



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE
SEDIMENTOS NA PRAIA ESTUARINA DE SÃO FRANCISCO
– ILHA DE MOSQUEIRO, PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

CARLA GABRIELLE CARDOSO NASCIMENTO

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

Belém – Pará

2019



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE
SEDIMENTOS NA PRAIA ESTUARINA DE SÃO FRANCISCO –
ILHA DE MOSQUEIRO, PARÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

CARLA GABRIELLE CARDOSO NASCIMENTO

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

Belém – Pará

2019

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)

N244a Nascimento, Carla
Avaliação do transporte transversal de sedimentos na praia estuarina de São Francisco ilha de Mosqueiro, Pará / Carla Nascimento. — 2019.
xii, 32 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Leilanhe Ranieri
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Transporte de Sedimentos. 2. Corrente Transversal. 3. Praia Estuarina. I. Título.

CDD 551.304098115



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

**AVALIAÇÃO DO TRANSPORTE TRANSVERSAL DE
SEDIMENTOS NA PRAIA ESTUARINA DE SÃO FRANCISCO –
ILHA DE MOSQUEIRO, PARÁ**

APRESENTADO POR:

CARLA GABRIELLE CARDOSO NASCIMENTO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data de aprovação: 18 / 12 /2019

Banca examinadora:

Leilânhe A. Ranieri

Profa. Dra. Leilânhe Almeida Ranieri (Orientadora)

Maamar El-Robrini

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

Carlos Augusto Corrêa Mendes

Msc. Carlos Augusto Corrêa Mendes (Membro- UFPA)

AGRADECIMENTOS

Agradeço, primeiramente, à Raimunda, meu maior exemplo de persistência, que, com três empregos, abriu mão da própria vida para prover tudo o que julgava necessário para meu crescimento profissional e pessoal. Mãe, nem se eu vivesse duzentos anos conseguiria fazer melhor! És o maior motivo de eu nunca desistir.

À minha tia, Lindalva, sempre cuidou de mim, segunda mãe. Era quem estava presente em todas as festinhas e reuniões da escola. De onde ela tirava todos aqueles penteados pra fazer no meu cabelo? Eu vou lembrar pra sempre!

Meus dois portos seguros!

À minha vovó, que se foi em 05.02.2018: “é duro ficar sem você, vez em quando, parece que falta um pedaço de mim”.

Às minhas filhas Tequila, Pinga e Chopinha, fontes inesgotáveis de preocupação, amor e riso fácil. Sentimento inexplicável!

Aos poucos e leais amigos que tenho na vida e aos que fiz durante a graduação: vocês foram as mãos que acalmaram, as palavras que alegraram, as risadas que distraíram. Nada parecia realmente assustador quando estavam presentes. Obrigada por serem os melhores!

À professora Sury de Moura, por todo incentivo, preocupação e conselhos.

À minha orientadora Leilane Ranieri, pela incrível determinação e paciência. Por não me deixar desistir. Muito mais que uma professora, uma inspiração!

Ao Laboratório de Oceanografia Geológica – LABOGEO, pela oportunidade e suporte.

A todos que, de alguma forma, contribuíram para que eu chegasse até aqui.

*''E mesmo sem te ver
Acho até que estou indo bem
Só apareço, por assim dizer,
Quando convém aparecer
Ou quando quero*

*Desenho toda a calçada
Acaba o giz, tem tijolo de construção
Eu rabisco o sol
Que a chuva apagou*

*Quero que saibas que me lembro
Queria até que pudesses me ver
És parte, ainda, do que me faz forte
Pra ser honesto, só um pouquinho infeliz*

*Mas tudo bem
Tudo bem
Tudo bem''*

RESUMO

Praias estuarinas são depósitos intermareais de areia ou cascalho às margens de estuários. Estes depósitos são mobilizados por ação de correntes fluviais, de maré e ondas locais que originam zonas de erosão e deposição sedimentar. A praia de São Francisco, localizada na Ilha de Mosqueiro/PA, é classificada como uma praia estuarina, onde se observa processo erosivo oriundo da ação das forças citadas. Diante disto, este trabalho teve como objetivo analisar o transporte transversal de sedimentos nesta praia, em três setores dela, a fim de identificar zonas de erosão, deposição ou estabilidade. Foram realizadas duas campanhas de campo: em 06/09/2019 (início de um ciclo lunar) e 27/09/2019 (fim do ciclo), visando analisar o balanço sedimentar (deposição e remoção de sedimentos) na praia. Obteve-se, assim, resultados para condições oceanográficas e meteorológicas distintas, pois a área de estudo está localizada num setor estuarino da costa paraense, onde as condições citadas controlam a ação oceânica sobre o rio. Nos três setores estudados foram feitas coletas de sedimentos provenientes da corrente 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 na praia com régua e filmagem. Em seguida, foram realizadas análises em laboratório, com técnicas de peneiramento, visando a separação granulométrica dos sedimentos. Os dados obtidos foram posteriormente calculados para obter a taxa de sedimentos transportados transversalmente, as variações na sedimentação praial durante as marés de enchente e vazante e durante o fluxo e refluxo de ondas nos três setores da praia. Analisando os resultados obtidos com o *trap* de espraiamento, notou-se que durante a maré enchente de 06/09/2019, o volume de sedimentos transportados transversalmente por ondas e correntes foi maior analisando um ciclo completo de maré, assim como 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. Este cenário caracterizou um transporte transversal de maior energia durante a maré enchente de 06/09/2019. Durante esta fase de maré verificou-se maiores alturas de onda. Como as amostragens em 06/09/2019 ocorreram próximas à preamar, quando as condições hidrodinâmicas são maiores no local, intensificando a energia das ondas, obteve-se maior mobilidade de sedimentos do que em 27/09/2019. O setor Norte apontou tendência à erosão eminente, visto que apresentou balanço sedimentar tendendo ao equilíbrio, devido ao transporte de sedimentos transversal na direção *onshore* ser apenas um pouco maior que o de direção *offshore*.

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

ABSTRACT

Estuarine beaches are intermarine deposits of sand or gravel on the shores of estuaries. These deposits are mobilized by the action of river, tidal currents and local waves that originate erosion and sedimentary deposition zones. The São Francisco beach, located in Mosqueiro Island / PA, classified as an estuarine beach, where it has observed an erosive process arising from the action of the forcing mentioned. Given this, this study aimed to analyze the transverse sediment transport on this beach, in three sectors of it, in order to identify erosion, deposition or stability zones. Two field campaigns were carried out on 09/06/2019 (beginning of a lunar cycle) and 09/27/2019 (end of cycle), aiming to analyze the sedimentary balance (deposition and sediment removal) on the beach. Thus, results obtained for different oceanographic and meteorological conditions, since the study area is located in an estuarine sector of the coast of Pará, where the mentioned conditions control the oceanic action on the river. In the three studied sectors, sediments were collected from the transverse stream, using a *trap* in the sprawling zone, sometimes in the opposite direction to the river, sometimes in the opposite direction to the continent. Wave measurements were also made on the beach with ruler and filming. Then, analyzes were performed in the laboratory, with sieving techniques, aiming at the particle size separation of the sediments. The data obtained were later calculated to obtain the transverse sediment rate, the variations in the beach sedimentation during the flood and ebb tides and during the ebb and flow of waves in the three beach sectors. Analyzing the results, obtained with the sprawling *trap*, it was observed that during the flood tide of 06/09/2019, the volume of sediments carried transversely by waves and currents was higher analyzing a complete tide cycle, as well as the predominant grain size of this tide. The sector was coarse sand and medium sand, both during the wave flow and during the reflux of the waves. This scenario characterized a higher energy transverse transport during the flood tide of 09/06/2019. During this tidal phase there were higher wave heights. As the samples on 09/06/2019 occurred close to pre-sea, when the hydrodynamic conditions are higher at the site, intensifying the wave energy, greater sediment mobility was obtained than on 09/27/2019. The North sector showed a tendency towards imminent erosion, as it presented a sedimentary balance tending to equilibrium, due to the transverse sediment transport in the onshore direction being only slightly larger than the offshore direction.

Keywords: Sediment transport. Cross current. Estuarine beach.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|---|----|
| Figura 1 - Zonação hidrodinâmica de praia..... | 5 |
| Figura 2 - Diferentes tipos de arrebentação das ondas..... | 7 |
| Figura 3 - Modelo de corrente longitudinal..... | 9 |
| Figura 4 - Modelo do transporte transversal de sedimentos..... | 9 |
| Figura 5 - Mapa de localização da área e setores específicos de estudo: a) mapa do Brasil; b) área no estado do Pará; c) Ilha de Mosqueiro; d) Praia de São Francisco, Belém – PA | 11 |
| Figura 6 - Praia de São Francisco..... | 11 |
| Figura 7 - Setor Norte da praia de São Francisco..... | 13 |
| Figura 8 - Setor Central da praia de São Francisco | 13 |
| Figura 9 - Setor Sul da praia de São Francisco..... | 14 |
| Figura 10 - <i>Trap</i> de espriamento (A). Amostragem de sedimentos com <i>trap</i> de espriamento (B) | 14 |
| Figura 11 - Filmagem para coleta de dados de ondas..... | 15 |
| Figura 12 - Período de ondas (seg) registrado durante a maré de quadratura de 6 de setembro de 2019..... | 17 |
| Figura 13 - Período de ondas (seg) registrado durante a maré de sizígia de 27 de setembro de 2019..... | 17 |
| Figura 14 - Altura de ondas (cm) registrado durante a maré de quadratura de 6 de setembro de 2019..... | 18 |
| Figura 15 - Altura de ondas (cm) registrado durante a maré de sizígia de 27 de setembro de 2019..... | 18 |
| Figura 16 - Taxa do transporte transversal de sedimentos obtida em 27/09/2019 (maré de sizígia). Vaz: vazante; Enc: enchente..... | 19 |
| Figura 17 - Taxa do transporte transversal de sedimentos obtida em 06/09/2019 (maré de quadratura). Vaz: Vazante; Enc: Enchente..... | 20 |

| | |
|--|----|
| Figura 18 - Peso total de sedimentos coletados por setor com o uso de <i>trap</i> de espraçamento em 06/09/2019..... | 21 |
| Figura 19 - Peso total de sedimentos coletados por setor com o uso de <i>trap</i> de espraçamento em 27/09/2019..... | 22 |
| Figura 20 - Promontórios Rochosos no Setor Sul da praia de São Francisco..... | 23 |
| Figura 21 - Granulometria dos sedimentos coletados com <i>trap</i> portáteis no setor Norte em 06/09/2019 (maré de quadratura) | 24 |
| Figura 22 - Granulometria dos sedimentos coletados com <i>trap</i> portáteis no setor Central em 06/09/2019 (maré de quadratura) | 24 |
| Figura 23 - Granulometria dos sedimentos coletados com <i>trap</i> portáteis no setor Sul em 06/09/2019 (maré de quadratura) | 25 |
| Figura 24 - Granulometria dos sedimentos coletados com <i>trap</i> portáteis no setor Norte em 27/09/2019 (maré de sizígia) | 25 |
| Figura 25 - Granulometria dos sedimentos coletados com <i>trap</i> portáteis no setor Central em 27/09/2019 (maré de sizígia) | 26 |
| Figura 26 - Granulometria dos sedimentos coletados com <i>trap</i> portáteis no setor Sul em 27/09/2019 (maré de sizígia) | 26 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|---|----|
| Tabela 1 - Condições meteo-oceanográficas durante as amostragens..... | 13 |
| Tabela 2 - Classificação granulométrica de Wentworth (1922) | 16 |
| Tabela 3 - Tabela da taxa de transporte transversal na Maré de Sizígia | 19 |
| Tabela 4 - Tabela da taxa de transporte transversal na Maré de Quadratura | 20 |

