



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**INFLUÊNCIA HIDRODINÂMICA NO BALANÇO  
SEDIMENTAR: ESTUDO DE CASO DAS PRAIAS  
ESTUARINAS NA ILHA DE COTIJUBA**

**Trabalho apresentado por:**

**FABRÍCIO COSTA LOBO**

**Orientadora: PROF<sup>A</sup>. DR<sup>A</sup>. Sury de Moura Monteiro (UFPA)**

**Coorientadora: MSc. Thaís Angélica da Costa Borba (UFPA)**

---

**BELÉM – PARÁ**

**2018**



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ**  
**INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS**  
**FACULDADE DE OCEANOGRAFIA**

---

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

**INFLUÊNCIA HIDRODINÂMICA NO BALANÇO  
SEDIMENTAR: ESTUDO DE CASO DAS PRAIAS  
ESTUARINAS NA ILHA DE COTIJUBA**

**Trabalho apresentado por:**

**FABRÍCIO COSTA LOBO**

**Orientadora: PROF<sup>A</sup>. DR<sup>A</sup>. Sury de Moura Monteiro (UFPA)**

**Coorientadora: MSc. Thaís Angélica da Costa Borba (UFPA)**

---

**BELÉM-PARÁ**

**2018**

**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)**

---

L799i Lobo, Fabrício Costa.  
Influência hidrodinâmica no balanço sedimentar: estudo de caso das praias estuarinas na ilha de Cotijuba / Fabrício Costa Lobo. — 2018.  
x,37 f. : il. color.

Orientador(a): Prof<sup>ª</sup>. Dra. Sury de Moura Monteiro  
Coorientador(a): MSc. Thaís Angélica da Costa Borba  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.

1. Morfodinâmica. 2. Correntes. 3. Ondas. 4. Plataforma Continental Interna. 5. Zona Costeira Amazônica. I. Título.

CDD 551.30098115

---



**Universidade Federal do Pará**

**Instituto de Geociências**

**Faculdade de Oceanografia**

**INFLUÊNCIA HIDRODINÂMICA NO BALANÇO  
SEDIMENTAR: ESTUDO DE CASO DAS PRAIAS  
ESTUARINAS NA ILHA DE COTIJUBA**

**TRABALHO APRESENTADO POR**

**FABRÍCIO COSTA LOBO**

**Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia**

**Data de Aprovação: 21/12/2018**

**Banca Examinadora:**

**Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Sury de Moura Monteiro – Orientadora  
(UFPA)**

**Prof<sup>a</sup>. Dr. Marcelo Rollnic – Membro  
UFPA**

**Prof. Dr. Maamar El-Robrini – Membro  
(UFPA)**

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus, por todas as oportunidades e por ter me abençoado ao longo de minha vida.

À ORN pelo financiamento do Projeto OCA: Observatório da Costa Amazônica.

À minha família, minha mãe Mercês, e aos meus pais de criação e avos Manoel (*in memorian*) e Iracy pelo apoio, amor, paciência e incentivo durante todos os momentos, para que eu conseguisse realizar mais esta etapa da minha vida.

À minha namorada e companheira Gabriela Novaes, pelo seu grande amor, paciência, companheirismo, dedicação sem igual, em sempre estar ao meu lado, ajudando e incentivando em todos os momentos.

A Professora Dr<sup>a</sup> Sury Monteiro, agradecimento especial pela orientação ao longo desses anos, pelas oportunidades, pela confiança e seriedade a qual me foi dado, e aos momentos de descontração com suco de manga.

Aos meus amigos de longa data, Ogue, Anderson, Victor, Leandro, Thassis, Adriane e Ariane pelos momentos divertidos desde o ensino médio, pela ajuda, força, discussões, e pela grande amizade construída.

À todos da equipe de trabalho, desde o antigo Laboratório de Oceanografia Geológica e Geofísica Marinha (LIOG) pelo início, Matthheus (do Remo), Ivson, Herbert, Débora, Liz, Renata, Raphael, Micaela, até o atual Laboratório de Pesquisa em Monitoramento Ambiental Marinho (LAPMAR) Matheus Nicolau, Isabela, Deise, Gabrielle, Acsa, Caio, Fabrício, Fernando e Leo pela ajuda recebida e troca de experiências.

Aos membros do Laboratório de Oceanografia Física (LOF) que sempre estiveram dispostos a ajudar no tratamento dos dados, em especial à Thais pela semi-orientação, e aos membros, Prof. Rollnic, Mauricio, Leandro, Iran, Rafael.

Aos meus amigos do curso de Oceanografia, em especial à todos da turma de 2014, que compartilharam momentos excelentes.

Aos professores da FAOC que participaram e ajudaram no meu crescimento ao longo da minha trajetória.

“O tempo não é importante,  
apenas a vida é importante.”

Guardião Mondoshawan.

## RESUMO

A Zona Costeira Amazônica (ZCA) é modelada pelo equilíbrio dos processos erosivos ou deposicionais que podem ser ocasionados pela ação de ondas, marés e das correntes costeiras. Poucos estudos de modelos evolutivos de praias na ZCA foram realizados, sendo sua maioria em praias oceânicas. Isto torna as praias estuarinas ainda pouco conhecidas, mesmo sendo ambientes importantes, complexos e fortemente impactadas pelo crescimento desordenado e atividades antrópicas. O estuário Rio Pará possui grande extensão, e tem como principais forçantes atuantes as correntes de macro e mesomaré, a descarga fluvial advinda de seus afluentes, principalmente do rio Tocantins, e as ondas formadas por ventos locais. Dentro deste estuário, a ilha de Cotijuba é moldada por estes agentes físicos que variam a sua intensidade sazonalmente. Assim, o objetivo deste trabalho é avaliar o balanço sedimentar das praias flúvio estuarinas da ilha de Cotijuba a partir da análise morfodinâmica e sua relação com as correntes de maré e ondas. Para isto, foram realizadas campanhas de levantamento topográfico, coleta de sedimentos ao longo dos perfis, balanço sedimentar com armadilhas de sedimento e aquisição de dados físicos, em três praias: Pedra Branca, Vai-quem-quer e Flexeira, durante os dois períodos sazonais amazônicos, em maré de sizígia de lua Nova. As praias possuem maior transporte sedimentar por ação ou influência das ondas, geradas pelo vento, mas que também recebem impulso da corrente de maré enchente devido à orientação da linha de costa da porção norte da ilha. Assim a morfologia muda de acordo com a sazonalidade, devido ao aspecto erosional predominante observado.

Palavras-chave: Morfodinâmica. Correntes. Ondas. Plataforma continental interna. Zona Costeira Amazônica.

## ABSTRACT

The Amazon Coastal Zone (ZCA) is modeled by the equilibrium of the erosive or depositional processes that can be caused by the action of waves, tides and coastal currents. Few studies of evolutionary models of beaches in the ZCA were carried out, most of them being on oceanic beaches. This makes the estuarine beaches still little known, even though they are important, complex and strongly impacted by the disordered growth and anthropic activities. The estuary Rio Pará has a great extension, mainly forced by the currents of macro and mesomaré, the fluvial discharge coming from its tributaries, mainly of the river Tocantins, and the waves formed by local winds. Within this estuary, the island of Cotijuba is shaped by these physical agents that vary their intensity seasonally. Thus, the objective of this work is to evaluate the sedimentary balance of the estuarine fluvial beaches of the island of Cotijuba from the morphodynamic analysis and its relation with the currents of tide and waves. For this, surveys, sediment collection along sediments, sediment balance with sediment traps and physical data acquisition were carried out on three beaches: Pedra Branca, Vai-quem-quer and Flexeira, during the two Amazonian seasonal periods, in tide of New Moon springs tide. The beaches have greater sedimentary transport by action or influence of the waves, generated by the wind, but also receive impulse of the current of tide flood due to the orientation of the line of coast of the north portion of the island. Thus the morphology changes according to the seasonality, due to the predominant erosional aspect.

**Keywords:** Morphodynamics. Currents. Waves. Inner Continental Shelf. Amazon Coastal Zone.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Mapa de localização do Estuário rio Pará na Zona Costeira Paraense. ....	6
Figura 2- Mapa de localização da Ilha de Cotijuba, Belém, Pará. ....	7
Figura 3- Chuva Acumulada Mensal e Normal Climatológica em Belém para os anos de 2017 (A) e 2018 (B). INMET. ....	9
Figura 4- Dados de pluviosidade acumulada mensal obtidos da estação Meteorológica instalada na praia Flexeira em Cotijuba. ....	9
Figura 5- Classificação do ERP e ambientes adjacentes em: i) Zona Costeira; ii) Zona de Mistura; e iii) Zona de Rio. Conforme as definições propostas por Kjerfve (Prestes, 2016). ....	10
Figura 6- Mapa de amostragem para levantamento topográfico, coleta de sedimento em armadilha e aquisição de dados físicos. ....	11
Figura 7- Localização dos pontos de levantamento topográfico na praia Pedra Branca, Perfil A (A), Perfil B (B), vista superior (C) e inferior (D) do Perfil C. ....	12
Figura 8- Localização dos perfis D (A) e E (B). ....	13
Figura 9- Localização dos perfis G (A), H (B) e I (C). ....	13
Figura 10- <i>Traps</i> de coleta de sedimento da zona de espraiamento. ....	14
Figura 11- Armadilhas dispostas em série para coleta de sedimentos do transporte transversal. ....	14
Figura 12- Disposição de coleta de sedimentos do transporte transversal e longitudinal, seguindo a zonação proposta por Davis (1985). ....	15
Figura 13- Rotação do referencial <i>Oxy</i> em relação ao norte para alinhamento à linha de costa praial. ....	18
Figura 14- Sequência temporal dos perfis da praia Pedra Branca (A, B e C), juntamente com o balanço volumétrico e localização. ....	20
Figura 15- Sequência temporal dos perfis da praia Vai Quem Quer (D, E e F), juntamente com o balanço volumétrico e localização. ....	21
Figura 16- Sequência temporal dos perfis da praia Flexeira (G, H e I), juntamente com o balanço volumétrico e localização. ....	22
Figura 17- Distribuição granulométrica das praias estuarinas do N-NW da ilha de Cotijuba nos períodos seco (Novembro e Julho) e chuvoso (Janeiro e Abril). ....	24

Figura 18- Distribuição da seleção dos grãos das praias estuarinas do N-NW da ilha de Cotijuba nos períodos seco (Novembro e Julho) e chuvoso (Janeiro e Abril). .....	25
Figura 19- Distribuição da assimetria dos grãos das praias estuarinas do N-NW da ilha de Cotijuba nos períodos seco (Novembro e Julho) e chuvoso (Janeiro e Abril). .....	26
Figura 20- Quantidades e resultantes do transporte sedimentar transversal e longitudinal nas praias do N-NW da ilha de Cotijuba.....	28
Figura 21- Variação de altura de maré (m) e velocidade de corrente (m/s) longitudinal (A) e transversal (B) à linha de costa para o período chuvoso (janeiro 2018). ....	29
Figura 22- Variação de altura de maré (m) e altura significativa de onda (m) em A. Direção preferencial e velocidade dos ventos (m/s) em B, para o período chuvoso (janeiro 2018). ....	29
Figura 23- Variação de altura de maré (m) e velocidade de corrente (m/s) longitudinal (A) e transversal (B) à linha de costa para o período seco (junho 2018). ....	30
Figura 24- Variação de altura de maré (m) e altura significativa de onda (m) em A. Direção preferencial e velocidade dos ventos (m/s) em B, para o período seco (junho 2018).....	30
Figura 25- Corte da Carta Náutica 304 indicando a batimetria da costa norte da ilha de Cotijuba (A), e indicação da formação da barra sedimentar em frente à praia Vai Quem Quer (B).....	31

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	iv
<b>EPIÍGRAFE</b> .....	v
<b>RESUMO</b> .....	vi
<b>ABSTRACT</b> .....	vii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	viii
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	3
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	4
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	6
4.1 ÁREA DE ESTUDO.....	6
4.1.1 Geologia .....	7
4.1.2 Geomorfologia.....	7
4.1.3 Hidrografia .....	8
4.1.4 Clima .....	8
4.2 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS.....	9
4.3 AMOSTRAGEM EM CAMPO.....	10
4.3.1 Descrição das Praias .....	11
4.3.2 Levantamento Topográfico e Coleta de Sedimento Superficial .....	12
4.3.3 Transporte Transversal e Longitudinal.....	14
4.3.4 Aquisição de Dados Oceanográficos .....	15
4.4 TRATAMENTO DOS DADOS.....	15
4.4.1 Perfil Topográfico .....	15
4.4.2 Granulometria.....	16
4.4.3 Balanço Sedimentar .....	16
4.4.4 Parâmetros físicos .....	17
<b>5 RESULTADOS</b> .....	19
<b>6 DISCUSSÃO</b> .....	32
<b>7 CONCLUSÃO</b> .....	33
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	34

## 1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é definida como a interface entre o oceano e o continente (Rodríguez & Windevoxhel 1998). A modelagem desta zona é resultado do equilíbrio dos processos erosivos ou deposicionais, que podem ser ocasionados pela ação de ondas, marés e das correntes costeiras (Vidigal *et al.* 2006).

Os ambientes da Zona Costeira Amazônica (ZCA) incluem praias estuarinas e oceânicas, longas planícies de maré lamosas, ecossistemas de manguezais e vegetação ciliar secundária consolidada, todos fortemente impactados pelo crescimento desordenado e atividades antrópicas (El-Robrini *et al.* 2006).

Estes ambientes sofrem processos de erosão e deposição influenciados principalmente pelas meso a macro marés semidiurnas (Prestes *et al.* 2014, El-Robrini 2006), intensas correntes de maré (Prestes 2016) e ação de ondas (Borba *et al.* 2012). Como parte da ZCA, as praias estuarinas paraenses são influenciadas por estes processos, mas também pela descarga fluvial do rio Pará (Rosário 2016) ou estuários menores, as quais variam em intensidade de acordo com a sazonalidade climática (Prestes 2016).

