



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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LIMITAÇÕES DA SETORIZAÇÃO SEDIMENTAR DO
ESTUÁRIO MOCAJUBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

DÉBORA RODRIGUES PEREIRA

Orientadora: Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

BELÉM

2018



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

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

**LIMITAÇÕES DA SETORIZAÇÃO SEDIMENTAR DO
ESTUÁRIO MOCAJUBA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado por:

DÉBORA RODRIGUES PEREIRA

Orientadora: Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro (UFPA)

BELÉM

2018

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

- P436l Pereira, Débora Rodrigues
 Limitações da setorização sedimentar do estuário Mocajuba / Débora Rodrigues Pereira.
 2018.
 xiii, 45 f. : il. color
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Geologia, Instituto de
 Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
 Orientação: Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro
1. Oceanografia Geológica. 2. Modelos Estuarinos. 3. Distribuição Sedimentar. 4. Análise
 Estatística. 5. Amazônia. I. Monteiro, Sury de Moura, *orient.* II. Título
-

CDD 551.46009811



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

**LIMITAÇÕES DA SETORIZAÇÃO SEDIMENTAR DO
ESTUÁRIO MOCAJUBA**

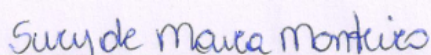
APRESENTADA POR:

DÉBORA RODRIGUES PEREIRA

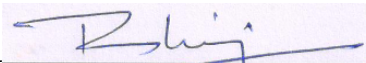
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Bacharel em Oceanografia

Data de Aprovação: 29/01/2018

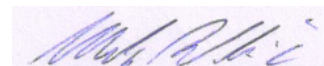
Banca Examinadora:



Profª. Suly de Moura Monteiro – Orientadora
Doutora em Oceanografia Ambiental
Universidade Federal do Pará



Prof. Maamar El-Robrini - Membro
Doutor em Physiographie des Océans et des Littoraux
Universidade Federal do Pará



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

“We’re all stories, in the end.

Just make it a good one, eh?”

— The Doctor, Season 5, Episode 13

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço a todos os momentos bons e felizes que vivi com todos ao meu redor, que contribuíram direta e indiretamente ao trabalho, e por cada superação de conflitos e barreiras.

Assim, agradeço a minha família maravilhosa, que acreditou no meu potencial quando eu ainda era uma garota irresponsável que esquecia dos deveres de casa e a minha mãe precisava correr para fazer. Agradeço a elas as 500 mil maquetes feitas da noite para o dia; mais outros 200 mil cartazes; a todos os momentos que tentou me ensinar a dançar para outras 100 mil apresentações escolares e a toda a sua criatividade, que sempre contornou qualquer dificuldade. Agradeço a ela por ter sido forte em todos os momentos, durante a gravidez, pós-parto, e por ter sido mãe e pai, sempre. A ela, que conseguiu suprir qualquer falta de amor que eu tivesse. Obrigada mãe.

Agradeço a minha irmã chata, característica que nunca deixarei de verbalizar, por ser minha melhor amiga, por todas as piadas sem graça, pelas falas completadas, e pelos julgamentos entendidos através de olhares. Agradeço a ela por sempre me defender e proteger, diante de qualquer situação que me entristecesse. Agradeço a ela por estimular o meu empoderamento, me tornar feminista, e por abrir meu mundo para as críticas. Agradeço ao meu pai de coração, por me acolher na sua vida. Por estar sempre presente desde que decidi fazer parte de uma família que não era sua de sangue, mas sua de amor. Obrigada por nos escolher. Agradeço ao meu namorado, por ser gentil e paciente. Por me retirar dos pensamentos ruins e ajudar a me livrar de diversas gaiolas que me prendiam. Por estar ao meu lado e ser o amor da minha vida, ultrapassando mais uma etapa comigo. Agradeço a cada abraço reconfortante e a cada olhar amoroso.

Agradeço aos meus professores, a cada um, obrigada. Todos moldaram quem sou hoje, cada pequeno conhecimento absorvido e questionado. Acima de todos, agradeço a minha orientadora *maravilhosa*, Sury Monteiro. A Sra., que fez parte de todos os momentos mais felizes que tive nas dependências da universidade. Obrigada por a Sra, simplesmente, ser quem é. Eu lhe admiro e lhe respeito, e agradeço por ter me feito perceber, sem nem saber, que eu quero me tornar uma professora, e uma como a Sra. foi para mim. Eu não sei como funciona a relação de alunos e orientadores pelo mundo, mas eu sei que a Sra. tem um lugar especial no meu coração. Como mentora e como amiga. Obrigada.

