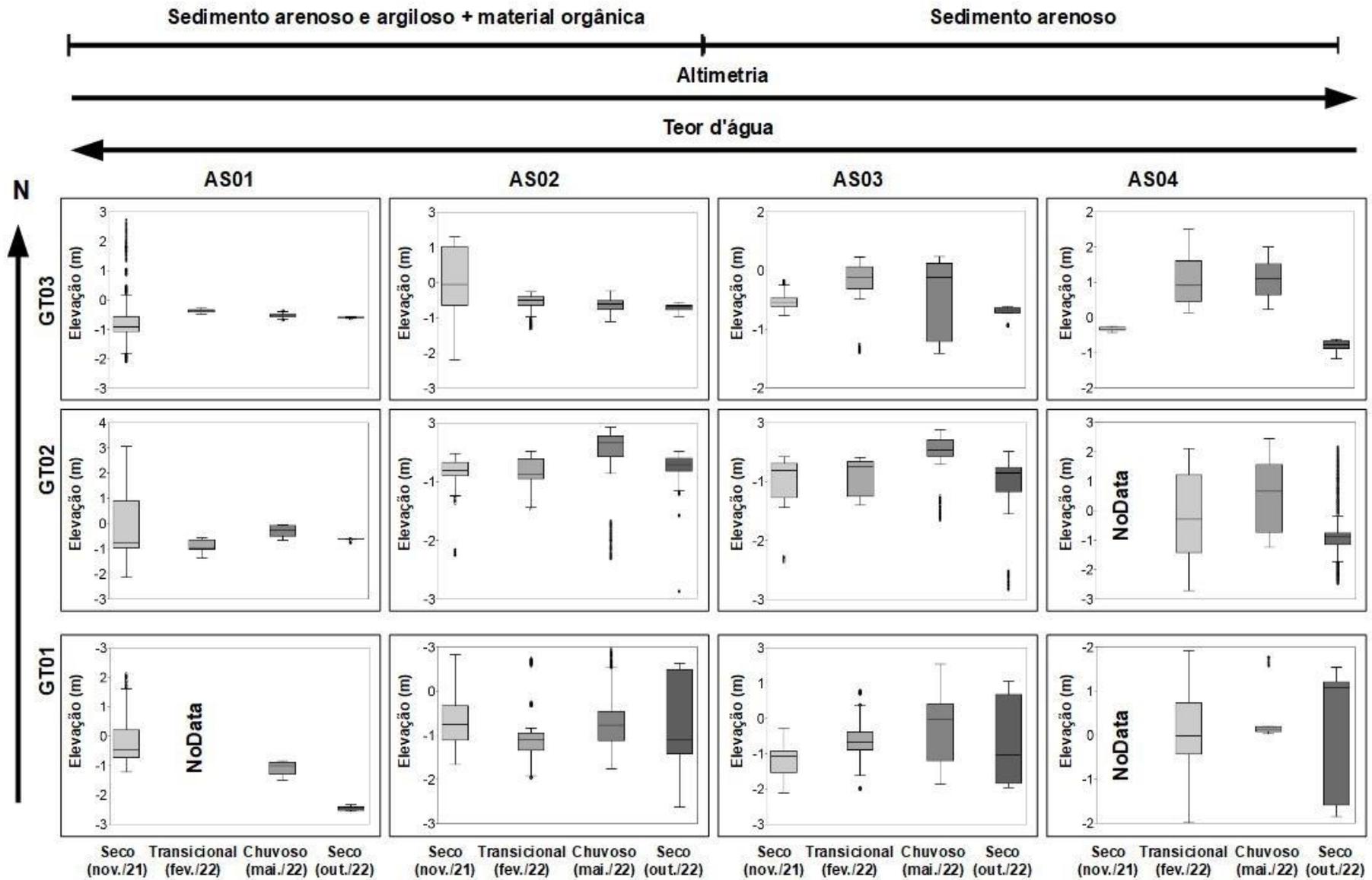


Figura 15 - Relação das altitudes e as quatro classes de depósitos sedimentares em Goiabal por períodos climáticos (2021 - 2022). Tons de cinza os períodos climáticos