A somatória destas condicionantes hidrodinâmicas torna os modelos evolutivos de praias estuarinas paraenses complexos e ainda pouco conhecidos. Há poucos estudos em praias da ZCA, a exemplo, os realizados por Ranieri & El-Robrini (2012, 2015, 2016) em praias oceânicas, que focaram a quantificação do transporte sedimentar, a interferência antrópica nesse transporte e a evolução da linha de costa, e Ramos (2017) com foco na análise morfológica e sedimentar em uma praia estuarina.

Em praias dominadas por processos fluviais, o entendimento da dinâmica local de sedimentos contribui para: o controle de processos erosivos, o planejamento de obras de engenharia, o entendimento da fauna associada ao substrato, o conhecimento acerca da manutenção dos serviços ecossistêmicos e ambientais, o que facilita o processo de gestão costeira

Neste contexto, este estudo de caso abordará praias estuarinas localizadas na porção continental da zona costeira paraense, precisamente situadas na ilha de Cotijuba. Esta ilha está situada à 90 km da foz do rio Pará e possui 15 km de praias ao longo da sua linha de costa. Socialmente, tem sua atividade econômica baseada no turismo o que impulsiona a ocupação da região litorânea para fins de recreação, ocasionando a remoção da vegetação e construção de habitações de madeira ou alvenaria.

O presente trabalho irá contemplar o balanço sedimentar sazonal condicionado pela hidrodinâmica com o objetivo de responder as seguintes perguntas: a) Qual forçante hidrodinâmica atua com maior intensidade sobre as praias da ilha de Cotijuba: ação fluvial do rio Pará, as correntes de marés ou as ondas? b) Quais mudanças na linha de costa são observadas nos diferentes períodos sazonais? c) A influência sazonal sobre os processos hidrodinâmicos, condicionam um desequilíbrio no balanço sedimentar?

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se o balanço sedimentar das praias estuarinas da ilha de Cotijuba é influenciado com maior intensidade pela ação de correntes de maré ou de ondas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Analisar se há variações topográficas nos diferentes períodos sazonal;

Analisar se os ambientes praias sofrem ação erosiva ou deposicional;

Analisar se a granulometria varia de acordo com a sazonalidade;

Analisar o transporte sedimentar condicionado pelas ondas;

Analisar o transporte sedimentar condicionado pelas correntes de maré;

Analisar se o transporte sedimentar atua com maior intensidade na maré enchente ou maré vazante.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

Estuários são corpos de água costeiros semifechados com uma livre conexão com o mar aberto dentro do qual ocorre a diluição mensurável da água marinha pela água doce proveniente da drenagem continental (Miranda *et al.* 2002)

Pritchard (1967) define-o como um corpo de água costeiro semifechado, estendendo-se até o limite efetivo da influência da maré. Dentro dele a água do mar, ou de qualquer outro corpo costeiro salino, entrando por uma ou mais conexões com o oceano aberto, é diluída significativamente com a água fluvial proveniente de drenagem continental.

Dentro do estuário, a atuação dos componentes hidrodinâmicos (ondas e marés) controlam os níveis de energia e circulação do sistema estuarino, tais forçantes serviram de base para Dalrymple *et al.* (1992) propor modelos de estuários, sendo classificados como estuários dominados por onda ou por maré.

Estuários dominados por ondas apresentam um pontal arenoso transversal à desembocadura. Na sua porção central possui baixa energia e na região da cabeceira alta energia. Os dominados por maré possuem barras arenosas longitudinais ao fluxo fluvial, aumento progressivo da energia das correntes de maré em direção ao estuário, canais meandantes na porção intermediária onde verifica-se os valores mínimos de energia do sistema, e decréscimo da energia das marés onde há a predominância da energia fluvial Dalrymple *et al.* (1992).

Dentro do estuário, o desenvolvimento de praias estuarinas ocorre onde o transporte sedimentar é controlado pela ação de correntes de maré e ondas geradas localmente em condição de *fetch* restrito, mas que apresenta um nível energético suficiente para exercer controle sobre a dinâmica sedimentar (Nordstrom 1992).

Embora as praias estuarinas sejam semelhantes às oceânicas em serviços recreativos e ecossistêmicos, elas tendem a ter dimensões menores. Os serviços ecossistêmicos são os benefícios resultantes dos recursos e processos fornecidos pelos ecossistemas (Hardaway *et al.* 2016). Ao ser comparado com zonas costeiras expostas, estes ambientes possuem grau energético baixo, as ondas possuem pequena amplitude e curto período, e dependem de fatores locais como a orientação da linha de costa; as propriedades dos fundos adjacentes e a intensidade do vento atuante (Nordstrom 1992, Jackson & Nordstrom 1992).

Jackson *et al.* (2017) ao avaliar as taxas de transporte de sedimento em uma praia estuarina com características erosivas, havendo ocorrência de ventos mais fortes, observou que apesar da baixa energia de ondas, o volume sedimentar movido durante o *swash* foi relativo ao tamanho

da praia, sendo este ambiente de micromaré (variação de 0,21 m) e com *fetch* restrito (12-15 km).

A evolução a médio e longo prazo nestes ambientes é controlada, pela ocorrência de eventos extremos de baixa frequência, como dos diferentes períodos sazonais da região amazônica. E em curto prazo, o regime característico de ondas de baixa energia modifica tanto a magnitude quanto a extensão do retrabalhamento do sedimento ao longo do perfil praiar (Jackson *et al.* 2002), conferindo uma grande variedade morfológica aos sistemas de praia estuarina (Hegge *et al.* 1996).

Assim as ondas atuam como importantes agentes de transporte, deposição e seleção de sedimentos trazidos pelos rios. Estas causam a ressuspensão constante de sedimentos e podem provocar processos erosivos (Silva 1998). A sua formação é condicionada pelo tempo de duração e intensidade do vento atuante, bem como a extensão da área de atuação do mesmo (Pond & Pickard 1983).

Além disso, ocorre transporte pelas correntes de maré produzidas pelo movimento das massas de água, este gerado pela variação da amplitude de maré, quando esta adentra o continente ou quando sai. Assim como as correntes litorâneas, as correntes de maré, junto com a descarga fluvial, são responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental para o litoral (Alves 2001).

Um estudo realizado por Kennedy (2002) em praias estuarinas de micromaré na baía de Sydney, observou que as variações de maré são o principal determinante das mudanças no perfil praiar, enquanto que as ondas geradas por vento somente são contribuintes energeticamente na dinâmica praiar quando o *fetch* é grande o suficiente para tal.

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

O estuário do rio Pará faz parte da Zona Costeira Paraense, norte do Brasil, sendo constituído pela sua rede de drenagem e confluência junto ao rio Tocantins, com limite até o Oceano Atlântico (Figura 1). Este estuário apresenta aspectos peculiares devido à ação dos processos hidrodinâmicos, grandes dimensões (300 km de extensão e 50 km entre margens na foz) e vazão condicionada pela sazonalidade pluviométrica presente na região ( $104 \text{ m}^3/\text{s}$ ) (Corrêa 2005, França & Pimentel 2012, Prestes 2016).

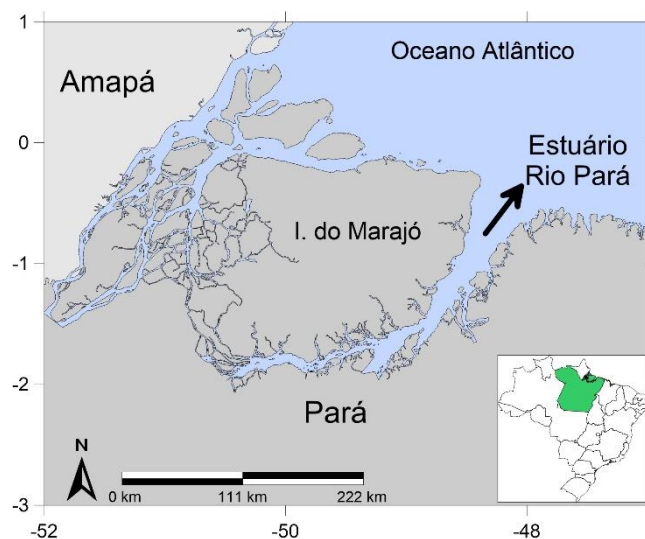


Figura 1- Mapa de localização do Estuário rio Pará na Zona Costeira Paraense.

A porção interna do estuário é ocupada por inúmeros corpos arenosos orientados no sentido das correntes das marés (NE-SW), com a presença de praias estuarinas reflectivas e intermediárias, limitadas por afloramentos lateríticos, falésias ativas e inativas (El-Robrini 2006).

A ilha de Cotijuba ( $1^{\circ}15'48.49''\text{S } 48^{\circ}33'21.21''\text{W}$ ), possui forma alongada e direção NE-SW (Figura 2). Está inserida neste ambiente estuarino distante 90 km da foz, influenciada por correntes de maré e descarga fluvial (Figura 2). Praias estuarinas ocorrem desde o extremo Nordeste, passando pelo Oeste, até o Sul da ilha, podendo perceber evidências de erosão onde há presença de falésias ativas.

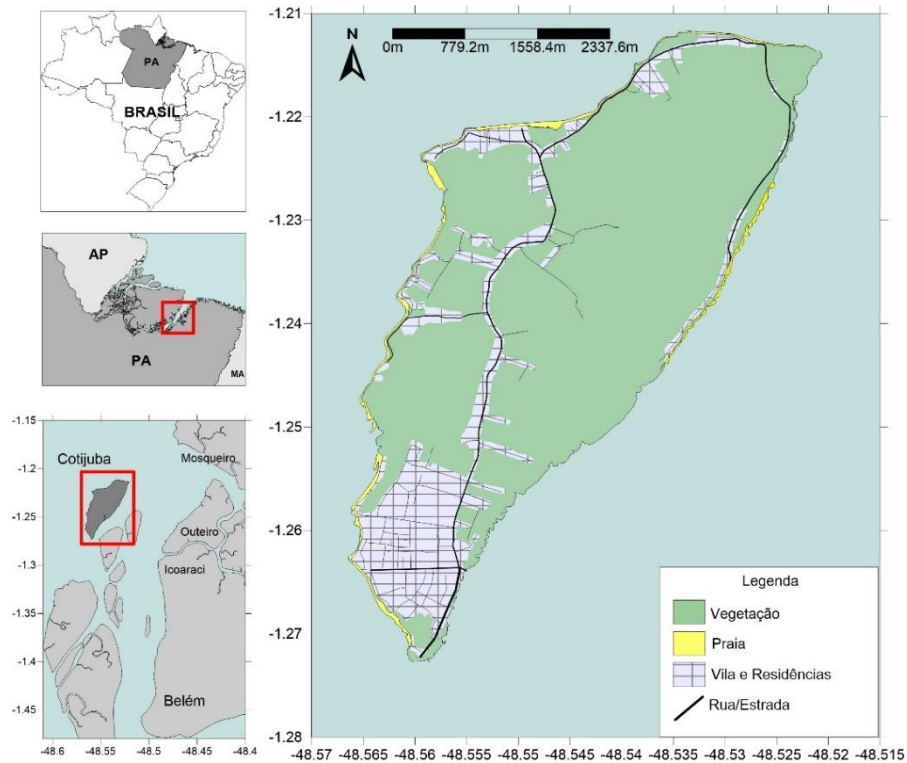


Figura 2- Mapa de localização da Ilha de Cotijuba, Belém, Pará.

#### 4.1.1 Geologia

A ilha de Cotijuba está compartimentada em: sedimentos silte-argilosos da formação Barreiras, com presença de areia fina e conglomerados de cores variadas. Acima desta, através de um contato erosivo, está a formação Pós-Barreiras, com sedimentos areno-siltosos em sua parte inferior, de coloração amarela, branca e vermelha, com presença de estratificação plano paralela e estratificação cruzada, e sedimentos silte-arenosos em sua parte superior, de coloração amarela e laranja, se estendendo até o limite superior com a camada húmica (Araújo 2001).

Praias, mangues, terraços e cordões litorâneos fazem parte dos sedimentos holocênicos recentes. Algumas falésias apresentam afloramentos da formação Barreiras, como ocorre nas praias da Pedra Branca e região norte do Vai Quem Quer, sob sedimentos da formação Pós-Barreiras (Oliveira 2008). Em outras, afloramentos lateríticos Grès Pará dão a característica de inativas às falésias, como as da praia Flexeira (Costa 1991).

#### 4.1.2 Geomorfologia

Na ilha de Cotijuba são observadas as falésias ativas que ocorrem ao longo da linha de costa em contínuo processo de erosão e esculpidas em terraços pleistocênicos constituindo as bordas do Planalto Costeiro. Tais falésias variam de 1 a 10 m de altura. Este domínio é formado

pelos sedimentos da Formação Barreiras e Pós-Barreiras e possui topos planos e vertentes retilíneas e íngremes (Oliveira 2008).

#### **4.1.3 Hidrografia**

A ilha de Cotijuba está inserida no estuário rio Pará, um dos rios mais expressivos da região, este possui 300 km de extensão longitudinal e aproximadamente 50 km de distância entre suas margens na desembocadura (Prestes 2016), e apresenta regime de mesomaré semidiurna (Prestes *et.al.* 2014).

O rio Pará é uma bacia hidrográfica que recebe a contribuição de diversos sistemas de drenagem, o maior deles é proporcionado pelo rio Tocantins (transporte resultante entre 10,828 m<sup>3</sup>/s e 74,391 m<sup>3</sup>/s). Porém o rio Amazonas por meio do Estreito de Breves, também contribui significativamente na formação desse sistema (Borba 2014), com 8,495 ±10% m<sup>3</sup>/s de descarga fluvial (Prestes 2016).

#### **4.1.4 Clima**

A ilha de Cotijuba é condicionada ao clima equatorial amazônico do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. Apresenta a temperatura média de 26°C, e umidade relativa do ar média de 85% (Ferreira 1981).