Agradeço aos meus amigos de laboratório, LAPMAR, especialmente o Herbert, o Fabrício e a Gabriela. Obrigada por todas as frustrações compartilhadas, as fofocas, os memes, e imensa ajuda que cada um teve para a realização deste trabalho. Por cada resposta

as minhas dúvidas, por cada amostra macerada ou analisada. Eu pretendo me encontrar muitas vezes com vocês no futuro. Quando formos ricos, em alguma casa do Caribe.

Agradeço a os meus amigos. Luciana, Aline, Ruan, que são meus amigos há tanto tempo, e somos felizes com coisas simples, com comida, sol e um piquenique. Eu amo vocês, cada risada está guardada no meu coração. Agradeço ao meu amigo Artur, por fazer parte da minha vida e sempre desejar o melhor para mim.

Agradeço aos meus amigos, Lohan, Luma e Alexandre. Por vocês iluminarem meus dias, escutarem meus acessos de raiva, estresse e cansaço. Sou imensamente grata por aquele campo do Marajó, que tornou pessoas, com quem eu não me aproximaria, meus amigos. *Sintam-se lisonjeados*. Agradeço ao Lohan, por ser meu amigo desde o começo do curso, e sentar ao meu lado a cada manhã, com suas piadas sem graças, que se tornaram engraçadas para mim. Agradeço a Luma, por sua calma e seu jeito lento de falar, tentando apaziguar as situações, mas que sei que por dentro é feroz, pelo simples fato de ser capricorniana. Agradeço ao Alexandre, *querido Alexandre*, por todas as tardes no LAPMAR, por todas as gargalhadas nervosas ou felizes, por todo o suporte dado a realização deste trabalho. Obrigada por tentar iluminar minha mente com um pouco do seu conhecimento, até a contagem regressiva de entrega. Obrigada por desenrolar o jeito Yoda de me expressar. Obrigada por esse ano. Fui muito feliz por estar ao lado de vocês.

E por fim, agradeço a mim mesma.

RESUMO

Este estudo trata da dificuldade da identificação dos setores marinhos, transicionais e fluviais em um estuário dominado por macromaré. O objetivo do trabalho é identificar os setores do estuário Mocajuba, nordeste paraense, e se este pode ser setorizado perante suas características sedimentológicas. A partir disso, a nossa hipótese é que o estuário Mocajuba pode ser setorizado quanto às suas características sedimentológicas e que será possível distinguir os seus setores, marinho, intermediário e fluvial. Assim, a técnica aplicada foi a Setorização sedimentar. Os procedimentos analíticos adotados foram: granulometria; quantificação do teor de matéria orgânica e carbonato de cálcio; e tratamento estatístico, através da Análise de Agrupamento e de Componentes Principais. Com isso, obtivemos três grupos: o grupo 1, agrupa as frações arenosas muito finas (57%), pobremente selecionados, assimetria negativa e hidrodinâmica moderada. A porcentagem média de Lama foi 9,39%, MO com 0,67% e CaCO_3 com 6,24%. O grupo 2 agrupa as frações arenosas médias (45,5%) e arenosas grossas (31,8%), moderadamente selecionadas, assimetria positiva a muito positiva e alta hidrodinâmica. Apresentou os valores médios de: 5,8% de Lama, 0,68% de MO e 6% de CaCO_3 . O grupo 3 apresenta o maior número amostral, representado pela fração siltica média (43,8%) e grossa (28,6%), pobremente selecionada, assimetria positiva a muito positiva, e hidrodinâmica moderada. A porcentagem média de Lama foi 83,71%, MO 0,75% e CaCO_3 com 9,38%, e atingiu máximo neste grupo, de 20,98% de CaCO_3 . Contudo, ao propor a Setorização sedimentar a partir de ferramentas estatísticas, observamos empecilhos que mascararam os limites de cada setor. Assim, a Setorização sedimentar foi limitada e não permitiu a aplicação dos modelos estuarinos ao Mocajuba. De início atribuímos esta divergência ao 1) método estatístico utilizado. Porém, observamos que este método é amplamente empregado em diversos estuários de modo eficaz, assim como pode ser aplicado ao estuário Mojuim, adjacente ao Mocajuba. Portanto, refutamos esta hipótese e consideramos que 2) o estuário Mocajuba possui configuração geológica/geomorfológica diferenciada. Assim, esta configuração pode ser consequência: da evolução estuarina; do baixo aporte fluvial; da alta influência marinha; e da orientação retilínea do canal, possivelmente moldada pela presença de uma falha tectônica e ação da maré. Portanto, concluímos que não é possível setorizar o estuário Mocajuba a partir das suas características sedimentológicas.