7.2 VARIACÃO DA MORFOLOGIA E OS AGENTES OCEANOGRÁFICOS

De maneira geral, no local ocorre a predominância de perfis de erosão e deslocamento das cristas em direção ao continente entre os períodos climáticos (Figura 08). O transecto GT02 (centro) e GT01 (sul), localizados na parte reta do segmento, estão sujeitos a maior energia dos agentes morfodinâmicos. No centro do segmento há maior variação na morfologia e não ocorre migração das cristas em direção ao oceano. No sul do segmento, limitado por um canal de maré, os processos erosivos ocorrem de maneira mais intensa entre o período seco e chuvoso, e mais deposicionais no período chuvoso. O transecto GT03, localizado na área inclinada do segmento (ao norte), apresenta um padrão erosivo das cristas, mas com menor intensidade.

Isso demonstra uma tendência sazonal de mudanças morfológicas e diferenças significativas entre os transectos observados, possivelmente pela sua posição geográfica em relação aos agentes morfodinâmicos e aos modelos de origem das cristas de praias.

Nossin (1964), em trabalho realizado nas cristas de praias da Malásia, destacou a força e direção das ondas e correntes como um dos parâmetros para a construção das cristas de praias. O segmento de Goiabal apresenta padrão de ondas de direção para NE/L (período seco) e correntes litorâneas no mesmo sentido (Tabela 6.1). Isso pode condicionar maior energia das ondas nos transectos GT02 e GT01, em decorrência dos processos de transformação de energia da onda (Figura 12). O que pode gerar maior erosão das áreas mais elevadas e migração das cristas de praias em direção ao continente (Figura 08 e 10).

Diferentemente, no transecto GT03, a maior migração ocorreu entre o período chuvoso-seco, o transporte das correntes está direcionada para sudoeste (Figura 12). Um indicativo da atuação de correntes no transporte de sedimentos para o norte do segmento e remobilização dos sedimentos, uma vez que as alturas das ondas no local são pequenas (Tabela 6.2), o que reforça o domínio da maré na região.

Neste sentido, Halls (1969), em estudos realizados na praia de Umina-Woy Woy, Austrália, destacou a influência da maré e suprimento abundante de areia para as modificações sazonais nas cristas de praias. As correntes de maré são responsáveis pelos transportes dos sedimentos costeiros, principalmente do rio Amazonas (grande descarga líquida e sólida) ao longo da costa (Geyer *et al.* 1991). E associado com a sazonalidade climática na região amazônica proporciona mais depósitos de sedimentos.

Em Goiabal, se observou o domínio das correntes de maré vazante no segmento, com exceção de novembro de 2021 (GT03) e outubro e fevereiro de 2022 (GT01 e GT02) que apresentaram domínio das correntes de maré enchente (Figura 12). Portanto, não há um padrão

de dominância sazonal das correntes no local. Contudo, nota a fase curta da maré de enchente, que condiciona maiores velocidades e, conseqüentemente, maior remobilização dos sedimentos no segmento das cristas de praia.

7.3 VARIAÇÃO DA MORFOLOGIA E O SUPRIMENTO DE SEDIMENTOS

Quanto ao suprimento de sedimentos para a construção das cristas de praias, Wright (1970), mencionou a proximidade com a foz de rios na influência no tipo, tamanho e natureza dos sedimentos das cristas de praias. O suprimento de sedimentos finos para a região costeira tem seu pico em março e o menor valor em outubro (Gensac *et al.* 2016). Eles são descarregados na plataforma amazônica, e deslocam-se para o noroeste pelas correntes formadas no offshore (deslocamento máximo de 400 a 500 km). Esses sedimentos provavelmente permanecem na foz e próximo à região nordeste da costa, até que as correntes de vazantes transportem para o sudoeste em direção à costa.