A variação sazonal dos ventos na região é devido à mudança da posição da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) o que influencia os regimes de chuva da região. A Amazônia é caracterizada por dois regimes climáticos: 1) seco (ou menos chuvoso) que se estende do mês de junho a novembro; e 2) chuvoso úmido, que atua de dezembro a maio (Carvalho *et al.* 2004).

Os máximos de precipitação ocorrem de dezembro a fevereiro (Figura 3), devido a influência de dois grandes sistemas: a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), esta última, durante a sua migração para a região austral propicia a formação de Linhas de Instabilidade (LI) na região norte/nordeste da Amazônia, atuando nos máximos de precipitação no período de dezembro a maio. (de Souza *et al.* 2016). Neste período o volume pluviométrico atinge máximos de 14mm/dia.

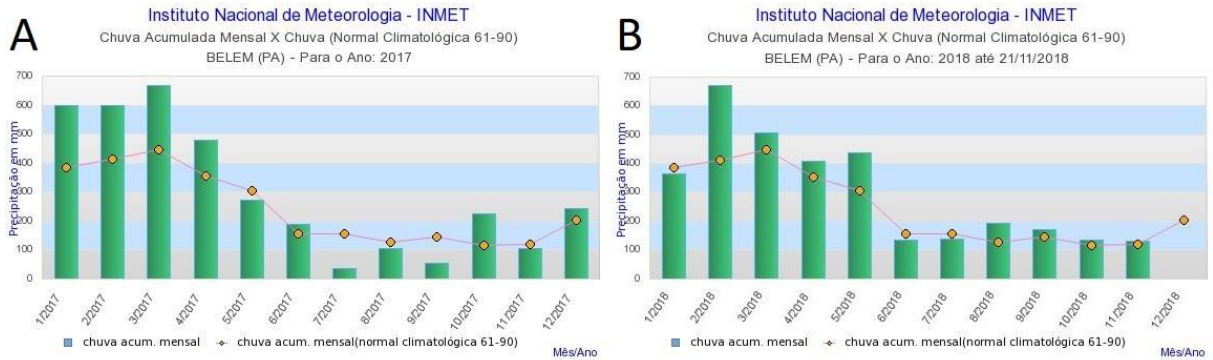


Figura 3- Chuva Acumulada Mensal e Normal Climatológica em Belém para os anos de 2017 (A) e 2018 (B). INMET.

Dados observacionais de pluviosidade, obtidos da estação meteorológico-oceanográfica de Cotijuba (Figura 4), estão de acordo com os dados obtidos da estação automática de Belém, onde observa-se menor pluviosidade nos meses de setembro e outubro de 2017, possivelmente se estendendo até o mês de novembro (2017), característico período seco. A partir do mês de janeiro (2018) ocorre aumento no acumulado de chuva, permanecendo até o mês de abril (2018), caracterizando o período chuvoso na região.

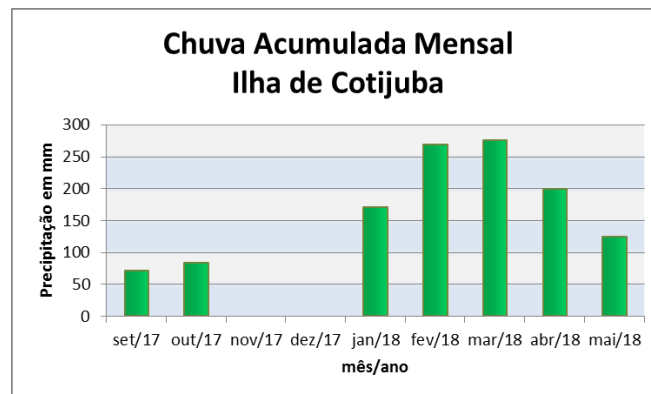


Figura 4- Dados não publicados do projeto OCA de pluviosidade acumulada mensal obtidos da estação Meteorológico-Oceanográfica instalada na praia Flexeira em Cotijuba.

#### 4.2 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS.

A ilha de Cotijuba está inserida no limite da intrusão salina devido a sua localização estar na porção mais interna do estuário Rio Pará. Durante os estudos de Rosário (2016), os máximos de salinidade (1,4 g/kg) foram encontrados junto ao fundo nos perfis verticais. Suas praias são influenciadas por regime de meso a macromaré semidiurnas, com amplitudes que podem alcançar 5 metros próximo à costa (Prestes 2016) (Figura 4).

A descarga fluvial gerada pelo rio Pará sobre região, é de ordem de  $104\text{m}^3\text{s}^{-1}$  (Beardsley *et al.* 1995, Prestes 2016). As correntes atingem valores de  $2,9\text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , e invertem a direção

preferencial antes de cada preamar e baixa mar, e quando as velocidades se aproximam de zero, ocorre um período de estofa (Souza 2006).

Oliveira (2008) verificou que nas praias da ilha de Cotijuba, as ondas atingiram altura máxima em janeiro de 2007, com 1,3 m, pois neste período, a ZCIT atua sobre a região com ventos mais intensos e formam ondas com maiores amplitudes.

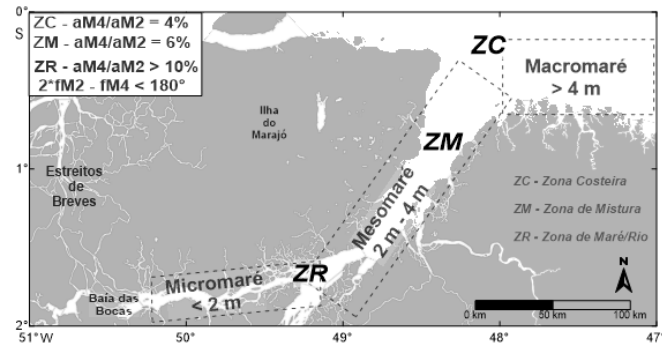


Figura 5- Classificação do ERP e ambientes adjacentes em: i) Zona Costeira; ii) Zona de Mistura; e iii) Zona de Rio. Conforme as definições propostas por Kjerfve (Prestes, 2016).

### 4.3 AMOSTRAGEM EM CAMPO

As campanhas de levantamento topográfico e coleta de sedimentos ao longo dos perfis, coleta de sedimentos em armadilhas na zona de surfe e com *traps* na zona de espraiamento nas praias Pedra Branca, Vai-quem-quer e Flexeira (Figura 5), nos meses de novembro de 2017, janeiro, abril e julho de 2018, ocorrem nos dias coincidentes à maré de sizígia de lua Nova. A coleta de sedimentos em armadilhas e *traps* são realizadas primeiro, na metade do período da maré (enchente e vazante), o levantamento topográfico é realizado durante a maré de vazante, quando a maior parte da face praial está exposta. O Levantamento de dados apresentados neste estudo faz parte do OCA: Observatório da Costa Amazônica.

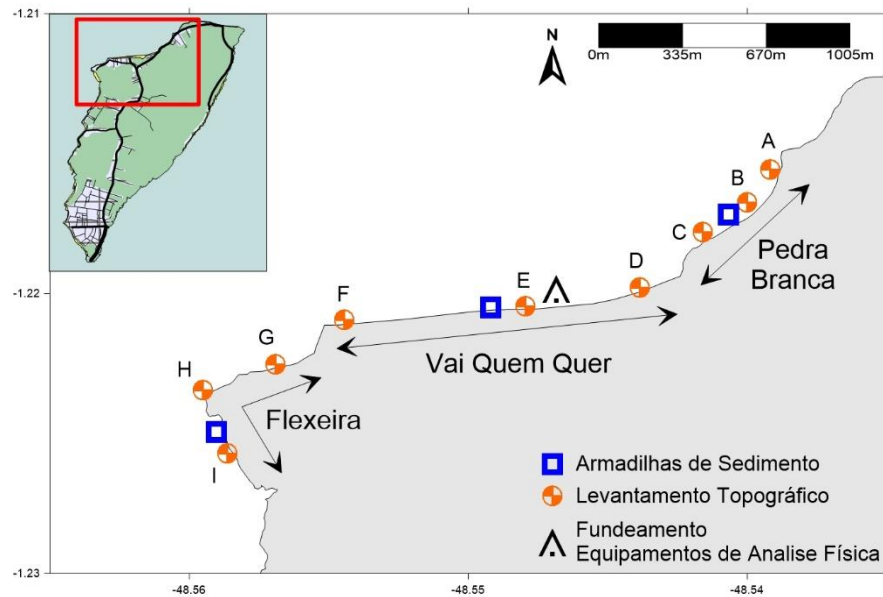


Figura 6- Mapa de amostragem para levantamento topográfico, coleta de sedimento em armadilha e aquisição de dados físicos.

#### 4.3.1 Descrição das Praias

A praia da Pedra Branca ( $1.217387^{\circ}\text{S } 48.540228^{\circ}\text{W}$ ) estende-se por 465m na direção NE-SW, com predominância de sedimentos quartzosos variando de areia média a grossa, e líticos de composição ferruginosa e granulometria seixo à matacão. Sua face superior é delimitada pela presença de falésias ativas com sedimentos inconsolidados areno-argilosos da Formação Pós-Barreiras, onde se observam estratificações cruzadas acanaladas. Ocorrem rochas ferruginosas Grès do Pará estratigráficas na borda direita e matações de arenito na borda esquerda.

A praia do Vai-quem-quer é a mais extensa com 1330m no sentido E-W, e possui como referência a coordenada  $1,220774^{\circ}\text{S } 48,549660^{\circ}\text{W}$  onde se localiza o seu principal acesso. Limitada a direita por arenitos (limite com a praia Pedra Branca), falésias da Formação Pós-Barreiras que se estendem por 500m a partir do seu limite direito e falésias compostas por rochas ferruginosas no seu limite esquerdo.

Apresenta zona de supramaré próxima ao principal acesso onde a construção de barracas se estendeu até o limite de maré alta. A granulometria varia de areia média no seu limite direito para areia fina no centro, e à areia muito grossa no seu limite esquerdo.

A praia da Flexeira está localizada em  $1,222798^{\circ}\text{S } 48,557095^{\circ}\text{W}$ . Divide-se em duas faces, uma a norte com 470m no sentido NE-SW limitada por falésias de rochas ferruginosas com granulometria variando de areia média a muito grossa, com seixos líticos ferruginosos, e

outra a oeste com 370m no sentido NW-SE, limitada por dunas de aproximadamente 5m de largura e por um canal raso (~1,5m), possui granulometria variando de areia média a fina.

#### 4.3.2 Levantamento Topográfico e Coleta de Sedimento Superficial

Os perfis praias são feitos pelo método topográfico utilizando um nível GEOMAX ZDL 700, georeferenciados com auxílio de um aparelho GPS, orientados em sentido perpendicular à linha de costa. Em cada perfil, um ponto fixo para ser referência é demarcado com a finalidade de obter a mesma cota inicial do perfil nos meses subsequentes, e com isto possibilitar comparação mensal.

Cada perfil se inicia no limite superior da face praial, com espaçamento de 20 m entre os pontos ou a cada mudança visível na topografia, juntamente é realizada a coleta de sedimentos superficiais com auxílio de uma pá pequena. Estes procedimentos foram realizados durante o período de baixa mar de sizígia.

Três transectos de levantamento topográfico foram realizados na praia Pedra Branca, o Perfil A (Figura 6-A) em 1,215895°S 48,538921°W próximo ao limite direito da enseada e próximo ao afloramento laterítico, Perfil B (Figura 6-B) em 1,217143°S 48,539692°W no meio da enseada, Perfil C (Figura 6-C e D) em 1,217858°S 48,540957°W próximo ao limite esquerdo da enseada.

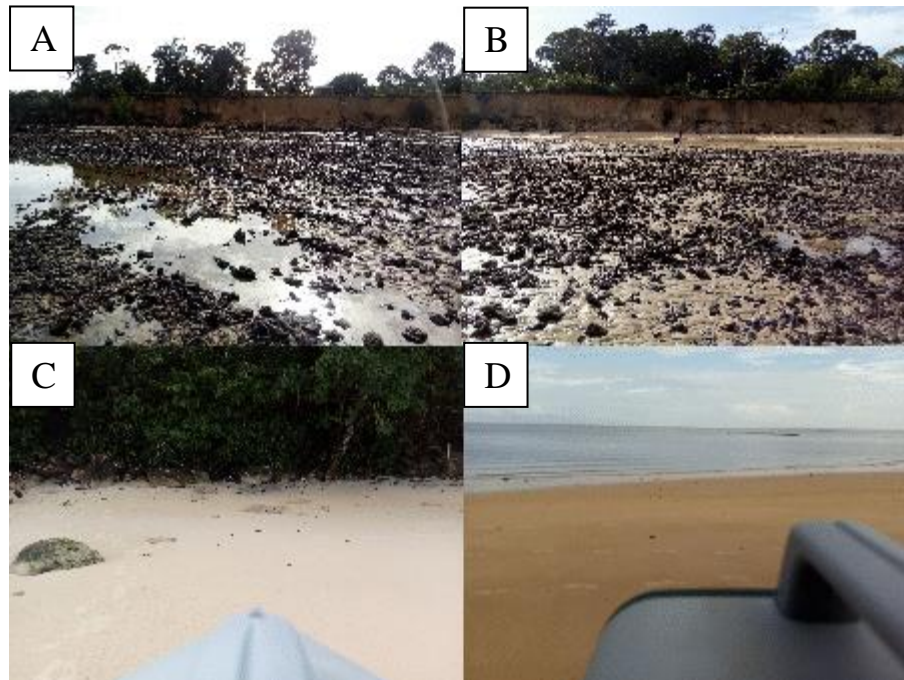


Figura 7- Localização dos pontos de levantamento topográfico na praia Pedra Branca, Perfil A (A), Perfil B (B), vista superior (C) e inferior (D) do Perfil C.

