UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS NA PRAIA ESTUARINA DO MARAHÚ- ILHA DE MOSQUEIRO (PA)

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

ÍTALO TADEU BARROS RATZ

Orientadora: Profª Drª Leilanhe Almeida Ranieri (UFPA)

BELÉM

2017

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS NA PRAIA ESTUARINA DO MARAHÚ- ILHA DE MOSQUEIRO (PA)

ÍTALO TADEU BARROS RATZ

BELÉM

2017

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

R238a Ratz, Ítalo Tadeu Barros
Avaliação do transporte transversal de sedimentos na praia estuarina do Marahú - Ilha de Mosqueiro / Ítalo Tadeu Barros Ratz. - 2017.
53 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2017.
Orientação: Profa. Dra. Leilanhe Almeida Ranieri

1. Oceanografia Geológica. 2. Transporte de Sedimentos . 3. Corrente transversal. I. Ranieri, Leilanhe Almeida , *orient.* II. Título

CDD 551.46

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS NA PRAIA ESTUARINA DO MARAHÚ- ILHA DE MOSQUEIRO (PA)

APRESENTADO POR:
ÍTALO TADEU BARROS RATZ

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data de aprovação: 06/09/2017

Banca examinadora:

Leilanhe Almeida Ranieri

Prof. Leilanhe Almeida Ranieri– Orientadora
Dra em Geologia UFPA

Renan Peixoto Rosário

Prof. Renan Peixoto Rosário – Membro
Dr em Geofísica UFPA

Paulo Victor Magno Silva

Sr. Paulo Victor Magno da Silva - Membro
Msc em GeologiaUFPA

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela criação e pelo caminho que percorri até aqui...

À minha família, pelo apoio incondicional. Minha Mãe, Graça, por sempre acreditar em mim até mesmo quando eu não sou capaz. Amo vocês!

Aos amigos que fiz durante esse curso, pelos ensinamentos que a companhia de vocês me proporcionou, em especial, os ricos e bonitos (rs) Tuka, Alysson, Tamy, Ju, Denys e Thay.

À minha orientadora Leilanhe Ranieri pelo aprendizado que foi este trabalho e pelos conselhos ao longo dessa empreitada.

Aos amigos que me aturaram nesses anos todos de existência.

Muito obrigado!

“Ao desenvolvimento da pesquisa na Amazônia
e a preservação de suas riquezas...”

RESUMO

As praias estuarinas são depósitos intermareais de areia ou cascalho às margens de estuários. A praia do Marahú, localizada na Ilha de Mosqueiro/PA e banhada pelo estuário do Rio Pará, é classificada como uma praia estuarina. Nela está ocorrendo acentuado processo erosivo, sendo notável a ação expressiva da corrente transversal na praia. Diante disto, este trabalho visou analisar o transporte transversal de sedimentos na praia do Marahú e seus efeitos nos processos erosivos ou deposicionais em três setores dela. Foi realizada uma campanha de campo em maio de 2017 (período chuvoso) visando analisar o balanço sedimentar (entrada/deposição e remoção de sedimentos) na praia durante as marés de enchente e vazante, e durante o fluxo e refluxo de ondas nos três setores da praia. Nos três setores estudados foram feitas coletas de sedimentos provenientes do transporte transversal utilizando uma armadilha na zona de espraiamento, ora no sentido contrário ao rio, ora no sentido contrário ao continente. Também foram feitas medições de ondas e ventos na praia. Em seguida foram realizadas análises em laboratório, com técnicas de peneiramento visando separação granulométrica dos sedimentos. Os dados obtidos foram posteriormente calculados para compreender a taxa de sedimentos transportados por correntes transversais e as variações na sedimentação praial. Analisando os resultados obtidos com o trap de espraimento, notou-se que durante a maré enchente o volume de sedimentos transportados transversalmente por ondas e correntes foi maior que na maré vazante, assim como a granulometria dos sedimentos coletados e altura de ondas. Nos três setores a quantidade de sedimentos chegando à praia (proveniente do fluxo da deriva praial) foi maior que a quantidade de sedimentos saindo (proveniente do refluxo da deriva praial), com exceção da coleta realizada no setor leste, durante a maré vazante. Este setor apresentou características erosivas, assim como o setor central. Já o setor oeste apresentou características deposicionais, pois cerca de 50% dos sedimentos transportados para a face praial são depositados nesta região e não retornam durante o refluxo de ondas.

Palavras-chave: Oceanografia Geológica. Transporte de Sedimentos. Corrente Transversal. Praia Estuarina.

ABSTRACT

Estuarine beaches are intertidal sand or gravel deposits on the banks of estuaries. The Marahú beach, located on Mosqueiro Island/PA and directly connected to the Pará River estuary, is classified as a estuarine beach. In it is occurring a marked erosive process, being remarkable the expressive action of the cross-shore current in the beach. In view of this, this work aimed to analyze the cross-shore sediments transport on the Marahú beach and its effects on the erosive or depositional processes in three sectors of it. A field campaign was carried out in May 2017 (rainy season) to analyze the sedimentary balance (sediment deposition and removal) on the beach during this period. In the three studied sectors were collected sediments from the cross-shore transport using a trap in the swash zone, sometimes in the opposite direction to the river, sometimes in the opposite direction to the continent. Measurements of waves and winds were also made on the beach. Afterwards, laboratory analyzes were carried out, using sieving techniques aiming the separation of the sediments. The obtained data were later calculated to understand the sediment transported by transverse currents, the variations in the sedimentation during flood tides and ebb and during the flow and reflux of waves in the three sectors of the beach. Analyzing the results obtained with the trap, it was observed that during the flood tide the volume of sediments transported by waves and currents was greater than in the ebb tide, as well as the gran size of the collected sediments and height of waves. In the three sectors, the amount of sediment coming on the beach (from the swash) was greater than the amount of sediment coming out (from the backwash), except for the collection made in the eastern sector during the ebb tide. This sector presented erosive characteristics, as well as the central sector. The western sector presented depositional characteristics, since about 50% of the sediments transported to the beach face are deposited in this region and do not return during the backwash of waves.

Keywords: Geological Oceanography. Sediment Transport. Cross-shore Current. Estuarine Beach.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Figura ilustrativa de uma praia refletiva..... 5

Figura 2 - Figura ilustrativa de uma praia dissipativa..... 5

Figura 3 - Figura ilustrativa dos tipos de arrebentação..... 7

Figura 4 - Modelo de corrente longitudinal..... 10

Figura 5 - Modelo do transporte transversal de sedimentos..... 10

Figura 6 - Mapa de localização da área de estudo..... 11

Figura 7 - Vista da praia do Marahú. 11

Figura 8 - Falésias limitando a praia do Marahú nas porções ocidental e oriental da praia. 14

Figura 9 - Hidrografia da região metropolitana de Belém..... 15

Figura 10 - Média da pluviosidade da região metropolitana de Belém do ano de 2016..... 17

Figura 11 - Armadilha (*trap)* de coleta de sedimentos. A: Vista frontal do *trap* de espraiamento. B: Experimentação com *trap* de espraiamento..... 19

Figura 12 - Medição da altura das ondas através da régua graduada..... 19

Figura 13 - Anemômetro digital..... 19

Figura 14 - Equipamentos utilizados nas análises laboratoriais. A: Agitador automático e jogo de peneiras; B: Estufa para secagem de amostras; C: Balança Analítica..... 21

Figura 15 - Gráfico do período médio (T) de ondas..... 23

Figura 16 - Gráfico da altura média de ondas..... 24

Figura 17 - Gráfico da velocidade dos ventos locais..... 25

Figura 18 - Direção dos ventos locais durante as marés enchente e vazante..... 25

Figura 19 - Gráfico do peso total dos sedimentos coletados por setor com o uso de trap de espraiamento..... 26

Figura 20 - Gráfico da análise granulométrica dos sedimentos amostrados no setor leste..... 27

Figura 21 - Gráfico da análise granulométrica dos sedimentos amostrados no setor central..... 28

Figura 22 - Gráfico da análise granulométrica dos sedimentos amostrados no setor oeste..... 29

Figura 23 - Gráfico da taxa de transporte transversal de sedimentos..... 30

Figura 24 - Falésia (A) e terraço de abrasão no setor central (B)..... 32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Horário da preamar e baixa-mar, das medições de ondas, ventos locais e experimentações com trap de espraiamento.....19

Tabela 2 - Classificação granulométrica de Wentworth.....20

Tabela 3 - Tabela da taxa de transporte transversal.....28

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS..... iv
EPÍGRAFE..... v
RESUMO..... vi
ABSTRACT..... vii
1 INTRODUÇÃO..... 1
2 OBJETIVO..... 3
2.1 OBJETIVO GERAL..... 3
2.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS..... 3
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA 4
3.1 PRAIA..... 4
3.2 PROCESSOS FISICOS COSTEIROS..... 6
3.2.1 Ventos..... 6
3.2.2 Ondas..... 6
3.2.3 Maré..... 7
3.2.4 Correntes costeiras..... 8
4 CARACTERIZAÇÃO DA AREA DE ESTUDO..... 11
4.1 LOCALIZAÇÃO..... 11
4.2 GEOLOGIA REGIONAL..... 12
4.2.1 Formação Barreiras..... 12
4.2.2 Sedimentos pós-barreiras..... 12
4.2.3 Sedimentos holocênicos..... 13
4.3 GEOMORFOLOGIA 13
4.4 HIDROGRAFIA..... 14
4.5 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS..... 15
4.6 ASPECTOS CLIMÁTICOS/METEOROLÓGICOS..... 16
5 MATERIAIS E MÉTODOS..... 18
5.1 AMOSTRAGEM..... 18
5.2 ANÁLISE LABORATORIAL..... 20
5.3 ANÁLISE DE DADOS..... 21

6 RESULTADOS..... 23

6.1 ONDAS..... 23

6.2 DIREÇÃO E VELOCIDADE DOS VENTOS..... 24

6.3 MASSA DE SEDIMENTOS RETIDOS NOS TRAPS DE ESPRAIAMENTO..... 26

6.4 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS AMOSTRADOS..... 26

6.4.1 Setor Leste..... 26

6.4.2 Setor Central..... 27

6.4.3 Setor Oeste..... 28

6.5 TAXA DE TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS..... 29

7 DISCUSSÃO..... 31

7.1 MODIFICAÇÕES OBSERVADAS ENTRE A MARÉ ENCHENTE E A MARÉ VAZANTE..... 31

7.2 ENTRADA E SAÍDA DE SEDIMENTOS..... 31

7.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA..... 33

7.3.1 Setor Leste..... 33

7.3.2 Setor Central..... 33

7.3.3 Setor Oeste..... 34

8 CONCLUSÕES..... 35

REFERÊNCIAS..... 37

1 INTRODUÇÃO

Praias arenosas são facilmente encontradas dentro de baías e estuários no mundo inteiro. As estuarinas, são geralmente caracterizadas pela ação de ondas de pequena amplitude (< 0,25 m) durante condições climáticas normais (JACKSON *op cit.*. 2002), e podem ser consideradas como "ambientes de baixa energia".

Segundo Nordstrom (1992), praias estuarinas são depósitos intermareais de areia ou cascalho onde os processos de retrabalhamento do sedimento são dominados por ondas geradas localmente sobre uma pista curta de ventos. Ondas geradas sob essas condições são caracterizadas principalmente por seu curto período (JAKSON *op cit.* 2002).

Além da menor distância da pista, a influência de outros fatores locais como a orientação da linha de costa, a configuração dos fundos adjacentes e a intensidade do vento, assumem uma maior relevância do que em zonas costeiras expostas (Jackson e Nordstrom 1992). A influência desses fatores locais específicos altera a característica do regime de ondas nas praias de baixa energia, modificando de forma pronunciada tanto a magnitude quanto a extensão do retrabalhamento do sedimento ao longo da praia (JACKSON *op cit.* 2002).

A Zona Costeira do Estado do Pará (ZCEP) é banhada por inúmeros estuários, onde ocorrem praias estuarinas em suas margens. Devido à grande extensão e às múltiplas particularidades da ZCEP, classificadas em função de suas características físico-naturais e socioeconômicas, esta é subdividida em 03 (três) setores: I) Insular Estuarino; II) Continental Estuarino; III) Costa Atlântica Paraense, totalizando uma área de 79.795,40 km^2 (El-Robrini *et al*. 2006). Inserida na ZCEP, encontra-se a Ilha de Mosqueiro classificada no setor Continental Estuarino.

A Ilha de Mosqueiro abrange uma área de 21.967 ha, localiza-se geograficamente entre as coordenadas 1°4'11'' a 1°13'42'' S e 48° 19' 20'' a 48°29'14'' W, com altitude média de 15 m acima do nível do mar. Encontra-se à margem direita do estuário do Rio Pará e é separada do continente próximo, a leste, pelo canal denominado Furo das Marinhas e, ao sul, por um conjunto de ilhas, dentre as quais se destacam as Ilhas do Outeiro e João Pilatos (Sales 2005).