SUMÁRIO

| | |
|---------------------------------------|------|
| AGRADECIMENTOS | iv |
| EPÍGRAFE | v |
| RESUMO | vi |
| ABSTRACT | vii |
| LISTA DE ILUSTRAÇÕES | viii |
| LISTA DE TABELAS | x |
| 1 INTRODUÇÃO | 1 |
| 2 OBJETIVOS | 3 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 3 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 3 |
| 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 4 |
| 3.1 AMBIENTE DE PRAIA | 4 |
| 3.2 ZONAÇÃO HIDRODINÂMICA | 5 |
| 3.3 PROCESSOS FÍSICOS COSTEIROS | 6 |
| 3.3.1 Ventos | 6 |
| 3.3.2 Ondas | 6 |
| 3.3.3 Marés | 7 |
| 3.3.4 Correntes | 8 |
| 4 MATERIAIS E MÉTODOS | 10 |
| 4.1 ÁREA DE ESTUDO | 10 |
| 4.2 AMOSTRAGEM | 12 |
| 4.3 ANÁLISE LABORATORIAL | 15 |

| | |
|---|-----------|
| 4.4 ANÁLISES DE DADOS | 16 |
| 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 17 |
| 5.1 ONDAS | 17 |
| 5.2 TAXA DE SEDIMENTOS RETIDOS NO <i>TRAP</i> DE ESPRAIAMENTO | 19 |
| 5.3 GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS TRANSPORTADOS | 22 |
| 6 CONCLUSÃO | 27 |
| REFERÊNCIAS | 29 |

1 INTRODUÇÃO

Segundo Pritchard (1967), um estuário é definido como um corpo d'água costeiro, semiconfinado, onde ocorre a mistura de água doce, oriunda do continente, com a água salgada do oceano. Estes, são feições efêmeras em escala geológica por serem ambientes protegidos e, assim, sujeitos à sedimentação, originando depósitos de canal, de planície de inundação e de margens, tais como as praias.

Além disso, conforme Schettini (2001), todos os tipos de estuários diferenciam-se por diversas peculiaridades; e os estuários amazônicos, com os ventos fortes e ação das ondas, dão origem a muitas praias estuarinas.

Um ambiente de praia está intimamente relacionado à zona perimetral de um ecossistema aquoso (lago, rio, mar ou oceano), com ação de ondas e constituído de material granular inconsolidado, geralmente de caráter arenoso (0,062-2 mm) (Sugio 2003).

Conforme Nordstrom (1992), praias estuarinas são definidas como depósitos intermareais de areia ou cascalho submetidos a intensos processos sedimentológicos de retrabalhamento dos grãos. Tais ambientes são dominados por ondas geradas na própria região sobre uma curta zona praial. Além das curtas largura e extensão de praia, a forte relação entre a amplitude das marés e altura de onda diferencia estes sistemas de muitas praias oceânicas e leva a uma resposta diferente do perfil morfológico praial. A influência de outros fatores locais como a orientação da linha de costa, a configuração dos fundos adjacentes e a intensidade do vento, assumem também uma maior relevância do que em zonas costeiras expostas (Jackson & Nordstrom 1992, Nordstrom 1992).

De acordo com o Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC 1996), o Estado do Pará é constituído por uma zona costeira e duas regiões fisiográficas: A Costa Atlântica do Salgado Paraense e as Áreas Marinho-Fluviais do Golfão Amazônico. A Ilha de Mosqueiro está inclusa nesta última, mais especificamente na sua porção continental estuarina. É um distrito administrativo do município de Belém, parte integrante da Mesorregião Metropolitana de Belém, incluído na compartimentação costeira do estado do Pará. O enfoque do trabalho é compreender o balanço sedimentar de uma das praias mais frequentadas na Ilha: a praia de São Francisco.

Como demonstrado por El-Robrini (2001), a praia de São Francisco está sujeita a processos de erosão ao longo da costa. Tendo em vista este panorama, é imprescindível que

haja um monitoramento da praia, visando uma melhor compreensão das interações das condições oceanográficas (ondas, marés e correntes) que possa vir a ajudar em um futuro planejamento ambiental da região costeira. Neste trabalho, pretende-se analisar a capacidade e competência do transporte transversal de sedimentos na praia de São Francisco, determinando resultados quantitativos e qualitativos dos sedimentos circulantes do local, a fim de reconhecer comportamentos erosivos e deposicionais ao longo do ecossistema.

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o transporte transversal de sedimentos na praia de São Francisco e seus efeitos erosivos ou deposicionais em três setores da praia.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar o balanço sedimentar nos setores norte, central e sul da praia de São Francisco;
- Quantificar o aporte e a retirada de sedimentos durante o fluxo e refluxo das ondas nas condições de maré enchente e vazante;
- Discorrer acerca do efeito do transporte transversal sobre os sedimentos durante condições de maior e menor energia hidrodinâmica;
- Analisar a granulometria dos sedimentos retidos durante o transporte transversal;
- Inferir sobre a condição mais erosiva ou deposicional de cada setor.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 AMBIENTE DE PRAIA

As praias são ambientes muito dinâmicos e sensíveis, que expressam múltiplas funções, entre elas, proteção costeira para ecossistemas adjacentes e as atividades urbanas, recreação, turismo e hábitat para várias espécies animais e vegetais (Souza *et al.* 2005). Komar (1976) definiu a praia como uma acumulação de sedimentos inconsolidados que se estende do limite médio de maré baixa até alguma mudança fisiográfica como um rochedo, campo de dunas e/ou uma vegetação permanente.

Segundo Short (1999), as praias ocorrem em todas as latitudes, climas, amplitudes de marés e tipos de costas. Este autor amplifica o conceito de praia quando define que a extensão e características das praias arenosas são dependentes da altura e período de onda, tamanho do grão, forma da praia, mas também da variação de maré. Esta última é a principal condicionante do transporte de sedimentos em praias de macromarés (amplitude >4 m).

Para Muehe (2004), as praias são feições deposicionais no contato entre terra emersa e água, comumente constituídas por sedimentos arenosos, podendo também ser formadas por seixos e por sedimentos lamosos. Sua declividade da terra ao mar varia segundo a natureza dos materiais dominantes: maior nas praias de seixos rolados, e menor em sedimentos arenosos finos. Já no aspecto morfodinâmico, a praia se estende da porção subaérea para a zona submersa, constituindo, em conjunto, prisma sedimentar que se eleva em direção à costa e onde os sedimentos, mobilizados principalmente pelas ondas, se deslocam *onshore-offshore* em constante busca de equilíbrio.

A composição granulométrica dos sedimentos praias 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. A corrente de refluxo é mais fraca, devido à perda de energia em função da percolação da água na face da praia. Portanto, grande parte dos sedimentos que são empilhados na praia pela orla, não consegue ser levada de volta pela corrente de refluxo, provocando o aumento do gradiente da praia (Batista Neto *et al.* 2004).

Fischer (2005) caracteriza as praias estuarinas como depósitos de sedimentos inconsolidados formados devido à movimentação de bancos arenosos de fundo, através de correntes. Além disso, diz que dentro de um mesmo estuário pode-se observar praias com uma grande variedade de formas, tamanhos e composições, refletindo a variação nas condições do

vento, ondas e correntes, além de alterar as características dos sedimentos provenientes das áreas fontes, da topografia, do crescimento vegetal e das atividades humanas.

3.2 ZONAÇÃO HIDRODINÂMICA

Segundo Davis (1985), a zonação hidrodinâmica subdivide a praia em três setores distintos: de arrebentação, de surfe e espraimento (Figura 1).

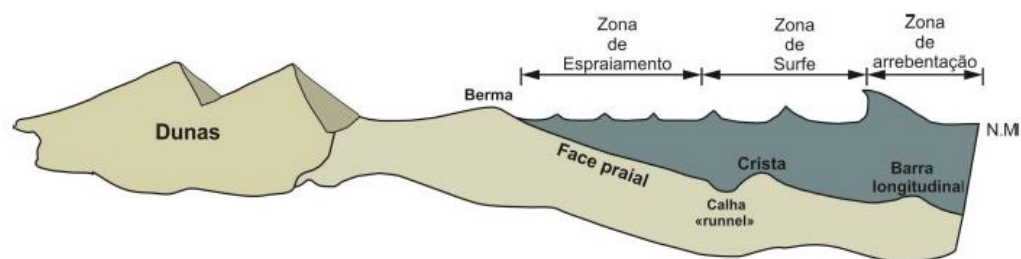


Figura 1 – Zonação hidrodinâmica de praia.
Fonte: Silva (2015)

A zona de arrebentação ou “*breaking zone*” é a zona do perfil praial onde ocorre o processo de quebra das ondas incidentes. Este processo acontece quando as ondas se aproximam de águas rasas, onde sofrem o processo de empinamento e quebram dissipando sua energia.

A zona de Surfe ou “*surf zone*” é a faixa onde as ondas incidentes dissipam sua energia, e parte desta energia é transferida para geração de correntes longitudinais e transversais à praia. As características desta zona dependem do modo em que ocorre esta dissipação de energia. Em praias de baixa declividade, as ondas que inicialmente quebraram reformam-se como ondulações, espraçando-se ao longo da zona de surfe em decaimento exponencial de altura, até atingir a linha de praia. Durante este percurso, grande parte da energia é transferida para a geração de correntes longitudinais e transversais à praia.

A zona de espraimento ou “*swash zone*” pode ser identificada como a região da praia delimitada entre a máxima e a mínima excursão das ondulações sobre a face praial, ou seja, é a zona onde se observa o fluxo e refluxo das ondas e na qual pode apresentar algumas feições longitudinais à costa, como cúspides e mega-cúspides.

3.3 PROCESSOS FÍSICOS COSTEIROS

3.3.1 Ventos

Segundo Miranda & Castro (2002), é uma forçante que promove a aeração e a mistura das massas de água estuarinas e costeiras, gerando ondas e correntes com grande área superficial, intensificando a mistura vertical.

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 (Fonza 1994).