Na área estudada, entre o rio Cunani e o rio Calçoene, se observa na Figura 13 uma concentração da pluma de sedimento, que demonstra o aporte sedimentar típico de uma bacia de drenagem nesse período, mas não existem dados para fazer essa conexão.

Goiabal encontra-se também ao norte da foz rio Amazonas, responsável pelo grande aporte sedimentar, na ordem de $7,5 \times 10^8$ ton. por ano, na plataforma continental (Nittrouer *et al.* 1995, Anthony *et al.* 2014). Esta pluma de sedimentos finos estende-se até a região de estudo, mesmo no período seco (menor descarga sedimentar) (Lentz & Limeburner 1995). Neste período se observou também padrão diferente de distribuição de sedimentos no offshore, que pode ser explicado pela alteração no clima do vento (Geyer *et al.* 1996). A pluma de sedimentos do mês de outubro de 2022 encontra-se na mudança dos ventos nos quadrantes L/NE e, em novembro de 2021, a pluma está sob a influência de ventos em direção NE. Os ventos segundo Geyer *et al.* (1996A), juntamente com a Coriolis, ajudam a modular a estrutura da pluma de sedimentos na plataforma continental amazônica. Os dados derivados por imagens de satélites demonstram situações da pluma sob a influência da tensão dos ventos.

Destaca-se também o domínio das correntes de maré nas diferenças de estrutura da pluma na costa. As correntes de maré vazantes (novembro de 2021) ajudam a transportar os sedimentos finos para a costa, enquanto que as correntes de maré enchente (outubro de 2022), auxiliam a reter a pluma de sedimentos na plataforma (Figura 12B). Essa dinâmica também pode ser observada nos depósitos sedimentares no referido período seco (novembro de 2021 e

outubro de 2022), que apresentam diferentes padrão de distribuição e composição, assim como no estado modal (Figura 10, Tabela 5.3).

O suprimento de sedimentos arenosos para as cristas de praias de Goiabal, ainda é desconhecido. Segundo Mendes (1994), os sedimentos da região são provenientes do embasamento próximo do pré-cambriano e sedimentos terciários transportados pela drenagem, neste caso, os rios Calçoene e Cunani. Na plataforma continental, próximo a Goiabal, há presença de fácies de argila e areia intercaladas mapeado por Kuehl *et al.* (1988).

8 CONCLUSÕES

Conclui-se que o semento das cristas de praia em Goiabal é um sistema dominado por marés, do tipo subtipo praia e terraço arenoso com calhas e cristas (*beach + sand ridges*), com tendência sazonal de mudanças morfológicas: erosão (período chuvoso) e deposição (período chuvoso-seco). O que auxilia no deslocamento das cristas de praias em direção ao continente, juntamente com o transporte pelas correntes litorâneas para sul e oeste do segmento. Associado com fases de maré vazantes mais longas, que possibilita maior deposição para o segmento. Há indícios que as correntes de maré são responsáveis pela remobilização dos sedimentos no local, isso ocorre também na fase da maré enchente, uma vez que alturas das ondas são relativamente baixas para erosão das cristas de praias.

A pluma de sedimentos do rio Amazonas é importante suprimento de sedimentos para o segmento das cristas de praia em Goiabal, e é direcionada pelas marés de vazantes em direção ao continente, juntamente com as correntes litorâneas e a CNB. Durante o período chuvoso possui ocorre maior suprimento sedimentar de sedimentos finos, observado pela presença de substratos argilosos e úmidos. Assim, confirma-se a hipótese levantada neste estudo.