A Ilha de Mosqueiro possui cerca de 20 praias estuarinas, dentre elas a praia do Marahú, que está sofrendo um intenso processo erosivo. Segundo El Robrini *et al.* (2006), a presença de uma camada concrecionária laterítica na linha de pós-praia, a perda da vegetação e as inundações pelas marés de sizígia são fatores que contribuem acentuadamente no processo erosivo da praia do Marahú. Além disso, é notável a ação expressiva da corrente

transversal nesta praia estuarina, em comparação à corrente longitudinal, devido à atuação de ventos e ondas locais.

Neste trabalho busca-se avaliar a real importância do transporte transversal de sedimentos em uma praia estuarina amazônica, a praia do Marahú, originando resultados quantitativos e qualitativos dos sedimentos circulantes nas praias e, visando a identificação de setores erosivos ou deposicionais da praia. Tal proposta de pesquisa contribuirá na compreensão do transporte de sedimentos transversal em áreas de margens arenosas de estuários na costa amazônica, a luz das condições hidrodinâmicas atuantes.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o transporte transversal de sedimentos na praia do Marahú e seus efeitos nos processos erosivos ou deposicionais em três setores da praia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Verificar o balanço sedimentar nos setores leste, central e oeste da praia do Marahú;
- Avaliar o ganho e perda de sedimentos durante o fluxo e refluxo das ondas;
- Descrever o efeito do transporte transversal sobre os sedimentos durante as fases de maré enchente e vazante;
- Analisar a granulometria dos sedimentos presentes, durante o transporte transversal;
- Inferir sobre a condição mais erosiva ou deposicional de cada setor.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PRAIA

Corresponde à zona perimetral de um corpo aquoso, dominada por ondas ou maré e composta de material granular inconsolidado, comumente arenoso (0,062 a 2mm) ou mais raramente cascalhoso (2 a 60 mm), além de conter teores variáveis de biodetritos. Quase sempre, tanto a sua morfologia externa quanto as suas características internas podem apresentar modificações induzidas por atividades de correntes longitudinais e de maré. Estende-se desde o nível de baixa-mar média (profundidade de interação das ondas com o substrato) até a linha de vegetação permanente (limite das ondas de tempestade) ou até onde haja mudanças na fisiografia, com dunas costeiras ou falésias marinhas (Suguio 2003).

As praias e barreiras, ou cordões arenosos, compõem o ambiente frontal de muitos sistemas costeiros, como deltas, estuários e lagunas. São regiões extremamente dinâmicas, cujas características morfológicas refletem o agente modificador predominante, no caso de ondas ou marés e, os atributos dos sedimentos que as compõem, principalmente a granulometria, normalmente arenosa (Baptista Neto *et al* 2004).

As praias são classificadas de acordo com sua morfologia e também conforme sua variante energética - praias dominadas por ondas e praias dominadas por marés. Porém é importante ressaltar que praias por serem ambientes dinâmicos não podem ser classificadas permanentemente como de um tipo.

No estado dissipativo (Figura 1) a zona de surfe é larga, apresenta baixo gradiente topográfico e elevado estoque de areia na porção subaquosa da praia. Condições dissipativas são favorecidas pela ocorrência de ondas altas e de elevada esbeltez (tempestade) ou pela presença de areias de granulometria fina. Geralmente, em tais condições, a zona de surfe é "saturada", ou seja, as ondas arrebentam longe da face da praia, decaindo progressivamente em altura à medida que dissipam sua energia através da arrebentação (Calliari *et al*. 2003).

O estado refletivo (Figura 2), ao contrário, é caracterizado por elevados gradientes de praia e fundo marinho adjacente, o que reduz sensivelmente a largura da zona de surfe. Tende a prevalecer em praias fortemente compartimentadas, em zonas protegidas entre promontórios, na presença de areias grossas ou após longos períodos de acresção. A reserva de areia se encontra, principalmente, na porção subaérea da praia, com pouca areia depositada na porção submarina (Calliari *et al*. 2003).

Praias arenosas são facilmente encontradas dentro de baías e estuários no mundo inteiro. Essas praias são também conhecidas como praias estuarinas.

Os estuários são zonas preferenciais de acumulação de sedimentos finos. No entanto, a presença de praias de areia ou de cascalho no interior de estuários é frequente. Estes depósitos de sedimento não consolidado formam-se em áreas onde a configuração fisiográfica é favorável, onde há sedimentos disponíveis e suficiente energia das ondas e das correntes de maré para transportá-los (Nordstrom 1992).

Embora num estuário possam surgir praias, sobretudo na zona da embocadura, onde atuadas por ondas oceânicas, as praias interiores, abrigadas da influência do oceano, resultam exclusivamente da ação de ondas geradas por ventos locais numa situação de *fetch* restrito. Neste caso, têm características morfológicas distintas das praias oceânicas, principalmente devido à importância da amplitude de maré relativamente à altura das ondas. Aquela condiciona a largura da praia e a morfologia de cada sector do perfil, devido à distribuição vertical da energia das ondas.

Além disso, outros fatores locais, como a orientação da linha de costa, a configuração dos fundos adjacentes, o vento e condicionamentos antrópicos, assume maior relevância do que em zonas costeiras abertas sem restrição de *fetch* (Jackson e Nordstrom 1992).

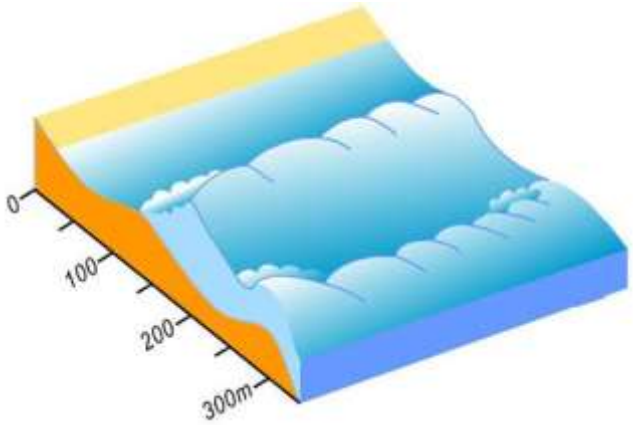


Figura 1 - Figura ilustrativa de uma praia dissipativa.
Fonte: Praia... (2017a)

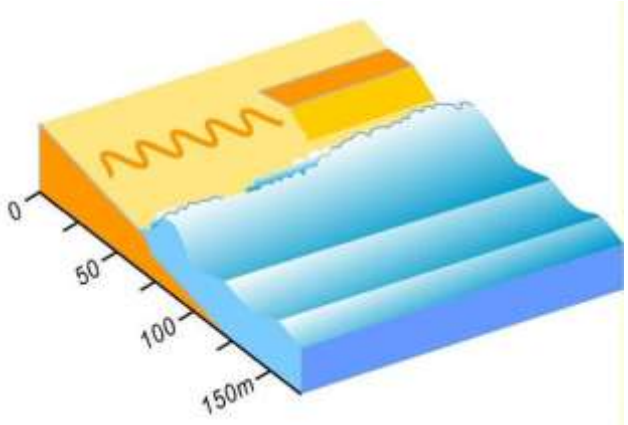


Figura 2- Figura ilustrativa de uma praia refletiva.
Fonte: Praia... (2017b)

.

3.2 PROCESSOS FISICOS COSTEIROS

3.2.1 Ventos

Os ventos possuem papel importante na formação de ondas e na dinâmica da morfologia costeira, sendo responsáveis não só pelo processo de transporte dos grãos nos ambientes praias, como também pela geração de ondas, que ao atingirem a costa atuam na deriva litorânea favorecendo o transporte ao longo da mesma (Fonzar 1994).

3.2.2 Ondas

As ondas podem ser definidas como manifestações de forças agindo em um fluido tendendo a deformá-lo, mas é a ação da gravidade e a tensão superficial que agem juntos para manter o nível na superfície do fluido. Dessa forma, as ondas requerem de algum tipo de força para que ocorra a sua formação na superfície do fluido; tais forças poderiam ser causadas, por exemplo, através do sopro do vento ou uma pedra impactando na água. A partir daí ocorre à ação da gravidade e da tensão superficial no fluido em movimento, onde, dependendo da magnitude destas forças, as ondas podem ocorrer com vários tamanhos e formas (Dean e Dalrymple 2002).

De acordo com Baptista Neto *et al* (2004), as ondas estão entre um dos fatores mais expressivos quanto ao selecionamento e redistribuição de sedimentos depositados na zona

costeira tanto nos sentidos longitudinais quanto transversais. Estas podem ser geradas tanto por fatores geológicos quanto por meteorológicos.

As ondas são extremamente importantes na configuração da topografia de costa e na deposição/transporte de sedimentos, e estão associadas geralmente à influência dos ventos e realizam selecionamento e redistribuição de sedimentos trazidos pelos rios, formando praias, bancos arenosos longitudinais, ilhas barreiras, pontais arenosos, etc. (Suguio 1973).

Segundo Silva (1998), as ondas são importantes para a dinâmica, propiciando a mistura das águas e a ressuspensão constante dos sedimentos de fundo e das margens, podendo causar processos erosivos.

Podem apresentar quatro tipos de arrebentação, onde o principal fator determinante é o gradiente da praia. Os tipos de arrebentação são (Carter 1988):

- Deslizantes (*spilling*) – ocorrem em praias com baixa declividade e onda arrebentando de forma contínua;
- Mergulhante (*plunging*) – ocorrem em praias de declividade médio, onde esta apresenta uma quebra súbita na forma;
- Frontal (*collapsing*) – é um tipo de arrebentação que pode ser tida como intermediária entre a mergulhante e a ascendente;
- Ascendente (*surging*) – ocorrem em praias com declividade muito acentuada, onde a crista da onda não chega a quebrar.

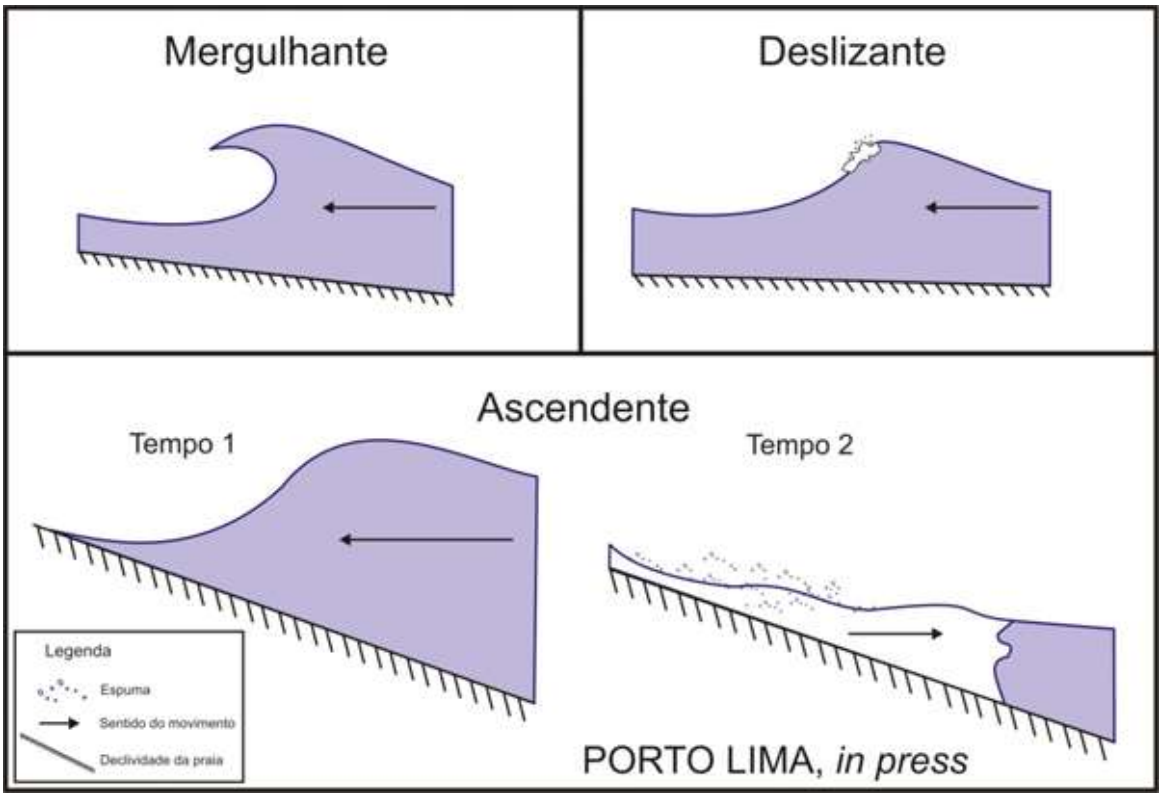


Figura 3 - Representação dos tipos de arrebentação.

Fonte: Universidade Federal do Paraná-UFPR (2005a)

3.2.3 Maré

As marés são formadas pela ação combinada de forças de atração gravitacional entre a Terra, Lua e Sol, e por forças centrífugas geradas pelos movimentos de rotação em torno do centro de massa do sistema sol-terra-lua que se localiza no interior da terra, a uma distância de um quarto do raio terrestre. Estas forças estão em equilíbrio, impedindo que a lua seja atraída para a superfície da terra (Baptista Neto *et al.* 2004).