Estes processos causam retrabalhamento nos sedimentos depositados na zona de intermaré, periodicamente exposta, levando-os para as dunas e ainda formando bancos arenosos longitudinais, ilhas barreiras, pontais arenosos (Suguió 1973).

3.3.2 Ondas

Segundo Galvin (1968), as ondas ao encontrarem águas rasas, exprimem diferentes formas de arrebentação e de propagação, que dependem da forma de dissipação energética, da topografia submarina e da morfologia da ZC, o mesmo autor classifica a arrebentação das ondas em quatro tipos: Deslizante, Mergulhante, Frontal e Ascendente (Figura 2).

Arrebentação do tipo *deslizante* é caracterizada por uma dissipação gradativa da energia da onda, este tipo ocorre em praias com baixos declives, ou seja, praias com pequeno grau de inclinação. Este tipo de arrebentação gera ondas de elevada amplitude e período de onda, com ampla faixa de espuma na zona de surfe.

O tipo *mergulhante* ocorre onde a dissipação da energia das ondas acontece abruptamente, em pequenas distâncias, e são características de praias com declives mais acentuados, ligadas a ondas de altos períodos que geram grandes tubos. Estas ondas são as mais apreciadas pelos surfistas de alto desempenho.

Arrebentações do tipo *frontal* ocorrem de forma semelhante a do tipo mergulhante, entretanto essa arrebentação não gera tubos e ocorre em praias com declives médios e ventos moderados.

As arrebentações do tipo ascendente ocorrem em praias de declividade tão alta que a onda não chega a quebrar, ascendendo sobre a face praial e interagindo com o refluxo das ondas anteriores.

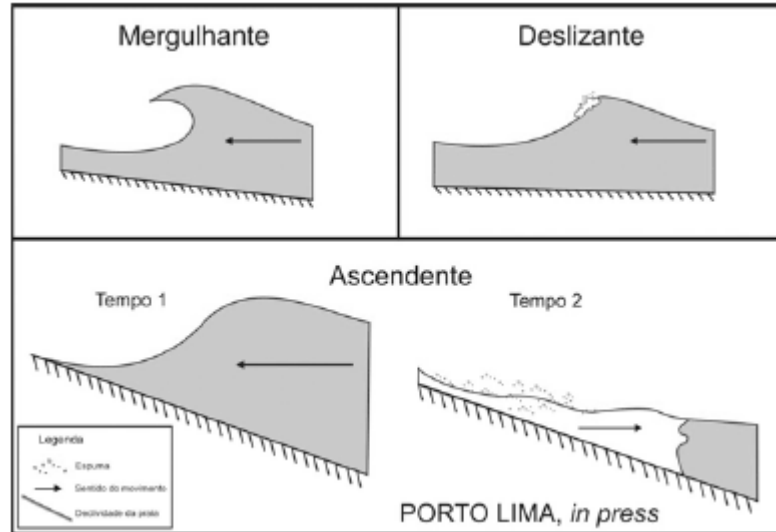


Figura 2- Diferentes tipos de arrebentação das ondas.
Fonte: Universidade Federal do Paraná - UFPR (2005a)

De acordo com Baptista Neto (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.

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.

3.3.3 Marés

Marés são mudanças do nível da água, de pequeno espaço temporal, causam mudanças cíclicas nas praias, podendo atuar passivamente ou ativamente no transporte de sedimento (Davis 1985). São formadas pela ação conjunta de forças de atração gravitacional do sol e, principalmente, da lua, na qual exerce o dobro desta força em relação ao sol, sobre as águas oceânicas.

Durante um mês, as variações entre o alinhamento do sol e da lua geram as marés astronômicas de sizígia (luas nova e cheia) e de quadratura (quartos de lua). As marés de sizígia são cerca de 20 % mais altas (maré alta) e mais baixas (maré baixa) do que as marés de

quadratura (Souza *et al.* 2005). Isto é devido o fato do sistema terra-lua-sol estarem em conjunção durante as marés de sizígia, enquanto que nas marés de quadratura estão em oposição.

Durante um intervalo de 24 horas e 50 minutos (um dia lunar), podem ser registrados comportamentos de maré semidiurna, com duas baixamares e duas preamares (2 ciclos de marés), marés diurnas, com uma preamar e uma baixamar (1 ciclo de maré) e marés mistas, que envolvem variações entre os dois extremos (SILVA *et al.*, 2004).

As marés que são observadas nas ZC's resultam do empilhamento e amplificação das marés oceânicas, à medida que estas se movem sobre a plataforma continental e para dentro de estuários e baías. Nestas áreas, movimentos horizontais da coluna d'água, na forma de correntes de maré causam mudanças do nível das águas, resultando na inundação periódica das planícies de marés e manguezais.

3.3.4 CORRENTES

As correntes constituem alguns dos importantes agentes de remobilização de sedimentos e, são responsáveis pelo transporte de material ao longo da costa assim como, um grande mecanismo de circulação responsável pela manutenção da estabilidade e equilíbrio dos ambientes praias (Tessler & Mahiques 2000).

A incidência de ondas na linha de costa gera correntes costeiras, onde o ângulo de incidência das mesmas nas praias é que determinará o tipo de circulação costeira (Dyer 1997). As correntes induzidas por ondas são divididas em: correntes de deriva litorânea (*longshore currents*), correntes transversais (*cross-shore currents*) e correntes de retorno (*rip currents*).

Outro tipo de corrente que condiciona o movimento das águas na zona costeira, no caso, o movimento horizontal, é a corrente de maré, especialmente das costas baixas sujeitas ao regime de macro-mesomares, a exemplo do Nordeste do Pará (Souza Filho *et al.* 2001).

Quando as ondas aproximam-se da costa segundo um ângulo oblíquo, uma corrente paralela à linha de costa (*longshore current*) desenvolve-se entre a praia e a zona de arrebatção (Figura 3), 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).

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 praias (Figura 4). 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).

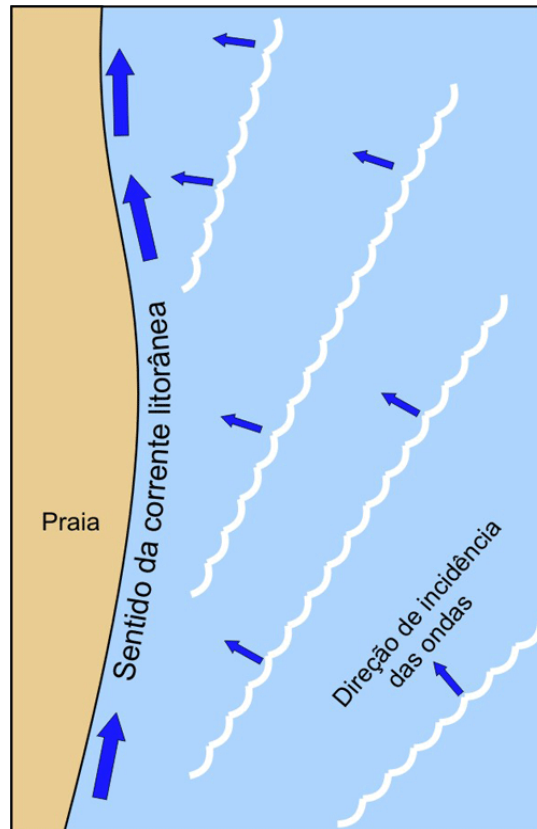


Figura 3 – Modelo de corrente longitudinal.
Fonte: Universidade Federal do Paraná - UFPR (2005b)

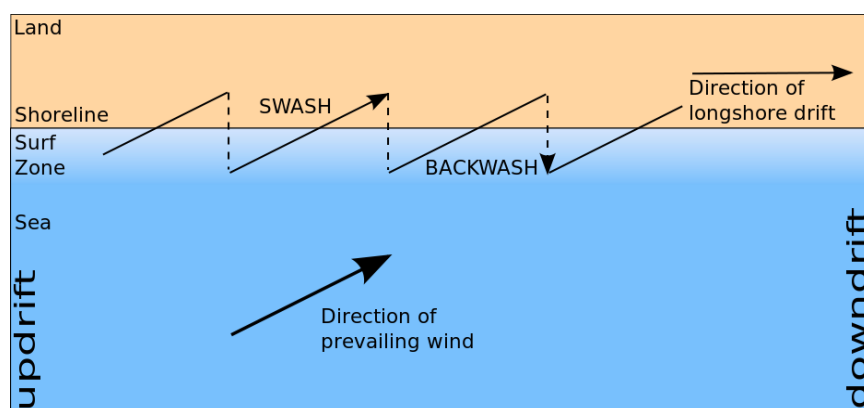


Figura 4 – Modelo do transporte transversal de sedimentos.
Fonte: Universidade Federal do Paraná - UFPR (2005c)

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 ÁREA DE ESTUDO

Entre o Cabo Orange (Amapá) e a Baía de São Marcus (Maranhão) localiza-se a Zona Costeira Amazônica (ZCA). Tal região dispõe de uma extensão de aproximadamente 2.250 km (Souza Filho *et al.* 2005). Também é caracterizada por apresentar altas temperaturas ($>20\text{ }^{\circ}\text{C}$) com baixa variação térmica anual, ampla plataforma continental ($\sim 330\text{ km}$), regime de macromarés (com valores máximos de 8 m no Maranhão, 6 m no Pará e 12 m no Amapá), extensa área de manguezais (constituindo uma das maiores áreas contínuas de manguezal do mundo), descarga de dezenas de estuários e do maior rio do mundo, o rio Amazonas (Perreira 2009).

A Ilha de Mosqueiro está inserida na ZCA, dispõe de uma orla que se estende por 220,85 km^2 e sofre influência das águas do Oceano Atlântico, na margem direita do estuário do Rio Pará. É também caracterizada por pontões e enseadas, com praias curtas e estreitas, com larguras que diminuem em direção às pontas (El Robrini 2001, Farias 2004). A ilha apresenta precipitação média de 2.600 a 3.200 mm, segundo Farias (2006). A pluviosidade na Ilha manifesta-se em dois períodos: um mais chuvoso (dezembro a maio) e um menos chuvoso (junho a novembro). Tal variação de pluviosidade pode influenciar na dinâmica morfológica e sedimentar das praias ao longo do ano.

A praia de São Francisco (Figura 5), georeferenciada segundo as coordenadas $1^{\circ}6'24.368''\text{S}$ e $48^{\circ}25'30.882''\text{W}$, recebe influência direta da Baía de Marajó, estando sujeita predominantemente à ação de ventos, ondas e correntes produzidas no interior dessa baía, fato este que a caracteriza como praia estuarina (Ratz 2017).

A praia apresenta estreitas faixas de zona do pós-praia e estreita zona de intermaré, com 130 m (Figura 6). O vento predominante é de nordeste, com velocidades entre 4,20 e 4,24 (nós) no mês de março; velocidades entre 2,46 e 2,96 (nós) em junho, e velocidades entre 4,20 e 4,24 (nós) no mês de setembro (El Robrini 2001).