Os levantamentos na praia Vai Quem Quer ocorreram no Perfil D (Figura 7-A) em  $1,220084^{\circ}\text{S } 48,543865^{\circ}\text{W}$  com falésias em seu limite superior, Perfil E (Figura 7-B) em  $1,220758^{\circ}\text{S } 48,548938^{\circ}\text{W}$  próximo ao acesso principal, com construções em seu limite superior, Perfil F ( $1,221161^{\circ}\text{S } 48,554919^{\circ}\text{W}$ ).



Figura 8- Localização dos perfis D (A) e E (B) na praia Vai Quem Quer.

Foi realizado levantamento topográfico no Perfil G (Figura 8-A) ( $1,222745^{\circ}\text{S } 48,556992^{\circ}$ ) onde a falésia é inativa, Perfil H (Figura 8-B) ( $1,223786^{\circ}\text{S } 48,559227^{\circ}\text{W}$ ) situado no limite entre as faces norte e oeste, e Perfil I (Figura 8-C) ( $1,225204^{\circ}\text{S } 48,558023^{\circ}\text{W}$ ) dentro da face oeste, sem a presença de falésias, com vegetação abundante e pequeno campo de dunas.

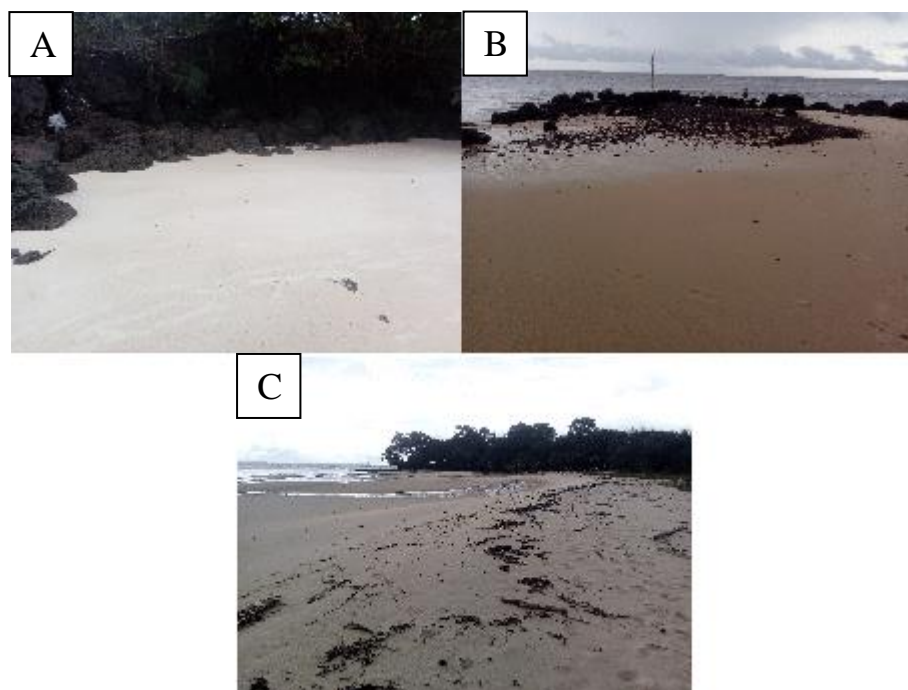


Figura 9- Localização dos perfis G (A), H (B) e I (C) na praia Flexeira.

### 4.3.3 Transporte Transversal e Longitudinal

O método de traps adaptado de Katori (1983) utiliza duas armadilhas individuais (Figura 9), medindo 8 cm x 16 cm cada, com redes de malha 63  $\mu\text{m}$ , para coletar o sedimento na zona de espriamento trazido durante o runup, momento na qual o sedimento é transportado para a face praial, e durante o rundown, momento em que o sedimento é removido da praia, para posterior comparação, assim quantificando a quantidade de material transportado transversalmente no ambiente.



Figura 10- *Traps* de coleta de sedimento da zona de espriamento.

Para o transporte longitudinal, adaptou-se a metodologia de Kraus (1987), utilizando uma coluna de armadilhas dispostas em série de 10 redes (Figura 10), com malha 63  $\mu\text{m}$ , sustentadas por um suporte metálico posicionado na zona de surf, numeradas de 1 – 10, separadas por 4cm, onde a rede 1 situa-se no fundo coletando o sedimento transportado junto ao fundo, e as demais capturam o sedimento transportado em suspensão.

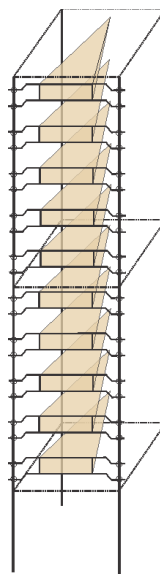


Figura 11- Armadilhas dispostas em série para coleta de sedimentos do transporte transversal.

Ambas as coletas foram realizadas simultaneamente. O tempo de coleta foi fixado em 2 minutos, sendo realizado durante a maré vazante e enchente, como proposto por Ranieri (2011), tendo em visto a grande importância do efeito das correntes de maré (Figura 9).

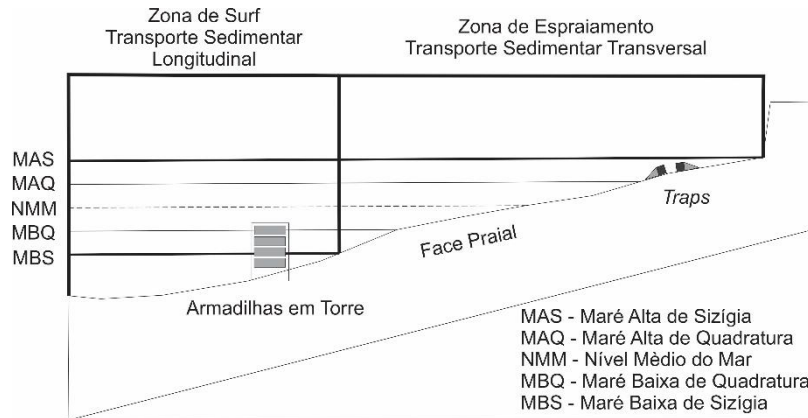


Figura 12- Disposição de coleta de sedimentos do transporte transversal e longitudinal, seguindo a zonação proposta por Davis (1985).

#### 4.3.4 Aquisição de Dados Oceanográficos

Dados de corrente, onda e maré foram coletados simultaneamente em um ponto fixo na praia Vai Quem Quer, os equipamentos foram fundeados durante a baixamar na zona inframaré por um período de 25h. Utilizou-se um correntômetro com sensores eletromagnéticos, modelo Infinity-EM AEM-USB, que registrou sentido, direção e intensidade de corrente a cada 300s. Para aquisição dos dados de maré e onda foi utilizado sondas de pressão com sensor OBS, modelo TurbiInfinity ATU75W-USB, medindo a cada 2s.

### 4.4 TRATAMENTO DOS DADOS

#### 4.4.1 Perfil Topográfico

Os dados de levantamento topográfico foram planilhados no software Excel, e reduzidos ao nível de referência de cada perfil para possibilitar a comparação entre os meses. A partir da plotagem, as diferenças entre ganho e perdas puderam ser avaliadas através da sobreposição dos perfis, e observar as variações ao longo dos meses.

#### 4.4.2 Granulometria

O sedimento superficial coletado ao longo do perfil foi submetido ao método clássico de peneiramento. As frações foram separadas de acordo com a escala  $\frac{1}{2} \phi$  (phi) da classificação de Wentworth (1922). Utilizando o software Sysgran, foi realizada a análise estatística para obtenção da média, seleção e assimetria Folk & Ward (1957). Os produtos finais foram mapas de distribuição sedimentar das praias analisadas, plotados utilizando o software Surfer 10.

#### 4.4.3 Balanço Sedimentar

Nos 4 meses de coleta, foram colhidas 48 amostras de sedimento proveniente do transporte transversal e 240 do transporte longitudinal.

As amostras obtidas nos *traps* de *run up* e *run down* foram secas e pesadas, para posterior comparação e quantificar transportado na face praial.

O sedimento coletado na série de armadilhas em coluna foi seco e pesado. Como há um espaço entre as armadilhas, a quantidade média de material transportado no espaço intermediário é obtido através da integração do fluxo de sedimentar medido, tanto horizontalmente quanto verticalmente, utilizando a equação proposta por Wang *et al.* (1998):

$$\Delta F_i = \frac{\left( \frac{F_{i+1}}{Z_{i+1}} + \frac{F_{i-1}}{Z_{i-1}} \right) \Delta Z_i}{2}$$

Onde  $\Delta F_i$  é a quantidade de sedimentos que flui no espaço entre duas armadilhas adjacentes,  $F_{i+1}$  e  $F_{i-1}$  são as quantidades medidas por estas armadilhas (superior e inferior),  $Z_{i+1}$  e  $Z_{i-1}$  representam a dimensão vertical da abertura da armadilha superior e inferior respectivamente, que neste trabalho é constante e igual a 8 cm.  $\Delta Z_i$  é o tamanho vertical entre as duas armadilhas adjacentes sendo igual a 5 cm neste trabalho.

Para obtenção do fluxo total de sedimentos transportado é realizada a soma de cada fluxo individual ( $F_i$ ) de cada armadilha, com os fluxos intermediários ( $\Delta F_i$ ), obtido através da equação:

$$I = \sum_{i=1}^N (F_i) + \sum_{i=1}^{N-1} (\Delta F_i) \quad (Kg/h/m^2)$$

I representa o fluxo total de sedimentos que passa pela série de armadilhas instalada em um ponto do perfil praiial, considerando a altura da linha d'água. Somam-se os fluxos individuais ( $F_i$ ) que passam por cada armadilha, aos fluxos intermediários ( $\Delta F_i$ ), sendo N o número total de armadilhas presente no conjunto de medição. Os valores foram multiplicados por 0,278 para obter-se resultados na unidade  $g/s/m^2$ .

#### 4.4.4 Parâmetros físicos

##### 4.4.4.1 Corrente

O tratamento dos dados de corrente consistiu na decomposição do vetor velocidade para determinação das componentes longitudinais e transversais considerando a inclinação da linha de costa da praia Vai Quem Quer.

Inicialmente foi corrigida a declinação magnética utilizando o valor de 20,12 W para o mês de novembro de 2017 e o valor de 20,13W para o mês de julho de 2018. Esses valores de declinação são disponibilizados pelo NOAA – NCEI Geomagnetism Calculators.

Posteriormente foi realizada a rotação do eixo cartesiano e a decomposição de vetores proposta por Miranda *et al.* (2002) (Figura 10). A rotação foi de  $6^\circ$  sentido anti-horário, e a decomposição do vetor velocidade em componente longitudinal e transversal, em relação ao referencial  $Oxy$ , seguiu as relações trigonométricas:

$$u = |\mathbf{V}| \cdot \cos \theta \rightarrow \text{componente longitudinal};$$

$$v = |\mathbf{V}| \cdot \sin \theta \rightarrow \text{componente transversal};$$

Onde o ângulo  $\theta$  é definido:

$$\theta = 90^\circ - (dV \pm DM) \pm dC$$

Sendo: DM a declinação magnética (ângulo entre o norte verdadeiro e o magnético), o sinal negativo indica declinação para oeste e o positivo para leste; dV o ângulo entre o eixo norte magnético e o vetor velocidade V, em sentido horário; e dC o ângulo correspondente a rotação horária (+) ou anti-horária (-) necessária para que o eixo Ox oriente-se longitudinalmente ao canal.

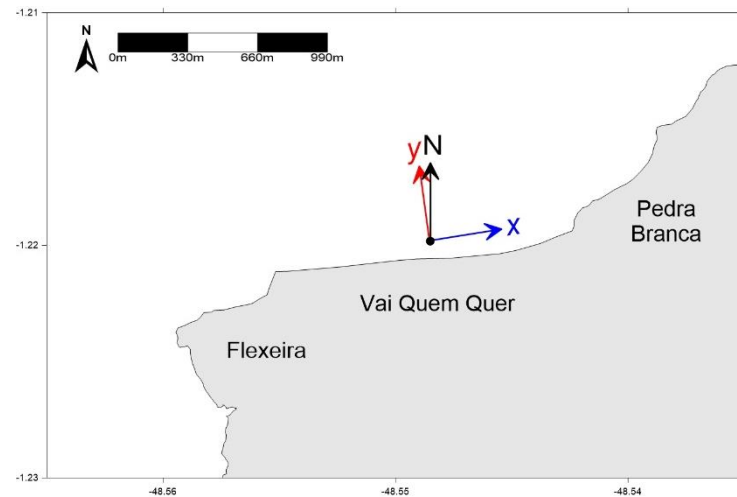


Figura 13- Rotação do referencial  $Oxy$  em relação ao norte para alinhamento à linha de costa praial.

#### 4.4.4.2 Onda e maré

A partir dos dados de nível de superfície livre obtidos com a utilização do sensor de pressão fundeado, obtiveram-se informações acerca de onda e maré. A maré foi determinada através da utilização de filtro passa-baixa, o que consiste na retirada da alta frequência necessária à coleta referente à onda. A altura de onda foi calculada a partir do método  $H \frac{1}{3}$  descrito por Holthussen (2007) com a utilização de rotina em linguagem *Matlab* proposta por Lima (2016).

#### 4.4.4.3 Vento

Os dados de vento disponíveis na plataforma do IMET para a cidade de Belém foram utilizados para realizar análises de frequência dos ventos e definir suas direções e velocidades predominantes, correspondente aos períodos chuvoso (janeiro de 2018) e seco (junho de 2018).

## 5 RESULTADOS

As praias da porção norte – noroeste da ilha de Cotijuba apresentaram variações em sua morfologia entre os períodos sazonais. As variações mais expressivas ocorreram na praia Flexeira (perfil I), onde nota-se a formação e migração de um sistema de crista e calha. Nas demais praias verificou-se a modificação da morfologia praial entre zonas superior e inferior do intermaré.