As partículas d'água que migram livremente nos oceanos movimentam-se em associação com estas forças, estabelecendo os ciclos de maré. Mesmo considerando a menor

massa da lua em relação ao sol, sua maior proximidade em relação à Terra faz com que seu efeito de atração gravitacional seja dominante (Baptista Neto *et al.* 2004).

As maiores marés causadas pelo alinhamento linear do Sol, da Terra e da Lua são chamadas de maré de sizígia. Durante as marés de sizígia, as preamares são muito altas, e as baixa-mares, muito baixas. Essas marés ocorrem em intervalos de duas semanas correspondentes às luas cheia e nova. As marés de quadratura ocorrem quando a Lua, a Terra e o Sol formam um ângulo reto. Durante as marés de quadratura, as preamares não são tão altas, nem as baixa-mares tão baixas. As marés de quadratura também ocorrem em intervalos de duas semanas, uma semana depois de uma maré de sizígia (Garrison 2010).

Segundo Schmiegelow (2004), as marés são classificas de acordo com sua altura em: macromarés (maior que 4 m), mesomarés (entre 2 a 4 m) e micromarés (menor que 2 m). As marés podem ser classificadas em três tipos, reconhecidas pela frequência em que ocorrem e a simetria de sua curva: maré diurna, quando ocorrem uma preamar e uma baixa-mar aproximadamente iguais em cada dia lunar, maré semidiurna, a mais comum, quando ocorrem duas preamares e duas baixa-mares aproximadamente iguais em cada dia lunar, e maré mista, na qual ocorrem duas preamares e duas baixa-mares de significativas diferenças de altura.

3.2.4 Correntes costeiras

Quando as ondas aproximam-se da costa segundo um ângulo obliquo, uma corrente paralela à linha de costa (*longshore current*) desenvolve-se entre a praia e a zona de arrebentação, atingindo velocidades razoáveis, normalmente entre 0,3 e 1m/s. Estas correntes estabelecem transporte de sedimentos litorâneos, paralelamente à linha de costa, definindo o processo conhecido como deriva litorânea (Baptista Neto *et al.* 2004).

Estas correntes podem transportar sedimentos postos em suspensão pela ação das ondas, que podem ser transportados por quilômetros. Elas podem ocasionar um transporte longitudinal, onde a granulometria dos sedimentos transportados como carga de fundo está intimamente relacionada à velocidade da corrente em uma proporção direta (Bittencourt *et al.* 1991).

Outro processo efetivo de transporte de sedimentos paralelamente à costa ocorre diretamente na face de praia, pela ação do fluxo e do refluxo das ondas (*swash* e *backwash*), conhecido como transporte transversal ou deriva praial. Quando as ondas quebram

obliquamente à linha de costa, o transporte de sedimentos pelo espraiamento da onda na face de praia segue a direção oblíqua de propagação. A corrente de refluxo (*backwash*), no entanto, segue a direção do mergulho da face de praia. Como resultado da ação de ondas sucessivas, os sedimentos são movidos paralelamente à costa, em um padrão zig-zag (Baptista Neto *et al.* 2004).

A composição granulométrica dos sedimentos da praia tem também influência direta em sua morfologia. Quando uma onda quebra na praia, sedimentos são movidos primeiramente em direção à costa, e logo após são trazidos de volta ao mar pelo refluxo das águas. Ou seja, no movimento de subida e descida da água durante o espraiamento de ondas, o *swash* é o responsável pela movimentação do sedimento na direção da praia (*onshore*), enquanto o *backwash* move os sedimentos em direção oposta (*offshore*).

Segundo Carter (1993) a mais comum das correntes litorâneas é a corrente longitudinal, direcionada por ondas oblíquas. Elas se movem ao longo da direção de aproximação das ondas como uma oscilação, corrente de turbulência entre a zona de arrebentação e a costa sendo denominada de deriva litorânea. Enquanto na zona de surfe o transporte se dá pela corrente longitudinal (Figura 4), na face da praia o transporte ocorre devido aos processos da zona de espraiamento (Muehe 1993) (Figura 5).

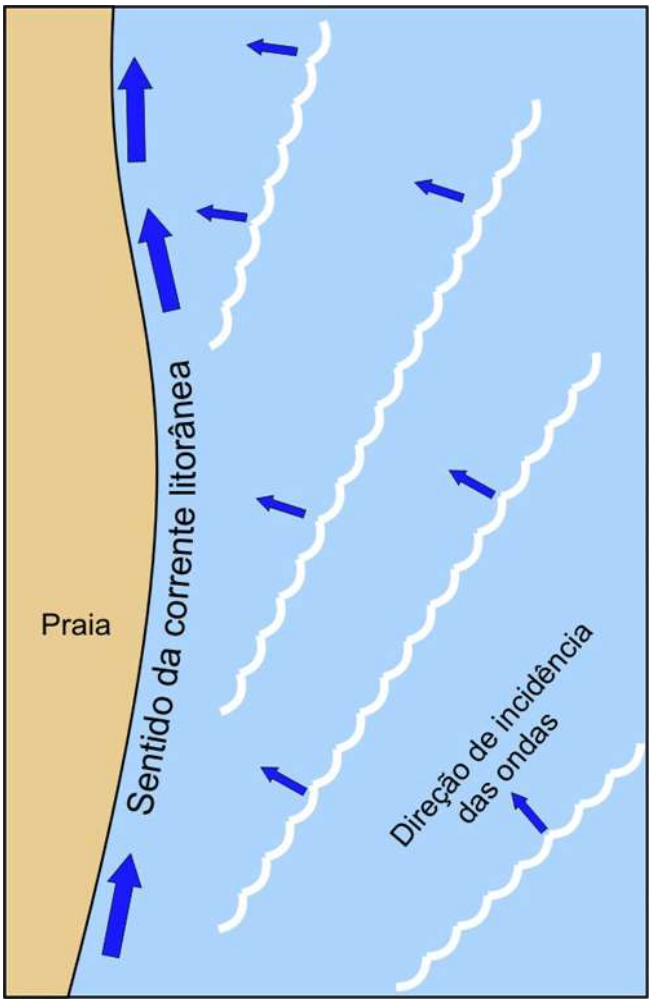


Figura 4 – Modelo de corrente longitudinal.
Fonte: Universidade Federal do Paraná-UFPR (2005b).

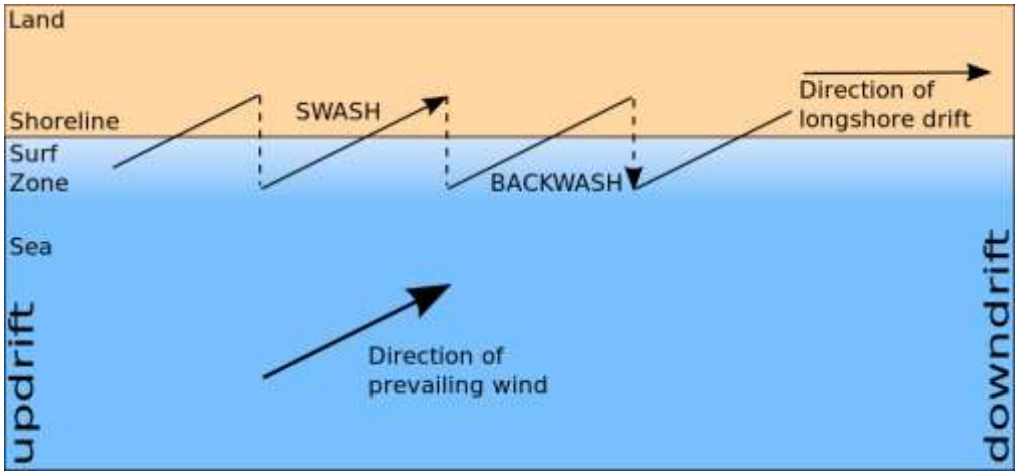


Figura 5 – Modelo do transporte transversal de sedimentos.
Fonte: (UFPR 2005c).

4. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.1. LOCALIZAÇÃO

A área de estudo (Figura 6) localiza-se na zona costeira do distrito de Mosqueiro, parte integrante da Região Metropolitana de Belém, mais precisamente na praia do Marahú (Figura 7), entre as coordenadas 1°4’11’’ a 1°13’42’’ de latitude Sul e 48° 19’20’’ a 48°29’14’’ de longitude Oeste.

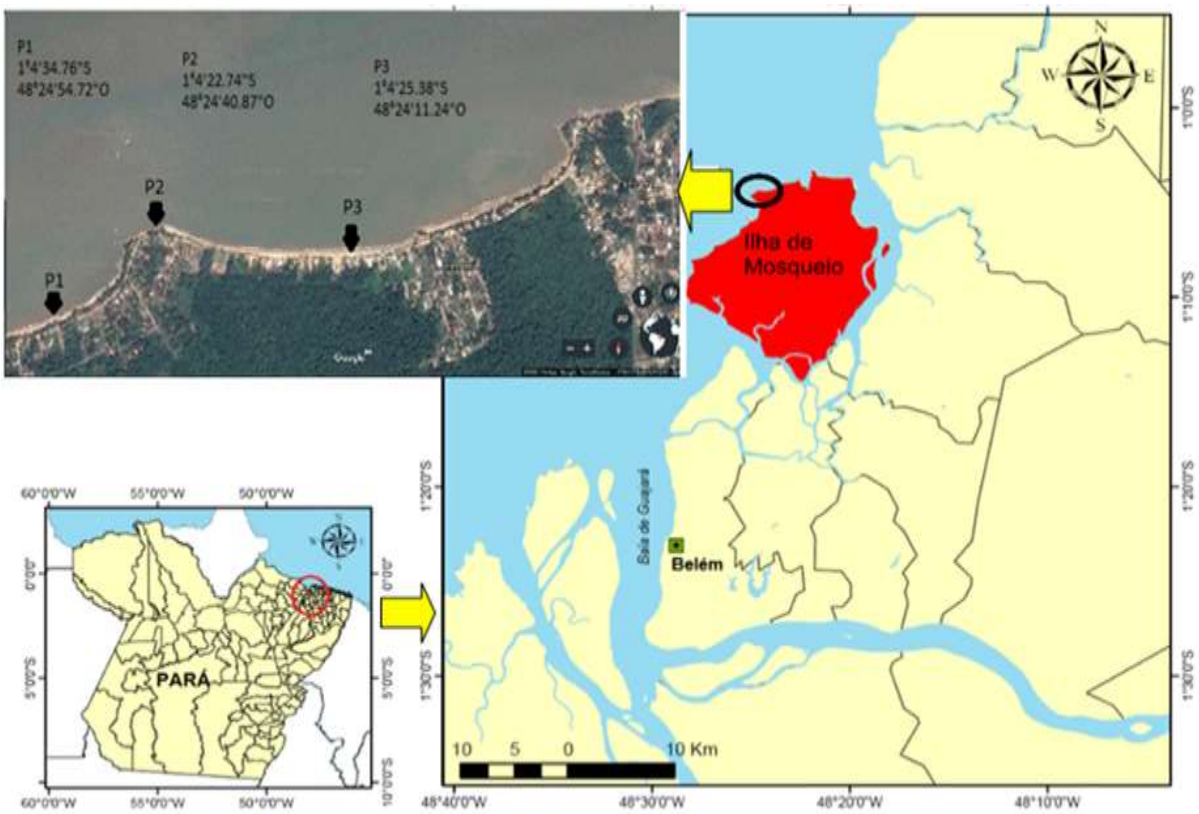


Figura 6 – Mapa de localização da área de estudo.

Fonte: Gusmão (2014). Modificado no *Google Earth*.

Figura 7 – Vista da praia do Marahú.

Fonte: do autor.

4.2. GEOLOGIA REGIONAL

Os aspectos geológicos regionais estudados foram os Estratigráficos, subdivididos em Formação Barreiras, Pós-Barreiras e Sedimentos Holocênicos que evidenciam a compartimentação física da Ilha de Mosqueiro.

4.2.1. Formação Barreiras

Esta unidade encontra-se principalmente no NE do Estado do Pará nas regiões do Salgado e Bragantina, bem como em áreas próximas à cidade de Belém, como os registros da Ilha do Outeiro (Silva Júnior 1998) e da Ilha de Mosqueiro.

Os sedimentos da Formação Barreiras estão sobrepostos aos sedimentos da Formação Pirabas e são sobrepostos pelos sedimentos Pós-Barreiras (Silva Júnior 1998). Esta unidade é datada do Mioceno Médio (Rosseti 2001).

Silva Júnior (1998) descreve que os sedimentos da Formação Barreiras constituem-se de argila, silte e areia fina, podendo apresentar leitos de areias e conglomerados de cores variadas (vermelho, amarelo e esbranquiçado), com nódulos e concreções de ferro formadas *in situ*. Ocorrem ainda arenitos ferruginosos e níveis de seixos quartzosos.

4.2.2. Sedimentos Pós-Barreiras

Os depósitos sedimentares da formação Pós-Barreiras repousam sobre os sedimentos do grupo Barreiras, e destes separam-se por uma discordância erosiva (Sá 1969).