As ondas geradas por estes ventos podem alcançar mais de 1m na maré enchente. Em situação de maré baixa, ocorrem pequenas ondulações que dificilmente chegam a 0,3m de altura, caracterizando um sistema relativamente tranquilo (Pinheiro 1987).

As mesomarés (2-4 m) que ocorrem na Ilha são semidiurnas. Os valores máximos de velocidade das correntes de maré são registrados durante o período de sizígia, 5 horas após a preamar, quando atingem 2,8 nós (1,43 m/s) (DHN 1994).

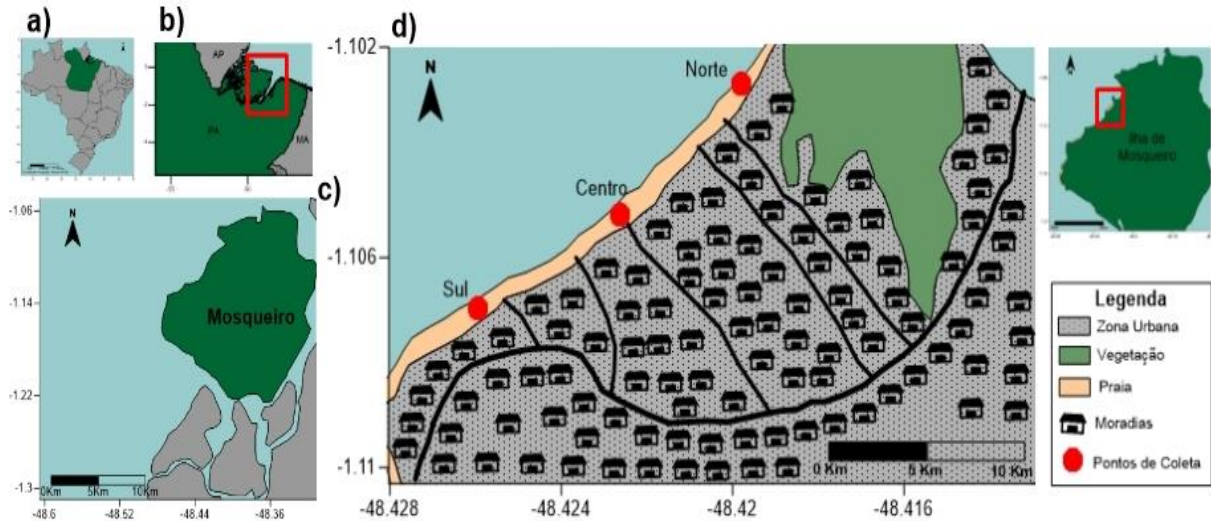


Figura 5 – Mapa de localização da área e setores específicos de estudo: a) mapa do Brasil; b) área no estado do Pará; c) Ilha de Mosqueiro; d) Praia de São Francisco, Belém – PA.



Figura 6 – Praia de São Francisco.
Fotografia tirada em 06/09/2019.

O relevo da Ilha de Mosqueiro é resultado de flutuações climáticas ou glacioeustáticas, que ocorreram durante o Terciário e o Quaternário. Tais flutuações foram responsáveis pela constituição das camadas deposicionais denominadas de Formação Pirabas, Formação Barreiras e Sedimentos Pós-barreiras (Grupo Barreiras-Pós-Barreiras).

No Terciário, inicialmente ocorreu a sedimentação, predominantemente transgressiva, da Formação Pirabas. Esta formação é constituída por rochas carbonáticas depositadas durante o Mioceno Inferior (Ferreira & Francisco 1988). Posterior a esta deposição, houve uma fase de regressão marinha responsável pela deposição dos sedimentos da Formação Barreiras.

Segundo Araújo *et al.* (1998), tal formação corresponde a depósitos continentais sobrepondo rochas do embasamento cristalino, sedimentos cretáceos e terciários marinhos (Formação Pirabas), sendo constituído por argilas, silte e areia, podendo apresentar leitos de areias e conglomerados. Os sedimentos da Formação Barreiras apresentam um baixo grau de compactação, cores variadas (vermelho, amarelo e tonalidade esbranquiçada), nódulos e concreções de ferro formados *in situ*, responsáveis pelo aspecto mosqueado típico. Ainda segundo este autor, podem ser observados arenitos ferruginosos denominados de grês do Pará, *in situ*, e níveis de microconglomerados quartzosos.

Os sedimentos Pós-barreiras têm como característica a presença de depósitos areno-argilosos, datados entre o Pleistoceno e o Holoceno (Costa *et al.* 1992). Tais sedimentos repousam sobre o Grupo Barreiras. Conforme Sá (1969), a separação entre estas duas sequências é identificada através de uma discordância erosiva, que demarca o limite entre o Grupo Barreiras e os sedimentos Pós-Barreiras, reconhecida regionalmente e, particularmente, nas falésias da Ilha de Mosqueiro.

Para Christofolletti (1980), a totalidade das costas e praias 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.

4.2 AMOSTRAGEM

Foram realizadas duas campanhas de campo em 6 de setembro de 2019 (maior energia de ondas) e 27 de setembro de 2019 (menor energia de ondas), na praia de São Francisco (Tabela 1), visando analisar o transporte transversal de sedimentos (deriva praial) em condições e meteorológicas e oceanográficas distintas.

Tabela 1 – Condições meteo-oceanográficas durante as amostragens.

| | Maré | Baixa-mar | | Preamar | | Vento | |
|------------|------------|-----------|------------|----------|------------|-------------|------------------|
| | | Hora (h) | Altura (m) | Hora (h) | Altura (m) | Direção (º) | Velocidade (m/s) |
| 06/09/2019 | Quadratura | 11:30 | 1,1 | 16:44 | 2,8 | 5 | 2 |
| 27/09/2019 | Sizígia | 17:35 | 0,5 | 10:18 | 3,4 | 5 | 0,5 |

Para uma melhor representação do método, dividiu-se a praia em três setores (norte, centro e sul) (Figura 7, 8 e 9), onde foram feitas coletas de sedimentos oriundos do transporte

transversal próximo ao nível de linha d'água (linha oscilante de maré) utilizando uma armadilha de sedimentos na zona de espriamento (*trap* de espriamento), ora no sentido contrário ao rio, ora contrário ao continente (Figura 10).

Fazendo uso de um GPS (*Global Positioning System*), obteve-se as coordenadas da amostragem em cada setor. Foram elas:

| | | |
|-------------------------|----------------------------|------------------------|
| Setor Norte: 1°6'9.81"S | Setor Central: 1°06'17.1"S | Setor Sul: 1°06'26.3"S |
| 48°25'10.81"W | 48°25'18.4"W | 48°25'35.1"W |



Figura 7 – Setor Norte da praia de São Francisco.
Fotografias tiradas em 06/09/2019.



Figura 8 – Setor Central da praia de São Francisco.
Fotografias tiradas em 06/09/2019.



Figura 9 – Setor Sul da praia de São Francisco.
Fotografias tiradas em 06/09/2019.



Figura 10 – *Trap* de espraçamento (A). Amostragem de sedimentos com *trap* de espraçamento (B).
Fotografias tiradas em 06/09/2019.

Como objetivo, o método intenciona comparar os volumes de sedimentos trazidos e removidos da face praial durante o fluxo e refluxo das ondas, em condições meteorológicas e oceanográficas distintas. Tal comparação ocorreu nos três setores estudados, a fim de se detalhar com maior exatidão o efeito do transporte de sedimento no local. O tempo padrão de operação da armadilha de espraçamento para cada campanha e setor foi de 2 minutos, devido à efetividade do transporte transversal na região.

Também foram realizadas medições de onda *in situ* através do uso de filmagens de um operador segurando uma régua graduada, com a finalidade de, posteriormente, calcular, via regra de três simples, a altura aproximada das ondas que incidiam sobre a praia no momento das coletas dos sedimentos transportados pela deriva praial (Figura 11). Através de tais filmagens, também foi possível determinar, pelo tempo da passagem de 11 cristas de ondas, o período (T) das mesmas (Muehe 1993).

Dados de ondas, como velocidade e direção, foram consultados no site do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET como forma de embasar os resultados.



Figura 11 – Filmagem para coleta de dados de ondas.
Fotografia tirada em 06/09/2019.

4.3 ANÁLISE LABORATORIAL

No Laboratório de Oceanografia Geológica (LABOGEO), 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 foram colocadas em estufa a 60°C até adquirirem condições ideais (secas). Posteriormente, foi separado 50g das amostras que apresentaram peso a partir desta quantidade e, depois, feito o 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 foram pesadas em uma balança analítica.

4.4 ANÁLISE DOS DADOS

Para classificação granulométrica das amostras foi empregada a classificação proposta por Wentworth (1922), que obedece aos limites da tabela abaixo (Tabela 2).

Tabela 2 – Classificação granulométrica de Wentworth de 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, e o peso total das mesmas em gramas (g).

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 ONDAS

Em 06/09/2019 (Figura 12), as ondas apresentaram um período maior durante a maré enchente com valor médio de 4,5 segundos entre a passagem de uma crista e outra de onda, enquanto que na maré vazante apresentou uma periodicidade menor com valor médio de 3,5 segundos.

Em 27/09/2019 (Figura 13), as ondas demonstraram menor periodicidade quando comparadas à maré de quadratura, com média de 3,1 segundos na maré vazante e 2,6 segundos na maré enchente.

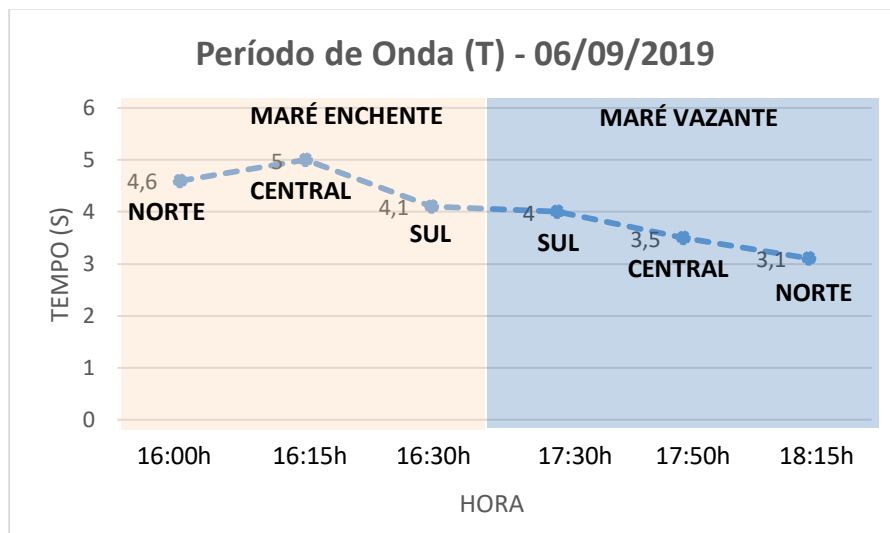


Figura 12 – Período de ondas (seg) registrado em 6 de setembro de 2019.