Palavras-chave: Oceanografia. Modelos Estuarinos. Distribuição Sedimentar. Análise Estatística. Amazônia.

ABSTRACT

This study deals with the difficulty of identifying the marine, transitional and fluvial sectors in an estuary dominated by macromaré. The aim of this work is to identify the sectors of the Mocajuba estuary, northeastern Pará, and whether it can be sectoralized due to its sedimentological characteristics. From this, our hypothesis is that the Mocajuba estuary may be sectorized as to its sedimentological characteristics and that it will be possible to distinguish its marine, intermediate and fluvial sectors. The applied technique is the Sedimentary Sectorization. The adopted analytical proceedings are granulometry; quantification of organic matter content and calcium carbonate; and statistics treatment, through Cluster Analysis and Principal Components. We obtained three groups: group 1, groups very fine sandy fractions (57%), poorly selected, negative asymmetry and moderate hydrodynamics. The mean percentage of muddy was 9.39%, MO with 0.67% and CaCO₃ with 6.24%. Group 2, groups the medium (45.5%) and coarse sandy (31.8%), moderately selected sandy fractions, positive to very positive asymmetries and high hydrodynamic. It presented the average values of: 5.8% of Lama, 0.68% of MO and 6% of CaCO₃. Group 3, shows the highest sample number, represented by medium (43.8%) and coarse silte (28.6%), poorly selected, positive to very positive asymmetries, and moderate hydrodynamics. The mean percentage of Lama was 83.71%, MO 0.75% and CaCO₃ with 9.38%, and reached a maximum in this group of 20.98% CaCO₃. However, when proposing sedimentary sectorization from statistical tools, we observed obstacles that masked the limits of each sector. Hence, the Sedimentary Sectorization through the statistics was limited and did not allow the application of the estuarine models to Mocajuba. Initially we attribute this difference to 1) Statistical method used. However, we observed that this method is widely used in several estuaries as well as can be applied to the estuary Mojuim, adjacent to Mocajuba. Therefore, we refute this hypothesis and consider that 2) the Mocajuba estuary has a differentiated configuration. Therefore, this configuration can be the consequence: of the estuarine evolution; of the low river supply; of the high marine influence; and of the straight channel orientation, possibly shaped by the presence of a tectonic failure and tidal action. We conclude that it is not possible sectorize Mocajuba estuary from its sedimentological characteristics.

Key words: Oceanography. Estuarine Models. Sedimentary Distribution. Statistical Analysis. Amazonia.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 -	Mapa de Localização da Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA).....	9
Figura 2 -	Mapa ilustrando a localização do estuário Mocajuba, os principais municípios da região e as RESEXs que o estuário Mocajuba está incluído.....	11
Figura 3 -	Barras arenosas presentes no estuário inferior do Mocajuba.....	13
Figura 4 -	Bancos arenosos nas margens do estuário Mocajuba, região de São João da Ponta.....	14
Figura 5 -	Geossistemas do estuário Mocajuba, região da RESEX de São João da Ponta...	15
Figura 6 -	Mapa das estações de coleta no estuário Mocajuba.....	19
Figura 7 -	Mapa conceitual dos três setores do Mocajuba para a discussão dos dados.....	23
Figura 8 -	Mapa da distribuição da a) Granulometria; b) Seleção e c) Assimetria do estuário Mocajuba.	25
Figura 9 -	Mapa da distribuição da a) Hidrodinâmica; b) Matéria Orgânica e c) Carbonato de Cálcio do estuário Mocajuba.	26
Figura 10 -	Mapa da setorização sedimentar apresentando os 3 grupos existentes no estuário Mocajuba.	28
Figura 11 -	Representação gráfica das coordenadas das variáveis sedimentológicas e suas correlações com os eixos 1 e 2 com a formação de grupos.....	29
Figura 12 -	Representação gráfica das coordenadas vetoriais das estações analisadas no estuário Mocajuba e suas relações de distância com os eixos fatoriais 1 e 2.....	30
Figura 13 -	Modelo da região que apresenta maior erosão (estuário Mocajuba) e da região com maior deposição (estuário Mojuim).....	31

