



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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM
UM ESTUÁRIO DOMINADO POR MARÉ: ESTUÁRIO DO RIO
MOJUM SÃO CAETANO DE ODIVELAS-PARÁ.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

PAULA RENATA LOBATO DE MEDEIROS

Orientadora: Prof. Dr^a. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

Coorientador: Msc. Maurício da Silva da Costa

BELÉM

2016



OCEANOGRÁFIA



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
FACULDADE DE OCEANOGRÁFIA

TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO EM
UM ESTUÁRIO DOMINADO POR MARÉ: ESTUÁRIO DO RIO
MOJUM SÃO CAETANO DE ODIVELAS-PARÁ.

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR:

PAULA RENATA LOBATO DE MEDEIROS

Como requisito à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia.

Data de aprovação: 26 / 02 / 16

Conceito: Bom

Banca examinadora:

Sury de Moura Monteiro

Prof. Sury de Moura Monteiro - Orientadora
Doutora em Oceanografia Ambiental, UFES.
Universidade Federal do Pará

Marcelo Rollnic

Prof. Marcelo Rollnic - Membro
Doutor em Oceanografia, UFPE.
Universidade Federal do Pará

Thais A. de S. Borba

Msc. Thais Angélica da Costa Borba - Membro
Mestre em Geofísica, UFPA
Universidade Federal do Pará

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Medeiros, Paula Renata Lobato de, 1992 -

Transporte de material particulado em suspensão em um estuário dominado por maré: estuário do rio Mojuim São Caetano de Odivelas-Pará / Paula Renata Lobato de Medeiros. – 2017.

xiii,61 f. : il. ; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientadora: Sury de Moura Monteiro

Coorientador: Maurício da Silva da Costa

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém, 2016.

1. Estuários- São Caetano de Odivelas (PA). 2. Oceanografia dos Estuários – São Caetano de Odivelas (PA). 3. Variações sazonais (Economia) - São Caetano de Odivelas (PA). Temperatura – variações sazonais - São Caetano de Odivelas (PA). I. Título.

CDD 22. ed. 551.4618098115

Aos meus pais, que sempre me deram tudo e me incentivaram na realização deste sonho, e ao meu querido namorado que tem me apoiado desde o início dessa longa caminhada.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu Deus, todo poderoso, por todas as bênçãos que já fez e faz em minha vida.

À minha família, meus pais Paulo César e Maria José, minha irmã Lorena Letícia, agradeço ao apoio, amor, paciência e incentivo de vocês para que eu conseguisse realizar meu sonho de ser oceanógrafa.

As minhas queridas avós Maria José Medeiros e Oscarina Lobato, por toda ajuda durante estes anos.

Ao meu querido namorado, amigo e companheiro Clóvis Santana, por todo o seu amor, companheirismo e paciência em sempre me ajudar e incentivar em todos os momentos.

A Professora Dr^a Sury Monteiro, pela oportunidade e orientação durante este ano.

Ao laboratório de Oceanografia geológica e geofísica marinha (LIOG) aos seus membros antigos e novos que me acolheram e me ensinaram a trabalhar em equipe: Fábio, Ivson, Lizandra, Herbert e Débora.

Ao Laboratório de Oceanografia Física (LOF) e seus membros que sempre estiveram dispostos e que muito me ajudaram nas coletas e no tratamento dos dados: Arthur (Piolho), Gabriela, Leandro, Kevin, Maurício e Thaís.

Ao meu Coorientador Maurício da Silva da Costa, por toda a ajuda, paciência e dedicação nas coletas, processamentos dos dados e construção deste trabalho, muito obrigada!

Ao Professor Dr. Marcelo Rollnic, pela oportunidade de fazer parte de seu projeto de pesquisa o qual deu origem a este trabalho e pela grande ajuda por disponibilizar os equipamentos e o laboratório (LOF), para que eu fizesse o tratamento dos dados.

Aos meus amigos do curso de Oceanografia das turmas de 2010, 2012 e em especial a minha turma 2011 com quem compartilhei tantos momentos bons.

Ao Adriano Rocha, pela colaboração na construção deste trabalho.

A todos os professores da FAOC e também aos demais professores que participaram da minha trajetória até aqui.

Aos meus amigos de caminhada Amanda Rocha, Carlos, Arthur, Lidiane, Ivson, Ronaldo, Samara, Mayara e em especial a minha querida amiga Wanessa Coimbra pela grande ajuda e companhia, quando eu estava perdida em meio a tantas garrafas e gráficos, muito obrigada por todo o apoio e amizade em todos esses anos.

“Quando vamos até o fundo do mar,
descobrimos que ali jamais poderíamos viver
sozinhos.”

Jacques Cousteau.

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar se há diferença sazonal no transporte de material particulado em suspensão, em função da maré e da pluviosidade no estuário do rio Mojuim localizado no município de São Caetano de Odivelas (Nordeste Paraense), o qual é um sistema estuarino raso caracterizado pela grande concentração de MPS. Este sistema estuarino é fortemente influenciado pelo regime de macromaré, as quais promovem variações na concentração do material particulado em suspensão (MPS) e, conseqüentemente, acarretam em diversas modificações morfológicas ao longo do rio. Para a quantificação das concentrações de MPS (método gravimétrico), foram coletadas 65 amostras de água em superfície e fundo, com o auxílio de uma garrafa Oceanográfica do tipo Van Dorn, durante um ciclo de maré em três estações de amostragem em um transecto nas margens (MD), esquerda (ME) e meio do canal (M). A obtenção dos dados hidrodinâmicos ocorreu com o auxílio de um ADCP. As concentrações de MPS apresentaram variações sazonais com média de 45,8 mg/L no período de menor índice pluviométrico e 50,0 mg/L no período de maior índice pluviométrico, estas variações também foram observadas no transporte de MPS. O estuário do rio Mojuim é exportador de sedimento nos dois períodos, sendo o transportado cerca de 5,25 a 5,63 mil toneladas e no período de maior índice pluviométrico a exportação foi 6,5 a 7,9 mil toneladas de MPS.

Palavras-chave: Estuários. Oceanografia de Estuários. Variação sazonal. Macromarés. Transporte de MPS.

ABSTRACT

This study aims to evaluate whether there are seasonal differences in the transport of suspended particulate matter, depending on the tide and rainfall on the estuary of Mojuim river located in São Caetano de Odivelas (Northeast Pará), which is an estuarine system shallow characterized by high concentration of MPS. This estuarine system is strongly influenced by macrotidal regime, which promote changes in the concentration of suspended particulate matter (SPM) and, consequently, result in different morphological changes along the river. To quantify the MPS concentrations (gravimetric method) were collected 65 samples the water surface and bottom, with the aid of an Oceanographic bottle type Van Dorn, at a tidal cycle in three sampling stations in a transect the shores (MD), left (ME) and mid-channel (M). The data was obtained from hydrodynamic with the aid of a ADCP. MPS concentrations showed seasonal variations with an average of 45.8 mg / L in the shortest period of rainfall and 50.0 mg / L in most rainfall period, these variations were also observed in MPS transportation. The estuary of the river is Mojuim pellet exporter in both periods, being transported about 5.25 to 5630 tonnes and the period of greatest rainfall export was 6.5 to 7.9 tonnes of MPS.

Keywords: Estuaries. Oceanography of estuaries. seasonal variation. Macromarés. Transport MPS.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Representação dos principais tipos de estuários	6
Figura 2 - Representação esquemática dos principais tipos de estuários de acordo com os processos de mistura.....	9
Figura 3 - Fases da maré de acordo com as respectivas fases lunares.....	14
Figura 4 - A) Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta, São Caetano de Odívelas – PA e B) Pontos de coleta (MD, M E ME).....	31
Figura 5 - Mapa geológico do município de São Caetano de Odívelas.	32
Figura 6 - Mapa geomorfológico do município de São Caetano de Odívelas.....	33
Figura 7 - Carta batimétrica do rio Mojuim.	34
Figura 8 - Estratégias de amostragem e métodos analíticos adotados.....	37
Figura 9 - Perfil esquemático do transecto de amostragem de água no estuário do rio Mojuim, com suas respectivas estações e pontos de coleta.	38
Figura 10 - Garrafa oceanográfica do tipo Van Dorn, utilizada nas coletas em profundidade.....	38
Figura 11 - Filtros de fibra de vidro (A) e balança de precisão (B)..	40
Figura 12 - Variação da concentração de MPS entre as estações de coleta: A) no período de menor índice pluviométrico; B) no período de maior índice pluviométrico..	45
Figura 13 - Variação sazonal de MPS entre as estações de coleta nos períodos de menor e maior índice pluviométrico.	46
Figura 14 - Variação das Médias de MPS em relação à maré nos períodos de maior e menor índice pluviométrico.	49
Figura 15 - Variação da concentração de MPS, nos períodos: A) menor índice pluviométrico; B) maior índice pluviométrico	51
Figura 16 – Comparação entre os métodos de transporte de MPS.....	52

- Figura 17 - Transporte resultante de MPS nos períodos de maior e menor pluviosidade.....53
- Figura 18 - Direção do Transporte resultante de MPS para o rio Mojuim e a rota de exportação nos períodos A) menor índice pluviométrico; B) maior índice pluviométrico, com base nos métodos.....54

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Caracterização das regiões costeiras segundo a altura de maré	13
Tabela 2 - Dados de vazão para os períodos de maior e menor índice pluviométrico.	26

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
EPIÍGRAFE	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	3
2.1 OBJETIVO GERAL.....	3
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	3
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
3.1 ESTUÁRIOS	4
3.2 CLASSIFICAÇÃO DE ESTUÁRIOS.....	4
3.3 PROCESSOS SEDIMENTARES NOS ESTUÁRIOS	9
3.4 FLOCULAÇÃO	9
3.5 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS).....	12
3.6 MARÉ.....	12
3.7 IMPORTÂNCIA DOS ESTUÁRIOS.....	14
4 ARÉA DE ESTUDO	31
4.1 GEOLOGIA.....	17
4.2 GEOMORFOLOGIA	18
4.3 HIDROGRAFIA.....	20
4.4 CLIMA	20
4.5 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS	20
5 MATERIAL E MÉTODOS	22
5.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUA	22
5.1.1 Coleta de água.....	22

5.2	MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO.....	24
5.2.1	Amostragem de dados hidrodinâmicos	40
5.3	TRANSPORTE DE MPS	40
5.3.1	Método I	41
5.3.2	Método II	42
5.4	TRATAMENTO ESTATÍSTICO	28
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	29
6.1	MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO.....	29
6.1.1	Comparação entre as estações de coleta	29
6.2	COMPARAÇÃO ENTRE OS ESTÁGIOS DE MARÉ.....	47
6.3	AVALIAÇÃO INTEGRADA	49
6.4	TRANSPORTE DE MPS.....	52
7	CONCLUSÃO	56
	REFERÊNCIAS	57

1 INTRODUÇÃO

A zona costeira é um ambiente bastante instável, por ser uma região de transição entre o continente e o mar. Segundo Vidigal *et al.* (2006), a modelagem da costa é resultado de processos erosivos ou deposicionais, que podem ser ocasionados pela ação de ondas, marés e das correntes costeiras. O monitoramento da região costeira é fundamental para a identificação da dinâmica e transporte de sedimentos locais, sendo este conhecimento de grande relevância para o planejamento de obras de engenharia em região costeira (Vidigal *et al.* 2006).

Dentre os demais ecossistemas costeiros podemos citar os estuários, que segundo Cameron & Pritchard (1963) “é um corpo de água costeiro semi-fechado, com uma livre ligação com o oceano aberto, no interior do qual a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce oriunda da drenagem continental”.

Os estuários são os grandes responsáveis pela descarga de nutrientes para os oceanos como exposto por Dyer (1973). Devido a uma série de características hidrodinâmicas, as águas estuarinas possuem uma capacidade de renovação cíclica e são biologicamente mais produtivas que as do oceano ou rios. Além disso, é uma região que atua como filtro biogeoquímico por reter concentrações de MPS, nutrientes e metais (Medeiros 2003, Knox 1996, Sollomons & Forstner 1984). Assim o conhecimento do comportamento do transporte de material particulado em suspensão (MPS) é de fundamental importância no sentido da dinâmica sedimentar de rios, estuários e baías (Davies 1985, Gratner 2002).

O município de São Caetano de Odivelas situado no Nordeste Paraense confere certa peculiaridade quanto à dinâmica de sua linha de costa e de compartimentação morfológica, apresentando assim uma diversidade em relação a sua vegetação, que se destaca por sua cobertura vegetal com predomínio de mangue. Este município é banhado pelo rio Mojuim e é considerado um dos principais meios de navegação e sustento para a população local, além de ser o mais importante, pois forma toda a bacia hidrográfica do município de São Caetano e deságua no oceano Atlântico (Maciel 2009).

O conhecimento das características geológicas e hidrodinâmicas deste ambiente contribuem para a compreensão de seu funcionamento e de suas influências sobre outros

corpos d'água menores e maiores, como por exemplo, canais de maré localizados em suas proximidades (Souza Filho 2006).

Para o estuário do rio Mojuim, a grande parte da literatura encontrada aborda temas ligados à fauna ou vegetação estuarina, como a descrição feita por Barros *et al.* (2011) ao coletar registros de ictiofauna na região e Aviz *et al.* (2009) com coletas de macrofauna. Picanço (2008), descreveu a cobertura vegetal da região, Oliveira *et al.* (2006) o registro de fibras vegetais na região, Prost *et al.* (2001) realizou descrições de caráter geológico, onde os resultados são apresentados juntamente com dados do estuário do rio Marapanim. Rocha (2015) analisou as características físicas do estuário do rio Mojuim, entre outros e Baia 2015 fez a setorização sedimentar do rio Mojuim.

Contudo, estudos sobre o transporte de MPS e suas variações quanto à sazonalidade, estágios de maré são restritos na região e segundo Dyer (1973), um dos principais aspectos inerentes à hidrodinâmica estuarina é o transporte de propriedades como (MPS). O estudo do MPS pode fornecer informações valiosas sobre a qualidade da água local, e o conhecimento da hidrodinâmica estuarina, além de ser fundamental para se determinar o tempo de residência destes materiais em um determinado estuário (Clark 2001), Além disso, a transferência do MPS entre o continente e o oceano através dos estuários, também possui grande importância para o conhecimento da evolução costeira (Davies 1985).

Dessa forma, o conhecimento e a análise dos processos hidrodinâmicos atuantes nessa região é uma importante ferramenta para o correto manejo e mitigação de possíveis problemas ambientais (Knox 2006).

Neste contexto o trabalho apresenta a sazonalidade da concentração de MPS ao longo do estuário do rio Mojuim e considerou-se que estas concentrações e o transporte de MPS é influenciado diretamente pela sazonalidade e estágios da maré, as quais condicionam diretamente os processos de erosão, ressuspensão e deposição de partículas no estuário. Este trabalho foi realizado no âmbito do projeto Rede de Hidrologia da Amazônia – RHIA (MCT/FINEP/CT – HIDRO 01/2010).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar se há diferença sazonal no transporte de MPS, em função da maré e da pluviosidade, no estuário do rio Mojuim, localizado no município de São Caetano Odivelas (PA).