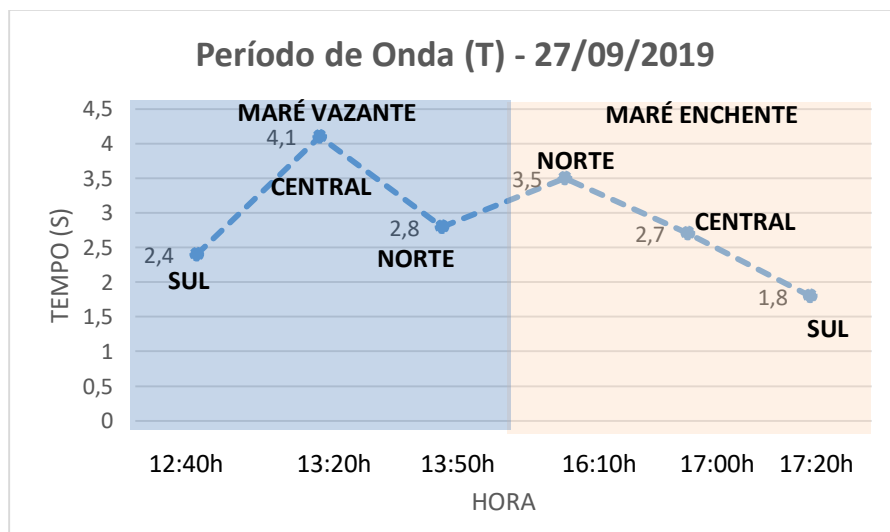


Figura 13 – Período de ondas (seg) registrado em 27 de setembro de 2019.

As alturas das ondas também foram maiores nas marés enchentes em ambas as campanhas, com valores médios de 76 cm em 06/09/2019 e 29 cm em 27/09/2019, enquanto que nas marés vazantes os valores se mostraram menores com 43 cm em 06/09/2019 (Figura 14) e 17 cm em 27/09/2019 (Figura 15).

Durante as coletas, foram obtidos valores superiores a 1 m no setor central, situação comum de ocorrer na praia de São Francisco em momentos de maré enchente.

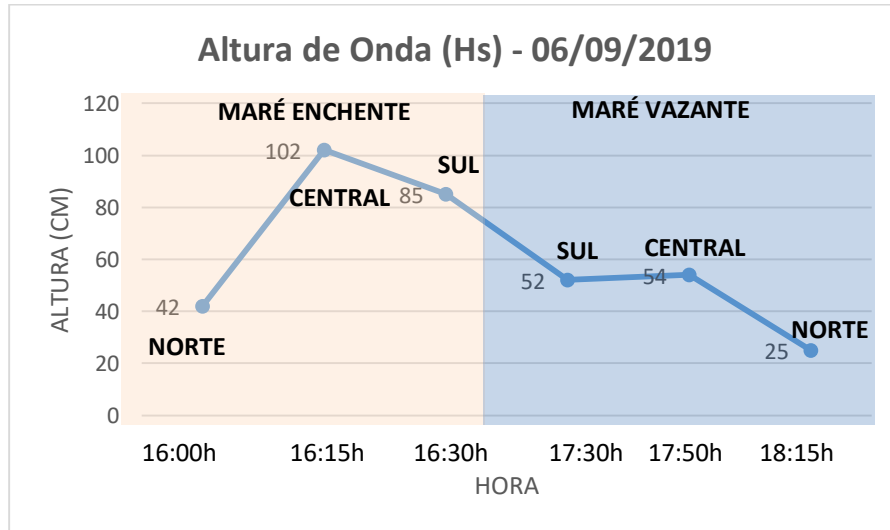


Figura 14 – Altura de ondas (cm) registrado em 6 de setembro de 2019.

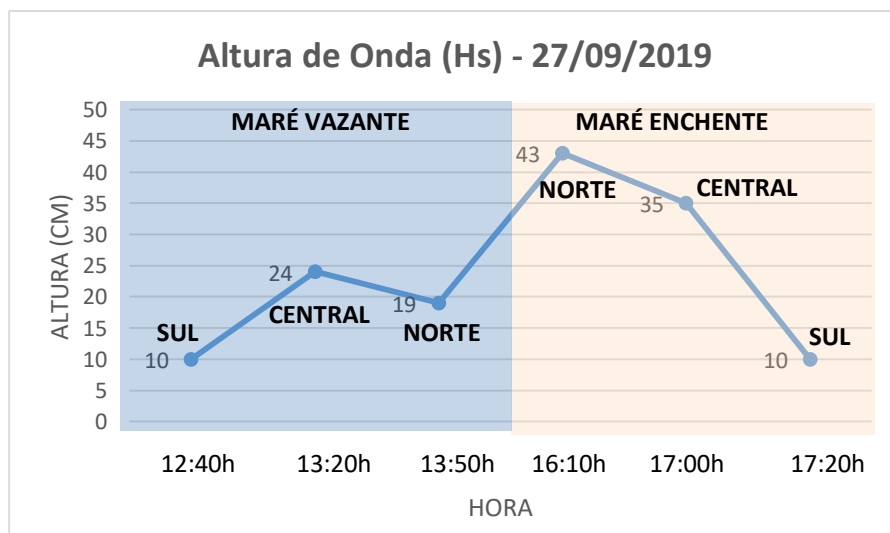


Figura 15 – Altura de ondas (cm) registrado em 27 de setembro de 2019.

5.2 TAXA DE SEDIMENTOS RETIDOS NO TRAP DE ESPRAIAMENTO

Nas figuras 16 e 17 são apresentados os valores inferidos, para cada segundo, de sedimentos transportados transversalmente e coletados com o *trap* de espriamento, 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 a semelhança das experimentações com *trap* de espriamento nos três setores estudados ao verificar que a quantidade de sedimentos entrando na praia foi maior que a quantidade de sedimentos saindo (Figuras 16 e 17).

Tabela 3 - Tabela da taxa de transporte transversal em 27/09/2019.

| | Enchente | | Vazante | |
|----------------|---|---|--|---|
| | Entrada | Saída | Entrada | Saída |
| Norte | 4 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 0 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 14 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 1 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| Central | 3 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 0 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 3 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 1 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ |
| Sul | 2 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 0 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 23 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ | 1 $\text{g.s}^{-1} \cdot \text{m}^{-1}$ |

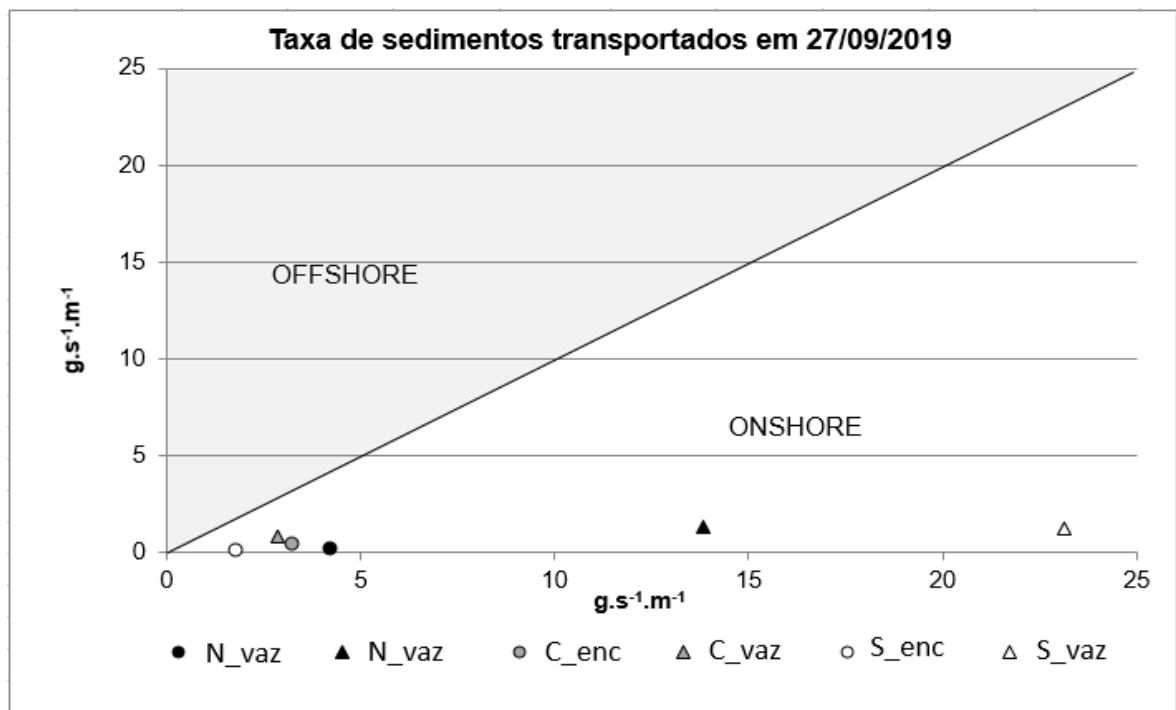


Figura 16 – Taxa do transporte transversal de sedimentos obtida em 27/09/2019. vaz: vazante; enc: enchente.

Tabela 4 - Tabela da taxa de transporte transversal em 06/09/2019.

| | Enchente | | Vazante | |
|----------------|---|--|---|---|
| | Entrada | Saída | Entrada | Saída |
| Norte | 5 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 1 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 1 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 0 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ |
| Central | 82 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 55 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 3 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 1 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ |
| Sul | 136 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 52 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 151 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ | 173 g.s ⁻¹ . m ⁻¹ |

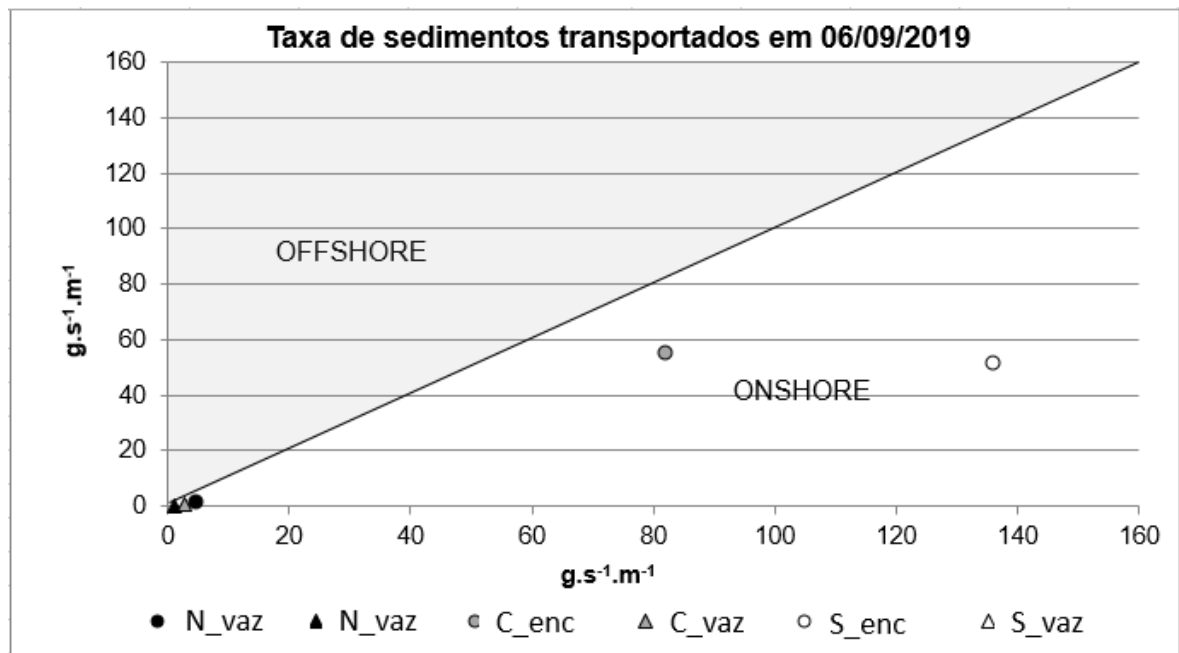


Figura 17 – Taxa do transporte transversal de sedimentos obtida em 06/09/2019. Vaz: Vazante; Enc: Enchente.