Sua idade ainda é objeto de controvérsias, sendo assumida constantemente como pleistocênica. Rossetti *et al.* (1994), porém, consideram parte destes sedimentos holocênicos. Constituem-se de sedimentos areno-argilosos, mal selecionados, depositados a partir da atuação de movimentos gravitacionais.

A lixiviação desses sedimentos teria originado as areias que ocorrem em vários pontos da região (Sá 1969). Rossetti *et al.* (1989) caracterizam esta unidade por apresentar sedimentos areno-argilosos sem estruturação.

4.2.3. Sedimentos Holocênicos

São compostos por areias, siltes e argilas intercaladas, de espessura variada. É comum encontrar-se argilas orgânicas, com restos vegetais, bioturbadas e intercaladas a siltes e areias finas, com espessuras milimétricas a centimétricas. Podem apresentar espessuras da ordem de, no máximo, 50 m (Costa *et al.* 1991).

Para Christofoletti (1980), a totalidade das costas e praias do NE do Pará foi ou está sendo esculpida em função dos níveis marinhos do Quaternário recente. Corroborando com esse pressuposto, destaca-se a última transgressão marinha do início do Holoceno (Transgressão Flandriana) como a responsável pela sedimentação atual das praias, várzeas e manguezais da Ilha de Mosqueiro.

4.3. GEOMORFOLOGIA

Segundo Silva (1975) e Costa e El-Robrini (1992), a Ilha de Mosqueiro pode ser subdivida em duas seções fisiográficas principais:

Terraços Aluviais Pleistocênicos – ao Norte-Nordeste, que são áreas mais elevadas com altitude entre 15-25m, representa 2/3 da superfície da ilha. Constituem-se de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos caoliniticos.

Planície Aluvial de Inundação – ao Sul-Sudeste, sendo periodicamente ou permanentemente inundadas. São áreas planas, com altitude entre 5 a 10m. Esta é constituída por sedimentos argilosos e siltosos, pouco desenvolvidos, pertencentes a formação mais recente, ou o Holoceno.

As feições morfológicas observadas por Monteiro (1992) na Ilha de Mosqueiro foram: Falésias (Figura 8), canais de marés, planície de inundação, terrenos holocênicos ou tabuleiros, que representam as características de geração de relevo, decorrentes de processos como a abrasão, intemperismo e marés.

Figura 8 – Falésias limitando a praia do Marahú nas porções ocidental e oriental da praia.
Fonte: do autor.

4.4. HIDROGRAFIA

O estuário Amazônico apresenta um sistema hidrográfico compostos por diversos rios, canais de maré e outros cursos de água, muitas vezes interligados entre si. A baía do Marajó transporta a água doce proveniente de vários desses rios (Correa 2005), a exemplo da baía do Guajará, que tem em sua margem esquerda um conjunto de ilhas e sua margem direita a cidade de Belém, sendo formada na confluência dos rios Acará, Mojú e Guamá

Outro importante rio é o Pará, formado a partir de contribuições do rio Amazonas através do estreito de Breves, percorrendo uma distância aproximada de 300 km até sua desembocadura na baía do Marajó, onde deságua também o rio Tocantins, que apresenta um regime hidrológico bem definido, com estiagem entre setembro e outubro e cheia de fevereiro a abril, cobrindo uma área de drenagem de aproximadamente 757.000 km² e uma descarga média anual de 11.800 m³/s (Latrubesse e Stevaux 2005).

A Baía do Guajará localiza-se em frente à cidade de Belém e prolonga-se até as proximidades da Ilha de Mosqueiro, onde se encontra com a Baía de Marajó, ou foz do Rio Pará. A Ilha do Mosqueiro é banhada: ao sul e sudeste, pelo Furo do Maguari; a sudoeste e noroeste pelas águas da Baía do Guajará; a norte, nordeste e parte do Sudeste pelo Furo das Marinhas (Figura 9). Os principais rios que drenam a ilha são Murubira, Pratiquara e Mari-Mari (Sales 2005).

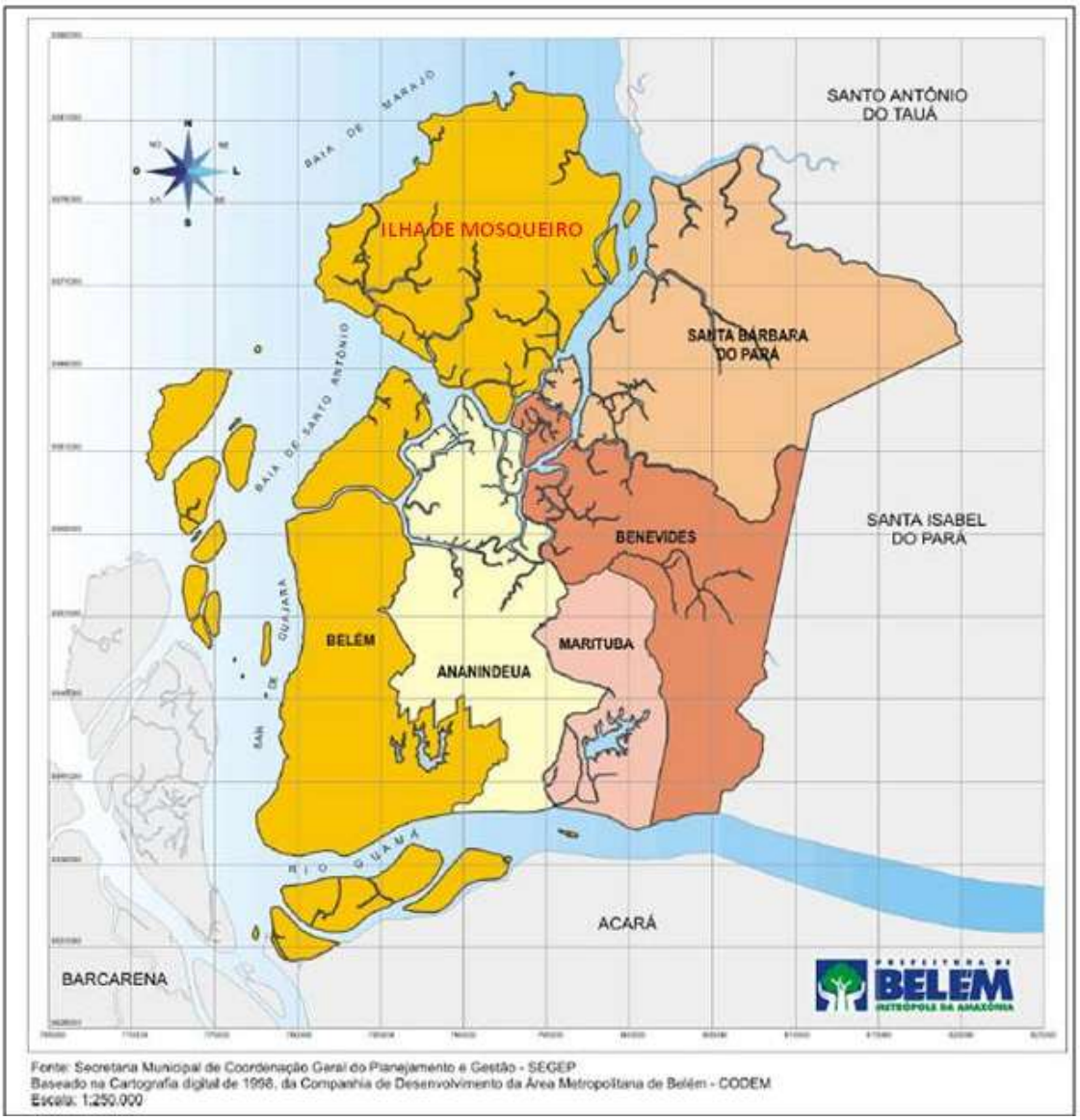


Figura 9 – Hidrografia da região metropolitana de Belém.
Fonte: (Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão-SEGPE 1998)

4.5. ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

O litoral norte brasileiro sofre influência das ondas formadas a partir de ventos alísios, predominantemente de NE. Essas ondas apresentam, em geral, alturas abaixo de 1-1,5m em mar aberto. Na baía de Guajará, as ondas quebram com altura de 1m e períodos em torno de 8 segundos. Na Ilha de Mosqueiro, em situação de maré baixa, ocorrem pequenas ondulações que chegam no máximo a 0,3m de altura, caracterizando um sistema relativamente tranquilo (Pinheiro 1987).

Na porção intermediaria do estuário, sob a influência da baía do Guajará, e na porção interna, nos rios Pará e Tocantins, o estuário pode ser classificado como de mesomaré, apresentando altura máxima de 3,5 m em Belém, de 3,1 m no rio Tocantins e 2,6 m no rio Pará (Santos 2013).

Desta forma, a Ilha do Mosqueiro é dominada por maré com amplitude de 2 a 4 metros. Quanto ao período do ciclo de maré, este é do tipo semidiurno. Já as correntes de maré são produzidas pelo movimento vertical, causado pelo aumento e a diminuição da amplitude de maré. Os valores máximos de velocidade das correntes de maré são registrados durante o período de sizígia, 5 horas após a preamar, quando atingem 1,43 m/s, enquanto que a velocidade mínima ocorre 1 hora antes da preamar, não ultrapassando a 1,13 m/s. Nas marés de quadratura, a velocidade máxima é de 0,76 m/s e a mínima de 0,59 m/s (DHN 1994).

4.6. ASPECTOS CLIMÁTICOS/METEOROLOGICOS

Como não há dados meteorológicos diretos da Ilha do Mosqueiro, foram utilizados dados da cidade de Belém.

De acordo com a classificação de Köppen o clima da Ilha do Mosqueiro enquadra-se no tipo Af1, que corresponde ao tipo Equatorial Úmido, onde não há estações climáticas bem definidas.

A Ilha apresenta precipitação média de 2.600 a 3.200 mm onde, segundo Farias (2006), a área em questão apresenta dois períodos sazonais distintos: um chuvoso, de Dezembro a Maio; e outro seco, de Junho a Novembro (Figura 10).

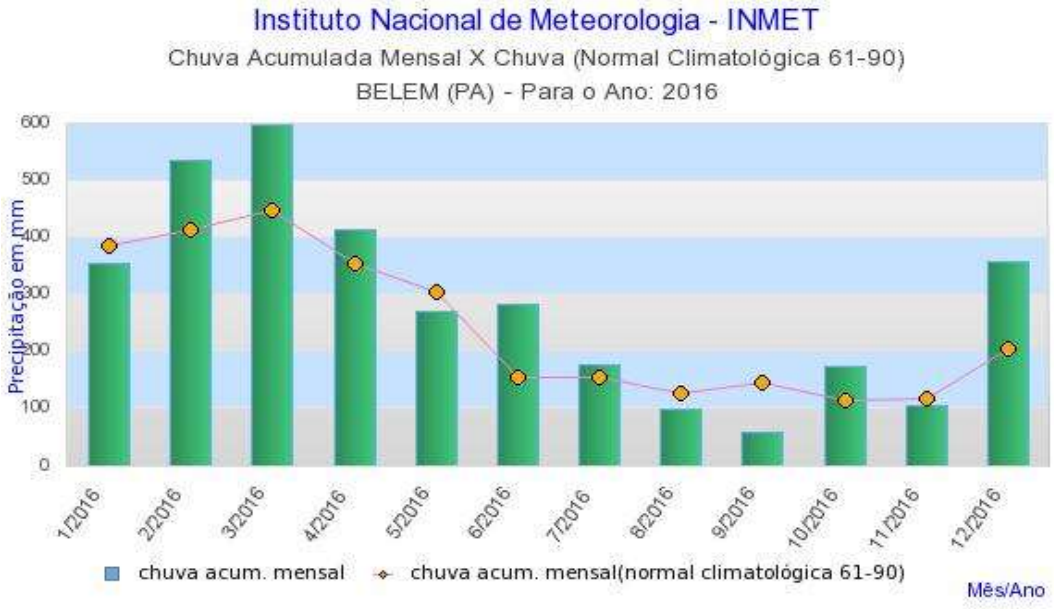


Figura 10 – Média da pluviosidade da região metropolitana de Belém no ano de 2016.
Fonte: (INMET 2017)

De acordo com Geyer *et al.* (1996 *apud* Delfino 2006), os ventos alísios de NE cruzam a plataforma continental Norte em direção a oeste com velocidade de 5 a 10 m/s, gerando os "trens" de ondas incidentes que associados a morfologia de fundo geram as correntes de deriva litorânea para nordeste. Estes ventos atuam continuamente durante todo o ano atingindo um máximo quando se somam aos alísios de SE, sendo estes responsáveis pelo transporte de sedimentos da plataforma continental interna em direção à costa (Silva 1998).

Segundo Pinheiro (1987), utilizando dados da estação meteorológica da UFPA/ALBRÁS, instalada no munícipio de Barcarena, e dados dos ventos da estação meteorológica da UFPA (Belém), a direção dos ventos no mês de março é predominante de N-NE com velocidades entre 1,17 e 1,23 (m/s); em junho entre E-SE, com velocidades entre 1,26 e 1,52 (m/s), em setembro no quadrante E com velocidades entre 2,16 e 2,18 (m/s).