De maneira geral, esta pesquisa trouxe contribuição ao entendimento dos modelos propostos na literatura e um ambiente praias ao norte da foz do rio Amazonas. É a primeira pesquisa na região abordando a morfodinâmica em praia oceânica e o trabalho permitiu compreender particularidades morfossedimentares que fornecerão suporte ao entendimento da evolução dos sistemas de cristas de praias nesta região, bem como os processos atuais que os modelam, e no futuro permitirá entender sua conectividade com as formações de planícies de *cheniers*, detectadas na região.

REFERÊNCIAS

- Agência Nacional de Águas (ANA). 2022. *Hidroweb*: Sistemas de informações hidrológicas. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em: 28 ago. 2022.
- Allison M. A. *et al.* 1994. Use of an instrumented tripod system to examine sediment dynamics and fine-scale strata formation in muddy surfzone and nearshore environments. *Journal of Coastal Research*, **10**(2):488-496.
- Allison M. A. *et al.* 1995. Rates and mechanisms of shoreface progradation and retreat downdrift of the Amazon river mouth. *Marine Geology*, **125**(3-4):373-392.
- Anthony E. J. *et al.* 2014. Fluvial sediment supply, mud banks, Chenier's and the morphodynamics of the coast of South America between the Amazon and Orinoco river mouths. *Geological Society Special Publication*, **388**(1):533-560.
- Anthony E. J. *et al.* 2010. The Amazon-influenced muddy coast of South America: A review of mud-bank–shoreline interactions. *Earth-Science Reviews*, **103**(3-4):99-121.
- Anthony E. J. *et al.* 2002. Short-term changes in the plan- shape of a sandy beach in response to sheltering by a nearshore mud bank, Cayenne, French Guiana. *Earth Surface Processes and Landform*, **27**(8):857-866.
- Beardsley R. C. *et al.* 1995. The M2 tide on the Amazon Shelf. *Journal of Geophysical Research*, **100**(2): 2283-2319.
- Boy R. *et al.* 1992. Classification of clastic coastal depositional environments. *Sedimentary Geology*, **80**(3-4):139-150.
- Brodu N. 2017. Super-resolving multiresolution images with band-independent geometry of multispectral pixels. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, **55**(8):4610-4617.
- Calliari L. J. *et al.* 2003. Morfodinâmica praial: uma breve revisão. *Revista Brasileira de Oceanografia*, **51**(1):63-78).
- Carter R. W. G. (ed.). 1988. *An introduction to the physical, ecological and cultural systems of coastlines*. London, Academic Press. (Coastal environments).
- Carter R. W.G. 1986. The morphodynamics of beach-ridge formation: Magilligan, Northern Ireland. *Marine Geology*, **73**(4-3):191-214.
- Christopherson R. W. 2011. *Uma introdução à geografia física*. Porto Alegre, Bookman. (Geossistemas,7)
- Cuevas E. *et al.* 2010. A novel multi-threshold segmentation approach based on differential evolution optimization. *Expert Systems with Applications*, **37**(7):5265-5271.
- Davies J. L. 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeitschrift für Geomorphologie*, **8**(5):127–144.

Davis R. A. J. (ed.). 1978. *Beach and nearshore zone*. New York, Springer, p. 237-285. (Coastal sedimentary environments).

Davis R. A. J. (ed.). 1985. *Beach and nearshore zone*. New York, Springer, p. 533-624. (Coastal sedimentary environments).

Dean R. G. & Dalrymple R. A. 1998. *Water waves mechanics for engineers and scientists*. Singapore, World Scientific, 368 p. (Advanced Series on Ocean Engineering, 2).

Doeglas D. L. 1955. The origin and destruction of beach ridges. *Leidse Geologische Mededelingen*, **20**(1):34-17.

European space agency (ESA). *Copernicus Open Access Hub*. Disponível em: <https://scihub.copernicus.eu>. Acesso em: 01 jun. 2021.