Na Praia Pedra Branca, o balanço volumétrico total ( $-49 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ao longo de um ano apresentou um padrão erosivo (Figura 11). A porção leste da praia (perfil A e B) apresentou deposição no período chuvoso ( $159 \text{ m}^3/\text{m}$  e  $206 \text{ m}^3/\text{m}$  respectivos), e erosão no período seco ( $-85 \text{ m}^3/\text{m}$  e  $-142 \text{ m}^3/\text{m}$  respectivos). Enquanto que a porção oeste (perfil C) apresentou-se erosiva ao longo do ano ( $-115 \text{ m}^3/\text{m}$ ,  $-18 \text{ m}^3/\text{m}$  e  $-19 \text{ m}^3/\text{m}$ ).

Na praia Vai Quem Quer o balanço volumétrico total ( $-197 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ao longo de um ano apresentou padrão erosivo (Figura 12). A porção Oeste (perfis E e F) apresentou padrão erosivo no período chuvoso ( $-28 \text{ m}^3/\text{m}$ ,  $-13 \text{ m}^3/\text{m}$  para o perfil E e  $-67 \text{ m}^3/\text{m}$ ,  $-32 \text{ m}^3/\text{m}$  para o F), e deposicional no seco ( $22 \text{ m}^3/\text{m}$  e  $10 \text{ m}^3/\text{m}$  respectivos). Enquanto que a porção leste (Perfil D) alternou entre deposição ( $53 \text{ m}^3/\text{m}$ ), erosão ( $-218 \text{ m}^3/\text{m}$ ) e deposição ( $76 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ao longo do ano.

Na praia Flexeira o balanço volumétrico total ( $274 \text{ m}^3/\text{m}$ ) ao longo de um ano apresentou padrão deposicional (Figura 13). Esta característica deposicional foi predominante no período chuvoso para os três perfis ( $30 \text{ m}^3/\text{m}$  no G,  $46 \text{ m}^3/\text{m}$  no H e  $105 \text{ m}^3/\text{m}$  no I). Nos demais meses houve alternância entre deposição e erosão.

## Praia Pedra Branca

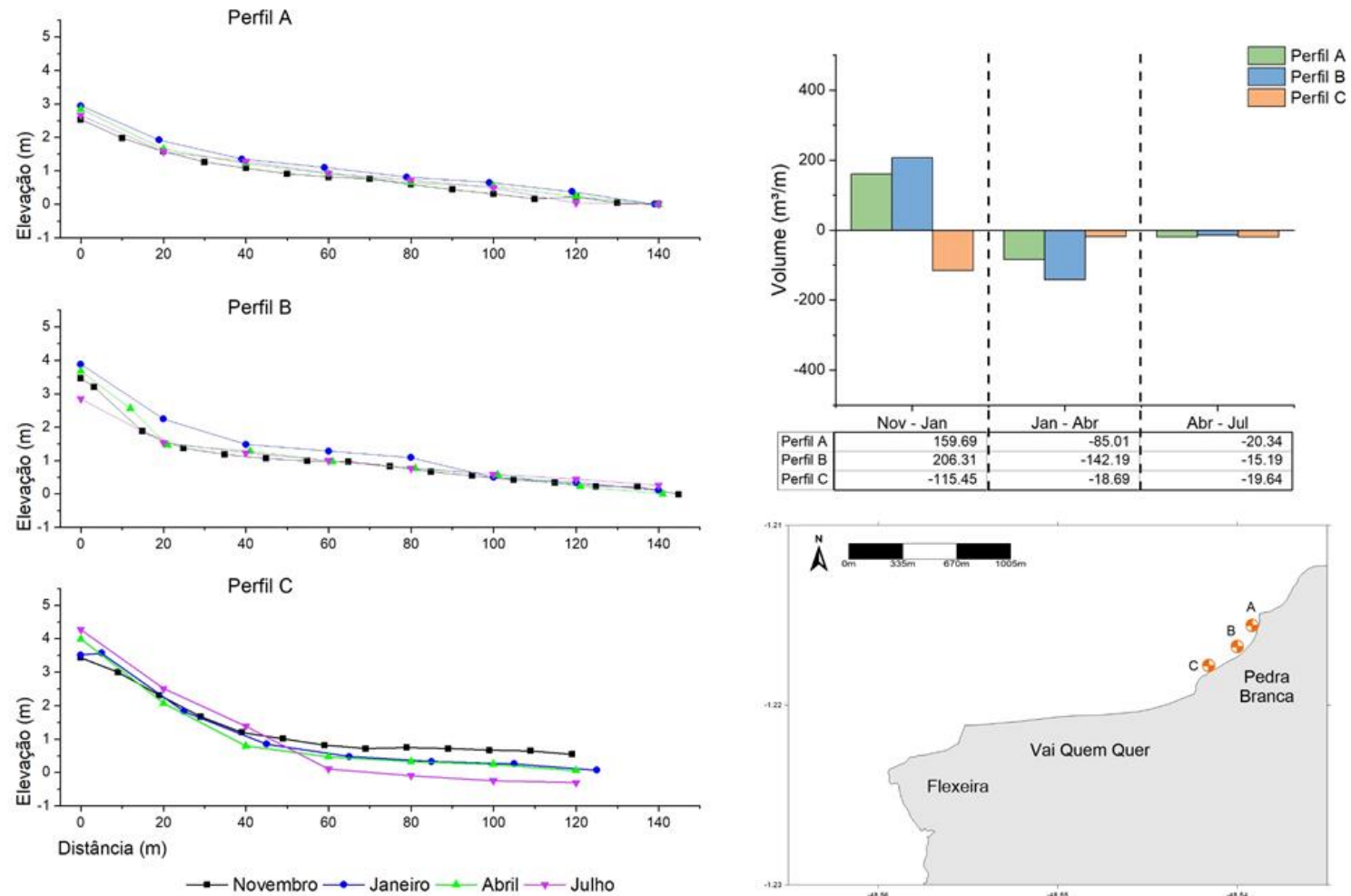


Figura 14- Sequência temporal dos perfis da praia Pedra Branca (A, B e C), juntamente com o balanço volumétrico e localização.

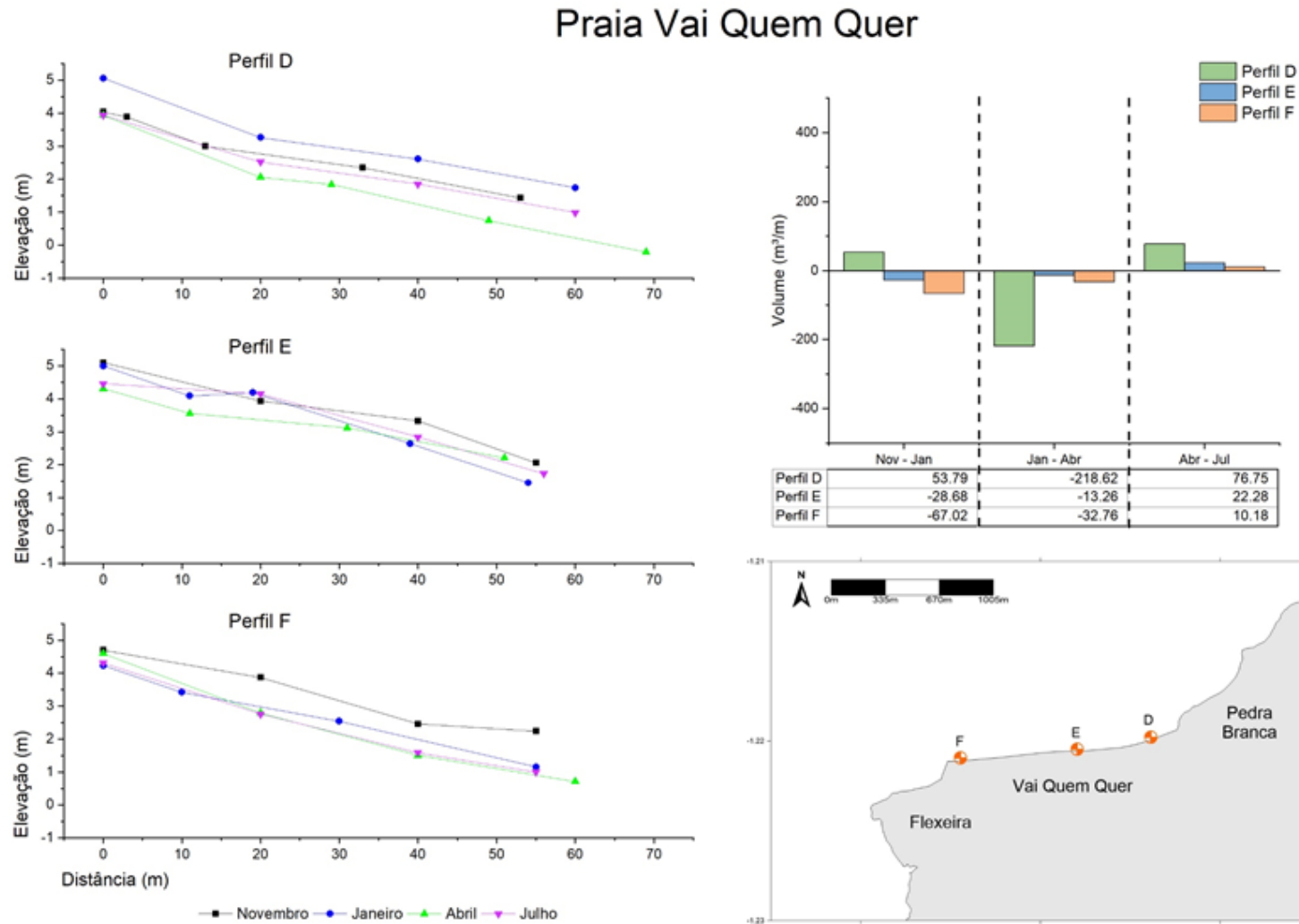


Figura 15- Sequência temporal dos perfis da praia Vai Quem Quer (D, E e F), juntamente com o balanço volumétrico e localização.

### Praia Flexeira

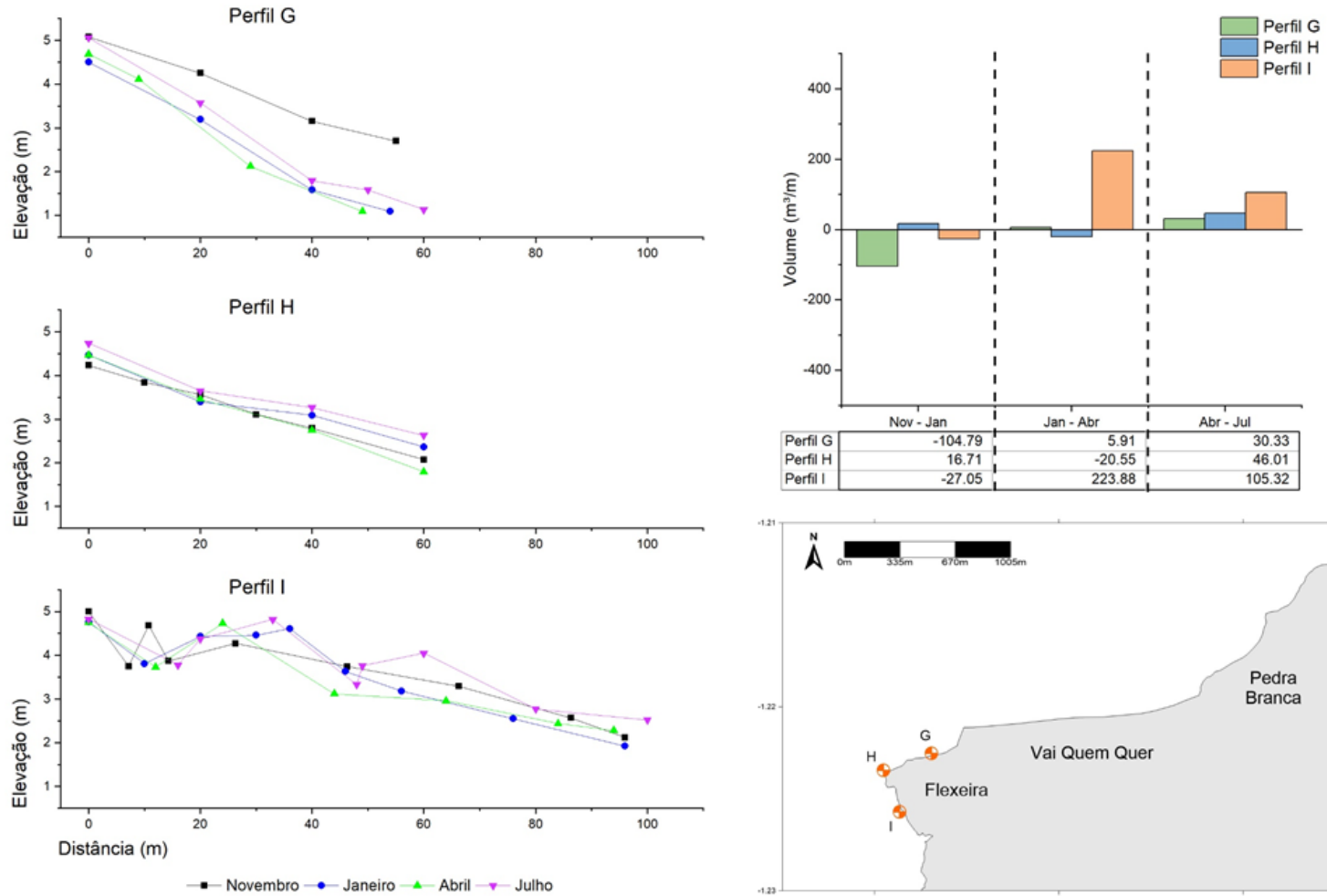


Figura 16- Sequência temporal dos perfis da praia Flexeira (G, H e I), juntamente com o balanço volumétrico e localização.