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Tabela apresentando as principais características sedimentológicas dos grupos existentes no estuário Mocajuba.	28
Tabela 2 - Distribuição dos autovalores segundo cada eixo. Em destaque encontram-se os eixos com maior variabilidade dos dados.	29

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ixi
LISTA DE TABELAS	xii
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVO	3
3 REFERENCIAL TEÓRICO	4
3.1 DEFINIÇÃO DE ESTUÁRIOS.....	4
3.2 CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTAR	7
3.3 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA.....	7
3.4 MATÉRIA ORGÂNICA	7
3.5 CARBONATO DE CÁLCIO	8
4 ÁREA DE ESTUDO	9
4.1 GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA	12
4.2 HIDROGRAFIA	15
4.3 VEGETAÇÃO	16
4.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS	16
5 METODOLOGIA	18
5.1 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONATO DE CÁLCIO	20
5.2 GRANULOMETRIA (SECO E A ÚMIDO).....	21
5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA	21
6 RESULTADOS	23
6.1 DISTRIBUIÇÃO E PARÂMETROS SEDIMENTARES	23
6.2 SETORIZAÇÃO.....	27
6.2.1 Análise de Agrupamento	27
6.2.2 Análise de Componentes Principais	29
7 DISCUSSÃO	31
7.1 DISTRIBUIÇÃO E PARÂMETROS SEDIMENTARES	31
7.2. SETORIZAÇÃO.....	34
8 CONCLUSÃO	37
REFERÊNCIAS	38

1 INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, observamos a Zona Costeira (ZC) apresentar constantes estresses ambientais devido a pressão antrópica. Nesta região, existe intensa urbanização, com mais de metade da população mundial em 10% da massa terrestre (Harvey 2000), que desenvolvem além de atividade portuária e industrial, exploração de recursos e exploração turística (Gruber *et al.* 2003).

Portanto, conhecer a hidrodinâmica do ambiente e reconhecer seus compartimentos é essencial para gerencia-lo, visando a manutenção do ecossistema e assegurando o crescimento equilibrado das atividades humanas (Gruber *et al.* 2003). Uma técnica utilizada é a Setorização sedimentar, que tem o objetivo de classificar o ambiente de acordo com as características dos seus subambientes, e surge como uma ferramenta no processo de gerenciamento costeiro (Heise *et al.* 2010).

Alguns exemplos da importância da Setorização do compartimento sedimentar são: reconhecer áreas com maiores propensões a degeneração para que estas sejam preservadas, e neste âmbito se incluem: os ambientes com maiores probabilidades de acúmulo de contaminantes, áreas erosionais ou deposicionais, com possíveis formações de bancos arenosos, o que impede a navegação, e com isso, o reconhecimento de áreas dragáveis ou não.

A Setorização sedimentar estuarina e costeira pode ser realizada através de métodos estatísticos (Falco *et al.* 2000, Heise *et al.* 2010, Silva 2012, Vieira *et al.* 2008). Os resultados estatísticos destas análises, somados a visão de Setorização, nos permitem distinguir as áreas com diferentes características ambientais e a sua hidrodinâmica (Heise *et al.* 2010).

A Setorização sedimentar será aplicada ao estuário Mocajuba, sendo este dominado por macromaré, qual integra o sistema estuarino Mojuim-Mocajuba, localizado no Nordeste Paraense. Este estuário possui conexões através de canais de maré com o estuário Mojuim e Curuçá e foz compartilhada com o estuário Mojuim, característica influenciadora na distribuição sedimentar local.