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1. AMOSTRAGEM

Foi realizada uma campanha de campo em 11 de maio de 2017 (período chuvoso) na praia do Marahú, em situação de maré de sizígia, visando analisar o transporte transversal de sedimentos (deriva praial).

Nos três setores estudados foram feitas coletas de sedimentos provenientes do transporte transversal próximo ao nível de linha d'água (linha oscilante de maré) utilizando uma armadilha de sedimentos na zona de espraiamento (trap de espraiamento), ora no sentido contrário ao rio, ora no sentido contrário ao continente (Figura 11).

O objetivo do método foi comparar os volumes de sedimentos trazidos e removidos da face praial durante o fluxo e refluxo das ondas. Esta comparação ocorreu nos três setores estudados e durante condições de maré vazante e enchente, a fim de se detalhar com maior precisão o feito do transporte de sedimentos na área e devido à grande importância do efeito da maré na costa Norte do Brasil. O tempo de operação da armadilha foi de 2 minutos, devido a efetividade do transporte transversal.

Foram realizadas também medições de ondas *in situ* através do uso de filmagem de um operador segurando uma régua graduada, com isso pôde-se, posteriormente, calcular por regra de três simples, a altura aproximada das ondas que incidiam sobre a praia no período da coletas dos sedimentos transportados pela deriva praial (Figura 12). Além disso, pelo tempo da passagem de 11 cristas de ondas pôde-se obter o período (T) das mesmas (Muehe 1993).

As medições das ondas foram realizadas apenas no setor leste devido ser o único setor em que se teve altura de ondas suficiente para serem feitas as medições. Os outros setores apresentaram apenas vagas de pequenas ondulações.

Medições de velocidade dos ventos foram realizadas mediante o uso de um anemômetro digital (Figura 13) e, a direção dos ventos foi obtida através de uma biruta feita artesanalmente e instalada na face praial. Os dados de ventos foram coletados por cerca de 20 min, com intervalos de 5 min entre cada medição.

Os horários das medições de ondas, ventos e coletas com trap de espraiamento estão descritos na tabela 1.

Figura 11 – Armadilha (*trap)* de coleta de sedimentos. A: Vista frontal do *trap* de espraiamento. B: Experimentação com *trap* de espraiamento.
Fonte: (Ranieri 2014)

Figura 12 – Medição da altura das ondas através da régua graduada.

Figura 13 – Anemômetro digital.

Tabela 1 – Horário da preamar e baixa-mar em 11/05/2017 e, das medições de ondas, ventos locais e experimentações com trap de espraiamento.

	Maré Enchente (Preamar: 11:04h**)**		**Maré Vazante Baixa-mar (**17:36h**)**	
	Ondas/Trap	**Ventos**	**Ondas/Trap**	**Ventos**
Setor Leste	10:40	10:45	13:40	13:55
Setor Central	09:30	09:45	14:25	14:40
Setor Oeste	10:15	10:20	14:55	15:10

5.2. ANÁLISE LABORATORIAL

No Laboratório de Sedimentologia do Grupo de Estudos Marinhos e Costeiros e do Laboratório de Oceanografia Geológica do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará, foram pesadas as amostras coletadas em campo e realizadas separações por peneiramento das diferentes frações granulométricas das amostras de sedimentos.

Este método inicia-se com a lavagem das amostras e decantação das mesmas. Passando essa etapa, as amostras são colocadas em estufa a 60°C até adquirirem condições ideais (secas). Posteriormente é realizado o quarteamento destas amostras, a seleção de alíquotas de 100g para cada amostra quarteada e peneiramento das mesmas, utilizando-se peneiras com os seguintes intervalos em mm: 2,0 - 1,4 – 1,0 - 0,71- 0,50- 0,35 – 0,25 – 0,18 – 0,125 – 0,09 – 0,063 - <0,063. Por fim, as diferentes frações encontradas no peneiramento são pesadas em uma balança analítica (Figura 14).

Figura 14 – Equipamentos utilizados nas análises laboratoriais. A: Agitador automático e jogo de peneiras; B: Estufa para secagem de amostras; C: Balança Analítica.

5.3. ANÁLISE DE DADOS

Para classificação granulométrica das amostras, baseada no tamanho das partículas e, expressa pelo valor da média ou mediana, foi empregada a classificação proposta por Wentworth (1922), que obedece aos limites da tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação granulométrica de Wentworth (1922).

CLASSIFICAÇÃO	Phi	Mm
Areia muito grossa	-1 a 0	2 a 1
Areia grossa	>0 a 1	<1 a 0,50
Areia média	>1 a 2	<0,50 a 0,25
Areia fina	>2 a 3	<0,25 a 0,125
Areia muito fina	>3 a 4	<0,125 a 0,0625
Silte	>4 a 8	<0,0625 a 0,0039
Argila	>8	<0,0039

Posteriormente, os dados resultantes da análise laboratorial foram processados através do programa *Microsoft Office Excel*, visando calcular o percentual de areia, silte ou argila de cada amostra tratada, o peso total das mesmas e, a taxa de sedimentos transportados, convertendo, por meio de regra de três simples, o peso total em gramas (g) para kg/s/m.

6. RESULTADOS

6.1. ONDAS

As ondas apresentaram um período maior durante a maré enchente (Figura 15) com valor médio de 3,1 segundos entre a passagem de uma crista e outra de onda, enquanto que na maré vazante apresentou uma periodicidade menor com valor médio de 2,8 segundos.

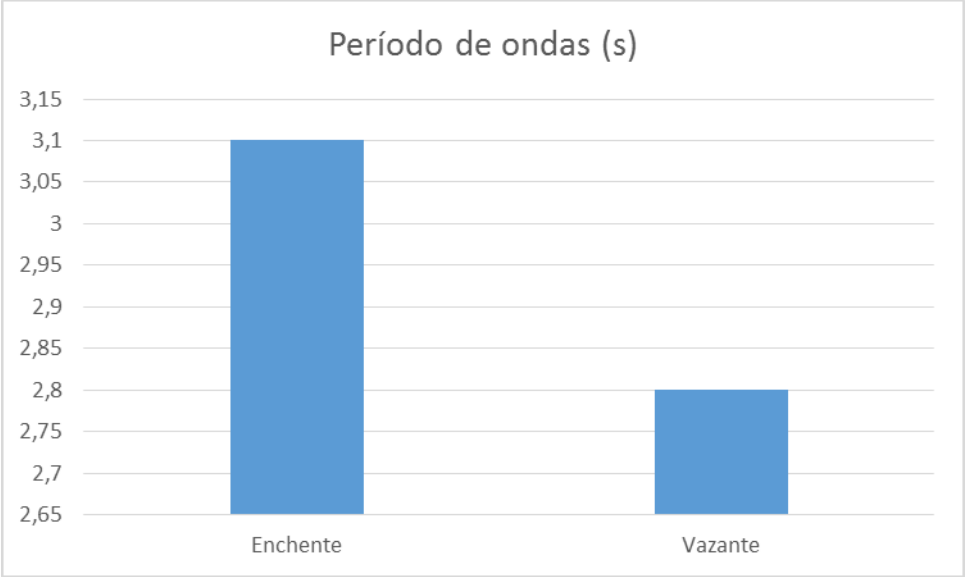


Figura 15 – Gráfico do período médio (T) de ondas.

As alturas de ondas também foram maiores na maré enchente (Figura 16) com valores médios de 32,5 cm, enquanto que na maré vazante apresentou uma média um pouco menor, com o valor de 30 cm. Ou seja, não houve variação significativa na altura de ondas entre uma fase de maré e outra.

Durante as coletas, não foram obtidos valores superiores a 1 m, a pesar de poderem ocorrer na praia do Marahú, em outros momentos.

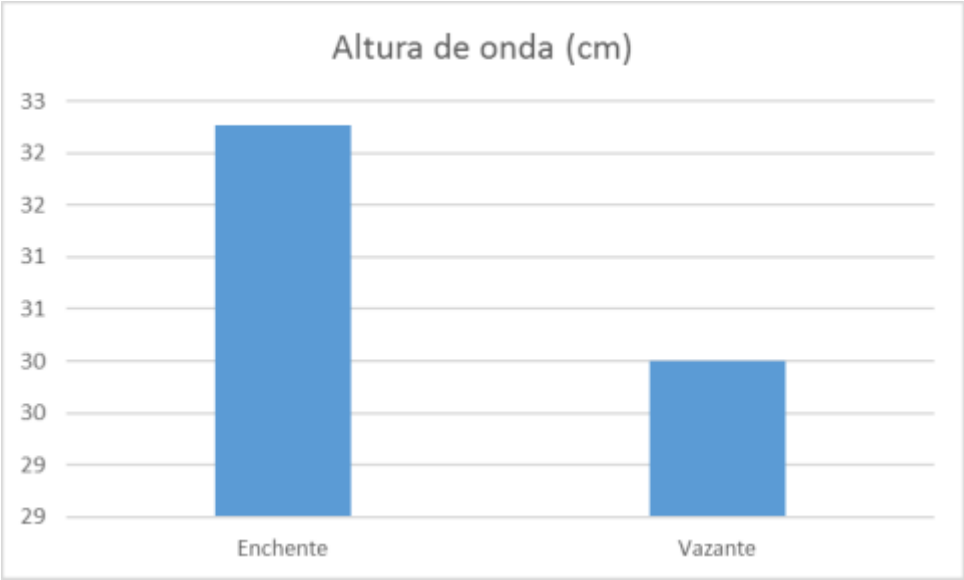


Figura 16 – Gráfico da altura média de ondas.

6.2. DIREÇÃO E VELOCIDADE DOS VENTOS

A velocidade dos ventos se deu mais intensa na maré vazante do que na maré enchente (Figura 17). Durante a maré vazante o setor que apresentou maior valor de velocidade foi o setor oeste (P1) com a média de 5,36 m/s, posteriormente o setor leste (P3) com a média de 4,36 m/s. O setor central (P2) apresentou média de 3,3 m/s.

Durante as medições na maré enchente, o setor leste apresentou a maior média de velocidade com o valor de 2,91 m/s, enquanto o setor oeste apresentou média de 1,76 m/s e o setor central média de 1,5 m/s.

Ou seja, tanto na maré vazante como na maré enchente, o setor central apresentou as menores velocidades de ventos, devido sua localização abrigada por falésias e vegetação arbutiva sobre elas.

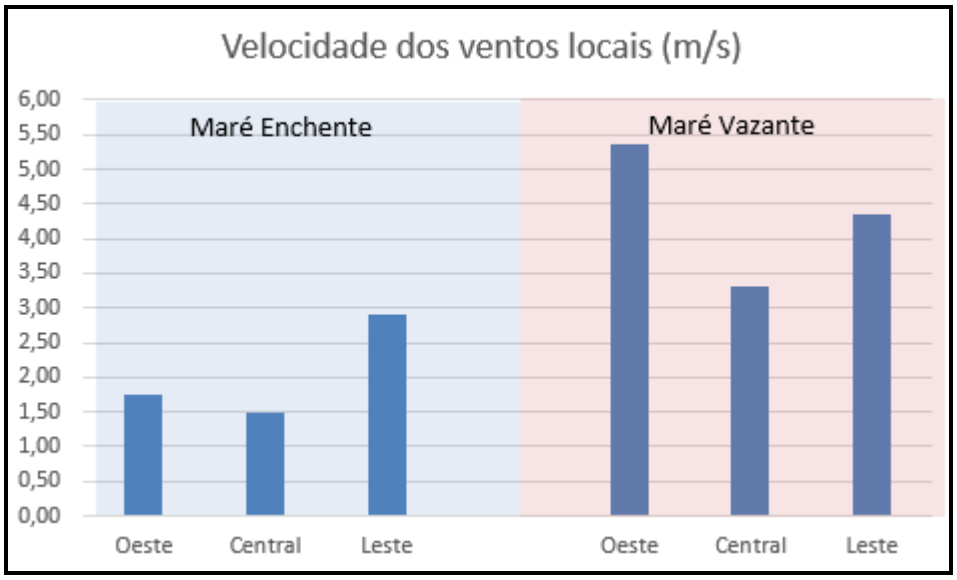
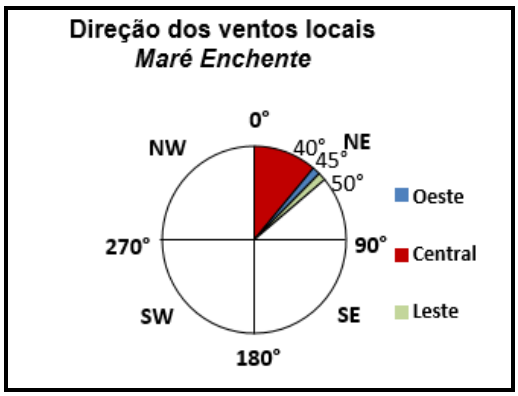
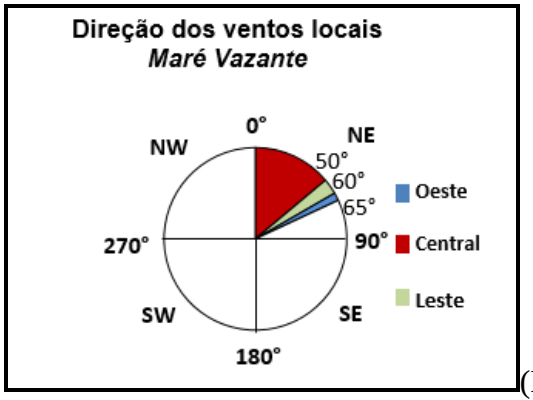


Figura 17 – Gráfico da velocidade dos ventos locais.