Gerkema T. (ed.). 2019. *Introductory Concepts*. Cambridge University Press, p. 1-26. (An Introduction to Tides)

Hicks S. D. 2006. *Gravitational attraction*. [S.l.], NOAA, p. 5-7. (Understanding tides)

Hicks S. D. 2006. *Spring and neap, distance and declination*. [S.l.], NOAA, p. 5-7. p. 11-20. (Understanding tides)

French P. W. C. (ed.). *The physical regime of coasts and estuaries*. New York, Routledge. (Coastal and Estuarine Management).

Gensac E. *et al.* 2016. Seasonal and inter-annual dynamics of suspended sediment at the mouth of the Amazon river: The role of continental and oceanic forcing, and implications for coastal geomorphology and mud bank formation. *Continental Shelf Research*, **118**(1):49-62.

Geyer W. R. *et al.* 1991. The physical oceanography of the Amazon outflow. *Oceanography*, **4**(1):8-14.

Geyer W. R. *et al.* 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental Shelf Research*, **16**(5-6):575-616.

Geyer W. R. & Kineke, G. C. 1995. Observations of currents and water properties in the Amazon Frontal Zone. *Journal of Geophysical*, **100**(2):2321-2339.

Gonzalez R. C & Woods R. E. (ed.). 2000. *Técnicas de modificação de histograma*. Rio de Janeiro, 55 p. (Processamento de imagens digitais).

Guerreiro J. S. *et al.* 2013. A. Seasonal changes of a dynamic macrotidal beach: Case Study of Marieta Beach (Amazon Coast/Brazil). *Journal of Coastal Research*, **65**(2):1780-1784.

Guimarães J. T.F. *et al.* 2010. Model of wetland development of the Amapá coast during the late Holocene. *Academia Brasileira de Ciências*. **82**(2):451-465.

Hails J.R. 1969. The origin and development of the Umina-woy Woy Beach ridge system, Broken Bay, N.S.W. *Australian Geographer*, **11**(1):1-12.

Horikawa K. (ed.). 1988. *Beach change e coastal sediment transport*. Japan, University of Tokyo Press, p. 133-240. (Nearshore dynamics and coastal processes: Theory, measurement, and predictive models)

Instituto de Pesquisas Científicas e Tecnológicas (IEAP). Banco de dados Geográficos do Projeto Cartas SAO FZA. Versão 1.0. 2017. Disponível em: <http://www.iepa.ap.gov.br/saofza/bancodados/bmfza.php>

Jensen J. R. (ed.). 1986. *Geometric correction*. New Jersey, Prentice Hall. (Introductory digital image processing: a remote sensing perspective, 2).

Johnson D.W. 1919. Shore processes and shoreline development. *Journal of Geography*, **19**(1):39–40

King C. A. M. (ed.). 1975. *Waves*. Londres, Edward Arnold, p. 149-200. (Introduction to physical and biological oceanography)

Komar P. D. (ed.). 1976. *Wave-generated currents in the nearshore*. New Jersey: Prentice-Hall. (Beach process and sedimentation).

Kuehl S. *et al.* 1982. Modern sediment accumulation and strata formation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*. **49**(3-4):279-300.

Lentz S. J. & Limeburner, R. 1995. The Amazon River plume during AMASSEDS: Spatial characteristics and salinity variability. *Journal of Geophysical Research*, **100**(2):23552375.

Main-Knorn M. *et al.* 2017. Sen2Cor for Sentinel-2. *In: SPIE, 23 Image and Signal Processing for Remote Sensing (SPIE), Warsaw. Anais[...]*. p. 1042704-2.

Masselink G. & Short A. D. 1993. The effect of tide range on beach morphodynamics and morphology: A conceptual beach model. *Journal of Coastal Research*, **9**(3):785-800.

Short A. D. & Masselink G. (ed.). 1999. Embayed and structurally controlled beaches. *In: Short A. D. (ed.) Handbook of beach and shoreface morphodynamics*. New York, Wiley, p. 230-250.