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Quantificar o MPS nos períodos de menor (Setembro de 2014) e maior índice pluviométrico (Março de 2015).
- Quantificar as variações das concentrações de MPS entre as estações de coleta.
- Quantificar as variações das concentrações de MPS em relação aos estágios de maré.
- Quantificar o transporte de MPS durante um ciclo de maré nos períodos de maior e menor índice pluviométrico.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 ESTUÁRIOS

Devido à complexidade dos estuários, diversas definições foram atribuídas a este ambiente, considerando os seus aspectos geológicos, físicos, químicos e biológicos. Este trabalho irá utilizar apenas as definições propostas por Pritchard (1967) e Pickard & Emery (1982).

Segundo Pritchard (1967) “estuário como um corpo de água costeira semi-fechada que têm uma conexão livre com o mar aberto sendo, portanto, fortemente influenciado pela ação das marés.”.

Pickard & Emery (1982) diz que estuários são ambientes costeiros de caráter transitório, onde um rio se junta ao mar, que estão sujeitas a intensa ação de forças físicas, dentre as quais se destacam a entrada de água doce e as oscilações de maré.

Estuários são encontrados ao redor do globo em qualquer condição de clima e maré, sendo mais bem desenvolvidos nas planícies costeiras das médias latitudes. Atualmente, como a elevação do nível do mar vem ocorrendo de maneira mais lenta, o preenchimento dos estuários pelos sedimentos vem ocorrendo de maneira mais rápida. Logo, a existência de ambientes estuarinos é função do balanço entre as flutuações do nível do mar e o volume de sedimento carregado pelos rios (Patchineelam 2000).

A flora e a fauna estuarina, representadas principalmente por diversas espécies de peixes, crustáceos e moluscos, estão adaptadas às condições de variação de salinidade, sendo o dinamismo e a alta produtividade biológica as características mais marcantes destes ambientes (Tundise, 2008, Esteves 2011).

3.2 CLASSIFICAÇÃO DE ESTUÁRIOS

Os estuários podem ser classificados de acordo com diversos critérios, tais como: geomorfologia, processos físicos dominantes no meio e o padrão de circulação que caracteriza o ambiente estuarino. Este trabalho abordará principalmente a classificação segundo a geomorfologia e aos processos físicos.

I. Classificação segundo a geomorfologia

Segundo Pritchard (1981), existem quatro tipos de estuário, que foram classificados de acordo com suas características geomorfológicas, sendo elas: Planície costeira (vale inundado), fiorde (altas latitudes), formados por barras e restantes que podem ser visualizadas na Figura 1. Esta classificação leva em consideração os eventos geológicos e geomorfológicos que ocorrem durante sua formação. No entanto Pritchard classifica o estuário do tipo fiorde como típico de regiões que foram cobertas por calotas polares de gelo durante as glaciações do pleistoceno, logo não se aplica a nenhum estuário brasileiro.

a) Estuário do tipo planície costeira

Estes estuários se encontram nas planícies costeiras que se formam durante a transgressão marinha no holoceno, inundando o vale dos rios. São geralmente rasos raramente ultrapassam 30 m de profundidade (Pritchard 1967). O estuário do rio Mojuim se enquadra nesta classificação.

b) Estuário tipo fjord

Os fjords foram formados em áreas recobertas pelas geleiras, em altas latitudes, em regiões montanhosas durante o pleistoceno, atualmente invadidas pelas águas do mar. Suas aberturas foram escavadas durante um nível do mar mais elevado que o atual. Alguns fjords podem chegar a 100 km de comprimento. Seu corte transversal é quase retangular apresentando formato de leito em U (Miranda & Castro 2002).

c) Estuário construído por barra

Estes estuários também são formados com a invasão de vales primitivos, no entanto a recente sedimentação ocasiona a formação de barras em sua foz (Suguió 1992). Devido aos processos erosivos que ocorrem neste estuário, grandes quantidades de sedimentos são retrabalhados pelas ondas e correntes litorâneas (Suguió 1992). O sistema de rios ou rio que nutrem estes estuários apresentam variações na descarga fluvial, com a estação do ano, podendo assim transportar grandes concentrações de

sedimento em suspensão, modificando a geometria da barra ou de sua entrada (Miranda *et al.* 2002).

d) Estuários restantes

Os estuários que não estão classificados como planície costeira e construídos por barras, são genericamente inseridos na categoria restantes. Vários são os processos costeiros que formam estes estuários: tremores, tectonismo, erupções vulcânicas e deslizamento de terras (Suguio 1992). São incluídos nesta classificação, os estuários cuja morfologia foi modificada por processos sedimentológicos recentes como as rias e deltas.

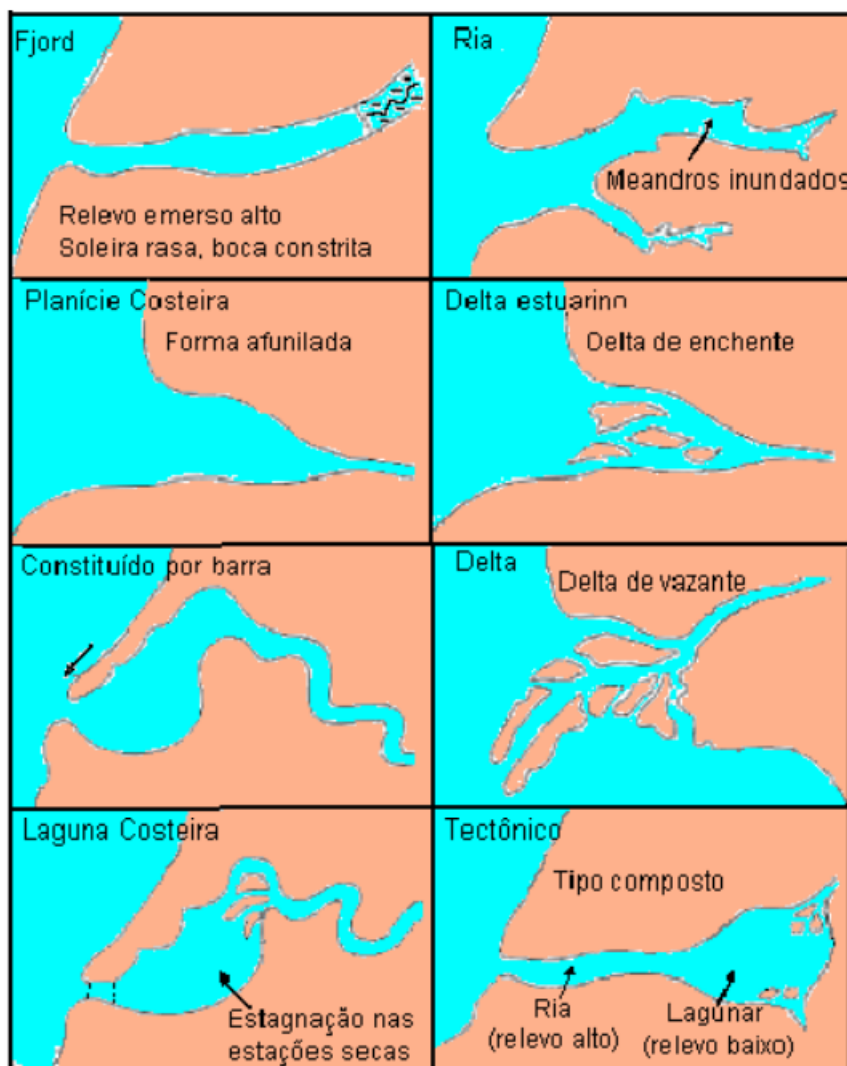


Figura 1- Representação dos principais tipos de estuários
 Fonte: Adaptado de Fairbridge (1980) *apud* Miranda & Castro (2002)

II. Classificação de acordo com os processos físicos

Segundo Stommel (1951) as causas do movimento das águas em estuários podem ser usadas como um princípio classificatório. Sendo assim, têm-se três causas: o vento, a maré e o rio. Em um estuário dominado pelo vento, por exemplo, este é o maior responsável pelo movimento e mistura da água. Em um estuário dominado pela maré é esta que faz essa função. Assim como, quando o domínio é do rio. O estuário do rio Mojuim se enquadra na classificação de dominado por maré.

III. Classificação de acordo com o padrão de circulação estuarina

Classificação feita de acordo com a característica do padrão de circulação e dos processos que controlam o balanço da salinidade, como mostra a Figura 2.

(i) estuários típicos ou normais (em cunha salina, altamente estratificados, parcialmente estratificados e verticalmente homogêneos)

A maioria dos estuários são do tipo normal ou positivo, isto é a salinidade aumenta de montante para jusante. Existe ainda uma nítida tendência para a circulação preponderante se realizar em direção ao mar ao longo de um ciclo de maré completo. Os estuários típicos ou normais podem ser subdivididos em quatro categorias de acordo com o grau de estratificação salina das suas águas:

• Estuários Bem Misturado

Neste estuário o perfil vertical de salinidade é homogêneo, ou seja, a salinidade das águas superficiais é igual à salinidade das águas do fundo. A salinidade da água só varia lateralmente, sendo mais alta na região oceânica e mais baixa em direção ao continente.

• Estuários em Cunha Salina

Estuários típicos ou normais em que existe uma corrente de água salgada junto ao fundo e uma corrente de água doce à superfície, não havendo mistura entre as duas, estas condições são raramente satisfeitas, com a possível exceção de alguns fjordes.

- **Estuários Altamente Estratificados**

Estuários típicos ou normais em que existe uma corrente de água salgada junto ao fundo, uma corrente de água doce à superfície e entre estas uma camada de água com características intermédias separadas por haloclinas marcadas, a maioria dos fjordes pertence a esta categoria.

- **Estuários Parcialmente Estratificados**

Estuários típicos ou normais em que o gradiente salino vertical apresentam graus variados de mistura ou estratificação entre as camadas de água superficial e de fundo que exibem sentidos opostos da direção da corrente, a maioria dos estuários pertence a esta categoria (Exemplos: Estuários do Tamisa, Sena, Tejo, Hudson, Chesapeake).

- **Estuários Verticalmente Homogêneos**

Estuários típicos ou normais em que a salinidade decresce de jusante para montante sem existir um gradiente vertical de estratificação das águas, esta inexistência de um gradiente vertical salino é devida à mistura que ocorre nos estuários pouco profundos sob a influência de fortes correntes provocadas pela maré.

- (ii) **Estuários Hipersalinos**

Estuários que possuem um gradiente salino invertido ou negativo, isto é a salinidade aumenta de jusante para montante. Nas regiões interiores destes estuários o nível médio das águas é menos elevado relativamente à água do mar e o fluxo das águas é predominantemente de jusante para montante, ou seja, no sentido da nascente.

- (iii) **Estuários Fechados**

Estuários temporariamente fechados por uma barra de areia que se deposita na sua embocadura. A amplitude de maré, durante este período é nula, e as correntes de maré inexistentes. A circulação é dependente da corrente água doce residual e da ação dos ventos sobre a superfície das águas. A salinidade pode variar e o estuário pode tornar-se hipersalino ou hiposalino. A variação da salinidade está, sobretudo relacionada

com a evaporação e a passagem por difusão através da barra de areia por um lado e com o caudal fluvial e precipitação por outro.

Patchineelam (2000) salienta ainda que como a circulação das águas de um estuário depende diretamente das condições hidrodinâmicas reinantes. Por exemplo, um estuário parcialmente misturado pode se tornar em um estuário bem estratificado ou de cunha salina. Esta seria uma consequência direta da mudança sazonal da descarga fluvial, numa época de grande precipitação. Além disso, um mesmo estuário pode apresentar dois tipos diversos de estratificação das suas águas simultaneamente.

Quanto à classificação das marés em estuários, uma maré puramente estacionária apresenta as estofas de enchente e vazante coincidindo com os instantes de preamar e baixa-mar.

Uma maré totalmente progressiva possui as estofas de enchente e vazante ocorrendo junto do instante de meia maré enchente e meia maré vazante.

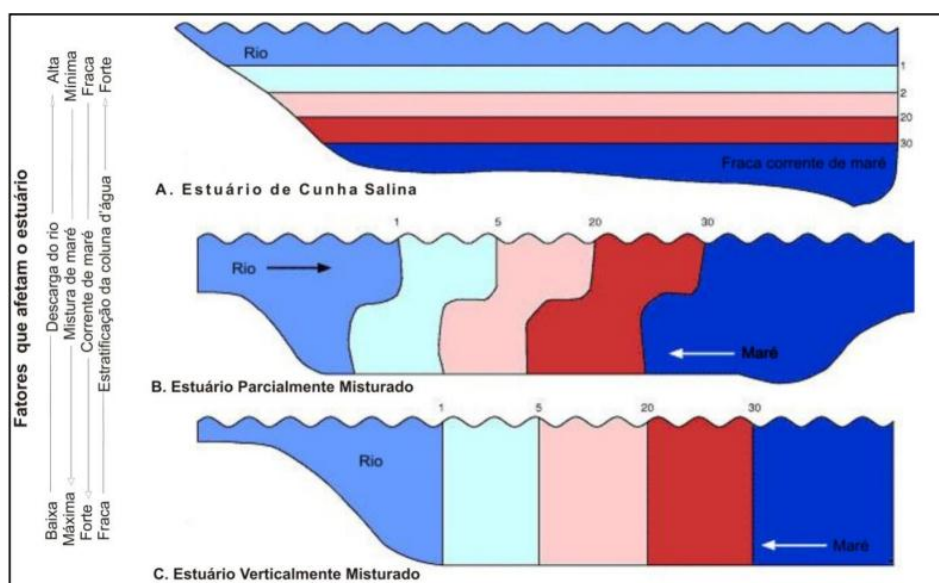


Figura 2 - Representação esquemática dos principais tipos de estuários de acordo com os processos de mistura

Fonte: Adaptado de (Ozcoasts 2008).

3.3 PROCESSOS SEDIMENTARES NOS ESTUÁRIOS

Os estuários são sistemas receptores de sedimentos e este material é recebido pelo aporte fluvial, englobando toda bacia de drenagem; aporte marinho tanto costeiro como aberto; processos de intemperismo e erosão dentro do próprio sistema; além da atmosfera e de sedimentos provenientes de atividade biológica. A dominância de uma

fonte sedimentar será determinada de acordo com sua importância com relação aos outros processos fonte e a dinâmica do ciclo sedimentar (Davis 1985). As fontes sedimentares fluviais e marinhos frequentemente podem ser distinguidas de acordo com a verificação mineralógica da argila, conteúdo de metais pesados, isótopos traços, entre outros (Dyer 1973, Perillo 1996).

De acordo com Davis (1985), dentro do sistema estuarino os processos sedimentares são desencadeados por forçantes de fluxo energético do rio, variações de densidades tanto verticalmente na coluna d'água como longitudinalmente, maré, ondas, além de forçantes meteorológicas. Quatro processos são de fundamental importância dentro de um ciclo sedimentar, sendo eles: erosão de fundo, transporte, deposição e consolidação do fundo.

A erosão é a remoção de sedimentos do fundo pela ação do stress da movimentação da coluna d'água sobre o substrato. Transporte é a movimentação da lama em suspensão na coluna d'água e nas proximidades do fundo pelo fluxo. Deposição envolve os processos de floculação e sedimentação do material coesivo da coluna d'água para o fundo. Consolidação referindo-se a deposição gradual do material com expulsão de água intersticial de acordo com aumento de peso e compactação do sedimento, tendo como consequência o aumento da densidade do fundo e resistência à erosão (Whitehouse *et al.*, 2000, Dyer, 1973, Perillo, 1996).