A direção dos ventos, tanto na maré enchente, quanto na vazante estava para nordeste. Durante a maré enchente, a direção dos ventos no setor oeste estava a 45°NE e, na vazante 65°NE. No setor leste estava a 50°NE durante a maré enchente e, durante a vazante, 60°NE. Já no setor central, a direção de incidência dos ventos variou de 40°NE (enchente) para 50°NE (vazante) (Figura 18). Notou-se, portanto, um acréscimo de 20° a 10° nos setores, durante as medições entre a maré enchente e vazante.



(A)



(B)

Figura 18 – Direção dos ventos locais durante as marés enchente e vazante.

6.3. MASSA DE SEDIMENTOS RETIDOS NOS TRAPS DE ESPRAIAMENTO

Durante a maré enchente observou-se a maior quantidade de sedimentos retidos nos traps de espraiamento (Figura 19), onde no setor leste obtiveram-se amostras com o peso de 4310g durante o fluxo de ondas (swash) e, 691g no refluxo (backwash). Ressaltando que este peso representa a amostra seca tratada em laboratório.

No setor central, as amostras pesaram 1844g para o fluxo e, 1693g para o refluxo de ondas. Já no setor oeste apresentou peso total de 2214g (fluxo) e 1152g (refluxo).

Na maré vazante houve uma menor quantidade de sedimentos retidos. O setor leste novamente apresentou as maiores quantidades com 1488g no fluxo e, 2038g no refluxo de ondas. O setor oeste apresentou 986g no fluxo e 327g no refluxo de ondas, enquanto o setor central apresentou o mínimo registrado de peso total neste trabalho, sendo 17g (fluxo) e 2g (refluxo).

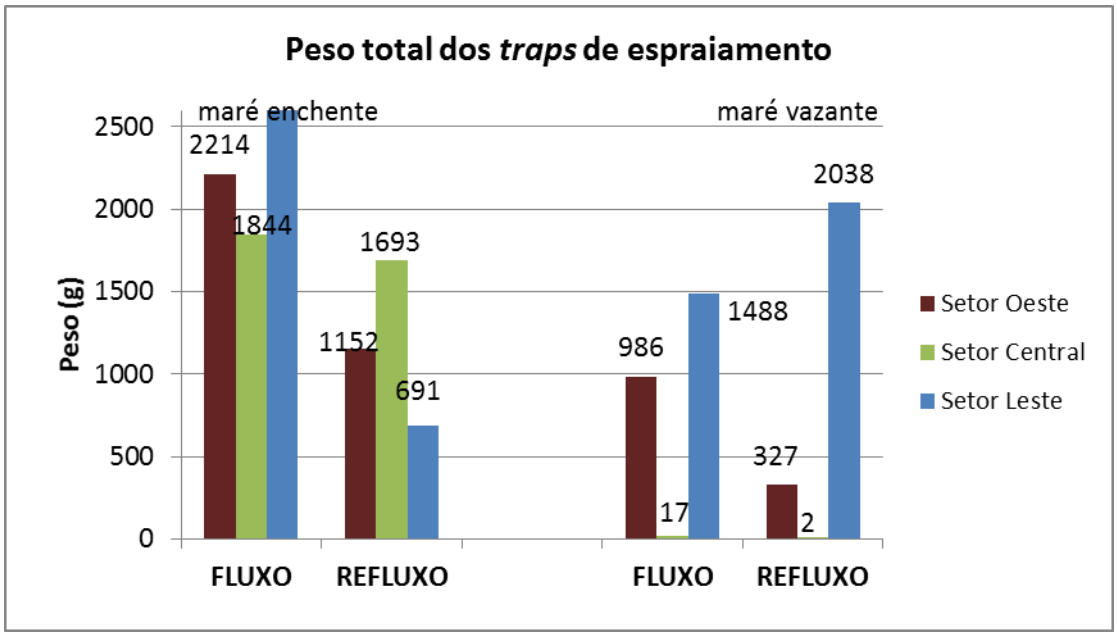


Figura 19 – Gráfico do peso total dos sedimentos coletados por setor com o uso de trap de espraiamento.

6.4. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA DOS SEDIMENTOS AMOSTRADOS

6.4.1. Setor Leste

Na maré enchente, as frações granulométricas de areia grossa (*1µm, 710µm e 500µm)* apresentaram os maiores percentuais (Figura 20), sendo de 36%, 33% e 13%, respectivamente, durante o fluxo de ondas. Durante o refluxo, as frações granulométricas

correspondentes à areia grossa também apresentaram as maiores taxas, sendo de 25%, 34% e 23%, respectivamente.

Na maré vazante, as frações granulométricas apresentaram um variado tipo de granulometria com valores próximos de distribuição (%). Para o fluxo de ondas, as frações *1µm, 710µm, 500µm* (areia grossa), *355µm, 250µm (*areia média), *180µm* (areia fina) apresentaram os seguintes valores: 9%, 12%, 16%, 12%, 15%, 13%, respectivamente. Durante o refluxo, as frações granulométricas de areia fina e muito fina (*180µm, 125µm e 90µm*) apresentaram percentuais maiores que no caso anterior, sendo de 16%, 19% e 12%, respectivamente (Figura 20).

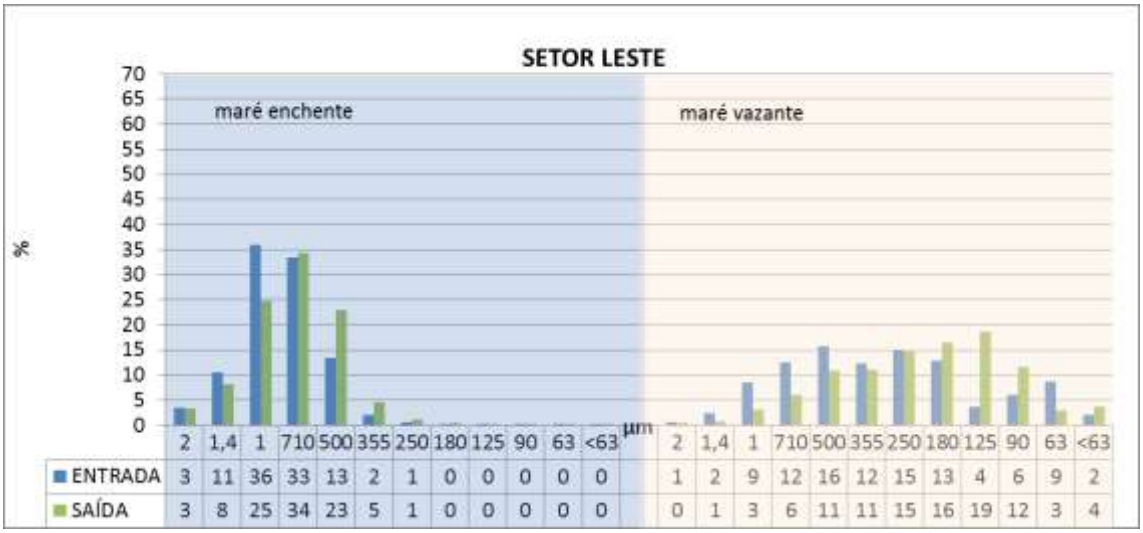


Figura 20 – Gráfico da análise granulométrica dos sedimentos amostrados no setor leste.

6.4.2. Setor Central

O setor central, durante a maré enchente, apresentou os maiores valores nas frações granulométricas *710µm, 500µm e 355µm*, ou seja, areias grossas e médias, com 13%, 35%, 29% respectivamente, para a amostra coletada durante o fluxo de ondas. Para a de refluxo de ondas houve dominância de areia grossa e média nas frações *710µm, 500µm e 355µm,* com percentuais respectivos de 18%, 36% e 27% (Figura 21).

Na maré vazante, a quantidade diminuta de sedimentos coletados com o trap de espraiamento impossibilitou a análise granulométrica.

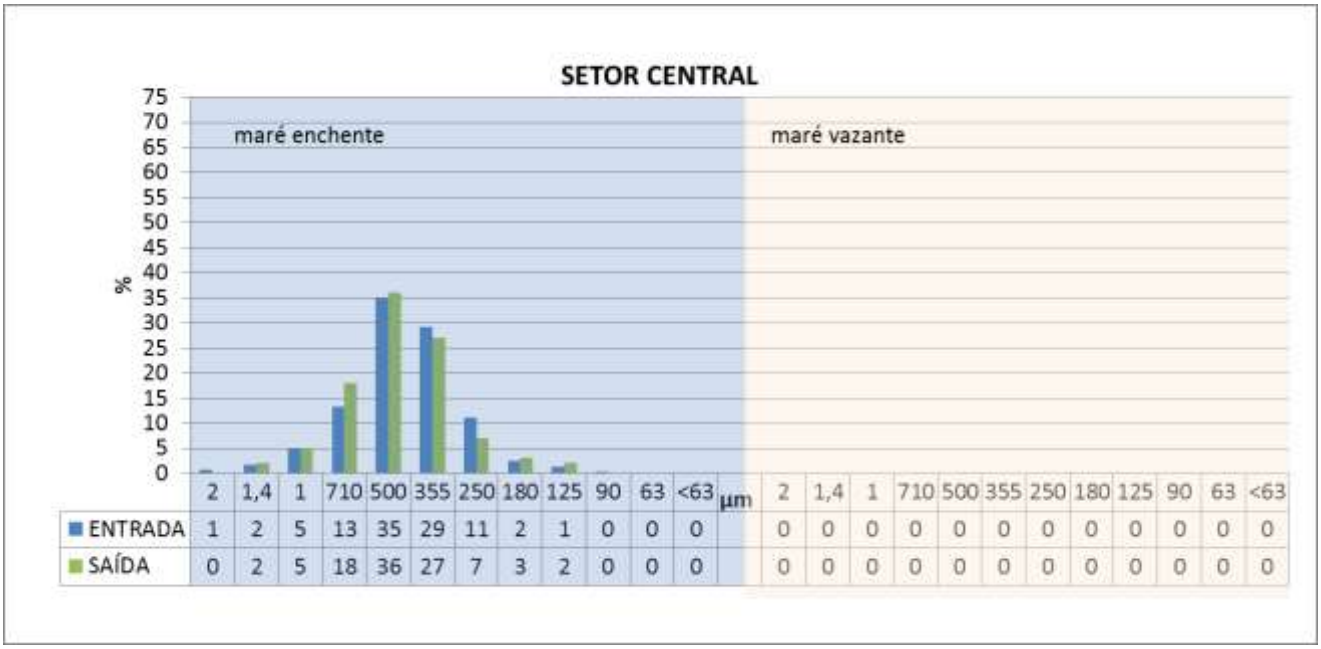


Figura 21 – Gráfico da análise granulométrica dos sedimentos amostrados no setor central.

6.4.3. Setor Oeste

Nas amostras de sedimentos coletadas durante a maré enchente, as frações granulométricas observadas foram de *710µm, 500µm e 355µm* (areias grossas e médias), tanto no fluxo quanto para o refluxo de ondas (Figura 22). Durante o fluxo, esses valores foram de 24%, 23%, 19%, enquanto no refluxo foram de 18%, 31% e 20%, respectivamente.

Na maré vazante, as frações granulométricas *500µm, 250µm, 90µm e 63µm* (areias grossas, médias, finas e muito finas) tiveram uma maior concentração, com 11%, 18%, 28% e 14%, para a amostra de fluxo de ondas (Figura 19). Durante o refluxo, as frações de areia muito fina, *90µm* e *63µm*, concentraram 34% e 37%, respectivamente.