As praias da porção Norte-Noroeste Cotijuba apresentam granulometria de Areia Média no período seco e Areia Fina a Muito Fina no período chuvoso, grau de seleção moderado a bem selecionado e assimetria negativa, indicando erosão seletiva (Figura 14).

Ao observar as variações para cada praia, verificou-se que as mudanças na cobertura sedimentar não seguiram um padrão sazonal. Neste caso, ocorreu um atraso na mudança sedimentar, assim as coletas do mês de janeiro apresentaram distribuição semelhante ao mês de novembro, em ambas predominou Areia Média a Grossa. Nas amostras de julho, já no período seco, a distribuição se assemelhou a abril, com quantidades expressivas de areia muito fina juntamente com areia média.

A praia Pedra Branca, durante o período seco, apresentou grãos tamanho areia média. No período chuvoso a zona intermaré ficou dividida entre areia grossa na parte inferior e média na superior, evoluindo para areia fina na parte superior, areia média na central e areia grossa na inferior.

A praia Vai Quem Quer apresentou alternância entre areia grossa (novembro e abril) e areia média (janeiro e julho). Na praia Flexeira o atraso da resposta da mudança sedimentar é melhor visualizado na face norte, com predominância de areia média nos meses de novembro a abril, e areia fina em julho. A sua face sul apresentou sempre a mesma distribuição, areia média na zona superior do intermaré e areia fina na inferior.

A distribuição do parâmetro seleção mostra que a praia Pedra Branca apresenta grãos com grau de seleção moderada durante o período chuvoso (Figura 15). Durante o período seco, ocorre a separação entre bem selecionado na zona superior do intermaré e mal selecionado na inferior.

A praia Vai Quem Quer apresenta grãos bem selecionados de novembro a abril, e mal selecionados em julho. A praia Flexeira apresenta mudanças apenas na sua face norte, com seleção moderada no período seco, e variação de mal selecionado a bem selecionado no período chuvoso.

A distribuição do parâmetro assimetria ao longo do ano indica que as praias sofrem com erosão seletiva (Figura 16). A atuação das forças hidrodinâmicas ao transportar os sedimentos, acumula os mais grossos ao longo da linha de praia, e remove os mais finos.

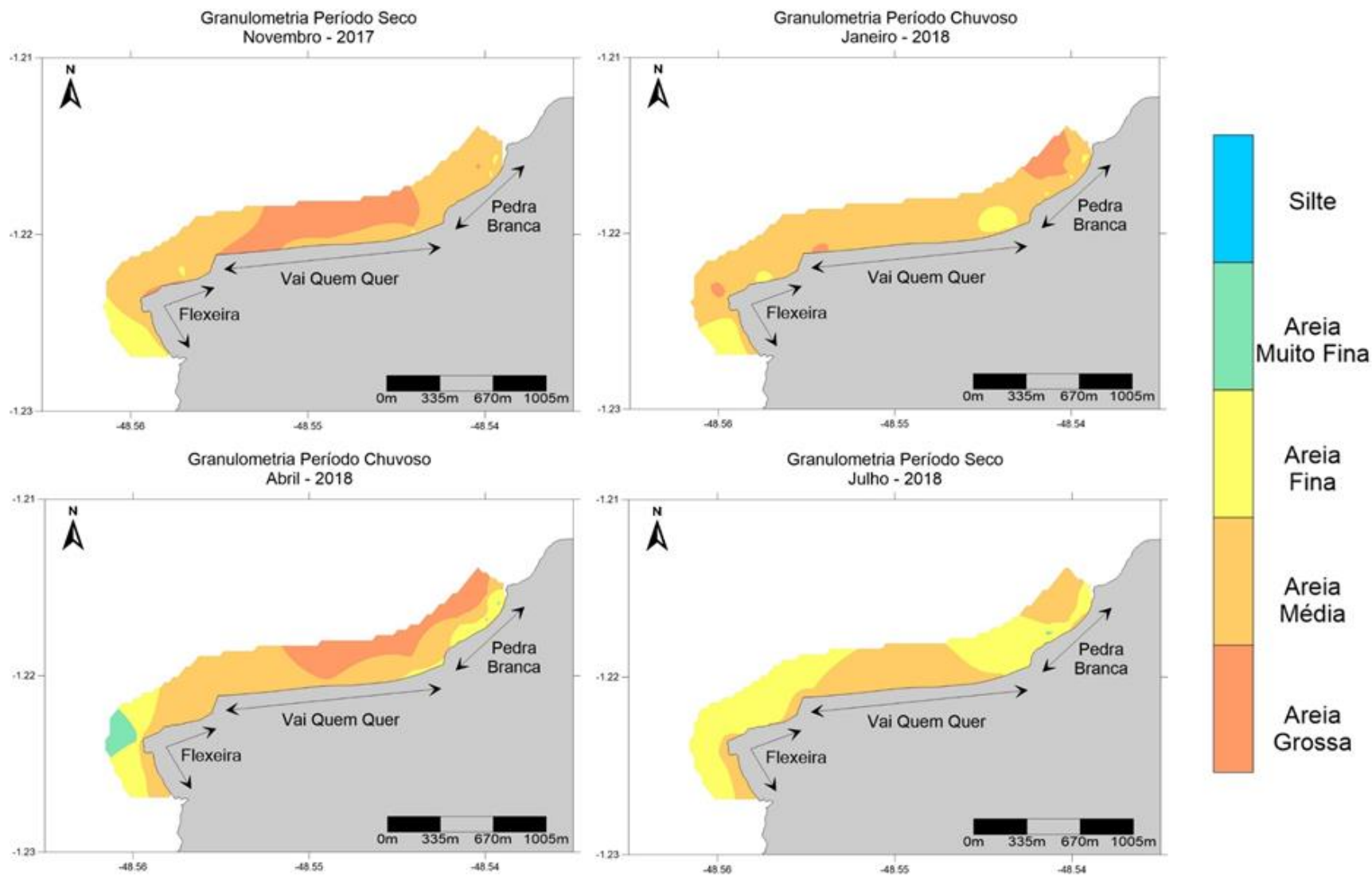


Figura 17- Distribuição granulométrica das praias estuarinas do N-NW da ilha de Cotijuba nos períodos seco (Novembro e Julho) e chuvoso (Janeiro e Abril).

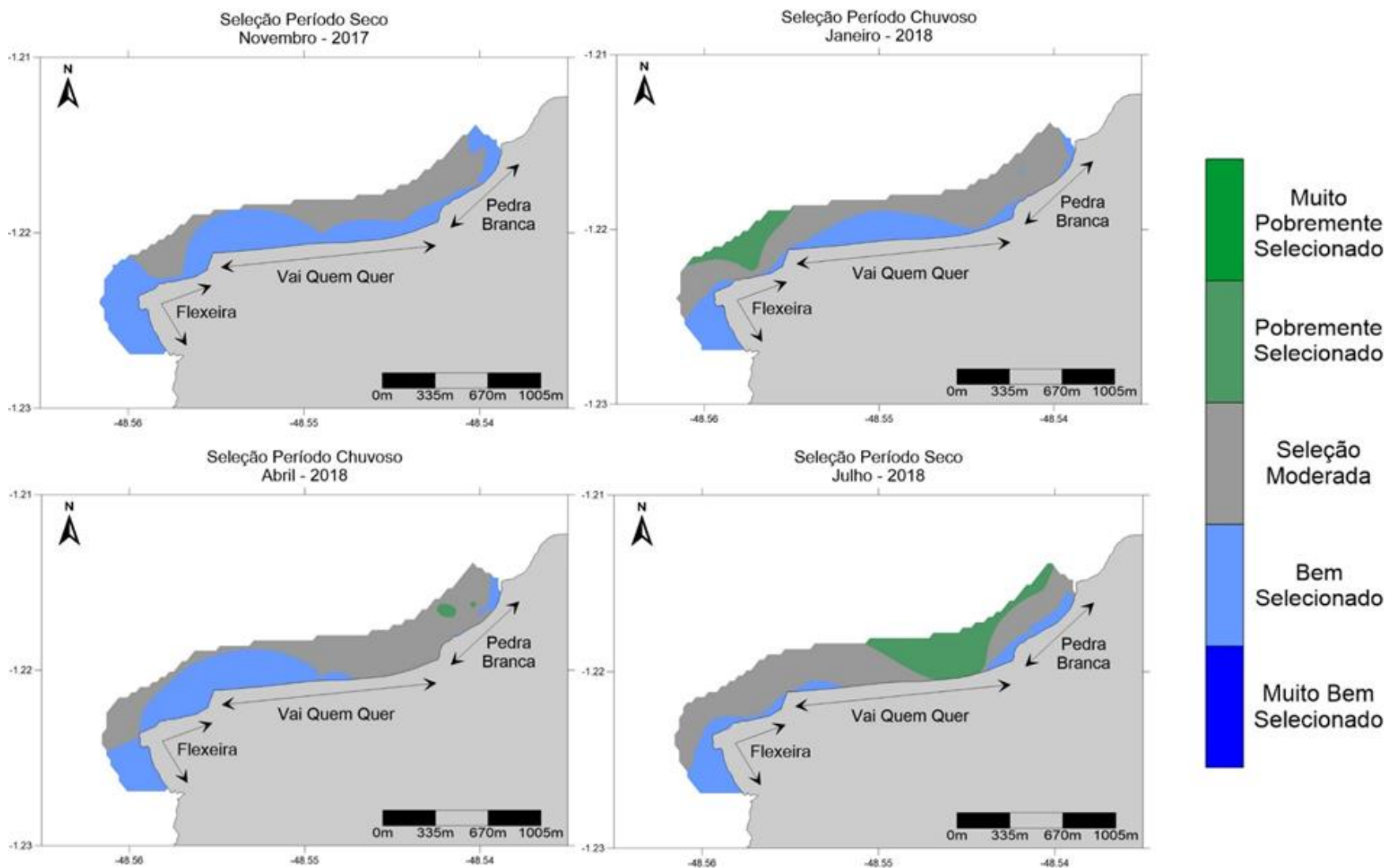


Figura 18- Distribuição da seleção dos grãos das praias estuarinas do N-NW da ilha de Cotijuba nos períodos seco (Novembro e Julho) e chuvoso (Janeiro e Abril).

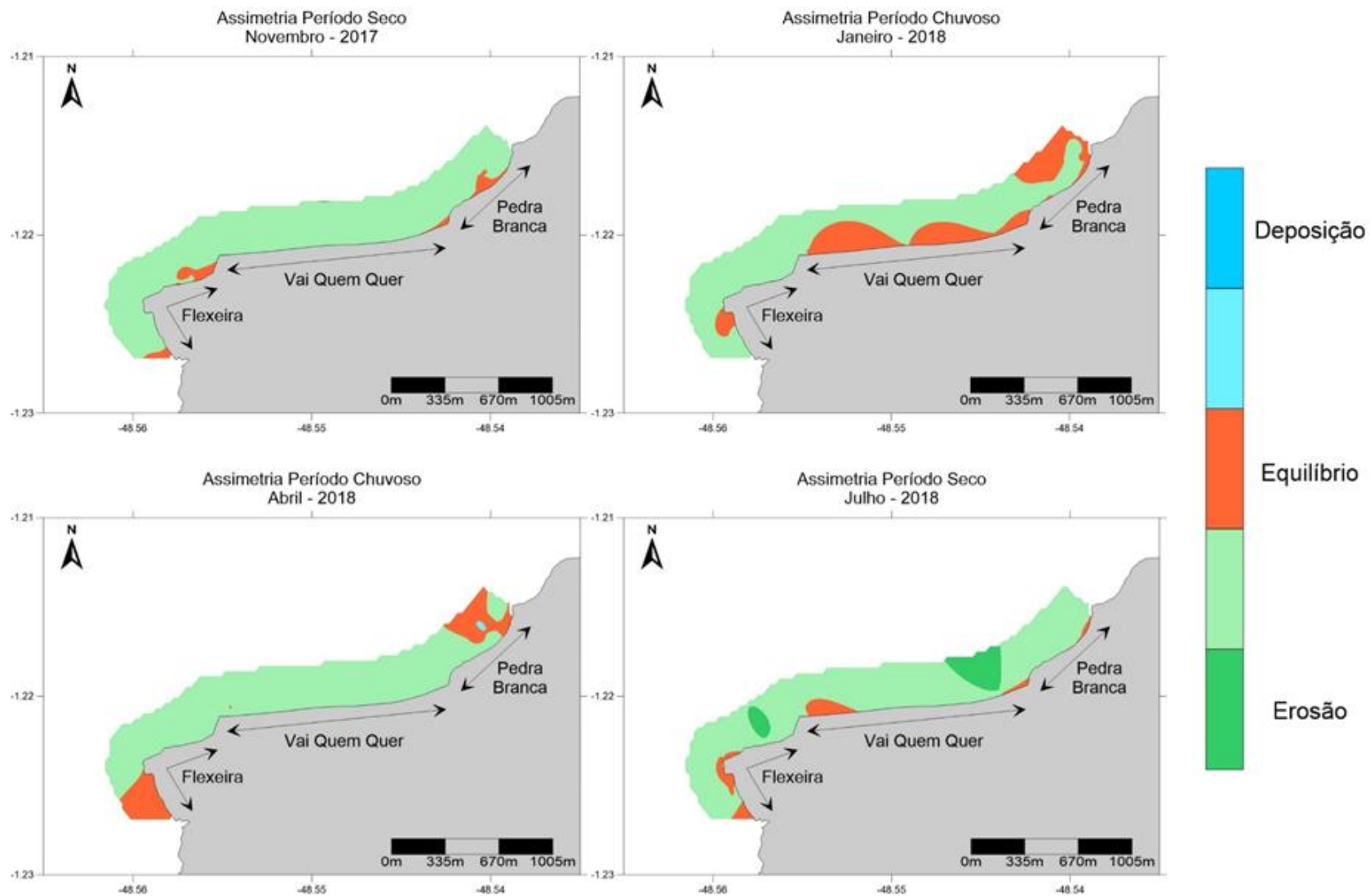


Figura 19- Distribuição da assimetria dos grãos das praias estuarinas do N-NW da ilha de Cotijuba nos períodos seco (Novembro e Julho) e chuvoso (Janeiro e Abril).