3.4 FLOCULAÇÃO

Segundo Van Olphen (1977), a floculação é um processo reversível, sendo resultado simultaneamente de agregação e quebra dos agregados. O processo de floculação é um mecanismo fundamental de remoção de partículas da coluna d'água, ocorrendo em função da carga superficial total iônica das partículas, propriedades que dependem de pH e revestimentos orgânicos (Dyer 1973).

A floculação é resultado da interação de três processos, sendo esses: Movimento Browniano, o qual governa a colisão das partículas e conseqüentemente a formação dos agregados; Velocidade de sedimentação diferencial das partículas, estimulando colisões e formação de agregados; Movimento turbulento e cisalhamento turbulento, os quais estimulam tanto a colisão dos flocos para agregação quanto para quebra dos mesmos (Metha & Dyer 1990, Van Leussen 1994, Winterwerp 1999, Winterwerp & Kesteren 2004).

Grande parte do MPS da coluna d'água de origem dos argilo-minerías possui em sua superfície uma carga negativa. Carga que é equilibrada por uma camada de íons positivos ao seu redor. No momento em que ocorre a aproximação entre partículas no meio, ocorre uma repulsão devido à similaridade eletrostática não deixando que aconteça o choque entre as mesmas. O efeito da salinidade atua especificamente na diminuição da força dessa dupla camada elétrica, o que é resultado do enfraquecimento entre o gradiente de íons positivos ao redor das partículas e concentração de íons na coluna d'água. Resultado desse processo é a exposição das partículas a forças intermoleculares de Van der Waals, impulsionando à tendência de floculação das partículas (Dyer, 1973).

Segundo Dronkers (1986) a salinidade associada a outros fatores controlam a intensidade de ocorrência de floculação entre o material particulado em suspensão. Esse processo altera o padrão hidrodinâmico do MPS mudando a densidade, porosidade e a área de superfície dos sólidos suspensos. A agregação de partículas em suspensão é o primeiro passo para desencadear a sedimentação, já que agregados e flocos maiores além de acelerarem o processo de sedimentação, aumentam sua possibilidade de ocorrência. A probabilidade das partículas se agregarem é diretamente proporcional a concentração e conseqüentemente a probabilidade de colisão entre as partículas (Dronkers 1986). Sendo assim, o aumento da colisão e do período de duração desse processo este diretamente ligado ao aumento da concentração das partículas na coluna d'água.

Segundo Dyer, (1973) e Allen, (1968) essa eficiência no processo de colisões entre partículas e microflocos pode ser determinada não somente pela carga elétrica da cada partícula e concentração iônica do meio, mas também por camada orgânica presentes nas partículas e polímeros orgânicos existentes no meio (Dronkers 1986). A presença de matéria orgânica é um fator de incentivo a floculação devido ao aumento de cargas positivas (Dyer 1973). Os flocos podem incluir certa quantidade de matéria orgânica como é o caso de polímeros orgânicos segregados por algas e bactérias os quais apresentam características aderentes que afetam significativamente os processos de agregação de partículas.

3.5 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

O MPS, ou seston, são pequenas partículas que se encontram na água. O MPS é um importante parâmetro físico para a reatividade biogeoquímica em águas superficiais. Altas concentrações impedem a entrada de luz necessária ao processo de fotossíntese, influenciando diretamente a produção primária (Chester 1990, Biggs 1970, Eisma 1993).

Em estuários, o MPS, provém das mais variadas fontes, tais como: os restos de esqueletos e matéria orgânica provindos do oceano; as substâncias inorgânicas, como poeira, trazidas pelo ar; os detritos de vegetação próxima às margens e precipitação de vários óxidos e hidróxidos, principalmente, ferro e manganês – resultantes do intemperismo das rochas; e através de processos internos do estuário como a floculação de componentes orgânicos e inorgânicos que incluem a suspensão dos argilominerais transportados pelo rio, espécie coloidal de ferro e material orgânico dissolvido, como por exemplo matéria húmica (Chester 1990, Baumgarten & Proza 2001). Suas fontes antropogênicas são a matéria orgânica proveniente de esgoto, excrementos de animais e resíduos industriais (Esteves 1988).

Por definição, a distinção entre o material particulado em suspensão e o material dissolvido é arbitrária: partículas com diâmetro maior que 0,45 μm são consideradas em suspensão e menores estão dissolvidos. Portanto, a filtração da amostra deverá ser efetuada para a separação dos elementos em suspensão retidos no filtro e dissolvidos, presentes na amostra filtrada. O material em suspensão total, comumente chamado de material particulado em suspensão ou MPS, pode ser constituído de uma fração mineral ou inorgânica (material mineral ou resíduo fixo em suspensão) e outra orgânica (material orgânico ou volátil em suspensão).

3.6 MARÉ

As marés são oscilações periódicas do nível do mar. As maiores ondas oceânicas estão associadas às marés, que são caracterizadas pela subida e descida rítmica das águas durante o período de aproximadamente 24 ou 12 horas nas marés diurnas e marés semi-diurnas, respectivamente, esta por sua vez é o produto gravitacional entre a lua, o sol e a terra sendo que o sol influencia em menor proporção (Butterworkth & Heinemann 1999).

A maré é uma onda de grande comprimento, porém com exceções dos oceanos profundos, as partículas fluídas chocam-se com o fundo e não podem concluir suas trajetórias como acontece com as ondas normais, produzindo um arrasto da água. Nos estuários e baías os obstáculos impedem o livre movimento giratório, produzindo as correntes de fluxo e refluxo (Pugh 1996).

Pugh (1996) descreveu a maré como movimentos periódicos os quais estão diretamente relacionados, em amplitude e fase, a alguma força geofísica periódica, onde a principal forçante é a variação do campo gravitacional na Terra causada pelo movimento regular dos sistemas lua-Terra e Terra-sol.

De acordo com Davies (1964) as áreas costeiras, ou mesmo regiões interioranas afastadas da costa, mas que ainda apresentam influência da maré podem ser caracterizadas, pela a altura máxima da maré em micro, meso, macro e hipermarés, como mostra a Tabela 1.

Tipo	Altura Máxima
Micromaré	$H_{m\acute{a}x} < 2m$
Mesomaré	$2 < H_{m\acute{a}x} < 4m$
Macromaré	$4 < H_{m\acute{a}x} < 6m$
Hipermaré	$H_{m\acute{a}x} > 6m$

Tabela 1 - Caracterização das regiões costeiras segundo a altura de maré.

Fonte: Adaptado de Davies (1964).

A variação do nível da água é chamada de enchente, quando relacionada à subida das águas, e vazante, quando relativa a sua descida; o nível mais baixo de uma maré chamado de baixa-mar, enquanto que o mais alto, de preamar.

Essa variação também está relacionada ao alinhamento entre lua, sol e Terra, onde durante um evento de lua nova ou lua cheia (quando Terra, sol e lua estão alinhados) temos as maiores preamares e menores baixa-mares, as quais são chamadas de marés de sizígia como pode ser observado na Figura 3. Por outro lado, na passagem da lua crescente ou minguante (quando há a formação de um ângulo reto entre os três astros) há uma menor oscilação do nível d'água em relação à média, ao que se denomina de marés de quadratura (Garrison 2010).

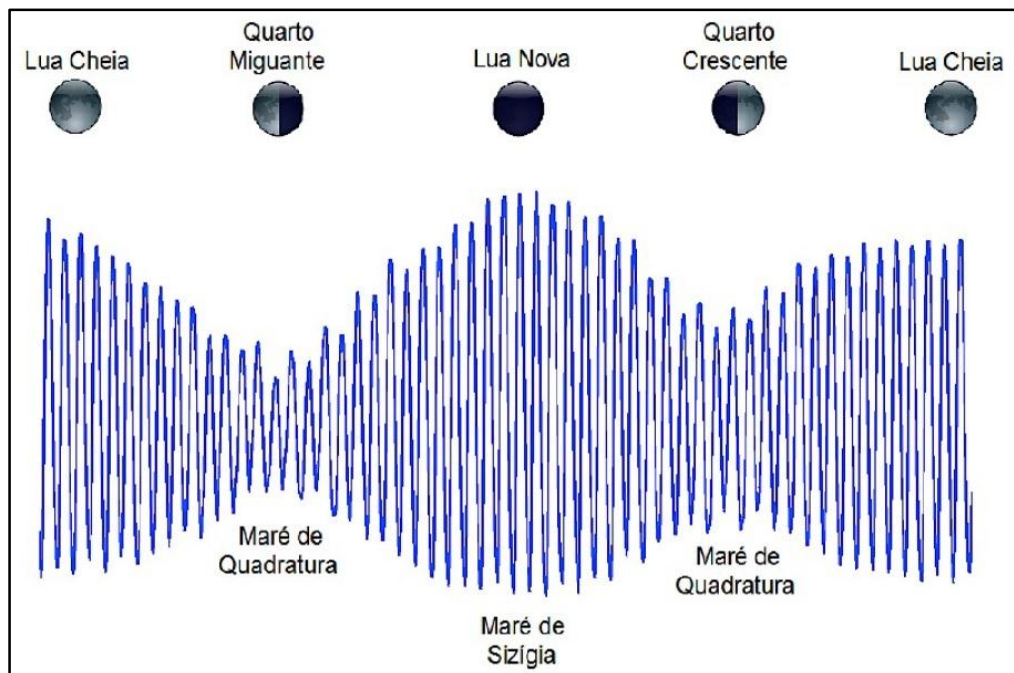


Figura 3 - Fases da maré de acordo com as respectivas fases lunares.
Fonte: Santos (2013).

A partir dos movimentos de enchente e vazante são produzidas as correntes de maré, que aumentam à medida que a onda de maré é introduzida em águas rasas. Em canais restritos, como estuários, as correntes de maré fluem em uma direção durante metade do ciclo de maré e na direção oposta durante a outra metade do ciclo. Por outro lado, em grandes bacias, estuários de grande escala e em oceano aberto as correntes de maré tendem a estar em constante mudança de direção devido à influência da força de Coriolis (Butterworth & Heinemann 1999).

3.7 IMPORTÂNCIA DOS ESTUÁRIOS

Segundo Medeiros (2003), os estuários fornecem alimento e habitat a uma grande quantidade de organismos bentônicos e pelágicos como papel determinante na cadeia alimentar marinha. Essa razão seria suficiente para serem reconhecidos como zonas ecologicamente importantes que devem ser preservadas.

As águas doces descarregadas pelos rios transportam grandes quantidades de nutrientes e de matéria orgânica para os estuários, criando condições para o desenvolvimento dos produtores primários é conseqüentemente de uma cadeia alimentar muito ativa (Miranda *et al.* 2002, Clark, 2001).

Os estuários também fornecem proteção contra predadores. As vastas zonas de baixa profundidade localizadas no interior dos estuários oferecem proteção a ictiofauna juvenil. O tempo de residência da água em seu interior cria condições para que ovos de peixes pelágicos eclodam no interior do estuário, permitindo assim o desenvolvimento das larvas em zonas mais pelágicas e ricas em alimentos (Miranda *et al.* 2002).

Os rios descarregam também grandes quantidades de materiais finos que se depositam em grande parte no interior do estuário formando zonas de baixas profundidades normalmente ricas em matéria orgânica, que constituem habitat para grandes variedades de espécies bêntônicas e para aves. Apesar da elevada turbidez, a baixa profundidade permite uma elevada produção primária. Os estuários são também caminhos para espécies que passam uma parte de sua vida no rio e outra parte no mar, perturbações nesse ecossistema trazem grandes consequências negativas para a migração dessas espécies (Medeiros 2003, Clark 2001, Knox 2006).

4 ÁREA DE ESTUDO

O estuário do rio Mojuim, localizado no município de São Caetano de Odivelas pertence à mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião do Salgado, tendo como limites ao Norte o Oceano Atlântico, a Leste os municípios de Curuçá, São João da Ponta e Terra Alta e ao Sul e Oeste Vigia, como mostra a Figura 4.

São Caetano de Odivelas possui localização geográfica de Latitude: 00° 45' 00" S Longitude: 48° 01' 12" O e altitude média de 5 metros, a população é de 16.891 habitantes e sua área da unidade territorial é de 743,46 quilômetros quadrados (Instituto Brasileiro de Geografia e Economia - IBGE 2010).

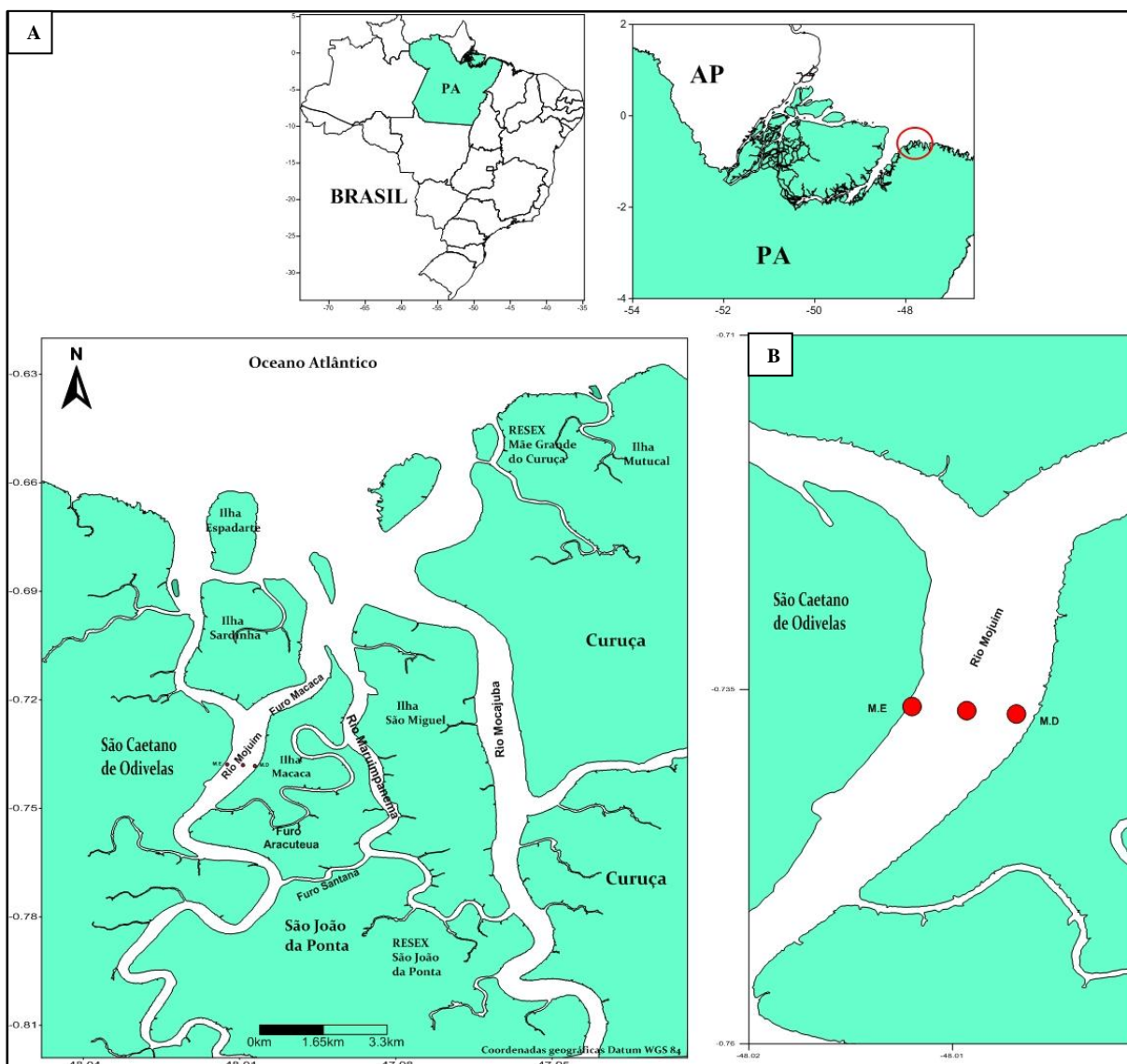


Figura 4 - A) Mapa de localização da área de estudo e pontos de coleta, São Caetano de Odivelas – PA e B) Pontos de coleta (MD, M E ME).