Mendes A. C. 1994. *Estudo sedimentológico e estratigráfico de sedimentos holocênicos da costa do Amapá, setor entre a Ilha de Maracá e o Cabo Orange*. PhD Theses, Universidade Federal do Pará, Belém, 262 p.

Miranda L. B. *et al.* (ed.). 2002. *Forçantes da circulação e dos processos de mistura nos estuários*. São Paulo, Universidade de São Paulo (EDUSP), p. 414. (Princípios de Oceanografia Física de Estuários).

Muehe D. Definição de limites e tipologias morfodinâmico e evolutivo. *In: Ministério do Meio Ambiente (ed.) Projeto Orla: subsídios para um projeto de gestão*. Brasília: [s.n.]. p. 13-32.

Nascimento A. T. & Pereira L. C. C. 2016. Morphodynamic processes on a macrotidal beach in the eastern amazon. *Journal of Coastal Research*, **75**(1):427-431.

- Nikiema O. *et al.* 2007. Numerical modeling of the Amazon River plume. *Continental Shelf Research*, **27**(7):873-899.
- Nittrouer C. A. *et al.* 1995. An introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology*, **125**(3-4):177-192.
- Nittrouer C. A. *et al.* 1991. Sedimentology and stratigraphy on the amazon continental shelf. *Oceanography*, **1**(1):33-38.
- Nossin J. J. 1964. Beach-ridges on the east coast of Malaya. *Journal of Tropical Geography*, **18**(1):112-117.
- Oliveira S. M. *et al.* 2014. Morphodynamic processes in a macrotidal beach in the Amazon littoral. *Quaternary and Environmental Geosciences*, **5**(1):125-136.
- Pereira L. C. C. *et al.* 2009. Morphological and sedimentological changes in a macrotidal sand beach in the Amazon littoral (Vila dos Pescadores, Pará, Brazil). *Journal of Coastal Research*, **56**(1):113-117.
- Pereira L. C. C. *et al.* 2014. Morphodynamic variations of a macrotidal beach (Atalaia) on the Brazilian Amazon Coast. *Journal of Coastal Research*, **70**(1):681-686.
- Pilkey O. & Cooper A. 2002. Longshore transport volumes: a critical view. *Journal of Coastal Research*, **36**(1):572-580.
- Ramos C. C. & Ranieri L. A. 2021. Morfologia e sedimentação de uma praia estuarina amazônica (Marahú/PA) durante amplitudes de marés distintas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **14**(1):2916-2930.
- Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2012. Comportamento morfodinâmico sazonal da Praia da Romana, Ilha dos Guarás (Nordeste do Pará), como indicativo do transporte litorâneo da área. *Pesquisas em Geociências*, **39**(3)231-246.
- Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2020. Morfologia e sedimentação em praias oceânicas da Amazônia Oriental durante a Variação Anual de Chuvas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, **13**(1):2086-2102.
- Redman J. B. 1852. On the alluvial formations and local changes of the South Coast of England. *Minutes of the Proceedings of the Institution of Civil Engineers*, **11**(1):162-204.
- Santos V. F. *et al.* 2016. *Caracterização dos ambientes sensíveis ao óleo*. Macapá, IEPA, p. 22. (Atlas de Sensibilidade Ambiental ao Óleo da Bacia Marítima da Foz do Amazonas).
- Santos V. F. *et al.* 2016. Beaches of the amazon coast: Amapá and west Pará. In: Short. A. D., Klein A. H. F. (ed.). *Brazilian Beach Systems*, Springer, p. 67-93.
- Short A. D. (ed.). 1999. *Beach*. New York, Wiley. (Handbook of beach and shoreface morphodynamics).