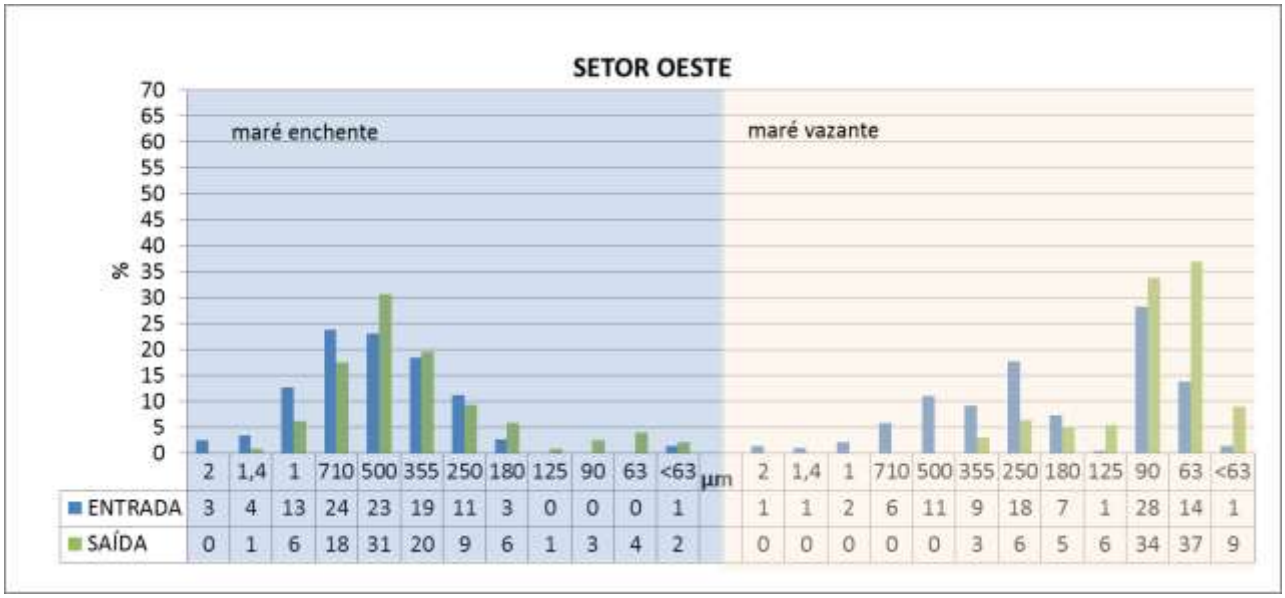


Figura 22 - Gráfico da análise granulométrica dos sedimentos amostrados no setor oeste.

6.5. TAXA DE TRANSPORTE TRANSVERSAL DE SEDIMENTOS

Na tabela 3 são apresentados os valores calculados, para cada segundo, de sedimentos transportados transversalmente e coletados com o trap de espraiamento, permitindo observar se há mais sedimentos entrando no ambiente praial (transporte no sentido onshore/fluxo de ondas/swash), ou se há mais sedimentos sendo retirado da face praial (transporte no sentido offshore/refluxo de ondas/backwash).

Nota-se no setor leste, durante a maré vazante, que o transporte sedimentar transversal foi maior no sentido offshore, enquanto nos demais setores o transporte sedimentar foi mais intenso no sentido onshore, tanto na maré vazante como na maré enchente. Nesta última, destaca-se novamente o setor leste, que apresentou as maiores quantidades de sedimentos transportados transversalmente no sentido onshore (Figura 23). O setor central apresentou um equilíbrio no balanço sedimentar entre o que chega e é depositado na praia e o que sai ou retorna em direção ao rio.

Tabela 3 - Tabela da taxa de transporte transversal.

	Maré Enchente		**Maré Vazante**	
	Entrada	**Saída**	**Entrada**	**Saída**
Setor Leste	4,3x 10^{-2} kg/s/m	0,6x 10^{-2} kg/s/m	1,4x 10^{-2} kg/s/m	2,0x 10^{-2} kg/s/m
Setor Central	1,8x 10^{-2} kg/s/m	1,6x 10^{-2} kg/s/m	0,017x 10^{-2} kg/s/m	0,002x 10^{-2} kg/s/m
Setor Oeste	2,2x 10^{-2} kg/s/m	1,1x 10^{-2} kg/s/m	0,9x 10^{-2} kg/s/m	0,3x 10^{-2} kg/s/m

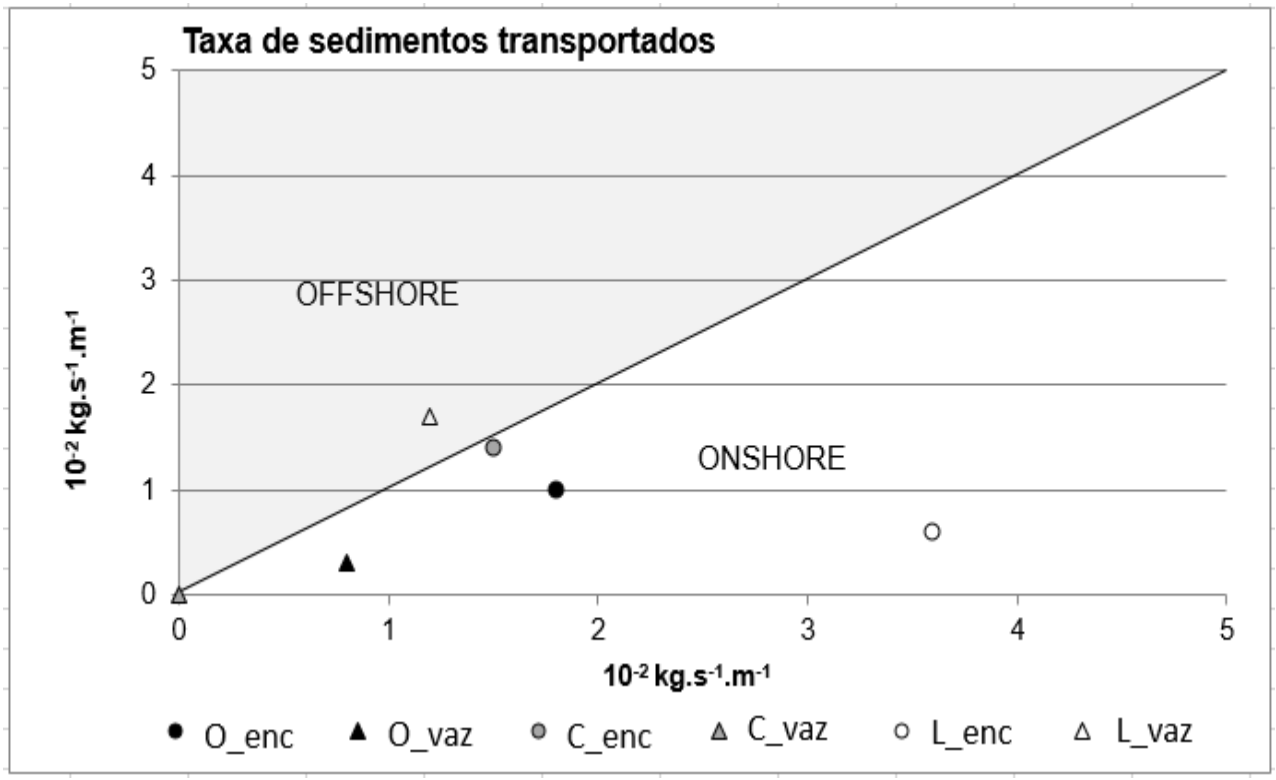


Figura 23 – Gráfico da taxa de transporte transversal de sedimentos

7. DISCUSSÃO

7.1. MODIFICAÇÕES OBSERVADAS ENTRE A MARÉ ENCHENTE E A MARÉ VAZANTE

A maré enchente concentrou um maior volume de sedimentos amostrados no trap de espraiamento, expressando um peso total de 8.368g durante o fluxo de ondas (swash) e 3.536g durante o refluxo (backwash). A maré vazante apresentou um volume de sedimentos menor com um peso total 2491g durante o fluxo e 2367g durante o refluxo, considerando a somatória entre as amostras dos 3 setores da praia estudados.

Na maré enchente, a maior altura de ondas locais (Figura 16), acompanhado pelo avanço da onda de maré, induz um grande volume de sedimentos sendo transportado em direção à praia e depositando-se nela. O aumento da declividade da praia em direção a sua porção superior também condiciona incremento na altura de onda. Assim como o vento, mesmo tendo sido menos intenso durante a fase de maré enchente, em comparação com a de vazante.

Os ventos mais intensos durante a maré vazante propiciaram um menor período de propagação de onda (T) (Figura 15). Isto também pode ter favorecido a ocorrência de ondas com alturas semelhantes ao observado durante a maré enchente (Figura 16), quando o avanço progressivo das águas do rio sobre a face praial tendem a gerar trens de ondas relativamente mais altos.

Tanto na maré enchente como na maré vazante, o transporte transversal de sedimentos foi elevado no setor leste (Figura 19). Estes altos fluxos bidirecionais (swash e backwash) podem indicar a maior energia de ondas neste local.

7.2. ENTRADA E SAÍDA DE SEDIMENTOS

Medições na zona de espraiamento em diversas pesquisas ao longo do mundo têm demonstrado que o movimento de espraiamento é assimétrico – o refluxo não é simplesmente o inverso do fluxo (Hughes *et al.* 1997). A corrente de refluxo é mais fraca, devido à perda de energia em função da percolação d'água na face de praia. Portanto, grande parte dos sedimentos que são empilhados na praia pelas ondas, não consegue ser levado de volta pela corrente de refluxo, provocando o aumento do gradiente da praia.

Isto pôde ser observado na praia do Marahú, onde a quantidade de sedimentos entrando na praia (sentido onshore) foi maior que a saída (sentido offshore), especialmente no setor oeste, caracterizando-o como sendo um setor deposicional. Cerca de 50% dos sedimentos que são transportados em direção à praia pelo fluxo de ondas, são depositados lá e não retornam durante o refluxo das ondas (Figura 19).

O setor leste caracteriza-se por apresentar um balanço sedimentar (entrada e saída de sedimentos) desfavorável. Mesmo que a entrada de sedimentos à praia tenha sido grande durante a maré enchente e vazante, a saída pelo refluxo de ondas foi ainda maior durante a maré vazante (Figura 19 e 23), apresentando um estado característico de erosão.

O setor central também apresenta características erosivas, pois o balanço entre a entrada e saída de sedimentos neste setor é bem equilibrado (Figura 23). Há uma diferença mínima positiva de entrada de sedimentos na praia. Ou seja, grande parte dos sedimentos transportados transversalmente em direção à praia, retorna durante o refluxo das ondas. Isto pode justificar o por quê da grande exposição de terraço de abrasão na base da falésia deste setor (Figura 24).

Os valores de peso total registrados nas amostras deste setor foram pequenos na maré vazante (Figura 19) devido o setor central ser caracterizado por um pontal rochoso (terraço de abrasão), onde as ondas incidem ("quebram") antes de chegar a face praial, não tendo energia suficiente para o processo de espraiamento. Segundo El Robrini *et al*. (2006), a presença de uma camada concrecionária laterítica na linha de pós-praia, a perda da vegetação e a e as inundações pelas marés de sizígia são fatores que contribuem acentuadamente no processo erosivo da praia do Marahú.

Figura 24 - Falésia (A) e terraço de abrasão no setor central (B).

7.3. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

7.3.1. Setor Leste

O setor leste durante a maré enchente apresentou um percentual prevalecente de areia grossa com dominância nas frações granulométricas 1µm, 710µm e 500µm, seja nos sedimentos transportados durante o fluxo de ondas, quanto no refluxo (Figura 20). Isto evidencia um transporte transversal de alta energia capaz de transportar os grãos com maior granulometria.

Segundo Folk e Ward (1957), o tamanho dos grãos de sedimentos são diretamente proporcional ao nível de energia do fluxo, ou seja, quanto maior a média granulométrica do sedimento, maior é a energia necessária para movê-lo.

Na maré vazante, as frações granulométricas apresentaram valores de distribuições mais heterogêneo, com a presença de areia grossa, média, fina e muito fina tanto durante o fluxo de ondas, quanto no refluxo. Isto ocorre devido a maré vazante apresentar menor energia no transporte transversal carreando grãos com granulometria mais fina.

7.3.2. Setor Central

O setor central, no decorrer da maré enchente teve sua distribuição percentual mais concentrada nas frações granulométricas 710µm, 500µm e 355µm (Figura 21), ou seja, areia grossa e areia média, tanto no fluxo quanto no refluxo. Caracterizando um ambiente de alta energia capaz de transportar grãos maiores.

Durante a maré vazante, a quantidade de sedimento fixado pelo trap de espraiamento foi ínfima, com 17g coletado durante o fluxo e 2g no refluxo de ondas, impossibilitando a análise granulométrica. Contudo, mesmo com essa quantidade irrisória de sedimento, durante a maré vazante espera-se ainda que ocorra um ambiente de energia, visto que o setor central se caracteriza morfologicamente como um pontal rochoso que se estende além do nível de maré baixa, onde ondas tendem a ser bastante refratadas.

7.3.3. Setor Oeste

O setor oeste, durante a maré enchente, teve uma distribuição granulométrica predominante para areia grossa e areia média, seja durante o fluxo como no refluxo de ondas (Figura 22). Isto caracteriza um transporte transversal de alta energia capaz de movimentar os grãos com maior granulometria.

Na maré vazante, contudo, as frações granulométricas apresentaram valores de distribuições mais heterogêneos com a presença de areia grossa, média e fina, porém com dominância de areia muito fina durante a entrada de sedimentos (fluxo). Na saída dos sedimentos (refluxo) a fração dominante também foi 90 µm e 63 µm (areia muito fina) (Figura 22), indicando um decréscimo no nível de energia local durante a vazante, com ondas e correntes transversais capazes de transportar principalmente os sedimentos de granulometria mais fina.