O transporte transversal resultante de sedimento (*run up* ou *run down*) na porção norte-noroeste da Ilha de Cotijuba reflete a influência da ação das ondas sobre as praias, enquanto que o transporte sedimentar longitudinal mensura a quantidade de sedimento mobilizado pelas correntes de maré (Figura 17).

Na praia Pedra Branca o transporte resultante preferencial é no sentido *run up* (15093 g/s/m), principalmente no período chuvoso (13237 g/s/m). A praia Flexeira também apresentou o sentido *run up* (5306 g/s/m), principalmente no período chuvoso (5450 g/s/m). Já na praia Vai Quem Quer o transporte resultante é no sentido *run down* (-1481 g/s/m), principalmente no período seco (-7793 g/s/m), com o sedimento retirado do intermaré superior e depositado no intermaré inferior. No período chuvoso ocorre o inverso, com tendência de transporte para o intermaré superior.

Ao analisar o transporte em diferentes estágios de maré verificou-se que tanto no período chuvoso quanto no seco há maior transporte durante a enchente (8262 g/s/m e 9487 g/s/m respectivos). A praia Vai Quem Quer apresenta ampla variação no transporte entre os dois estágios (10706 g/s/m para enchente e 6850 g/s/m para vazante), seguida pela Flexeira (2712 g/s/m na enchente e 518 g/s/m na vazante). A praia Pedra Branca teve a menor variação (4325 g/s/m na enchente e 3250 g/s/m na vazante).

O transporte longitudinal de sedimento, ou seja, aquele que reflete a influência das correntes de maré apresentou variação entre os períodos seco e chuvoso. No período seco, verificou-se o máximo transporte resultante na nas praias Vai Quem Quer (148 g/s/m) e Flexeira (68 g/s/m). A praia Pedra Branca, diferente das outras, apresentou maiores quantidades transportadas no período chuvoso (120 g/s/m).

Em média, nos dois períodos, a enchente transportou a maior quantidade de material na praia Vai Quem Quer (159 g/s/m) e Flexeira (47,5 g/s/m), enquanto que a vazante transportou mais sedimento na praia Pedra Branca (102 g/s/m).

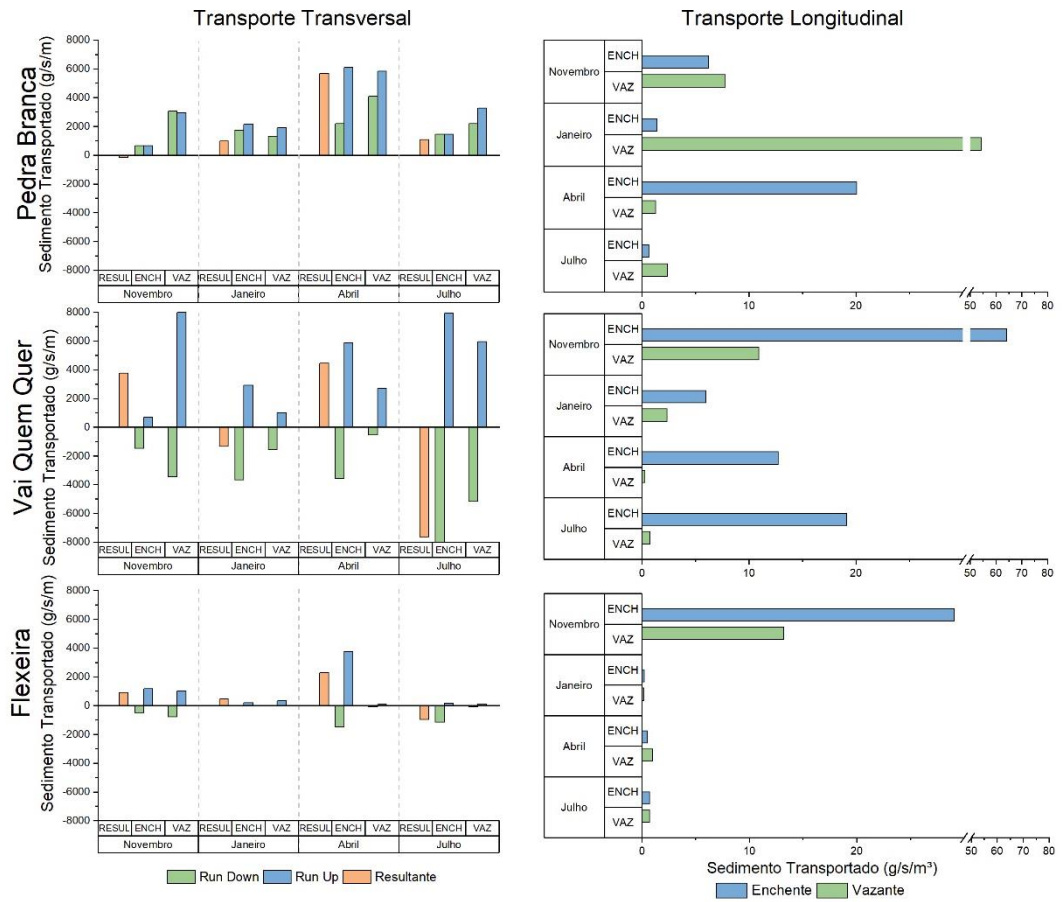


Figura 20- Quantidades e resultantes do transporte sedimentar transversal e longitudinal nas praias do N-NW da ilha de Cotijuba.

Os resultados obtidos da análise hidrodinâmica, das praias do setor norte da ilha de Cotijuba, são apresentados agrupados de acordo com o período sazonal.

No período chuvoso a componente  $x$  (longitudinal a linha de costa) indicou que o sentido predominante da corrente foi na direção O-SO (para Flexeira) com máximos atingindo 0,31 m/s, sobre o sentido E-NE (para Pedra Branca) com máximos de 0,27 m/s (Figura 18-A). A componente  $y$  (transversal à linha de costa) indica transporte com preferência no sentido supramaré, com poucos momentos indo na direção inframaré.

Nesse período a variação da maré, com valores de 1,4 a 3,9 m, indicam a característica de mesomaré (Figura 18-B). A altura significativa de onda ( $H_s$ ) foi maior neste período, chegando até 0,32m (Figura 19-A). Não houve direção preferencial de vento, e suas velocidades mais frequentes foram de até 1 m/s (Figura 19-B).

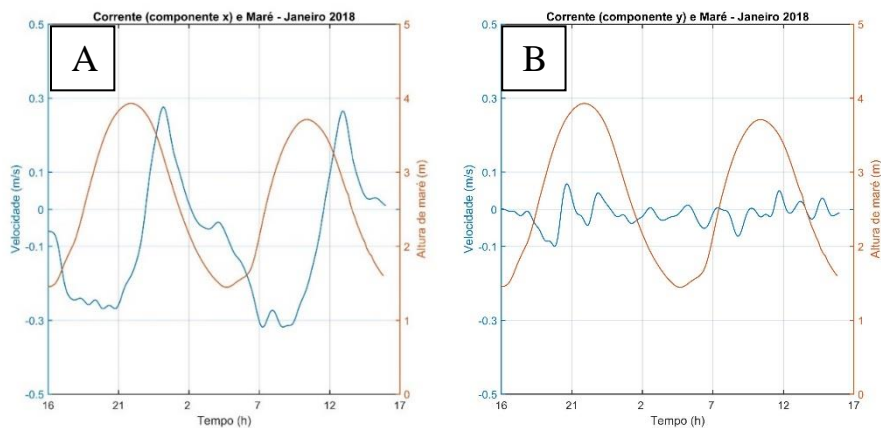


Figura 21- Variação de altura de maré (m) e velocidade de corrente (m/s) longitudinal (A) e transversal (B) à linha de costa para o período chuvoso (janeiro 2018).

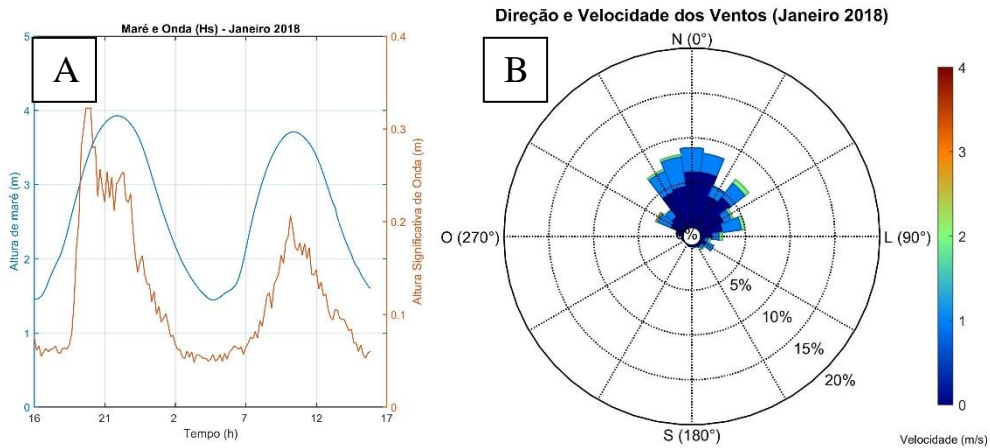


Figura 22- Variação de altura de maré (m) e altura significativa de onda (m) em A. Direção preferencial e velocidade dos ventos (m/s) em B, para o período chuvoso (janeiro 2018).

O mesmo padrão foi observado no período seco, mas com maior intensidade. A corrente teve sentido preferencial para Flexeira, com máximos de 0,43 m/s, contra 0,25 m/s no sentido Pedra Branca, e a variação de maré foi de 1,7 a 4,6 m (Figura 20). Nesse período devido à maior altura de maré, houve maior o deslocamento de água, e como consequência maior é a energia hidrodinâmica, possivelmente maior quantidade de material sedimentar foi transportado.

A altura significativa de onda ( $H_s$ ) foi menor neste período (até 0,13 m) (Figura 21-A), apesar de a análise de frequência da direção do vento indicar sentido preferencial para N-NW, e suas intensidades mais frequentes estarem entre 1 e 2 m/s (Figura 21-B).

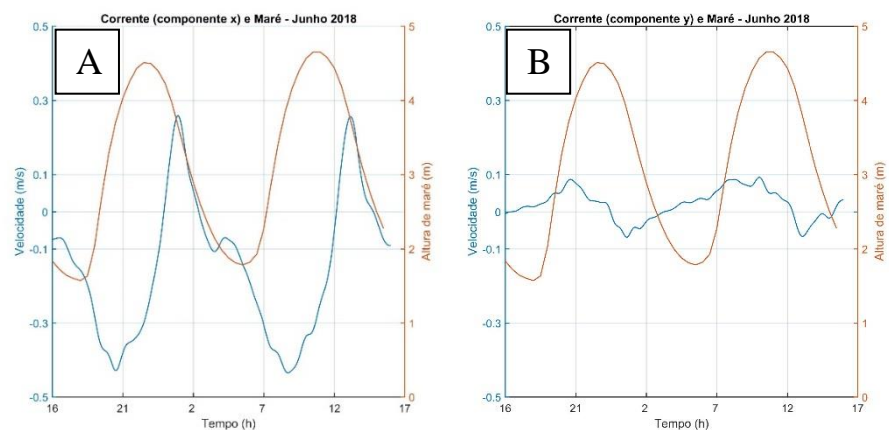


Figura 23- Variação de altura de maré (m) e velocidade de corrente (m/s) longitudinal (A) e transversal (B) à linha de costa para o período seco (junho 2018).

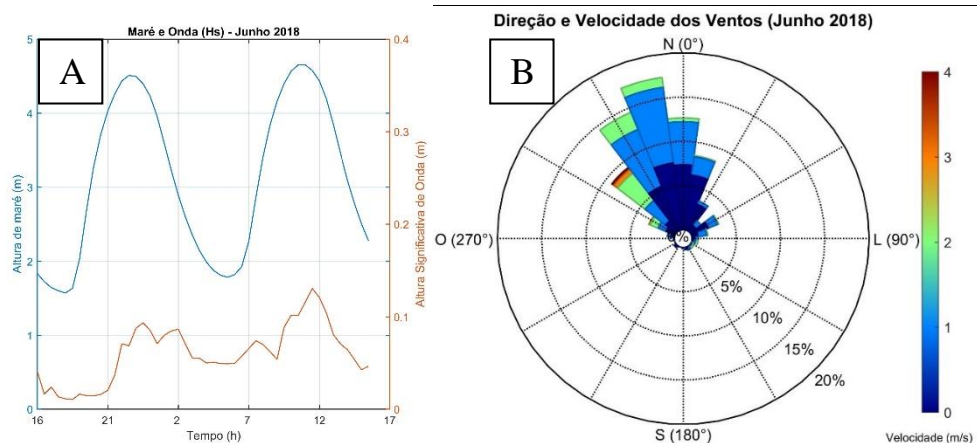


Figura 24- Variação de altura de maré (m) e altura significativa de onda (m) em A. Direção preferencial e velocidade dos ventos (m/s) em B, para o período seco (junho 2018).

A menor altura de onda observada apesar da maior intensidade do vento medida indica a influência da presença de uma barra sedimentar na hidrodinâmica das praias estudadas. Essa

barra foi observada durante as coletas realizadas no período seco e está indicada na carta náutica 304 disponibilizada pelo Departamento de Hidrografia e Navegação da Marinha Brasileira (DHN) (Figura 22).