- Short A. D. 2020. Wave-dominated, tide-modified and tide-dominated continuum. In: Jackson D. W. T. & Short A. D. (ed.). *Sandy beach morphodynamics*. Amsterdam, Elsevier, p. 363-390.
- Short A. D. Australian beach systems-nature and distribution. *Journal of Coastal Research*, **22**(1):11–27, 2006.
- Silva C. G. *et al.* 2004. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha de costa. In: Neto J. A. B. *et al.* (ed.). *Introdução à Geologia Marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, p. 175-218.
- Silva D. R. *et al.* 2020. Composição da comunidade meroplantônica na Praia do Goiabal, Calçoene-AP, Brasil. *Brazilian Journal of Animal and Environmental Research*, **3**(3):1766-1778.
- Silva M. V. 2010. *Análise multitemporal quantitativa da linha de costa amapaense aplicando dados de sensores remotos óticos e radar (1992-2000)*. BS Dissertation, Universidade Federal do Amapá, Macapá, 102p.
- Silveira O. F. M. 1988. *A planície costeira do amapá: dinâmica de ambiente influenciado por grandes fontes fluviais quaternárias*. PhD Theses, Universidade Federal do Pará, Belém, 205p.
- Souza D. G. C. *et al.* 2021. Population structure and use of space by ghost crabs (Brachyura: Ocypodidae) on an equatorial, macrotidal sandy beach. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **258**(1):107376.
- Stapor F.W. 1975. Holocene beach ridge plain development, north-west Florida. *Zeitschrift fur Geomorphologie Supplement*, **22**(1):116-144.
- Taggart B. & Schwartz M. L. 1988. Net shore-drift direction determination: a systematic approach. *Journal of Shoreline Management*, **3**(4):285-309.
- Tamura T. 2012. Beach ridges and prograded beach deposits as palaeoenvironment records. *Earth-Science Reviews*, **114**(3-4): 279-297.
- Taylor M. & Stone G.W. 1996. Beach-ridges: a review. *Journal of Coastal Research*, **12**(3):612-621.
- Tripathy B. R. *et al.* 2018. Monitoring of seasonal variability and movement of suspended sediment concentrations along the Thiruvananthapuram coast, southern India, using the Landsat OLI sensor. *European Geosciences Union*, **14**(5):1085-1092.
- Vantrepotte V. *et al.* 2013. Satellite assessment of the coupling between in water suspended particulate matter and mud banks dynamics over the French Guiana coastal domain. *Journal of South American Earth Sciences*, **44**(1):25-34.
- Vilhena J. C. E. *et al.* 2021. Baseline study of trace element concentrations in sediments of the intertidal zone of Amazonian Oceanic Beaches. *Frontiers in Marine Science*, **8**(1):1-14.

Vilhena J. C. E. *et al.* 2021. Assessing the efficiency of low-cost cleaning methods for diatoms from intertidal sediment samples. *Journal of Microbiological Methods*, **187**(1):106255.