Fonte: Do autor

4.1 GEOLOGIA

Os terrenos do município de São Caetano de Odivelas são muito recentes na escala do tempo geológico (menos de dois milhões de anos). Todo o território do município pertence ao Período Neogeno, sendo que 26,9 % pertence à Época Holoceno, mais recente, e 73,1 % a Época Pleistoceno mais antiga, Figura 5 (Ministério Do Meio Ambiente - MMA 2014).

O Pleistoceno é caracterizado por uma cobertura detrito-laterítica que apresenta as seguintes características: sedimentos argilo-arenosos amarelados, caoliníticos, alóctones e autóctones, parcial a totalmente pedogenizados, gerados por processos alúviocoluviais (IBGE 2010).

O Holoceno é caracterizado principalmente pelos depósitos de pântanos e mangues, constituídos por sedimentos predominantemente pelíticos, argilo-siltosos, com muita matéria orgânica, restos de madeira e conchas, em ambiente fluviomarinho e/ou litorâneo. Menos expressivos são os depósitos marinhos litorâneos, que são os depósitos arenosos de praias e restingas atuais da área amazônica, compostos por areias bem classificadas, inconsolidadas, de granulação fina a média e contendo restos de animais (IBGE 2010).

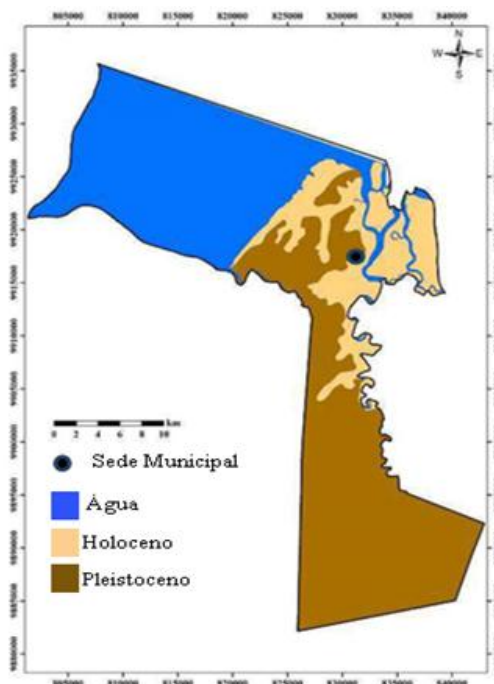


Figura 5 - Mapa geológico do município de São Caetano de Odivelas
Fonte: Adaptado de MMA(2014).

4.2 GEOMORFOLOGIA

A geomorfologia de São Caetano de Odivelas encontra-se compartimentada em três classes: Planície, Pediplano e Tabuleiro. Os Tabuleiros cobrem a maior parte do município com 76,7 %; a Planície é a segunda classe em importância com 22,4 %, e o Pediplano, é a classe de menor área com apenas 1 % do território, Figura 6 (MMA 2014).

Os Tabuleiros e os Pediplanos situam-se no Domínio das Bacias Sedimentares e coberturas inconsolidadas, e representam as áreas que num passado geológico foram áreas de deposição, mas atualmente sofrem processos erosivos. As Planícies situam-se no Domínio dos depósitos sedimentares inconsolidados (IBGE 2010).

A Planície é resultante de um Modelado de Acumulação. Ela é uma área plana resultante da combinação de processos de acumulação fluvial e marinha, sujeita ou não a inundações periódicas, podendo comportar canais fluviais, manguezais, cordões arenosos e lagunas. Ocorre nas baixadas litorâneas, próximo às embocaduras fluviais (IBGE 2010). Nesta classe encontram-se tanto as planícies fluviomarinhas (áreas de mangue) quanto às planícies marinhas (praias).

Os tipos de solo que predominam no município de São Caetano de Odivelas são: Latossolo Amarelo Textura Média, Concrecionário Laterítico e Solos Indiscriminados de Mangues (Secretaria Executiva de Ciência e Tecnologia - SECTAM 2003).

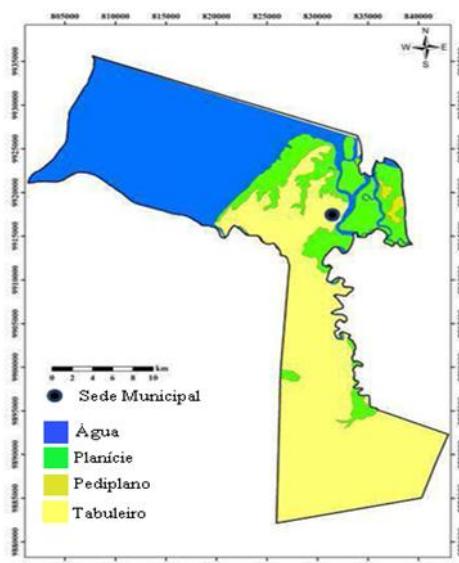


Figura 6 - Mapa geomorfológico do município de São Caetano de Odivelas.
Fonte: Adaptado de (MMA, 2014).

Quanto à geomorfologia do estuário do rio Mojuim identifica-se duas regiões distintas, sendo a primeira uma área de depressões, de modo que a ação das correntes erodiu a calha do rio e por consequente provocou um aumento da profundidade neste local. A segunda é uma área de deposição de sedimento, ocorrendo diminuição da profundidade, como mostra a Figura 7.

Em áreas de baixa velocidade de corrente é comum não haver pontos preferenciais de deposição ou erosão sedimentar. Tal fato ocorre principalmente em trechos retilíneos do rio resultando em baixas profundidades. E no estuário do rio Mojuim esses valores ficam entre 4 m e 9 m.

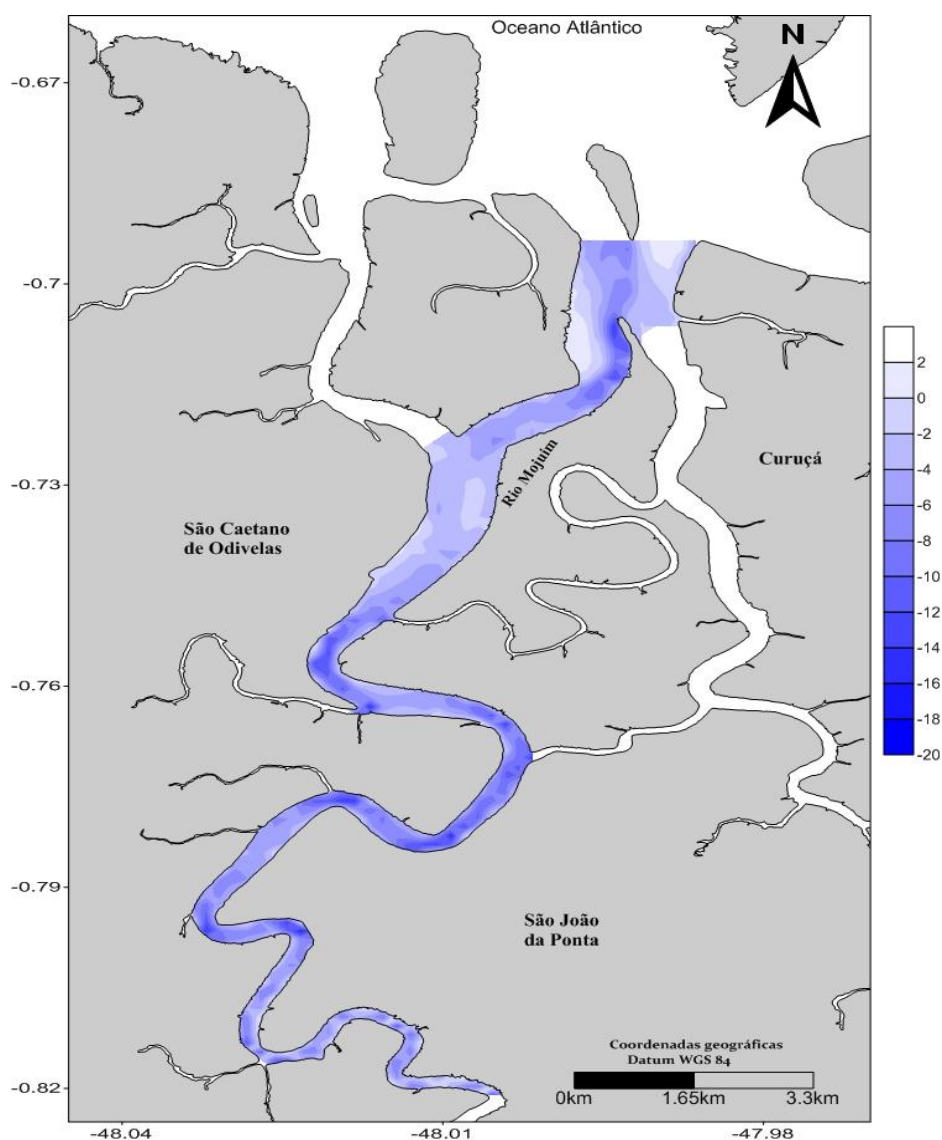


Figura 7 – Carta batimétrica do rio Mojuim.
Fonte: Rocha (2015).

4.3 HIDROGRAFIA

Os rios Mocajuba e Mojuim que servem ao município de São Caetano de Odivelas encontram-se no sentido sul-norte, desaguando no Atlântico (MMA 2014).

O rio Mojuim forma toda a bacia hidrográfica do município, após entrar no território de São Caetano, a sudeste, segue em direção norte e desagua no Atlântico, banhando antes a vila Perseverança, o povoado Porto Guarajuba e a sede municipal (IBGE 2010).

Destaca-se também, o rio Mocajuba, que banha as vilas de São João da Ponta e Boa Vista e serve de limite natural, a leste, com o município de Curuçá e o rio Barreta, a noroeste que serve de limite natural com o município de Vigia (IBGE 2010). Outro componente importante da hidrografia do município são os chamados “furos”, que ocorrem nas áreas mais baixas, próximas ao litoral. Esses “furos” são canais naturais, geralmente utilizados como “atalhos” na navegação fluvio-marinha. Dentre os furos, destacam-se Macaca, Aracuteua e Santana, este último servindo de limite natural com São João da Ponta (MMA 2014, IBGE 2010).

4.4 CLIMA

O clima da região é equatorial amazônico do tipo Am, segundo a classificação de Köppen. A região apresenta temperatura média anual é de 27 °C com pequena amplitude térmica e média de precipitação anual de 2.500mm (Martorano 1993). A variação temporal de precipitação compreende dois períodos, o período de alto índice pluviométrico, que ocorre, geralmente, nos meses de janeiro a julho, com média de 1.657mm e, o período de baixo índice pluviométrico nos meses de agosto a dezembro, com média de 487 mm (Moraes *et al.* 2005).

4.5 ASPECTOS OCEANOGRÁFICOS

O município de São Caetano de Odivelas possui como um importante fator costeiro as marés, e se caracterizam por um regime de meso a macromarés, com amplitude máxima de 5,5m (dados do Fundeadouro de Salinópolis), amplitude média de 4,8m na maré de sizígia e 2,5m no período de quadratura. (Rocha 2015). O estuário do

rio Mojuim, especificamente, apresenta maré simétrica, com enchente e vazante se desenvolvendo, praticamente, com o mesmo intervalo de tempo. Além disso, está sob o regime de macromarés semidiurnas (Rocha 2015).

A salinidade aumenta nas enchentes e diminui nas vazantes, isso no período seco e no chuvoso, respectivamente. No período seco, as águas são notavelmente mais salinas que no período chuvoso. O estuário do rio Mojuim é bem misturado nos dois períodos, mas verticalmente homogêneo no chuvoso e altamente estratificado no seco (Rocha 2015).

5 MATERIAL E MÉTODOS

A Figura 8 é mostra o fluxograma com as estratégias de amostragem é métodos analíticos utilizados este trabalho.

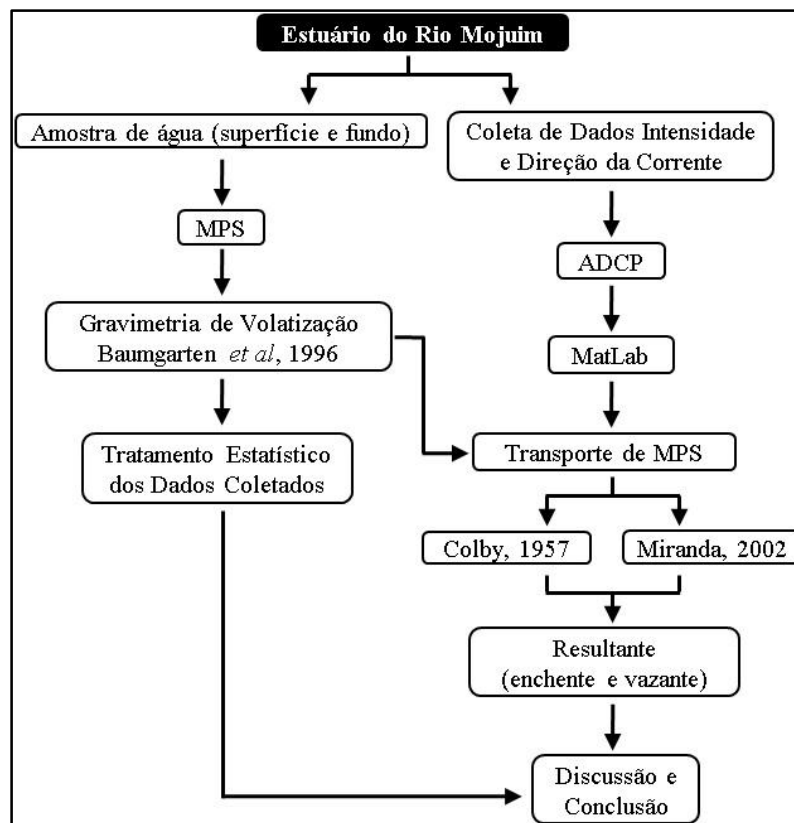


Figura 8 - Estratégias de amostragem e métodos analíticos adotados.

Fonte: Do autor

5.1 AMOSTRAGEM DE ÁGUA

5.1.1 Coleta de água

No estuário do rio Mojuim as amostragens foram realizadas ao longo da coluna d'água em três estações fixas, sendo estas: margem direita (MD); margem esquerda (ME) e meio (M).

As coletas hidrológicas foram realizadas ao longo de um ciclo de maré de 13 h, levando em consideração a sazonalidade da região e a influencia da maré. Todas as campanhas foram realizadas durante a maré de sizígia, no período equinocial, sendo a primeira campanha no período de menor pluviosidade Setembro de 2014, quando ocorre

o mínimo de precipitação, aproximadamente 100 mm, e a segunda ocorreu em Março de 2015, no período de maior precipitação, aproximadamente 500 mm.