Durante a fase de maré enchente de 06/09/2019, verificou-se a maior captação de sedimentos pela armadilha e maiores alturas de onda, sendo corroborado por Ratz (2017), o qual demonstrou em outra praia da Ilha de Mosqueiro (praia do Marahú), que as maiores alturas de onda locais estavam relacionadas à fase de maré enchente, fato este que acarretou em um grande volume de sedimentos transportados em direção à praia e depositando-se nela, e também, que o aumento da declividade da praia em direção à sua porção superior condiciona aumento na altura de onda.

Ainda sobre a quantidade de sedimentos retidos na armadilha, observou-se que foi expressivamente superior em 06/09/2019 (maré de quadratura) do que no dia 27/09/2019 (maré de sizígia). Contrariando o resultado esperado, em relação ao ciclo lunar, porém, relevando outra particularidade da maré na região.

Como as amostragens na maré de quadratura ocorreram próximas à preamar, quando as condições energéticas são maiores no local, intensificando a energia das ondas, obteve-se maior mobilidade de sedimentos, visto que a intensidade dos ventos também desempenhou importante papel (Tabela 4). Já nas amostragens realizadas durante a maré de sizígia, que ocorreram próximas à baixa-mar, a energia hidrodinâmica foi menor no local (Tabela 3).

Durante a maré vazante de 06/09/2019, observou-se a maior quantidade de sedimentos retidos no *trap* de espraçamento (Figura 18). Especificamente no setor sul, onde obteve-se o único balanço sedimentar negativo, ou seja, mais saída de sedimentos do que entrada: amostras com peso de 2712g durante o fluxo de ondas (*swash*) e, 3109g no refluxo (*backwash*). Na maré enchente, o oposto: 2446g (*swash*) e 930g (*backwash*). Ressaltando que esses pesos representam as amostras secas, tratadas em laboratório.

Em 27/09/2019, durante a vazante, o mesmo setor correspondeu ao máximo de 416g durante o fluxo das ondas e 23g no refluxo. Mas com balanço sedimentar positivo (Figura 19). Os outros setores também expressaram balanço positivo, sendo a entrada de sedimentos na praia, ou seja, a deposição, bem maior do que a saída de sedimentos, que continuaram em transporte no meio aquoso.

Já em 06/09/2019, o balanço sedimentar foi mais equilibrado durante o espraçamento de ondas, ocorrendo quantidades mais aproximadas de sedimentos entrando e saindo da praia. Isto pode ser justificado pelo fato mencionado anteriormente: maiores condições energéticas nas amostragens ocorridas nesta data pela proximidade com a fase de preamar, tanto que as maiores alturas de ondas registradas ocorreram próximas desta fase de maré em 06/09/2019.

Em se tratando de equilíbrio sedimentar, o setor norte foi o que apresentou melhor esta condição, mesmo que com baixa quantidade de sedimentos transportados, indicando que o mesmo pode estar sendo afetado por processo de erosão eminente.

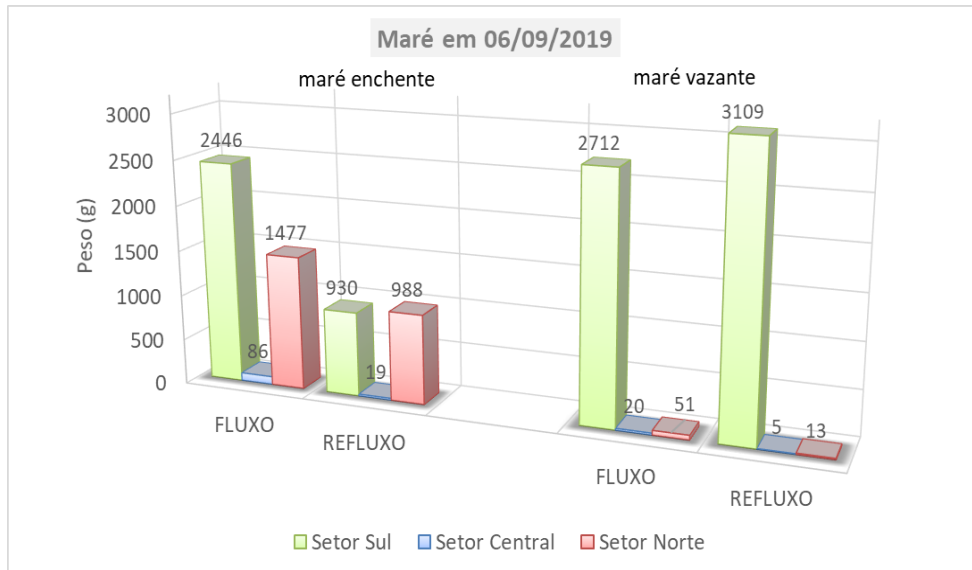


Figura 18 - Peso total de sedimentos coletados por setor com o uso de *trap* de espriamento em 06/09/2019.

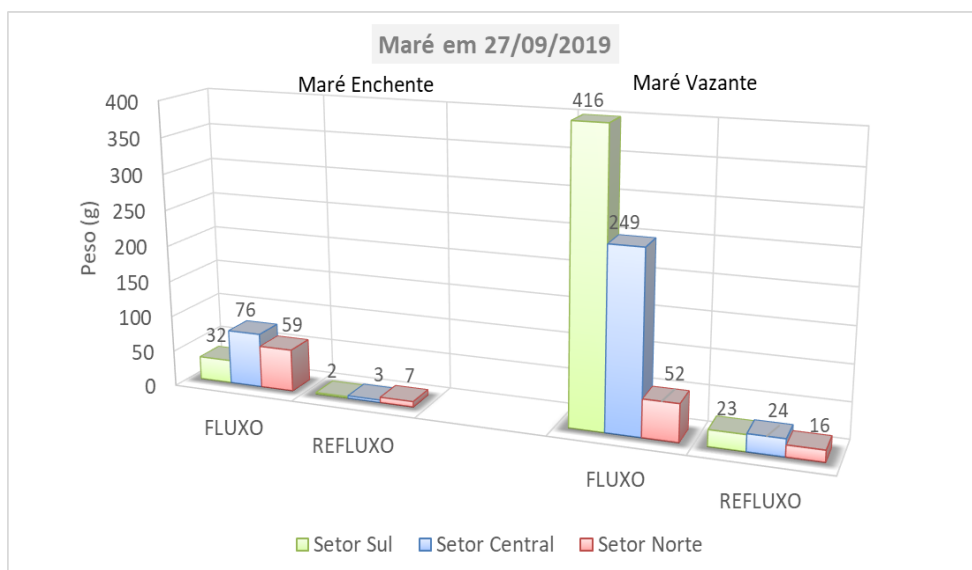


Figura 19 - Peso total de sedimentos coletados por setor com o uso de *trap* de espriamento em 27/09/2019.

5.3 GRANULOMETRIA DOS SEDIMENTOS TRANSPORTADOS

Nos três setores e durante as duas condições de amostragem, a predominância de sedimentos mobilizados durante a deriva praial (transporte transversal) foram de areia média (355 a 250 μ m) e grossa (710 e 500 μ m), principalmente no setor central (Figuras 20 a 25). 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.

Percentuais de areia fina também foram elevados no setor norte (Figuras 20 e 23), durante a maré vazante, com cerca de 30% durante a sizígia e 70% em 06/09/2019. Este elevado percentual de sedimentos mais finos pode ter conferido redução no peso total (g) obtido neste setor em 06/09/2019 (Figura 18). Assim como pode ter acontecido para o peso elevado no setor sul devido a maior quantidade de sedimentos mais grosseiros.

A granulometria dos sedimentos mobilizados no transporte transversal está relacionada também com a maior ou menor energia das ondas. Em 06/09/2019, quando as alturas de ondas foram mais elevadas (Figura 14), obteve-se melhor competência na mobilização de sedimentos arenosos, por isso baixo percentual de areia fina. Como as maiores energias de ondas foram verificadas nesta data, maior percentual de areia mais grosseira também foi obtido nos sedimentos coletados com a armadilha.

Cornish (1898) apontou que o transporte transversal é mais efetivo quando há sedimentos mais grossos. Desta forma, ressalta-se a forte relação entre a energia de ondas e tamanho do grão. Tanto que o setor sul apresenta maior declividade praial, devido à deposição de sedimentos mais grosseiros. Estes são, possivelmente, provenientes da erosão de promontórios rochosos existentes na extremidade do setor (Figura 26).



Figura 20 – Promontórios Rochosos no Setor Sul da praia de São Francisco. Fotografias tiradas em 06/09/2019.

Segundo Short (1999) a extensão e características de praias arenosas estão intimamente ligadas à variação da maré, altura de onda, período de onda, tamanho do grão e forma da praia em planta, logo, a efetividade do transporte transversal de sedimentos no local propicia o caráter

deposicional de grãos maiores evidenciados nos três setores. E também, Bascom (1951) afirma que o tamanho do grão influencia diretamente a declividade da face da praia. Quanto menor o tamanho do grão, menor será a declividade da face da praia, assim sendo, quanto maior a granulometria, maior a declividade praial e maior altura de onda, como fica evidenciado nos três setores da praia na maré de quadratura, cujas alturas de onda foram mais expressivas, resultando em maior deposição de grãos maiores.

Em 27/09/2019, como as coletas foram feitas próximas à baixa-mar, a granulometria predominante foi a de sedimentos médios e finos.