8. CONCLUSÕES

Analisando os resultados obtidos com o trap de espraimento, conclui-se que durante a maré enchente o volume de sedimentos transportados transversalmente por ondas e correntes foi maior que durante a maré vazante. A granulometria destes sedimentos também apresentou um decréscimo no diâmetro médio, como no caso dos sedimentos amostrados no setor oeste. A granulometria predominante desse setor foi de areia grossa e areia média, seja durante o fluxo de ondas, como também durante o refluxo das mesmas. Caracterizando um transporte transversal de maior energia durante a maré enchente. Contudo, na maré vazante, a taxa de transporte sedimentar foi menor, com dominância de areia muito fina durante a entrada e saída de sedimentos (fluxo e refluxo de ondas).

A quantidade de areia fina e muito fina mobilizada na coluna d'água está relacionada também com a maior ou menor energia das ondas. Na maré enchente, onde as alturas de ondas foram relativamente mais elevadas, observou-se uma melhor mobilização de sedimentos grosseiros, como areia grossa e areia média em todos os setores da praia.

Como as alturas de ondas foram significativas apenas no setor leste, as medições desta forçante costeira se deram apenas neste setor. Esta condição mais energética também confere a este setor maior capacidade de transporte transversal, cujos valores da massa de sedimentos coletados foram os mais elevados tanto na maré enchente quanto na vazante.

Nos três setores a quantidade de sedimentos chegando a praia (proveniente do fluxo da deriva praial) foi maior que a quantidade de sedimentos saindo (proveniente do refluxo da deriva praial), com exceção da coleta realizada no setor leste, durante a maré vazante. Neste o balanço entre a entrada e saída de sedimentos foi desfavorável, caracterizando um estágio evolutivo de erosão.

O setor central também apresenta tendência à erosão, pois apresentou um balanço sedimentar equilibrado, devido o transporte de sedimentos transversal na direção *onshore* ser apenas um pouco maior que o de direção *offshore*, ou seja, grande parte dos sedimentos não são depositados na praia e ficam retidos na deriva praial. Diferente do setor oeste, cuja entrada de sedimentos na praia é bem maior que a saída pelo refluxo de ondas durante a deriva praial. Este último setor representou a região mais deposicional de sedimentos na praia do Marahú.

Diante de todas as observações feitas nesta pesquisa se faz necessário continuar avaliando o padrão de transporte de sedimentos, assim como considerar todas as

peculiaridades desse ambiente praial, caso haja interesse em se conter a erosão referente aos setores leste e central, onde há inúmeras casas, bares e restaurantes.

Sendo assim, novas pesquisas devem considerar as características geológicas, hidrodinâmicas e o uso e ocupação desta área, com estudos precisos da direção e velocidades das correntes, assim como a instalação de marégrafos e outros instrumentos que possam indicar melhor as forçantes costeiras que agem no local, para que se atenda tanto a comunidade que reside e utiliza deste espaço para lazer, como para manutenção do meio ambiente natural.

REFERÊNCIAS

Alves M. A. M. S. 2001. *Morfodinâmica e sedimentologia da praia de Ajuruteua – NE do Pará.* MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 104p.

Bittencourt A. C. S., Boas V. S. G., Farias F. F. 1991. Variações direcionais nos parâmetros granulométricos: um indicador apropriado para o sentido da deriva litorânea. *Revista Brasileira de Geociências*. **22**: 100-106.

Braga Neto J.A., Ponzi V.R.A., Schel S.E. 2004. *Introdução à geologia marinha.* Rio de Janeiro: Interciência, .279p

Calliari J. L., Muehe D., Hoefel G. F., Toldo Jr E. 2003. *Morfodinâmica praial: uma breve revisão.* Revista. brasileira, oceanografia. 5l(único):63-78

Carter R.W.G. 1988. *Coastal Environments – An introduction to the Physical, Ecologycal and Cultural Systems of Coastline*. Academic Press, Cambridge. 611p

Carter R. W. G. 1993. *Coastal environments: an Introduction to the Physical, Ecological and Cultural Systems of Coastlines*. 4 ed. London*:* Academic Press. 617p.

Christofoletti A. 2007. Aplicabilidade do conhecimento geomorfológico nos projetos de planejamento. *In*: Guerra A. J. T., Cunha S. B. (eds.) *Geomorfologia*: uma atualização de bases e conceitos. 7. ed. Rio de Janeiro, Elsevier, p. 415-437.

_____. 1980. *Geomorfologia*. 2 ed. São Paulo, Elsevier, 188 p.

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 J. B. S., Borges M. S., Igreja H. L. S., Hasui Y. 1991. O quadro tectônico regional do Mesozóico da região norte do Brasil. *In*: SBG – Núcleo Norte, 3º Simpósio de Geologia da Amazônia, 3, Belém. *Anais*.. p.166-178.

Costa W. J. P., Silva C. A, El-Robrini M. 1993. Caracterização morfológica e hidrodinâmica do litoral norte-oeste da ilha de Cotijuba – Baía de Marajó (Norte/Brasil) PROMAR – UFPA. *In*: 4º Congresso da Associação Brasileira de Estudos do Quaternário, São Paulo. *Resumos*. p.91.

Dean R. G., Dalrymple R. A. 2002. *Coastal processes with engineering applications.* USA: Cambridge University Press. 475p.

Delfino I. B. 2006. *Geoquímica dos sedimentos superficiais de fundo do estuário do rio Maracanã, NE do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 150p.

Diretoria de Hidrografia e Navegação (DHN). 1994. *Tábua das marés para o porto de Belém*. Disponível em: http://www.mar.mil.br/dhn/chm/tabuas/index.htm. Rio de Janeiro. 196p.

El-Robrini, M. H. S., Faria J.R., L. E.C., Torres, A. M., Souza Filho, P. W. M., Silva, M. S. 1992. Deposição e assoreamento das rias do nordeste do Estado do Pará – Brasil. *In*: SBG, 37º Congresso Brasileiro de Geologia, 37. São Paulo, *Boletim de Resumos Expandidos*, v. 1. p.79 – 80.

El-Robrini M.H.S. 2001. *Variabilidade morfológica e sedimentar de praias estuarinas, Ilha de Mosqueiro*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 85 p.

El-Robrini M., Alves M.A.M.S., Souza Filho P.W.M., El-Robrini M.H.S., Silva Júnior O.G., França C.F. 2006. Atlas de erosão e progradação da zona costeira do estado do Pará – região Amazônica: áreas oceânica e estuarina. *In*: Muehe D. (ed.) *Atlas de erosão e progradação da zona Costeira Brasileira*. São Paulo, p.: 1-34.

Farias D. R. 2006. *Variabilidade morfo-sedimentar das praias estuarinas da ilha de Caratateua (Pará)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 134 p.

Fonzar B. C. 1994. A circulação atmosférica na América do Sul, os grandes sistemas planetários e subsistemas regionais que atingem o continente: localização e trajetória. *Caderno de Geociências*, **11**: 11-33

Folk R.L., Ward W.E. 1957. Brazos river bar: a stury in the significance of grain size parameters. *Journal Sedimentary Petrology*. **27**: 3-26.

Franzinelli E. 1977. Contribuição a Sedimentologia da Baía de Marajó. *In*: SBG, 2° Congresso Brasileiro de Geologia, Ouro Preto, *Anais..*, v.2, p.91-106.

Gallo M. N. 2004. *.A Influência da Vazão fluvial sobre a propagação da maré no estuário do rio amazonas*. MS Dissertation. Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro. 99p.

Garrison T. 2010. *Fundamentos de oceanografia*. São Paulo, Cengage Learning, 426p.

Geyer W. R., Beardsley R. C., Lentz S. J., Candela J., Limeburner R., Johns W.E., Castro B.M., Soares I.D. 1996. Physical oceanography of the Amazon shelf. *Continental shelf Research*, **16**:575-616.

Gusmão L. H. A. 2014. Cartografia e impactos ambientais na Ilha de Mosqueiro em Belém/PA.

Hughes M. G., Masselink G., Brander R. 1997. Flow velocity and sediment transport in the swash-zone of a steep beach. *Marine Geology*, **138**: 91-103.

Instituto Nacional de Metereologia – INMET. 2017. Disponível em <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>. Acesso em: agosto de 2017.

Jackson N.L., Nordstrom K.F. 1992. Site-specific controls on wind and wave processes and beach mobility on estuarine beaches. *Journal of Coastal Research*. **8**: 88– 98.

Jackson N.L., Nordstrom K.F., Eliot I., Masselink, G. 2002. 'Low energy' sandy beaches in marine and estuarine environments: a review. *Geomorphology*. **48**(1-3): 147-162.

Latrubesse E., Stevaux J. C. 2002. Geomorphology and Environmental aspects of Araguaia Fluvial Basin.Brazil. *Zeitsshriftfürgeomorphologie*, (129): 109-127.

Martins S. E. M. 2007. *Caracterização sedimentológica de fundo da área de influência do porto de Vila do Conde – Margem Leste do Rio Pará, Barcarena/PA*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 69p.

Monteiro E. C.; Luczynski E. & Sousa P. G. N. de. 1992. *Projeto Nordeste do Pará*, estágio de campo III, *relatório final*. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém 121p.

Muehe D. Geomorfologia Costeira. 1993. *In*: Guerra A.J.T. & Cunha S.B. (eds.).*Geomorfologia*: uma atualização de bases e conceitos. Ed. Bertrand- Brasil. 472p.

Nordstrom K.F. 1992. *Estuarine beaches. An introduction to the physical and human factors affecting use and management of beaches in estuaries, lagoons, bays and fjords*. London, Elsevier Science Publishers LTD. 225 p.

Praia dissipativa. 2017a. Disponível em: <:https://www.geocaching.com/geocache/GC2MF38_praias-arenosas-sandy-beaches-oeiras?guid=99249470-e46e-4373-8168-cb0b21a0990d>. Acesso em agosto de 2017.

Praia reflectiva. 2017b. Disponível em: <:https://www.geocaching.com/geocache/GC2MF38_praias-arenosas-sandy-beaches-oeiras?guid=99249470-e46e-4373-8168-cb0b21a0990d> Acesso em agosto de 2017.

Pinheiro R. V. L. 1987. *Estudo hidrodinâmico e sedimentológico do estuário Guajará – Belém (PA).* MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 176p.

Ranieri L.A. 2014. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará, Brasil).* PhD Tesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 195 p.

Rosseti. 2001. Late Cenozoic sedimentary evolution in northeastern Para, within the context of sea level changes. *Journal of South America Earth Sciences,* **14**:77-89.

Rosseti D. F., Truckenbrodt W., Goes, A. M. 1990. A influência marinha dos Sedimentos Barreiras. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, 2: 17-29.

Rosseti D. F., Truckenbrodt W., Goes, A. M. 1989. Estudo paleoambiental e estratigrafia dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi.* **1**(1): 24-74.

Sá J.H.S. 1969. Contribuição à geologia dos sedimentos quaternários da região bragantina. Estado Pará. Bol. Inst. Geoc. Geol. Rio de Janeiro, **3**: 21-36.

Sales G.M. 2005.*Ecologia da paisagem da Ilha de Mosqueiro, NE do Estado do Pará*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 119 p.

Santos V. F. 1996. *Estratigrafia holocênica morfodinâmica atual da planície costeira da ilha de Algodoal e Marudá*. MS Dissertation. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 139p.

Santos A. S. 2013. *Propagação de maré na baía do Marajó e seus principais tributários.* Monografia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 42p.

Schmiegelow J. M. M. 2004. *O Planeta azul*: uma introdução às ciências marinhas. Rio de Janeiro: Ed. Interciência. 202p.

Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão (SEGEP). 1998. *Hidrografia da região metropolitana de Belém*. Disponível em: <http://mosqueiroambiental.blogspot.com.br/p/blog-page.html>. Acesso em: agosto de 2017.

Silva B. N. R. 1975. *Levantamento de reconhecimento detalhado dos solos da Ilha de Mosqueiro (Pará) com auxílio de fotointerpretação.* MS Dissertation, USP/ESALQ, Piracicaba, 156p.

Silva C. A. 1998. *Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará*. MS Disserttion, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 133p.

Silva Júnior O. G., 1998. Morfoestratigrafia do Noroeste da planície costeira de São João de Pirabas (Nordeste do Pará). *Revista Brasileira de Oceanografia,* **49**(1/2): 99-114.

Universidade Federal do Paraná. (UFPR). 2005a. *Tipos de arrebentação*. Disponível em http://www.cem.ufpr.br/praia/pagina/pagina.php?menu=ondas_tipos#. Acesso em 2017.

Universidade Federal do Paraná. (UFPR). 2005b. *Modelo de corrente longitudinal*. Disponível em <http://www.cem.ufpr.br/praia/pagina/pagina.php?menu=correntes>. Acesso em 2017.

Universidade Federal do Paraná (UFPR). 2005c. *Modelo do transporte transversal de sedimentos*. Disponível em <http://www.cem.ufpr.br/praia/pagina/pagina.php?menu=correntes>. Acesso em 2017.

Suguio K. 2003.*Geologia Sedimentar.* São Paulo, E. Blucher, Ix, 400p.

Suguio K.1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgar Blucher e Edusp. 317p.

Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**:377-392.