A amostragem na coluna d'água ocorreu em um transecto no estuário do rio Mojuim, no sentido Margem esquerda para margem direita. Em cada ponto de coleta foi realizado amostragem de água de superfície e fundo (Figura 9), exceto na margem esquerda que por conta de sua baixa profundidade, só foi possível realizar coletas superficiais, as quais representam bem toda a coluna d'água. Todas as amostragens de água foram feitas com o auxílio de uma garrafa oceanográfica do tipo Van Dorn com capacidade para 5 litros de água, como mostra a Figura 10. Aproximadamente 500 ml das amostras de superfície e fundo de água foram transferidas para garrafas pets, sendo preservadas e resfriadas até a chegada ao laboratório de Oceanografia Geológica e Geofísica Marinha (LIOG) da Universidade Federal do Pará.

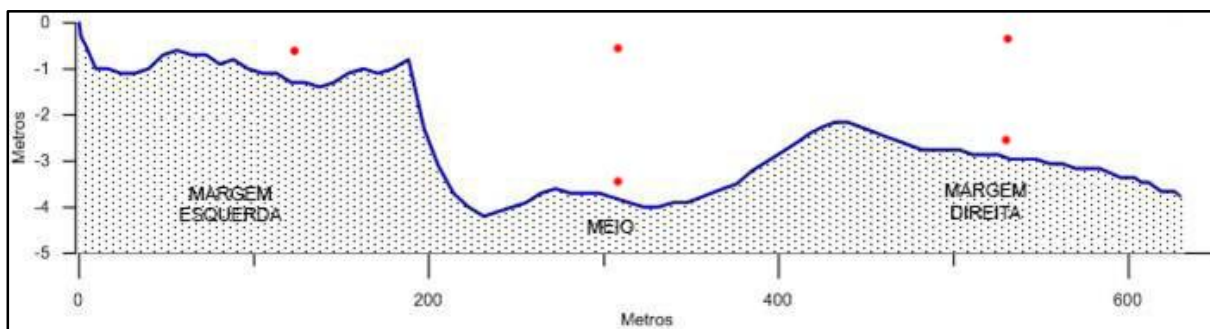


Figura 9 - Perfil esquemático do transecto de amostragem de água no estuário do rio Mojuim, com suas respectivas estações e pontos de coleta

Fonte: Adaptado de Rocha (2015).



Figura 10 - Garrafa oceanográfica do tipo Van Dorn, utilizada nas coletas em profundidade

Fonte: Do autor

5.2 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

O material particulado em suspensão presente nas águas estuarinas do Mojuim foi determinado por gravimetria de volatilização, segundo a metodologia de Strickland & Parsons (1972) com modificações descritas em Baumgarten *et al.* (1996).

No laboratório, cerca de 250 ml das amostras de água foram filtradas através de uma bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração Millipore com filtros de fibra de vidro, do tipo GF/F Whatman, com 0,45 µm e 47 mm de diâmetro previamente pesados (Peso 1), como mostra a Figura 11(A).

Após esse processo, o filtro contendo as suspensões foi transferido cuidadosamente, com uma pinça, para uma placa de Petry e foi seco a 30° C por duas horas em uma estufa. Logo após esse processo, os filtros foram transferidos para um dessecador e depois de no mínimo duas horas, foram pesados novamente em uma balança de precisão (Peso 2), como mostra a Figura 11 (B). A diferença entre os pesos dos filtros antes e após a filtração (Peso 1 e Peso 2, respectivamente) forneceu o peso do material particulado em suspensão para um exato volume filtrado.

$$\text{MPS} = \frac{[(p_2 - p_1) - \text{Br}] \cdot 10^6}{V(\text{mL})}$$

Onde:

P2 (g) = Peso do filtro com o material em suspensão seco

P1 (g) = Peso do filtro vazio e seco

V (mL) = Volume da amostra filtrada

10⁶ = Fator de conservação de unidade de mg/L

Br = Valor da prova em branco (mg/L)

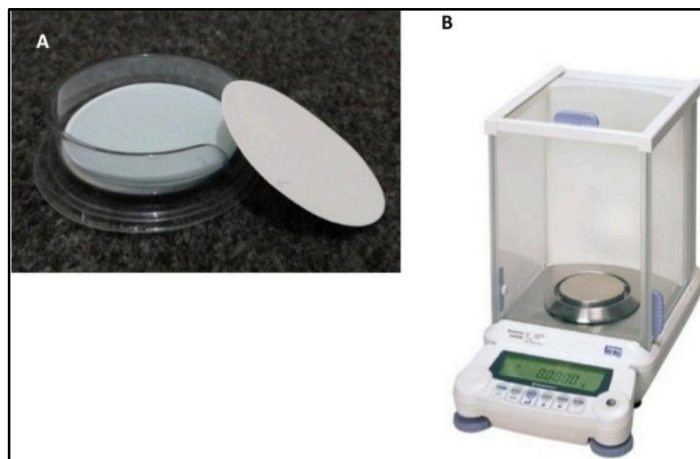


Figura 11 - Filtros de fibra de vidro (A) e balança de precisão (B).
Fonte: Adaptado de Nobre (2014).

5.2.1 Amostragem de dados hidrodinâmicos

Para a caracterização do padrão de circulação foram utilizados os dados de vazão, direção e intensidade da corrente coletados por Rocha (2015).

Os dados foram obtidos com uso de um perfilador acústico de corrente (*Acoustic Doppler Current Profiler - ADCP*) modelo *Teledyne RD Instrument*, tipo *workhorse* Rio Grande, acoplado a uma embarcação a qual foi programado para operar a 600 kHz, no modo *bottom track* (ou direcionado para baixo).

Os parâmetros foram analisados durante 13 horas perfazendo um ciclo completo de maré de caráter semi-diurno. Durante o período de maior pluviosidade os dados não foram coletados corretamente, pois houve um problema operacional, por isso foram utilizados os dados coletados por Rocha (2015), no período de março de 2014. Estes dados são representativos para o período de realização do trabalho.

5.3 TRANSPORTE DE MPS

Os dados de vazão foram adquiridos a partir da dissertação de Rocha (2015), conforme a tabela 2. O transporte de MPS foi calculado por dois métodos para uma melhor avaliação dos valores de importação e exportação de MPS durante um ciclo de maré 13h. Consideraram-se os métodos descritos por Colby (1957) e por Miranda (2002) que são amplamente utilizados para cálculos em ambientes fluviais e estuarinos, respectivamente. As principais diferenças entre os dois métodos está descrita abaixo.

Seção	Período de menor índice pluviométrico		Período de maior índice pluviométrico	
	ADCP	Miranda	ADCP	Miranda
1	-1252	-1339	-2459,7	-2589,9
2	-1725	-1740	-1960,2	-2039,8
3	-2301	-1454	1306,2	1326,3
4	-1580	-1237	3992,3	3905,7
5	-1499	-1099	3069,4	2978,7
6	-848,1	-902,2	1430,7	1440,6
7	1703,6	1701,6	1182,6	1211,7
8	3431	2704,4	813,6	822,3
9	2086,9	1922,9	-456,4	-504,9
10	1304,2	1232,1	-1360,5	-1409,7
11	835,67	693,11	-2183,9	-2299,9
12	576,89	534,55	-2351,3	-2472,1
13	-552,1	-877,8	-2608,6	-2725,6

Tabela 2 – Dados de vazão para os períodos de maior e menor índice pluviométrico.

Fonte: Do autor

5.3.1 Método I

O transporte de MPS em toneladas por dia (Q_{SS}) pode ser calculado segundo Colby (1957) a partir da seguinte equação:

$$Q_{SS} = 0,864 \cdot Q \cdot C_{SS}$$

Onde:

0,864 = fator de conversão de tonelada por dia;

Q = transporte de volume (m^3/s);

C_{SS} = concentração de sólidos em suspensão (mg/L);

Para a obtenção do transporte de MPS (Q_{SS}) foi modificado o método simplificado de Colby (1957), incluindo à ação da maré diferente da equação original que está relacionada há um movimento unidirecional, onde foi considerado que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a seção transversal, ficando igual ao produto do transporte de volume pela concentração de MPS e incluindo o tempo de ação da maré enchente ou vazante, através da seguinte equação:

$$Q_{ss} = t (f \text{ ou } e) \cdot Q \cdot C_{ss} / 10^6$$

Onde:

10^6 = fator de conversão de miligramas para tonelada;

Q_{ss} = transporte de sedimento em suspensão (t/e ou t/v);

t = tempo de enchente ou vazante da medição (em segundos);

Q = transporte de volume da + f (enchente ou flood) ou - e (vazante ou ebb) (m^3/s)

ADCP;

C_{ss} = média de concentração de sólidos em suspensão (mg/L) da f ou e

Depois de calcular o transporte de MPS na enchente e na vazante, calculou-se o transporte resultante para um ciclo de maré, converteu-se a unidade do transporte de sedimento para toneladas por ciclo de maré (t/cm) e o transporte resultante através da seguinte fórmula:

$$RQSS = - QSS (e) + QSS (f);$$

5.3.2 Método II

O transporte de MPS, assim como o transporte de volume foi adaptado a partir das equações de fluxo e transporte de propriedades de Miranda *et al.* (2002). Neste trabalho foi convencionado que os valores de velocidades que adentram o rio são negativos, e rio afora, positivo, relação esta mantida para o cálculo do transporte. A unidade do transporte de sedimento foi convertida para toneladas por ciclo de maré (t/cm), calculando-se posteriormente o transporte resultante de MPS, com uso da seguinte equação.

$$Q_{ss} = \frac{1}{T} \int_0^T \bar{u} [C_{ss}] A 10^6 dt;$$

Onde:

10^6 = Fator de conservação de miligrama para tonelada;

\bar{v} = velocidade longitudinal média;

T = tempo de duração em segundos do transecto da vazante e enchente;

A = área total da seção (m²);

C_{ss} = média no tempo da concentração de sólidos em suspensão (mg/L) da enchente e vazante;

5.4 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

Para verificar o padrão de variação sazonal entre as estações de amostragem, períodos de menor e maior índice pluviométrico, e estágios da maré de forma integrada, optou-se pelo uso do teste de análise de variância (ANOVA), a qual supera problemas que ocorrem ao processar os dados como: colinearidade e lacunas de dados. Para a confirmação da significância entre os valores testados foi aplicado o teste de tukey, também chamado de diferença honestamente significativa (DHS).

6 RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1 MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO

Os resultados deste trabalho serão apresentados considerando as seguintes variáveis: sazonalidade climática, a influência da maré e estações de amostragem. Todas as campanhas foram realizadas sob condição de maré de sizígia, com amplitudes oscilando entre 3,6 a 4,2 (período de menor índice pluviométrico), 4,7 a 5,4 (maior índice pluviométrico).

6.1.1 Comparação entre as estações de coleta

No período de menor índice pluviométrico (Setembro 2014), os valores de MPS seguiram um padrão com menores valores em superfície e maiores no fundo, com média de 39,0 mg/L e 56,0 mg/L, respectivamente. Os mínimos e máximos encontrados tanto em superfície quanto em fundo foram de 12,0 mg/L e 92,1 mg/L. Os valores de MPS foram maiores próximo ao fundo devido a maior influência da hidrodinâmica nos sedimentos de fundo (Cancino & Neves 1999)..

A estação correspondente a MD possui valores variando de 12,0 mg/L a 92 mg/L na superfície e no fundo. O M possui concentrações variando entre 12 mg/L e 72 mg/L em superfície e 20 mg/L a 72 mg/L no fundo. A ME, por conta de sua baixa profundidade possui valores apenas em superfície, sendo o máximo de 72 mg/L e mínimo de 12 mg/L, como na Figura 12(A).

No período de maior índice pluviométrico (Março 2015) os valores de MPS seguiram um padrão diferente dos encontrados na primeira coleta (Setembro 2014), pois as concentrações de MPS em superfície e fundo possuem valores próximos com média de 50,3 mg/L em superfície e 49,5 mg/L em fundo.

Os valores de superfície variam de 20,4 mg/L a 94,4 mg/L, enquanto que no fundo estes valores foram de 34,8 mg/L a 94,8 mg/L.

A MD possui valores em superfície variando de 32 mg/L a 94,4 mg/L, e no fundo estas concentrações foram de 29,2 mg/L a 94,8 mg/L. O M possui valores em superfície de 32 mg/L a 71,2 mg/L, no fundo estas concentrações variam de 32 mg/L a 68,4 mg/L. A ME, por sua vez possui concentrações de 20,4 mg/L a 86 mg/L em superfície, como mostra a Figura 12(B).

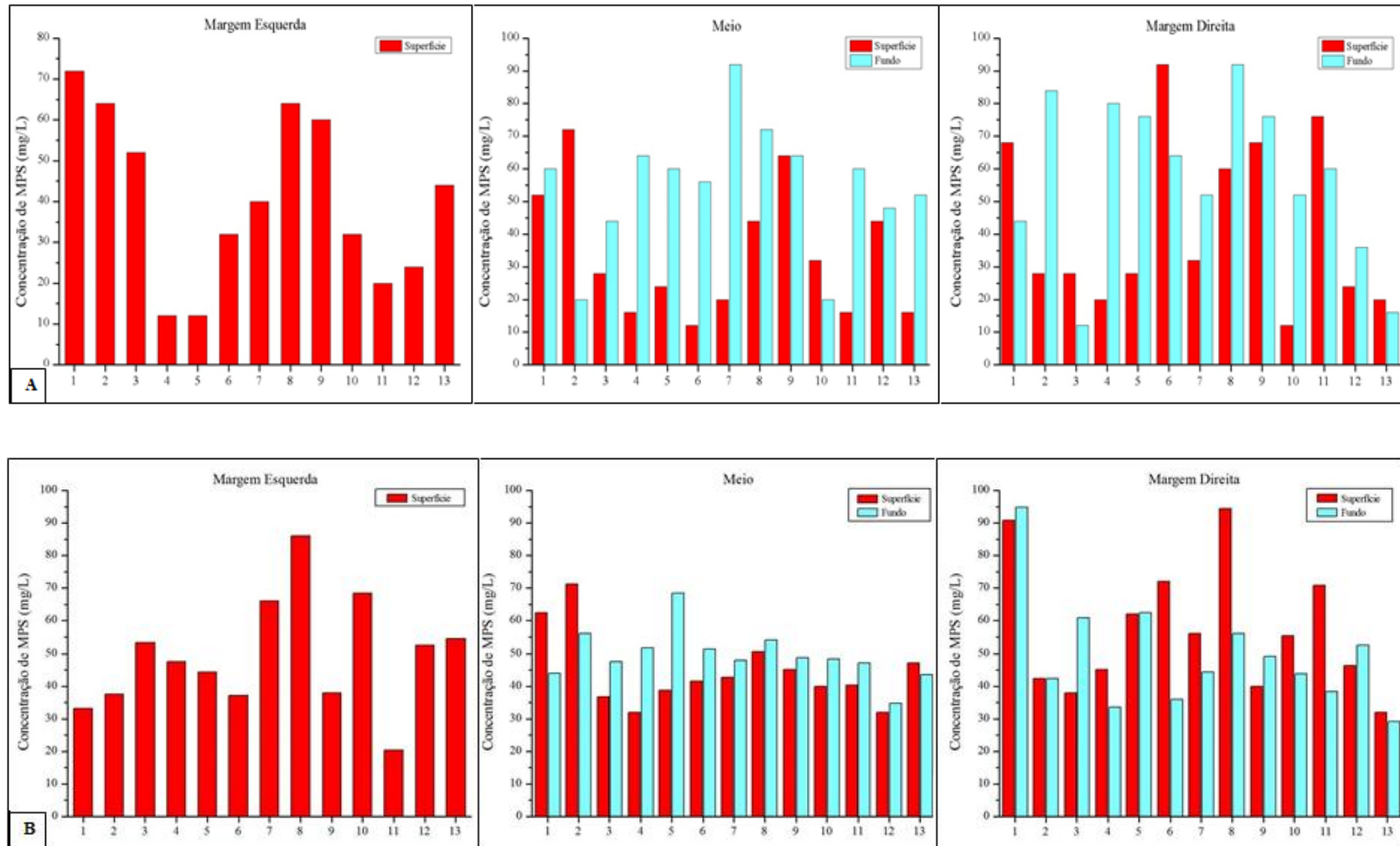


Figura 12 - Variação da concentração de MPS entre as estações de coleta: A) no período de menor índice pluviométrico; B) no período de maior índice pluviométrico.