- 06/09/2019

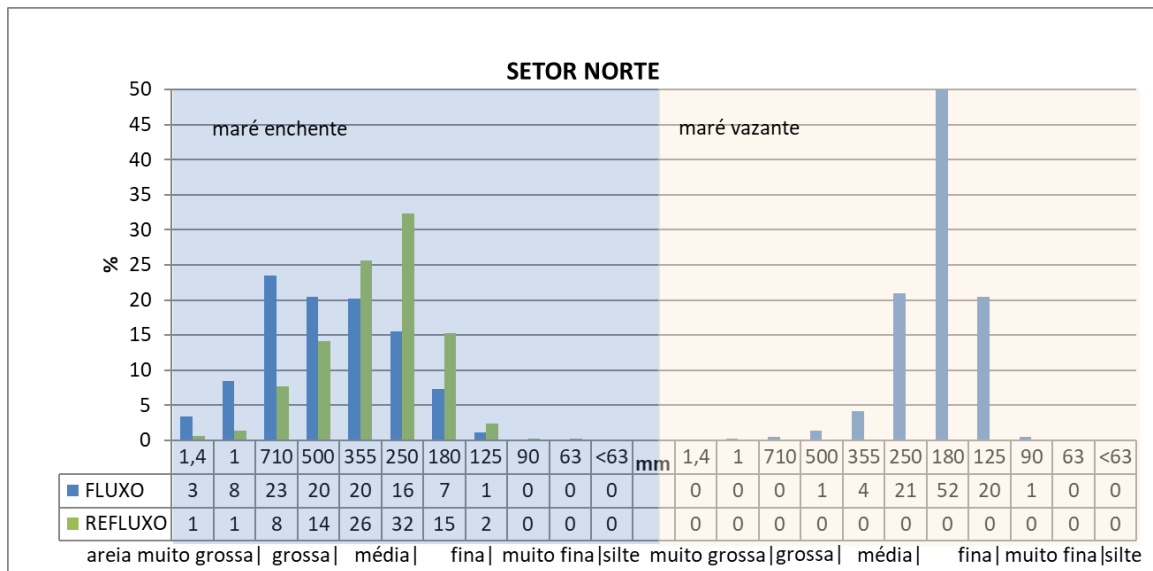


Figura 21 – Granulometria dos sedimentos coletados com *trap* portáteis no setor Norte em 06/09/2019.

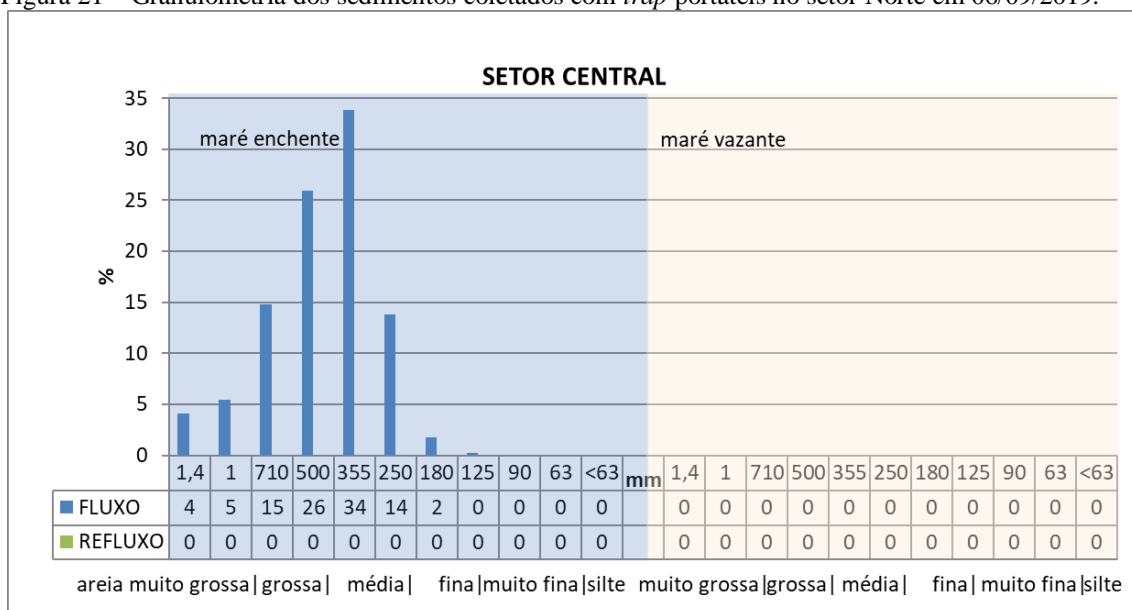


Figura 22 – Granulometria dos sedimentos coletados com *trap* portáteis no setor Central em 06/09/2019.

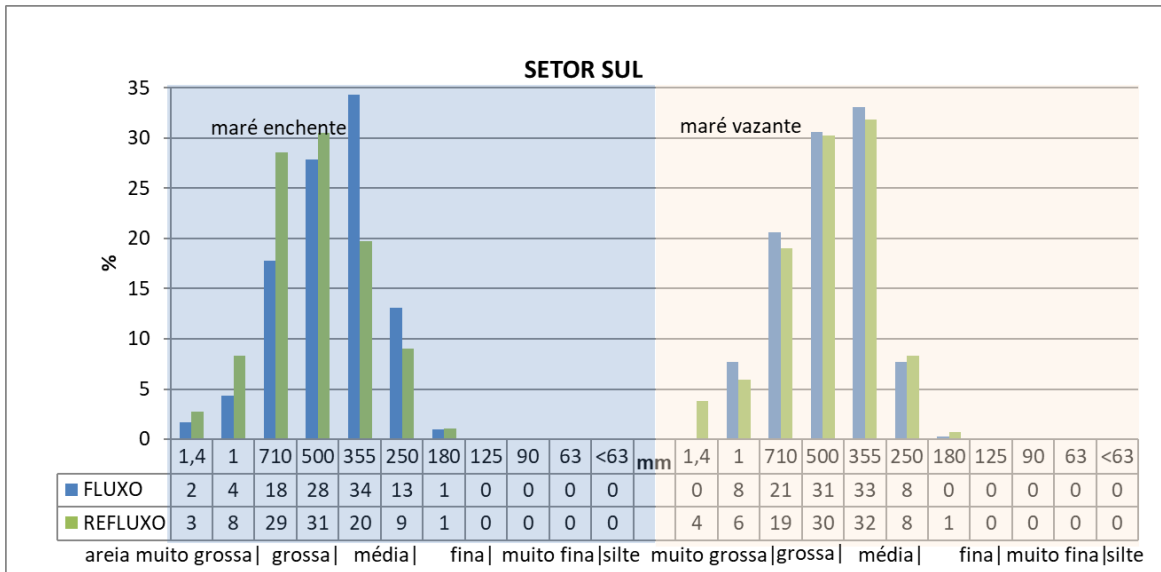


Figura 23 – Granulometria dos sedimentos coletados com *trap* portáteis no setor Sul em 06/09/2019.

- 27/09/2019

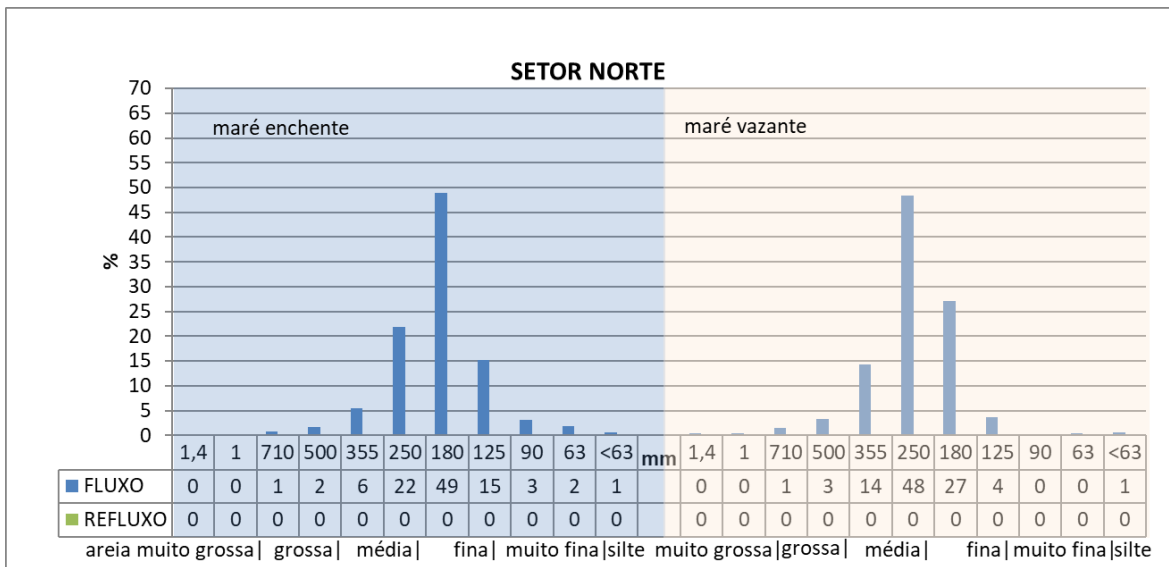


Figura 24 – Granulometria dos sedimentos coletados com *trap* portáteis no setor Norte em 27/09/2019.

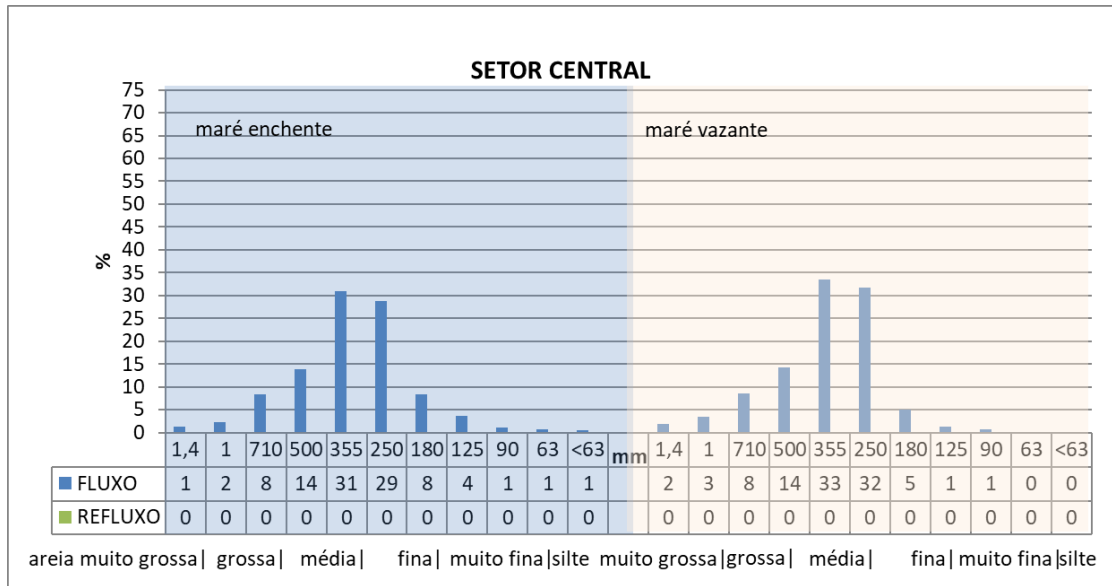


Figura 25 – Granulometria dos sedimentos coletados com *trap* portáteis no setor Central em 27/09/2019.