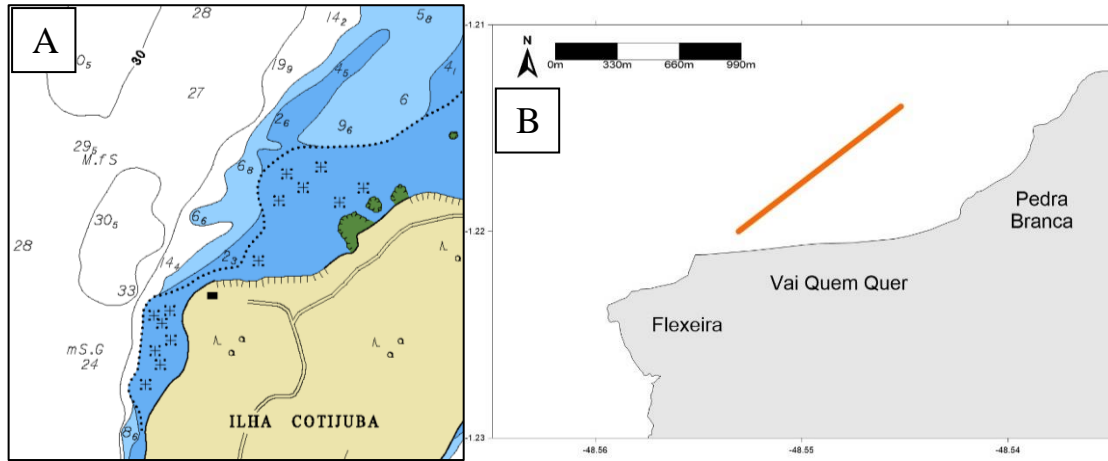


Figura 25- Corte da Carta Náutica 304 indicando a batimetria da costa norte da ilha de Cotijuba (A), e indicação da formação da barra sedimentar em frente à praia Vai Quem Quer (B).

## 6 DISCUSSÃO

As características morfológicas das praias estudadas possuem padrão sazonal, reflexo da variabilidade hidrodinâmica local, ocasionando preferencialmente deposição sedimentar no período seco e erosão durante o período chuvoso. Segundo Nordstrom (1977 in El-Robrini, 2001), tal característica ocorre em praias estuarinas onde a baixa variabilidade de onda do local, depende da dinâmica de maré em permitir ou não a atuação de ondas mais energéticas, principalmente na sizígia.

As duas mudanças morfológicas propostas por Nordstrom (1992) e Nordstrom & Jackson (1992) em praias estuarinas de mesomaré caracterizam-se: (1) remoção de sedimentos da porção superior da praia e deposição na parte inferior; e (2) deslocamento vertical de todo o perfil praial, acompanhado por pequena ou nenhuma mudança do gradiente praial.

As praias da ilha de Cotijuba apresentaram como característica marcante o deslocamento sedimentar vertical do perfil, ocorrendo aporte de sedimentos tanto da face da falésia, quanto da região que se estende do inframaré até o canal fluvial. Este sedimento é distribuído ao longo da face praial, e transportado entre as praias, indicado pelas variações das cotas topográficas mensais.

A distribuição granulométrica teve sua variação controlada pela sazonalidade. Onda há presença de falésias, as maiores quantidades de material erodido durante o período chuvoso acumula-se na zona superior da face praial. O material fino vai sendo removido gradativamente durante o período chuvoso até a transição com o seco. O sentido do vento coincidente com a corrente, direcionam as ondas a transportam o material ao longo da linha de costa, a seleção se intensifica e ocorre a deposição dos mais grossos onde a energia hidrodinâmica é atenuada, como próximo aos promontórios e afloramentos rochosos.

A corrente de maré atuou de forma diferente nos dois tipos de transporte. Durante o período chuvoso, o maior volume de água permitiu que a ação energética das ondas transportasse as maiores quantidades de material transversalmente, o mesmo ocorrendo em praias oceânicas da costa paraense, descrito por Ranieri (2016).

O transporte longitudinal mobilizou mais durante o período seco. Entretanto este dependeria da disponibilidade de sedimento, causado pela dissipação da energia das ondas gerando turbulência no fundo, como observado por Ranieri (2016) em praias oceânicas paraenses. Mas neste caso a corrente de maré enchente por causar maior turbulência, permitiu a ressuspensão e conseqüente transporte.

## 7 CONCLUSÃO

As praias estuarinas da porção N-NW da ilha de Cotijuba são influenciadas com maior intensidade pela ação das ondas. A dimensão do estuário permite que o *fetch* tenha tamanho suficiente para gerar ondas a partir do vento. A orientação da linha de costa, quase que transversal à direção preferencial do vento, e consequente das ondas, faz com que as praias, principalmente a do Vai Quem Quer, sofram grande mobilidade sedimentar em função deste agente físico. Apesar da menor intensidade no transporte, as correntes atuam direcionando e facilitando este para o sentido W-SW.

Há um padrão sazonal de ganho e perda entre a zona inferior e superior do intermaré. No entanto, este não ocorre no mesmo período para todas as praias, podendo estar havendo a troca sedimentar entre elas. A ação erosiva alterna com a deposicional de acordo com a sazonalidade e entre os setores das praias. No período chuvoso, o lado leste apresenta deposição, seja por sedimentos oriundos das falésias ou do transporte hidrodinâmico, e erosão no período seco. O inverso ocorre no lado oeste, quando a maior quantidade de material é depositada no período seco e removido durante o período chuvoso.

O padrão granulométrico varia sazonalmente devido ao aporte proveniente das falésias, que inclui sedimentos de várias frações. Estes são distribuídos e selecionados ao longo do transporte entre as zonas do intermaré e entre praias. O transporte pela ação das ondas ocorre principalmente durante a maré enchente, devido a orientação da linha de costa das praias estarem frontais a entrada do fluxo de corrente, e à direção preferencial do vento formadores de ondas. Havendo predomínio do transporte sentido Pedra Branca para Flexeira.

O estudo e monitoramento de praias estuarinas devem ser mais investigados, para se amplificar o conhecimento de sua dinâmica, tendo em vista que apesar de serem moldadas de acordo com a dinâmica estuarina, possuem características únicas.

## REFERÊNCIAS

- Alves M. A. M. S. 2001. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará*. DS Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 104p.
- Araújo P. P. 2001. *Variações sazonais dos componentes nitrogenados em equilíbrio livre na zona urbana de Santa Izabel do Pará, Nordeste do Estado do Pará*. DS Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 113 p.
- Aveline L. C. 1980. Fauna dos manguezais brasileiros. *Revista Brasileira de Geografia*, **42** (2): 786-821.
- Beardsley R. C., Candela J., Limeburner R., Geyer W. R., Lentz S. J., Belmiro M. C., Cacchione D., Carneiro N. 1995. The M2 tide on the Amazon shelf. *Journal of Geophysical Research*, **100** (2) : 2283-2319.
- Borba T. A. C. 2014. *Modelagem hidrodinâmica aplicada ao estuário amazônico: uma abordagem em malha flexível*. 2014. DS Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Geofísica, Universidade Federal do Pará, Belém, 47 p.
- Borba T. A. C., Prestes Y. O., Mello L. H., Rollnic M. 2012. Variação sazonal do regime de ondas em uma Praia da Zona Costeira Amazônica. In: 5º Congresso Brasileiro de Oceanografia, Rio de Janeiro. *Anais*. p. 12-19.
- Carvalho L. M. V., Jones C., Liebmann B. 2004. The South Atlantic Convergence Zone: intensity, form, persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. *Journal of Climate*, **17** (2): 88–108.
- Corrêa I. C. S. 2005. Aplicação do diagrama de Pejrup na interpretação da sedimentação e da dinâmica do estuário da Baía de Marajó-PA. *Pesquisas em Geociências*, **32** (2) : 109-118.
- Costa M. L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, **2** (21):146-160.
- Dalrymple R. W., Zaitlin B. A., Boyd R. 1992. Estuarine facies models: conceptual basis e stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, **62** (6): 1130-1146.
- Davis R. A. 1985. *Coastal Sedimentary Environments*. New York, Springer-Verlag, 716 p.
- De Souza E. B., Carmo A. M. C., Moraes B. C., Nacif A., Ferreira D. B. S., Rocha E. J. P., Souza P. J. de O. P. 2016. Sazonalidade da precipitação sobre a Amazônia Legal Brasileira: clima atual e projeções futuras usando o modelo RegCM4. *Revista Brasileira de Climatologia*, **18**: 293-306.
- Dyer K. R. 1997. *Estuaries: a physical introduction*. 2 ed. New York, John Wiley & Sons, 195 p.
- Ferreira C. P. S. 1981. Hotel Tipo Ecológico como o Equipamento Escola: Pre-Projeto Arquitetônico. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará. Belém. 46 p.
- França C. F. & Pimentel M. A. S. 2012. Diversidade paisagística da margem oeste da baía de Marajó, Pará, Norte do Brasil. *Revista Geonorte*, **3** (4): 900-910.
- Holthuijsen L. H. 2007. *Waves in oceanic and coastal waters*. Cambridge, United Kingdom, Cambridge University Press: The Edinburgh Building, 387 p.

- Katori S. 1983. Measurement of sediment transport by streamer trap. Report of the 7th Cooperative Field Investigation, Nearshore Environment Research Center, Report n° 17, **82** (1): 110-117.
- Kraus N. C. 1987. Application of portable traps for obtaining point measurements of sediment transport rates in the surf zone. *Journal Coastal Research*, **3** (2): 139-152.
- Lima A. P. Y. 2016. Desenvolvimento de rotina em linguagem matlab para processamento de dados de ondas geradas pelo vento. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 90 p.
- El-Robrini M., Silva M. A. M. A., Souza Filho P. W. M., El-Robrini M. H. S., Silva Júnior O. G., França C. F. 2006. *Erosão e Progradação do Litoral Brasileiro – Pará*. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Brasília, DF. :41 – 87.
- Hardaway C. S., Milligan D. A., Varnell, L. 2016. *Estuarine Beaches In: Encyclopedia of Estuaries*, Dordrecht, Springer, :243-246.
- Hegge B., Eliot I., Hsu J. 1996. Sheltered Sandy Beaches of Southwestern Austrália. *Journal of Coastal Research*, **12** (3): 748-760.
- Jackson N. L., Nordstrom K. F., Farrell E. J. 2017. Longshore sediment transport and foreshore change in the swash zone of an estuarine beach. *Marine Geology*, **386**: 88–97.
- Jackson N. L. & Nordstrom K. 1992. Site Specific Controls on Wind and Wave Processes and Beach Mobility on Estuarine Beaches in New Jersey, USA. *Journal of Coastal Research*, **8** (1): 88-98.
- Jackson N. L., Nordstrom K., Eliot I., Masselink G. 2002. Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*, **48** (1-3): 147-162.
- Kennedy D. M. 2002. Estuarine beach morphology in microtidal Middle Harbour, Sidney. *Australian Geographical Studies*, **40** (2): 231-240.
- Miranda L. B., Castro B. M., Kjerfve B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física dos estuários*. São Paulo, Universidade de São Paulo. 134 p.
- Nordstrom K. 1992. *Estuarine beaches*. New York, Elsevier Science Publishers, Ltd.
- Oliveira G. K. M. de. 2008. Caracterização Morfossedimentar durante o Ano de 2007 das Praias Estuarinas da Ilha de Cotijuba (Baía do Marajó) no Estado do Pará. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 146 p.
- Pond S. & Pickard G. L. 1983 *Introductory dynamical oceanography*. 2. ed. New York: Addison-wesley publishing company Pergamon Press, 329 p.
- Prestes Y. O., Rosário R. P., Rollnic M., Souza M. 2014. Volume transport in the tidal limit of the Pará River, Brazil. *In: Proceedings of the 17th Physics of Estuaries and Coastal Seas (PECS) conference, Porto de Galinhas, Pernambuco. Anais*, p. 19-24.
- Prestes Y. O. 2016. Interações físicas entre o estuário do rio Pará e a plataforma continental no norte do Brasil. DS Mestrado, Departamento de Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 122 p.

- Prestes Y. O., Silva A. C., Rollnic M., Rosário R. P. 2016. The M2 and M4 tides in the Pará River estuary. *Tropical Oceanography*, **45** (1) : 26-37.
- Pritchard D. W. 1967. What is an estuary: physical view point. In: Lauff G. H. *Estuaries*. Washington: American Association for the Advancement of Science, Publication, p. 3-5.
- Ramos C. C. 2017. Morfologia e sedimentação de praia estuarina amazônica (marahú - ilha de mosqueiro/pa), TCC Graduação, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 82 p.
- Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2012. Avaliação experimental de métodos de armadilhas de sedimentos para determinação do transporte costeiro da Praia da Romana, Ilha dos Guarás (Nordeste do Pará). *Geociências*, **31**: 103-116.
- Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2015. Evolução da linha de costa de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Pesquisas em Geociências*, **42** (3): 207-226.
- Ranieri L. A. & El-Robrini M. 2016. Quantificação de sedimentos transportados por correntes nas praias oceânicas de Salinópolis, Nordeste do Pará, Brasil. *Geociências*, **35** (3): 457-471.
- Rodriguez J. J. & Windevoxhel N. J. 1998. *Análisis Regional de La situación de La zona marina costera Centro Americana*. BID, Washington D. C. No – ENV 121. 107 p.
- Rosário R. P. 2016. Análise de processos oceanográficos no estuário do rio Pará. TS Doutorado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 139 p.
- Silva C. A. 1998. Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará. DS Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 133 p.
- Souza R. R. 2006. Modelagem Numérica Da Circulação De Correntes De Maré Da Baía Do Marajó E Rio Pará (PA). DS. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Universidade de São Paulo, São Paulo, 180p.
- Suguio K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgar Blucher e Edusp. 317p.
- Vidigal A. A. F. 2006 *Amazônia azul: o mar que nos pertence*. Record. Rio de Janeiro. 305 p.
- Wang P., Kraus N. C., Davis Jr. R. A. 1998. Total longshore sediment transport rate in the surf zone: field measurements and empirical predictions. *Journal Coastal Research*, **14** (1): 269-282.