Fonte: Do autor

Relacionando sazonalmente as três estações de amostragem (MD, M e ME), foi possível observar que a margem direita MD obteve os maiores valores de MPS em superfície e fundo dos dois períodos (maior e menor índice pluviométrico), seguido do meio M e margem esquerda ME, como ilustrado na Figura 13.

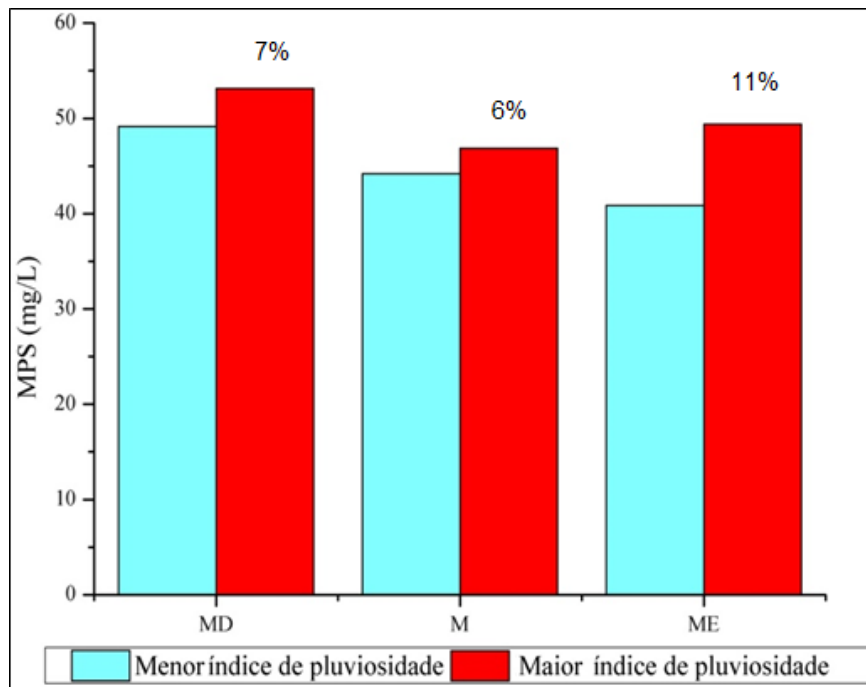


Figura 13 - Variação sazonal de MPS entre as estações de coleta nos períodos de menor e maior índice pluviométrico.

Fonte: Do autor.

Constatou-se que no período de maior índice pluviométrico houve um aumento de 7 % nas concentrações de MPS na MD, 6% no M e 11 % ME, em relação ao período de menor índice pluviométrico. Isto pode se dar por uma série de fatores, dentre eles podemos citar a morfologia da região, a composição do agente transportador, no caso da área de estudo os rios, influencia do aporte hídrico proveniente de outras bacias e principalmente o regime pluviométrico da região, visto que à medida que os índices pluviométricos aumentam e o nível das águas também sobe, há um crescimento do carreamento de material particulado em suspensão para os rios (Perreira 2006).

Comparando os valores obtidos neste trabalho com outros de regiões com características similares, Kineke & Sternberg (1992, 1995) no âmbito do projeto do AmasSeds (A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study) identificaram na zona

costeira amazônica a concentração de MPS na ordem de 10 até 100 mg/L, observadas nas camadas inferiores entre 2 - 4 m na região interna e no meio da plataforma.

Monteiro (2009) analisando longitudinalmente o valor de MPS no rio Paracauari em três períodos distintos, encontrou no período chuvoso valores entre 62 mg/L até 115,66 mg/L com média 93,72 mg/L; no intermediário valores entre 19,33 até 63 com média de 37,19 mg/L; e no período seco valores entre 12,14 até 18,91 com média de 15,18 mg/L. Confirmando que as maiores concentrações de MPS ocorrem no período chuvoso, também encontrado por Ferreira (2013) no rio Paracauari. Similarmente Zhang *et al.* (2007) realizou amostragem no estuário Changjiang (rio Yangtze), encontrou concentrações de MPS variando entre 100-500 mg/L na estação Datong, que está 625 km a montante da foz, enquanto que na estação de Xuliujing, próximo da foz, variou entre 50-250 mg/L na superfície e de 75-500 mg/L no fundo. Na zona de máxima turbidez do estuário do Changjiang alcançou concentrações perto do fundo entre 1500 e 3000 mg/L, sendo 5 vezes maior do que na superfície, enquanto mais afastadas da costa a concentração diminuí até 50 mg/L.

Bradley & Philip (1999) atribuíram que, em geral, os estuários tropicais apresentam elevadas concentrações de MPS durante o período chuvoso, quando ocorre o alagamento das áreas adjacentes ao estuário. Já durante o período menos chuvoso, as baixas concentrações de sedimentos em suspensão nos estuários tropicais, refletem provavelmente a sua natureza quase intocada, com suas concentrações controladas principalmente pela energia dos ventos e das marés.

Assim, entende-se que o domínio de maré, o aporte hídrico-sedimentar terrígeno e/ou a diluição das águas estuarinas influenciam diretamente na concentração de MPS no estuário do rio Mojuim, sendo este semelhante aos demais estuários da região amazônica.

6.2 COMPARAÇÃO ENTRE OS ESTÁGIOS DE MARÉ.

No período de menor índice pluviométrico as concentrações de MPS seguiram um padrão onde as menores concentrações foram encontradas durante a enchente e os maiores durante a vazante com médias de 42,1 mg/L e 49,0 mg/L, respectivamente.

Na maré enchente as concentrações de MPS variaram de 12,0 mg/L a 72,0 mg/L, enquanto que na vazante a variação foi de 12,0 mg/L a 92,1 mg/L. As maiores concentrações de MPS ocorreram durante a vazante, não podendo ser atribuído a velocidade das correntes para este período, pois como visto por Rocha (2015), as correntes no estuário do

rio Mojuim variam de 0,2 a 1,67 m/s na vazante, enquanto que na enchente estes valores são quase duas vezes maiores sendo 0,4 a 1,9 m/s .

Assim estima-se que a elevação da concentração de MPS, ocorreu por conta de alguns fatores como, os fluxos de vazante ocorrerem predominantemente pela MD e esta estação de coleta possuem os maiores valores de MPS em superfície e fundo dos dois períodos analisados. Outro fator que influencia neste aumento é a redução do aporte hídrico no estuário gerando um transporte turbulento das partículas mais finas e a intrusão de águas salinas no estuário gerando um grande carreamento do material particulado presente no fundo e nas camadas intermediárias do estuário, acarretando uma maior remobilização do MPS.

No período de maior índice pluviométrico as concentrações de MPS seguiram um padrão semelhante aos encontrados no período anterior, com valores menores durante a enchente e maiores na vazante, com respectivas médias de 44,8 mg/L e 48,7 mg/L.

Segundo Rocha (2015), durante o período de maior índice pluviométrico ocorreu a intensificação das correntes de vazante 0,6 a 1,8 m/s em relação as de enchente, podendo assim influenciar diretamente na concentração de MPS na estação referente a MD, além disso, deve-se considerar que os fluxos de vazante ocorrem predominantemente por este lado do estuário.

Durante a enchente a maior concentração de MPS, tanto em superfície (90,8 mg/L) quanto em fundo (94,8 mg/L), foi registrada na MD; e a menor concentração (32 mg/L de superfície e fundo) ocorreu no M.

Com base nos dados foi possível observar que o estuário do rio Mojuim responde as oscilações da maré, onde o período de maior índice pluviométrico possui a maior média das concentrações de MPS na maré enchente e vazante 50 mg/L e o período de menor índice pluviométrico possui as menores 45,8 mg/L, como mostra a Figura 14. Isto pode se dar em decorrência das elevadas quantidades de partículas oriundas das rochas e do material orgânico que são lixiviados durante este período em consequência dos elevados índices pluviométricos da região. O declínio das concentrações ocorre possivelmente devido à diminuição dos índices pluviométricos e da desestabilização coloidal resultante da entrada de águas salinas no estuário (Perreira 2006).

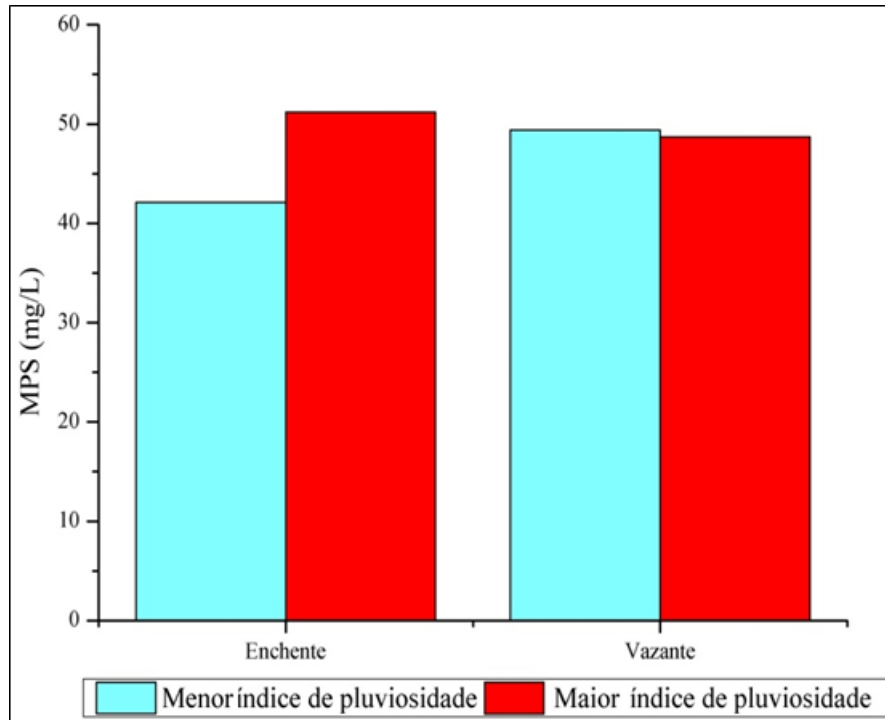


Figura 14 - Variação das Médias de MPS em relação à maré nos períodos de maior e menor índice pluviométrico.

Fonte: Do autor

6.3 AVALIAÇÃO INTEGRADA

Para uma análise integrada dos resultados foi aplicado testes estatísticos de análise de variância de dois fatores (ANOVA) e como complemento foi aplicado à análise de significância chamado teste P ou teste de Tukey, onde estes valores são significativos se $p < 0,05$. Os resultados foram testados em relação a três fatores: I) entre as três estações de coleta (MD, M e ME); II) sazonalidade (período de menor e maior índice pluviométrico); e III) estágios de maré (enchente e vazante).

As variações foram testadas separadamente, contudo, este estudo aborda a complexidade de uma análise integrada, a qual considera a simultaneidade entre todas as variáveis. Com base nos valores de p , pode-se afirmar que o estuário do rio Mojuim apresentam variações significativas em relação à sazonalidade ($p=0,023092$), estágio de maré ($p=0,0484$) e estações de coleta ($p=0,0207$), confirmando assim os resultados já discutidos anteriormente.

A variação sazonal, significativa, no estuário do rio Mojuim é influenciado pela pluviosidade da região, onde as concentrações de MPS são maiores no período de maior

índice pluviométrico, como mostra a Figura, 15(A) e menores no período de menor índice pluviométrico, Figura15(B).

O material particulado em suspensão apresenta maiores concentrações durante o período chuvoso, em decorrência das elevadas quantidades de partículas oriundas das rochas e do material orgânico que são lixiviados durante esse período em consequência do maior aporte de água no estuário. No período de menor índice pluviométrico, o decréscimo nas concentrações desse parâmetro, possivelmente devido á diminuição dos índices pluviométricos e a desestabilização coloidal resultante da entrada de águas salinas no sistema estuarino (Drever 1973, Monteiro 2009).

A diferença significativa da concentração de MPS nas estações de coleta está relacionada, principalmente pela mudança na morfologia do transecto analisado, o qual apresenta uma planície costeira bem desenvolvida na ME e um canal de maré profundo, cerca de 5 metros, na MD.

Estas variações ocorreram por fatores como: os fluxos de vazante ocorrer predominantemente pela MD e esta estação de coleta possuem os maiores valores de MPS em superfície e fundo dos dois períodos analisados.

As variações em relação aos estágios de maré confirmam que os fluxos de vazantes ocorrem predominantemente pela MD e os de enchente pelo M e ME.