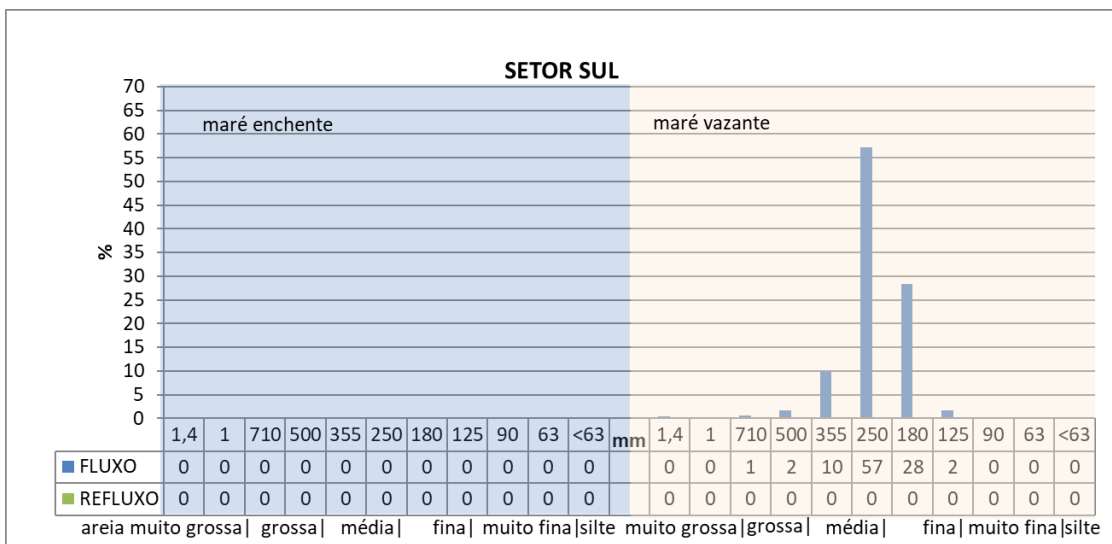


Figura 26 – Granulometria dos sedimentos coletados com *trap* portáteis no setor Sul em 27/09/2019.

6 CONCLUSÃO

Analisando os resultados obtidos com o *trap* de espriamento, conclui-se que, durante a maré enchente de 06/09/2019, o volume de sedimentos transportados transversalmente por ondas e correntes foi maior analisando um ciclo completo de maré. A granulometria destes sedimentos foi de areia grossa e areia média, seja durante o fluxo de ondas, como também durante o refluxo das mesmas.

A quantidade de sedimentos retidos no *trap* de espriamento esteve bem relacionada às condições de onda durante as coletas. Coletas próximas à preamar, como no caso do dia 06/09/2019, resultaram em melhores condições hidrodinâmicas, devido maiores alturas de ondas e, conseqüentemente, maior mobilização de sedimentos.

Na maré enchente, onde as alturas de ondas foram uma das mais elevadas, observou-se uma melhor mobilização de sedimentos grosseiros, como areia grossa e areia média em todos os setores da praia. Por outro lado, na maré vazante, observou-se maior ocorrência de sedimentos mais finos, devido à baixa energia hidrodinâmica, excetuando os setores Central e Sul, cujos tamanhos dos grãos predominaram areia grossa e média.

O setor Norte apresentou tendência à erosão eminente, pois obteve-se um balanço sedimentar mais equilibrado, devido ao transporte de sedimentos transversal na direção *onshore* ser apenas um pouco maior que o de direção *offshore*, o que significa que grande parte dos sedimentos não são depositados na praia e ficam retidos na deriva praial.

Por outro lado, os setores Central e Sul, de um modo geral, representaram regiões mais deposicionais de sedimentos na praia de São Francisco.

Diante do panorama observado pelos dados analisados nesta pesquisa é mais que imprescindível o contínuo monitoramento do padrão de transporte de sedimentos, bem como considerar todas as peculiaridades desse ambiente praial.

Neste trabalho foi observado que para uma melhor comparação de condições distintas, tais como maré de sizígia e maré de quadratura, é necessário que as coletas sejam feitas em horários semelhante de proximidade com baixa-mar e preamar, agregando assim, resultados mais confiáveis ao estudo.

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 forças 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, visando a preservação de um balneário que sustenta as atividades econômicas e moradias da população local.

REFERÊNCIAS

- Araí M., Vesugui N., Rosseti D.F., Góes A.M., 1988. Considerações sobre a idade do grupo Barreiras no Nordeste do estado do Pará. *In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia, Belém. Anais*, v. 2, p. 738-752.
- Baptista Neto J.A., Ponzi V.R.A., Sichel S.E. (orgs.) 2004. *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro, Interciência. 279p.
- Christofolletti A. 1980. *Geomorfologia*. São Paulo, ed. Blücher/EDUSP, 188p.
- Cornish V. 1898. On sea beaches and sand banks. *Geological Journal*, **11**:628-651.
- Costa J.B.S., Borges M. da S., Bemerguy R.L., Fernandes J.M.G., Costa JR. P.S. da, Costa M.L. da. 1992. Geologia. *In: IBAMA. Macrozoenamento costeiro do Estado do Pará: relatório técnico/91*. Belém: IBAMA: SECTAM: IDESP, p.17-58.
- Davis Jr R.A. 1985. *Coastal sedimentary environments*. 2. ed. New York, Springer-Verlag.
- 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>. Acesso em: 20.08.2019.
- Dyer K.R. 1967. *Estuaries: a physical introduction*. New York, John Wiley & Sons, 140 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.
- 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, Belém, 85 p.
- 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.
- Ferreira C.S. & Francisco B.M.R. 1988. As relações da Formação Pirabas (oligoceno-Mioceno) com as formações continentais terciárias no Nordeste do estado do Pará. *In: SBG, 35° Congresso Brasileiro de Geologia. Belém, Anais... v. 2, p. 761-764*.
- Fisher A. 2005. *Morfodinâmica do “saco do laranjal”*: costa nordeste do estuário da laguna dos Patos – RS. Dissertação (mestrado em engenharia oceânica) – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande. Rio Grande, 160p.
- Fonza 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.
- Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. 2019. *Médias dos dados de velocidade e direção do Vento*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/sim/sonabra/dspDadosCodigo.php?ODlxOTE=>. Acesso em: setembro de 2019.
- 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.
- Komar P.D. 1976. *Beach processes and sedimentation*. New Jersey, Prentice-Hall, 429p.

- Miranda L.B., Castro B.M., Kjerfve B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários*. São Paulo, Edusp. 51p.
- Muehe D. Geomorfologia Costeira. 1993. In: Guerra A.J.T. & Cunha S.B. (eds.). *Geomorfologia: uma atualização de bases e conceitos*. Rio de Janeiro, 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.
- Pereira L.C.C., Dias J.A., Carmo J.A., Polette M. 2009. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. *Revista de Gestão Costeira Integrada - Journal of Integrated Coastal Zone Management* 9(2): 3-7.
- 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.
- Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC). 1996. *Perfil dos estados litorâneos do Brasil: subsídios à implantação do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro*. Coordenações Estaduais do Gerenciamento Costeiro. Brasília, DF. (Programa Nacional do Meio Ambiente).
- Ranieri L.A. 2014. *Morfodinâmica costeira e o uso da orla oceânica de Salinópolis (Nordeste do Pará, Brasil)*. PhD Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 195p.
- Ratz I.T.B. 2017. *Avaliação do transporte transversal de sedimentos na praia estuarina do marahú- ilha de Mosqueiro (PA)*. Trabalho de Conclusão de Curso, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 39p.
- Sá J.H.S. 1969. Contribuição a geologia e os sedimentos terciários e quaternários da Região Bragantina. *Boletim do Instituto de Geologia do Rio de Janeiro*, 3: 21-36.
- Schettini C.A.F. 2001. *Dinâmica de sedimentos finos no estuário do rio Itajaí-açu, SC*. PhD Thesis, Centro de estudos de Geologia Costeira e Oceânica. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 85 p.
- Short A.D. 1999. *Beach and shoreface morphodynamics*. Chichester-New York, Willey. p.378.
- Silva P.V.M. 2015. *Estudo da morfodinâmica sazonal e quantificação de transporte sedimentar costeiro nas praias de Fortalezinha e Princesa, Algodual/Maiandeuá (Nordeste do Estado do Pará)*. DS. Mestrado, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 89p.
- Silva C.G., Patchineelam S.M., Baptista Neto J.A., Ponzi V.R.A. 2004. Ambientes de sedimentação costeira e processos morfodinâmicos atuantes na linha costeira. In: Baptista Neto J.A., Ponzi V.R.A., Sichel S.E (orgs.). *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro, Interciência, cap. 8 p. 175–218.
- Silva C. A. 1998. *Análise morfoestratigráfica do estuário do rio Marapanim – NE do Pará*. MS Dissertação. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 133p.

- Souza C.R.G., Souza-Filho P.W.M., Esteves L.S., Vital H., Dillenburg S.R., Patchineelam S.M., Addad J.E. 2005. Praias arenosas e erosão costeira. *In: Souza C.R.G., Suguio K, Oliveira A.M.S., Oliveira P.E. (eds.) Quaternário do Brasil*. Ribeirão Preto, Holos, p. 130-152.
- Souza Filho P.W.M. e. 2001. Impactos naturais e antrópicos na planície costeira de Bragança (NE do Pará) *In: Prost M.T. & Mendes A.C. (org.) Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém, Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, p:132-144.
- Suguio K. 2003. *Geologia sedimentar*. São Paulo, E. Blucher, Ix, 400p.
- Suguio K. 1973. *Introdução à sedimentologia*. São Paulo, Edgar Blucher e Edusp. 317p.
- Tessler M.G. & Mahiques M.M. 2000. Processos oceânicos e a fisiografia dos fundos marinhos. *In: Teixeira W., Toledo M.C.M., Fairchild T.R., Taioli F. (orgs.). Decifrando a terra*. São Paulo, Oficina de Texto, cap. 13, p.262-284.
- Viana I.G.S. 2017. Análise do processo de uso e ocupação da orla da Praia do Areião (Ilha de Mosqueiro-pa), tendo em vista o Cumprimento das diretrizes do plano nacional de Gerenciamento costeiro (lei 7.661/88). *Revista Geonorte*. **8**(30): 63-77.
- 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.
- Pritchard D.W. 1967. What is an estuary: a physical viewpoint. *American Association for the Advancement of Science*, **83**: 3–5.
- Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**:377-392.