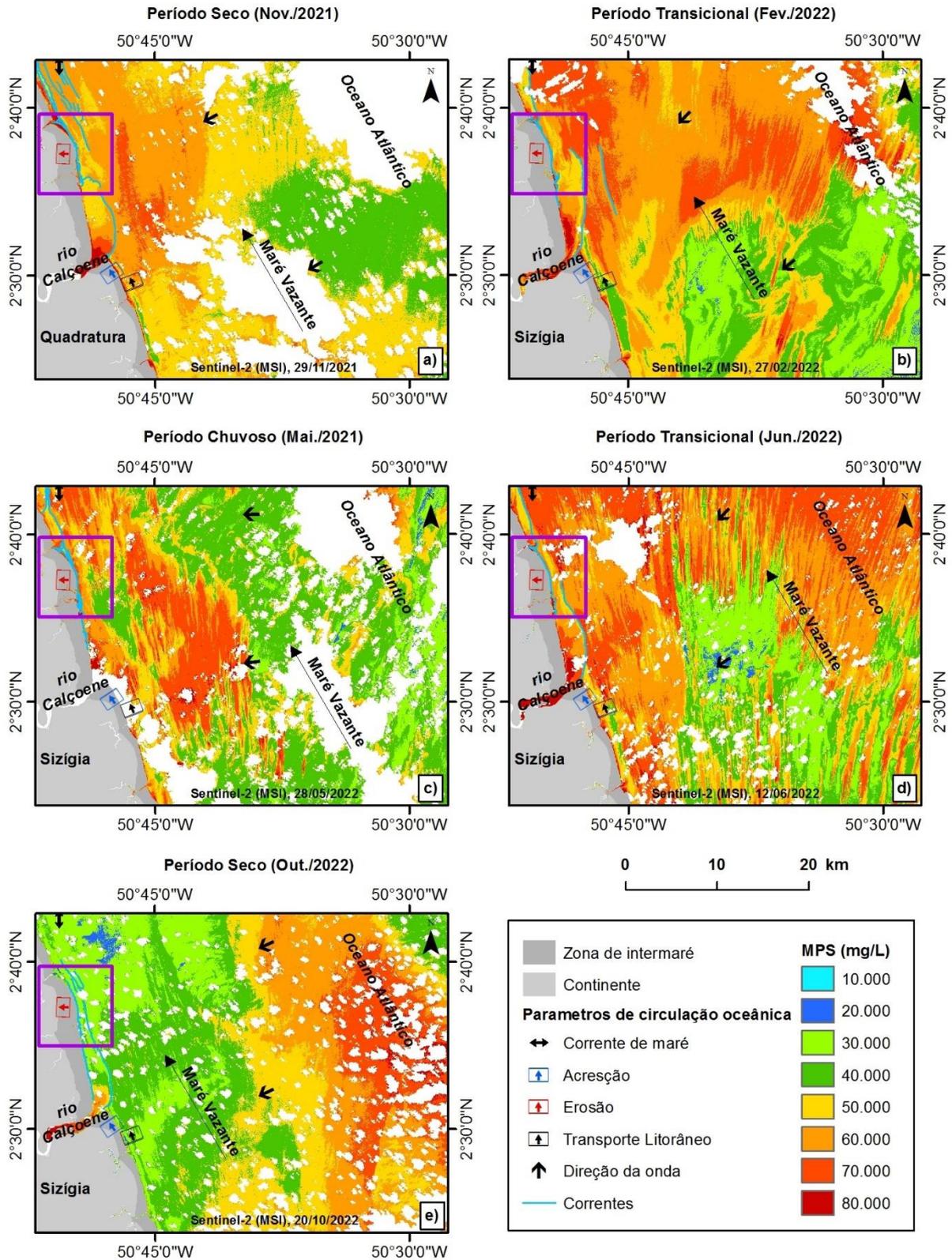
Wright L. D. (ed.). 1995. *Future directions*. Boca Raton, CRC Press. (Morphodynamics of inner continental shelves).

Wright L. D. 1970. The influence of sediment availability on patterns of beach ridge development in the vicinity of the Shoalhaven river delta, N.S.W. *Australian Geographer*, **11**(4):336-348.

Wright L. D. & Short A. 1984. D. Morphodynamic variability of surf zones and beaches: a synthesis. *Marine Geology*, **56**(1-4):93–118.

Xu H. 2006. Modification of normalised difference water index (NDWI) to enhance open water features in remotely sensed imagery. *International Journal of Remote Sensing*, **27**(14): 3025-3033.

ANEXO A - VARIAÇÃO DOS MPS NOS PERÍODOS SECO (NOV./2021 E OUT./2022) E CHUVOSO (MAI./2022), E TRANSIÇÕES DE PERÍODOS (FEV./2022) E JUN./2022).



Fonte: Figura produzida a partir da compilação de informações de Iepa (2017) e imagens dos MPS derivados das imagens Sentinel-2 de novembro de 2021, fevereiro, maio, junho e outubro de 2022, banda Red.