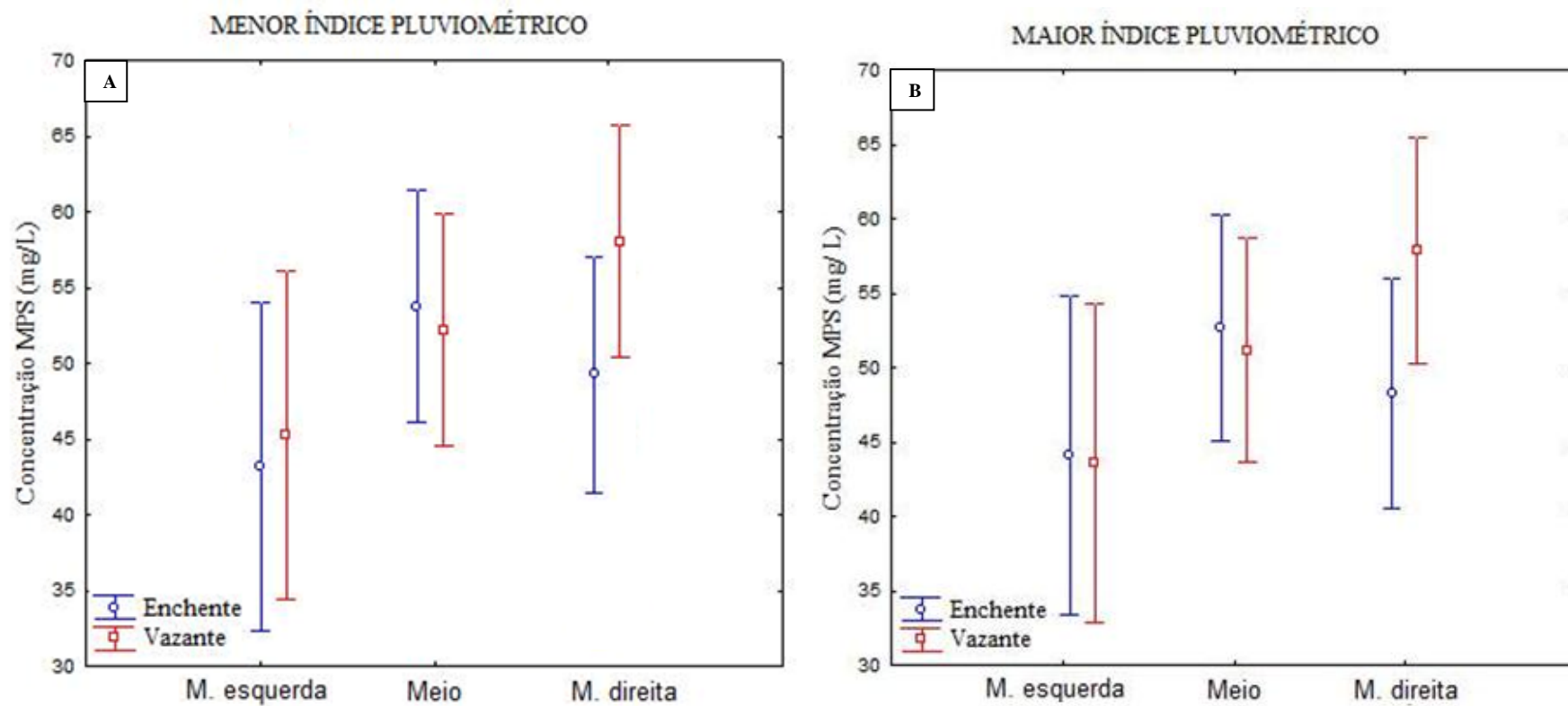


Figura 15 - Variação da concentração de MPS, nos períodos: A) menor índice pluviométrico; B) maior índice pluviométrico.

Fonte: Do Autor.

6.4 TRANSPORTE DE MPS.

O cálculo do transporte de MPS em uma seção transversal é fundamental para se compreender a capacidade de exportação e importação de materiais para a região costeira (Dyer *et al.* 1973).

No período de maior índice pluviométrico o transporte de MPS possui valores de -20,6 t/cm (1) e -21,6 t/cm (2) na enchente e 28,5 t/cm (1) e 28,2 t/cm (2), na vazante.

Os dois métodos evidenciaram a mesma tendência de transporte, com maiores valores de MPS e transporte no período de maior índice pluviométrico, mostrando-se confiável a aplicação dos dois métodos na região, como ilustrado na Figura 16.

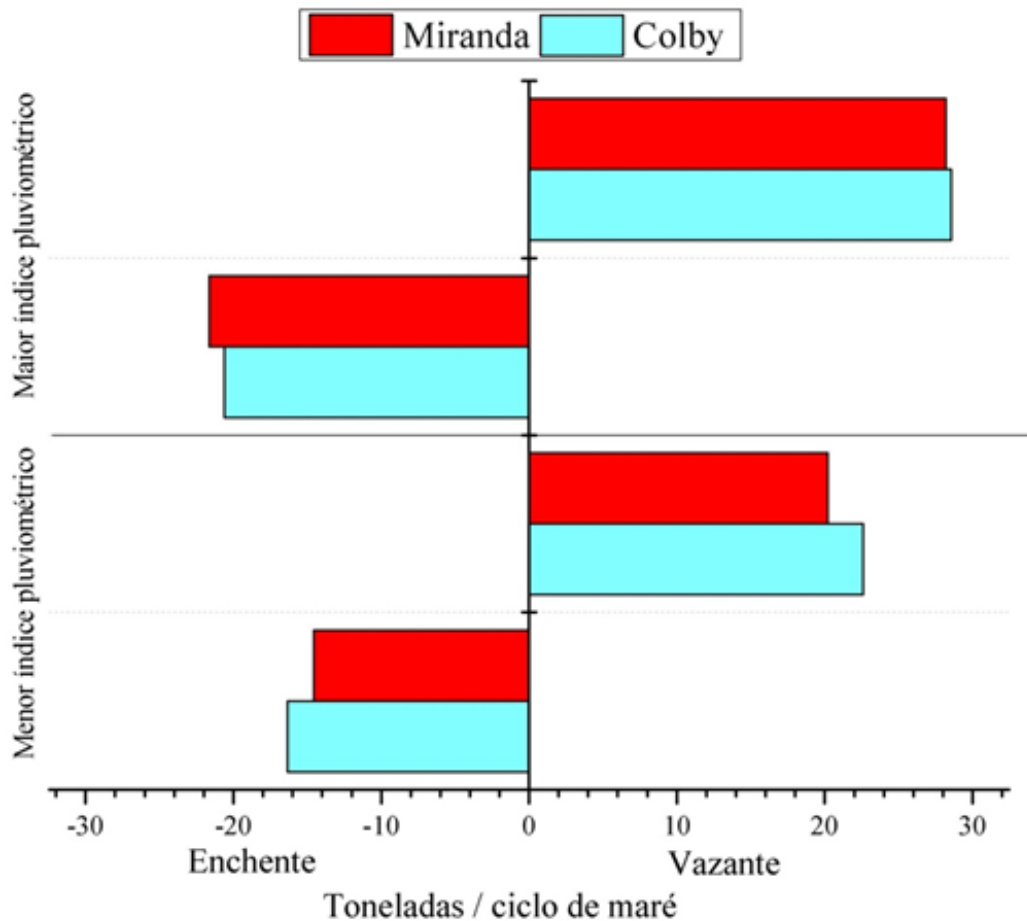


Figura 16 - Comparação entre os métodos de transporte de MPS.

Fonte: Do autor.

O transporte de MPS calculado em diferentes estágios da maré mostrou a contribuição de cada forçante no processo, vazante (Fluvial) e enchente (Marinho), houve uma relação

entre as velocidades das correntes com o transporte e concentração de MPS, assim como descritas por Nichols (1986); Kjertve & Wolaver (1980) e Dyer (1973).

Os transportes resultantes para o período de maior e menor índice pluviométrico são: 6,5 t/cm (1) e 5,6 t/cm (2) e 7,9 t/cm (1) e 6,5 t/cm (2), respectivamente (figura 17), e forneceram estimativas de valores de exportação de água e materiais durante um ciclo de maré, com os quais foi possível detectar variações no aporte de sedimentos, padrão de erosão e sedimentação associados, às mudanças morfológicas na região.

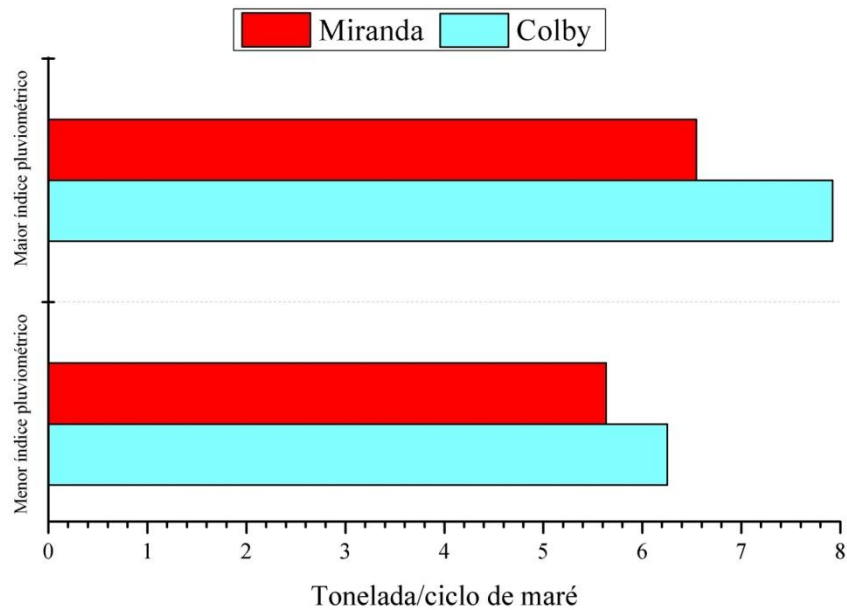


Figura 17 - Transporte resultante de MPS nos períodos de maior e menor pluviosidade.
Fonte: Do autor

O rio Mojuim funciona como exportador em ambos os períodos, com apenas uma rota de exportação de MPS. Durante o período de menor índice pluviométrico o estuário exportou para o oceano Atlântico cerca de 5,25 a 5,63 mil toneladas de MPS, como mostrado na Figura 18(A). Já no período de maior índice pluviométrico a exportação foi 6,5 a 7,9 mil toneladas de MPS para o oceano, Figura 18(B).

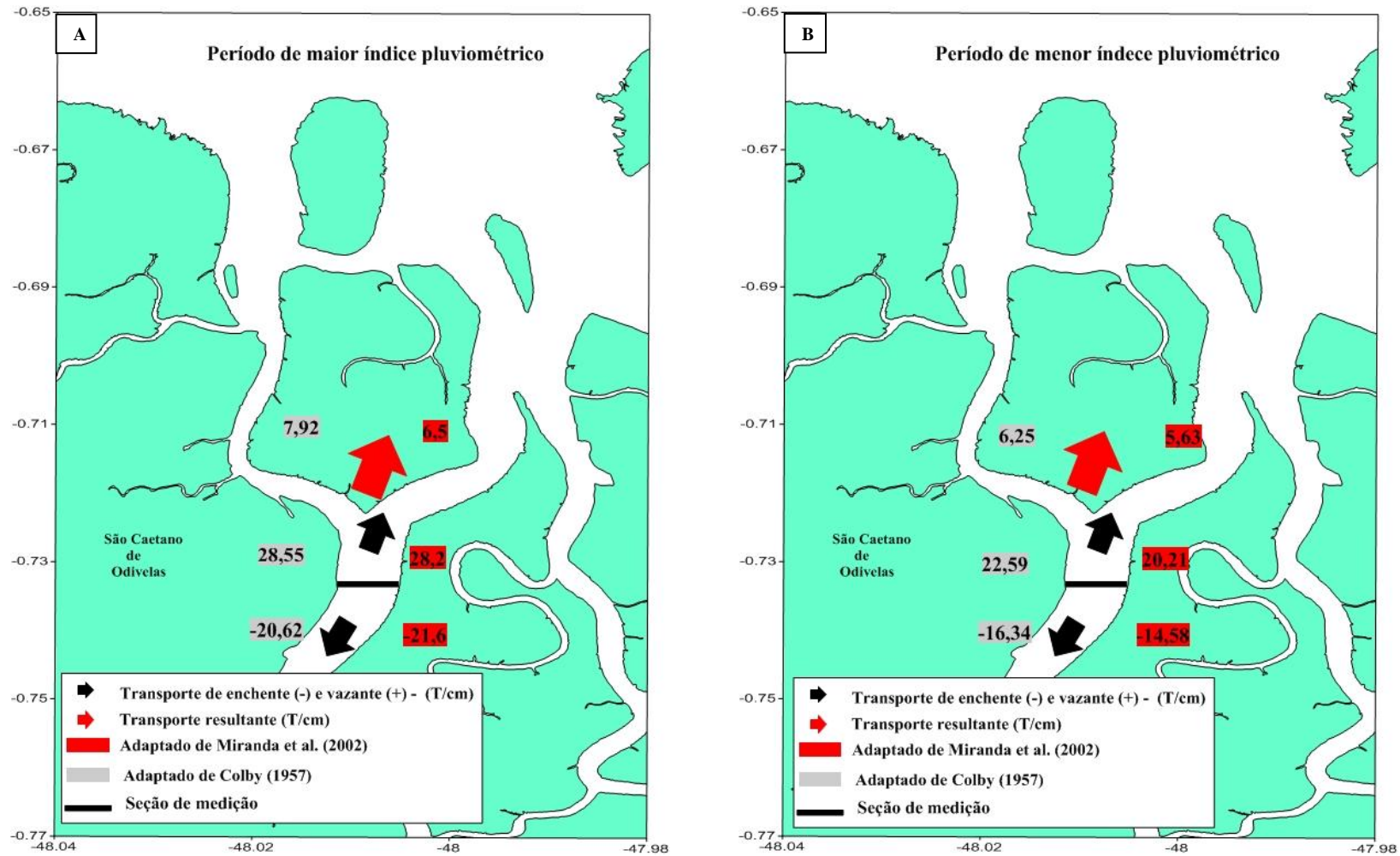


Figura 18 – Quantificação e direção do transporte resultante de MPS para no Mojuim nos períodos A) menor índice pluviométrico; B) maior índice pluviométrico, com base nos métodos
 Fonte: Adaptado de Colby (1957) e de Miranda *et al.* (2002).

Comparando os resultados obtidos neste trabalho com outros, Lima *et al.* (2005), estimou a exportação anual de MPS pela bacia Araguaia-Tocantins para a região oceânica de $3,06 \times 10^6$ toneladas de MPS. Nesta estimativa, não se considerou as contribuições do rio Pará e da baía do Marajó. A partir dos valores de transporte de MPS no período seco e chuvoso, estimou que o sistema transporta anualmente entre 5 a $7,2 \times 10^6$ toneladas para o rio Amazonas e a baía do Marajó, sendo que possivelmente o que é transportado para a baía do Marajó (entre $3,7$ a $5,8 \times 10^6$ toneladas) é superior ao proposto por Lima *et al.* (2005).

O transporte de MPS na região é mais intenso no chuvoso, podendo possivelmente provocar modificações morfológicas em um curto período. Essas modificações morfológicas foram observadas a partir de carta náutica, carta 305 da Diretoria de Hidrografia e Navegação da foz do rio Tocantins, nos levantamentos feitos nos anos de 1985/1992, sendo mais de 80% feito em 1985 e 1992 limitado ao setor noroeste (Banco do Frechal), comparado com o levantamento de 2010. Possivelmente o valor total de MPS exportado para a região oceânica seja bem superior a este valor.

Costa (2014) estimou o transporte de MPS para três rios (rio Jacaré Grande, Pará e Tocantins), e obteve como resultado que o rio Jacaré Grande atuou como exportador de sedimento para o rio Amazonas durante o período seco é invertendo (importador) sua direção para o rio Pará no período chuvoso. O transporte de sedimento no período chuvoso foi 5 vezes maior que no período seco.

O rio Pará tanto durante o período seco como no chuvoso se comportou como exportador de MPS, ambos em direção à baía do Marajó. Porém no período chuvoso houve uma redução no transporte de MPS para a baía de Marajó de cerca $1/3$. A diferença no transporte resultante de MPS com base nos métodos aplicados foi de 29,4 % no período seco e no período chuvoso de 67,4 %.

O rio Tocantins apresentou-se como um importador de MPS no período seco, influenciado pela maré, em direção a montante do rio. Enquanto que durante o período chuvoso, como o sistema foi controlado pela componente fluvial, comportou-se como um exportador de sedimento. A diferença no transporte resultante de MPS com base nos métodos aplicados foi de 5,4 % no período seco e no período chuvoso de 9,4 %.

A grande exportação de material para a plataforma costeira adjacente pode acarretar a diminuição da profundidade dos rios limitando assim a navegação, bem como o assoreamento da foz estuarina, além disso, pode transferir grandes quantidades de contaminantes sem tratamento oriundo do continente para fora do estuário e comprometendo as áreas adjacentes.

7 CONCLUSÃO

Os parâmetros estudados nesta pesquisa, concentração de MPS e transporte de MPS, variam sazonalmente de acordo com as estações do ano em associação ao clima. Estas variações são nitidamente evidentes nos períodos de maior e menor índice pluviométrico, porém esta diferença é mais acentuada durante o período de maior índice pluviométrico, pois ocorre um máximo de entrada de material alóctone através do escoamento superficial e sub-superficial. Além disso, verificam-se variações na concentração de MPS ao longo do transecto a qual é controlada principalmente pela descarga fluvial, pelos efeitos de precipitação, das oscilações da maré, das velocidades das correntes e morfologia de fundo.

Quanto ao transporte de MPS, foi possível observar que o estuário do rio Mojuim funciona como exportador de MPS para o Atlântico nos dois períodos, sendo esta intensificada no período de maior índice pluviométrico. A grande exportação de materiais para a plataforma costeira adjacente pode causar uma redução da profundidade dos rios comprometendo assim sua navegabilidade, bem como pode gerar o assoreamento da foz estuarina, como está sendo observada na foz do rio Mojuim, além disso, pode transferir determinados contaminantes orgânicos e inorgânicos lançados sem tratamento pelas cidades.

Com base nisso comprova-se que o estudo da concentração de MPS e transporte do mesmo é de fundamental importância para o entendimento de seu comportamento hidrodinâmico, além de ser uma importante ferramenta para o correto manejo e mitigação de possíveis problemas ambientais, assim sugere-se que outros estudos das variações de MPS sejam realizados em outras áreas do estuário em condições de maré distintas (sizígia e quadratura), associadas a outros estudos de caráter biogeoquímico para que assim seja possível uma caracterização completa do estuário do rio Mojuim, podendo realizar além da quantificação, a qualificação deste material.

REFERÊNCIAS

- Allen J.R.L. 1968. *Current ripples: their relation to patters of water and sediment mottion*. Amsterdam: Noth Holland publ. 433 p.
- Aviz D., Mello C. F., Silva, P. F. 2009. Macrofauna associada às galerias de *Neoteredo reynei* (Bartsch, 1920) (Mollusca: Bivalvia) em troncos de *Rhizophora mangle* Linnaeus durante o período menos chuvoso, em manguezal de São Caetano de Odivelas, Pará (costa norte do Brasil). *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi. Ciências Naturais*, Belém, **4**(1): 47-55.
- Barbosa G.V.& Pinto M.N. 1973. Geomorfologia. In: BRASIL, Projeto RADAM. *Folha As-23 São Luís e parte da Folha SA-24 Fortaleza*. Rio de Janeiro. Parte 2: 326, (Levantamento de Recursos Naturais, 3).
- Barros M. L. C., Sena M. J. S., Mesquita A. L. A., Blanco C. J. C., Secretan Y. 2011. A water flow pattern analysis of Guajará Bay - Amazon estuary – Brazil. *Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences and Engineering*, Rio de Janeiro, **33**(1): 79-85.
- Baumgarten M. G. Z. & Pozza S. A. P. 2001. *Qualidade de águas - descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental*. Rio Grande, Brasil: Editora FURG, 164p.
- Baumgarten M.G.Z., Rocha J.M.B., Niencheski L.F.H. 1996. *Manual de análises em oceanografia química*. Rio Grande: Ed. da FURG, 115 p.
- Bradley E.;& Philip B. 1999. A comparative study of nutrient behavior along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries. *Estuaries*, **22**(2A): 313 -326.
- Bezerra A.M. 1995. *Amazônia – lendas e mitos. Curuçá sua terra, sua gente*. Belém: [s.n.], 12p.
- Biggs R. B. 1970. Sources and distribution of suspended sediment in Northern. *Cheseapeake Bay*. **9**: 187-324.
- Cameron W. M.& Pritchard, D. W. 1963. Estuaries, in the sea: ideas and observations on progress in the study of the seas. In: Hill, M. N. (edt.). *The composition of sea-water, comparativeand descriptive oceanography*. New York: Wiley-Interscience, **2** : 306–324.
- Cancino L.& Neves R. 1999. Hydrodynamic and sediment suspension modelling in estuarine systems, Part I: Description of the numerical models. *Journal of Marine Systems*, (22): 105-116.
- Chester R. 1990. *Marine geochemistry*. Londres: Unwin Hyman, 698p.
- Clark R. B. 2001. *Marine pollution*. 5. ed. Oxford: Univerty Press.
- Colby B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. *Transactions, Amer. Geophy. Union.*, v. 38, n. 5, pag.708-719, Oct. 1957.
- Costa, M. S. 2013. *Aporte hídrico e do material particulado em suspensão para a baía do Marajó: influência dos rios Amazonas e Tocantins*. Dissertação MS, Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, Belém, 81 p..

- Davies J. L. 1964. A morphological approach to world shorelines. *Zeitschrift fur Geomorphologie*, (8): 127–142.
- Davis, JR.; RICHARD, A. “*Coastal sedimentary environment*”. 2n ed. [S.l.]: Springer-Verlag, 1985. 716 p.
- Dyer, K.R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. [S.l.]: Elsevier, 1995. p. 423-449. (*Developments in Sedimentology*, n. 53).
- Dyer, K. R. *Estuaries: a physical introduction*. [S.l.]: John Wiley & Sons Ltda., 1973.
- Dronkers, J. Tidal asymmetry and estuarine morphology. *Journal of Sea Research*, Amsterdam, Netherlands, v.20, n.213, p 117-131, 1986.
- Eisma, D. *Suspended matter in the aquatic environment*. Berlin: Springer-Verlag, 1993. 313p.
- Esteves, F. A. *Fundamentos de limnologia*. Rio de Janeiro: Ed. Interciência/Finep, 1988. 575p.
- Esteves, F. A. (org). *Fundamentos de limnologia*, 3 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 826p.
- Fairbridge, R. W. The estuary: its identification and geodynamic cycle. In: OLAUSSON, E.; CATO, I. (ed.). *Chemistry and biochemistry of estuaries*. N.York: Wiley, 1980. p. 1-36.
- Ferreira G. P. 2013. *Caracterização hidrodinâmica e do transporte de sedimentos na região fluvio-estuarina do rio Paracauari - ilha de Marajó - Pará*. Dissertação, MS, Programa de Pós-Graduação em Oceanografia, Universidade Federal de Pernambuco, xiii, 104p.
- Garrison T. 2010. *Fundamentos de oceanografia*. Tradução da 4. ed. Norte-Americana, 1942. São Paulo, Cengage Learning.
- Gartner J. W. 2002. Estimation of suspended solids concentrations based on acoustic backscatter intensity: theoretical background. *Turbidity and Other Sediment Surrogates Workshop*, Reno, NV.
- Hansen D. V. & Rattray M. 1966. New dimensions in estuary classification. *Limnol. and Oceanog.*, **11** (3): 319-326, jul.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) Rio de Janeiro, 2010.
- Kineke G. C., Sternberg R. W. 1992. Measurements of high concentration suspended sediments using the optical backscatterance sensor. *Marine Geology*, **108**: 253-258.
- Kjerfve B. & Wolaver T.G. 1980. Sampling optimization for studies of tidal transport in estuaries. In: American Fisheries Society Symposium, 4., 1980., **3**: 26-33.
- Knox J. H.& Pyper H. M. J. 1986. Framework for maximising throughput in preparative liquid chromatography. *Journal of Chromatography A*, v. 363, n. 1, p. i.

Knox, A. S. et al. Phosphate sources and their suitability for remediation of contaminated soils. *Science of the Total Environment*, v. 357, p: 271-279, 2006.

Lima, J. E. F. W. et al. Suspended sediment fluxes in the large river basins of Brazil. Sediment Budgets 1. In: SYMPOSIUM S1 HELD DURING THE SEVENTH, 2005, Foz de Iguaçu. *Proceedings*. Foz do Iguaçu, Brazil: IAHS Scientific Assembly, 2005. p. 355 – 363. (IAHS Publ., 291).

Maciel, I. L. S. *O mangue como unidade geográfica de análise: o espaço de vivência e produção comunitária nos manguezais da comunidade de Jutai no município de São Caetano de Odivelas – Pa.* 2009. 121f. Dissertação (Mestrado em Geografia) – Instituto de Filosofia e Ciência Humanas, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

Medeiros A. D. 2003. *A influência da maré e da batimetria sobre a intrusão salina no estuário do rio Itajaí-açu.* Dissertação MS em Engenharia Oceânica, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Oceânica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, xii, 64p.

Metha A.J. & Dyer, K.R. 1990. Cohesive sediment transport in estuarine and coastal waters. In: Le Mehaute B.& Hanes D. M. (edt.). *The sea, wiley interscience*. New York, v. 9, p. 815-839.

Ministerio de Meio Ambiente (MMA) Pará. Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBIO). 2014. *Estudo sócio ambiental referente a proposta de criação da rexex extrativista marinha do município de São Caetano de Odivelas.* Estado do Pará.

Miranda L. B.& Castro B. M. B. 2002. *Princípios de oceanografia física de estuários.* São Paulo, Editora da Universidade de São Paulo, 400 p. (Academica, 42).

Monteiro, M. C. *Aspectos hidrodinâmicos, hidrológicos e microbiológicos do estuário do Caeté-PA (Brasil).* 2009. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental, Universidade Federal do Pará, 2009.

Martorano, L. G. Estudos climáticos do estado do Pará: *classificação climática de Köppen e deficiência hídrica.* Belém: SUDAM/EMBRAPA/SNLCS. 1993. p. 1-53.

Monteiro, S. M. *Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa.* 2009. 137 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Universidade Federal do Pará, 2009.

Nichols, M. M. Effects of fine sediment resuspension in estuaries. In: MEHTA, A. J. (ed.). *Estuarine cohesive sediment dynamics*. New York: Springer-Verlag, 1986. v. 14, p. 5-42. (Lecture notes on coastal and estuarine studies).

Oliveira, J.; Potiguara, R. C. V.; Lobato, L. C. B. Fibras vegetais utilizadas na pesca artesanal na microrregião do Salgado, Pará. *Bol. Mus. Para. Emílio Goeldi.* Ciências Humanas, Belém, v. 1, n. 2, p. 113-127, 2006.

Ozcoasts. *Australian online coastal information.* 2008. Disponível em: <<http://www.ozcoasts.org.au>>. Acesso em: 17 jul. 2015.

Patchineelam, S. 2000. *Sedimentação estuarina.* Disponível em: <<http://www.usu.br/icba/oceano2>>. Acesso em: 20 mar 2014.

Pereira, C. T. C. *Caracterização hidrogeoquímica do estuário do rio Curuçá (município de Curuçá – NE do Pará)*. 2006. 125 f. Dissertação (Mestrado) – Pós- Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, 2006.

Picanço, M. S. M. A formação vegetal do município de São Caetano de Odivelas (PA) por meio de produtos de sensoriamento remoto. *Revista Geonorte*, Edição Especial, v. 1, n.4, p .113 – 124, 2012.

Perillo, G.M.E. *Definition and Geomorfologic Classification of Estuaries*. In: PERILLO, G.M.E; PICOLLO, M.C; PINO - QUIVIRA. *Geomorfology and sedimentology of estuaries*. Berlin: Springer - Verlag, 1995. p. 17 - 49.

Pickard, G.L.; EMERY, W.J. *Descriptive physical oceanography*. 4th ed. Oxford: Pergamon, 1982.

Pritchard, D.W. What is an estuary: a physical viewpoint. In: LAUFF, G.H. (ed). *Estuaries*. Washington: American Association for the Advancement of Science, 1967. p. 35. (Publication, 83).

Pritchard, D.W. *Estuarine circulation patterns*. Proc. Am. Soc. Civil Eng., 81, Separate n. 717, 1981.

Prost, M. T.; Mendes, A. C.; Faure, J. F.; Berredo, J. F.; Sales, M. E. C.; Furtado, L. G.; Silva, M. G. S.; Silva, C. A.; Nascimento, I. ; Gorayeb, M.; Secco, F. V.; Luz, L. M. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: Prost, M-T.; Mendes, A. C. *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. Belém: Ministério da Ciência e Tecnologia; Museu Paraense Emílio Goeldi, 2001. p.25-50.

Pugh, D.T. *Tides, surges and mean sea-level (reprinted with corrections)*. Chichester, UK: John Wiley & Sons Ltd, 1996. 486p.

Pugh, D. *Changing sea levels: effects of tides, weather and climate*. Cambridge: Univ. Press, 2004. 265 p.

Rocha, A.S. *Caracterização física do estuário do rio Mojuim em São Caetano de Odivelas – Pa*. 2015. 54f. Dissertação (Mestrado) – Pós-Graduação em Geofísica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015.

Santos, A. S. *Propagação de maré na ilha do Marajó e seus principais tributários*. 2013. 42 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Oceanografia) – Faculdade de Oceanografia de Belém, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.

Santos, P. M. C.; Carvalho, N. O. ; Silva, E. M. *Diagnóstico do fluxo de sedimentos em suspensão na bacia Araguaia-Tocantins*. Planaltina, Brasília, DF: Embrapa Cerrados: ANEEL; ANA, 2004.

Secretaria Executiva de Ciência e Tecnologia (SECTAM). Belém: SECTAM-CDOC. *Curuçá: perfis municipais*. 2003. Disponível em: <<http://www.sema.pa.gov.br/>>. Acesso em: 18 Jun 2015.

- Simpson M. R. “*Discharge measurement using a broad-band acoustic doppler current*”. United States Geological Survey – USGS: Open-file, 2001. (Report 01-1).
- Solomons W.& Forstner U. “*Metals in the hidrocycle*”. Berlin: Springer – Verlag, 1984. 349p.
- Souza Filho P. W. M. e & El-Robrini M. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. *Geonomos*, v. 4, n. 2, p. 1 – 16, 2006.
- Stommel H. Recent developments in the study of tidal estuaries. *WHOI Tech. Rep. Ref. n.2*, p. 51-33, 1951.
- Strickland J. D. H. & Parsons T. R. *A practical handbook of seawater analysis*. 2. ed. Ottawa: Fisheries Research Board of Canada, 1972. 310 p. (Bulletin, 167).
- Suguio K. *Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins*. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1992.
- Tundisi J. G. & Matsumura-Tundisi T. *Limnologia*. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. p 631.
- Winterwerp J.C. *On the dynamics of high-concentrated mud suspension*. 1999. Doctoral (Thesis) - Technical University of Delft., 1999.
- Winterwerp J.C.& Van Kesteren W.G.M. *Introduction to the physics of cohesive sediment in the marine environment*. [S.l.]: Elsevier, 2004.
- Van Olphen H., *An introduction to clay colloid chemistry*. Second edit. New York: Interscience, 1977.
- Van Leussen W. *Estuarine macroflocs and their role in finegrained sediment dynamics*. 1994. 488 f. (PhD Thesis) - University of Utrecht, 1994.
- Zhang J., Wu Y., Jennerjahn T.C., Ittekkot, V., He Q. 2007. Distribution of organic matter in the Changjiang (Yangtze River) estuary and their stable carbon and nitrogen isotopic ratios: implications for source discrimination and sedimentary dynamics. *Marine Chemistry*, **106** (1-2): 111–126. .
- Vidigal A. A. F. *et al. Amazônia azul: o mar que nos pertence*. Rio de Janeiro: Record, 2006.