Estas características causam, portanto, diferente configuração sedimentar e hidrodinâmica no seu percurso, formando micro ecossistemas explorados para o uso humano. Assim, confirmam o grande potencial da região para o desenvolvimento de atividades sustentáveis, como maricultura mais efetiva, pesca artesanal, pesca de siri, extração de caranguejo, principalmente o Caranguejo-Uçá (*Ucides cordatus L.*), cultivo

de ostras, entre outros (ICMBio 2014), que já são práticas extrativistas. Portanto, confirmar as áreas de influência marinha a partir do sedimento é importante para acrescer esse potencial.

Essa visão sócio-econômica é uma das formas de se observar e compreender um estuário, porém, ele carrega consigo uma longa escala temporal a se analisar. Observando os estuários em mesoescala, já podemos visualizar mudanças ocasionadas pelo homem, ou pela natureza, na morfologia do canal e seus pontos deposicionais e erosionais; no aumento de teores lamosos associados a matéria orgânica (MO) ou metais pesados; em mudanças de habitats e dos organismos existentes; e etc.

Porém, se ampliarmos a escala de tempo para macroescala, observaremos, a partir de um estuário, as mudanças do nível do mar. O estuário estudado no ano de 2018 pode retrogradar em conjunto com a linha de costa, sofrendo deposições sedimentares marinhas, evidenciando uma transgressão marinha daqui a 50 anos, por exemplo. Portanto, estas escalas de tempo demonstram a necessidade de estudar, classificar e setorizar qualquer estuário, principalmente os da zona costeira amazônica.

Além disso, a escolha do estuário Mocajuba também se dá pelos poucos trabalhos desenvolvidos sobre as características deste estuário (Asp 2013, Vilhena *et al.* 2014, Silva 2015, França *et al.* 2016) havendo uma lacuna no conhecimento sedimentar, físico-químico e outros.

A partir disso, a nossa hipótese é que o estuário Mocajuba pode ser setorizado quanto às suas características sedimentológicas e que será possível distinguir os seus setores, marinho, intermediário e fluvial.

2 OBJETIVO

O objetivo do trabalho é identificar os setores do estuário Mocajuba, nordeste paraense, e se este pode ser setorizado perante suas características sedimentológicas.

- Analisar se há uma variação granulométrica ao longo do canal estuarino;
- Analisar se os teores de matéria orgânica e carbonato de cálcio apresentam relação com as frações granulométricas;
- Avaliar se há relação entre a distribuição granulométrica e a hidrodinâmica local;
- Determinar se a aplicação de Análises Multivariadas proporciona a setorização de um estuário dominado por macromaré.

3 REFERENCIAL TEÓRICO

A ZC é uma região de maior estresse ambiental, devido a elevada exploração de recursos e uso desordenado do solo (Gruber *et al.* 2003). A costa é dividida em diversas zonas e se define como a interface entre o oceano e o continente, portanto, a ZC é a limitação deste espaço (Rodríguez & Windevoxhel 1998).

Na ZC está inserido o Ambiente Estuarino, sendo amplamente estudado devido a sua relação com o desenvolvimento populacional. Este é comumente definido como um ambiente de transição, com misturas de águas fluviais e oceânicas. Diversos autores conceituam os estuários, como Dalrymple *et al.* (1992); Dione (1963); e Pritchard (1955).

Estuários são corpos heterogêneos, biologicamente mais produtivos que os dois ambientes adjacentes, oceano e rio, com alto conteúdo nutricional responsáveis por induzir a produção primária, portanto são locais adequados para instalações humanas (Miranda *et al.* 2002).

Entretanto, o uso humano do solo, próximo aos estuários, gera consequência no ambiente estuarino, como transporte e acúmulo de poluentes, como metais pesados, pesticidas e hidrocarbonetos, adsorvidos nas camadas dos sedimentos. Estas associações alteram a qualidade da água e afetam o crescimento de diversos organismos. A grande deposição de sedimentos coesivos também modifica os habitats, principalmente em regiões em que o teor de sedimentos lamosos é dominante.

3.1 DEFINIÇÃO DE ESTUÁRIOS

A definição clássica de um estuário, segundo Pritchard (1955), é um corpo d'água semifechado, com ligação livre ao oceano, onde a água marinha é mensuravelmente diluída na água doce originada da drenagem continental. Esta definição é amplamente difundida, e posteriormente, foi aperfeiçoada.

Outra definição foi elaborada por Dionne (1963), onde afirma que o estuário é uma região onde as águas oceânicas avançam sobre o vale de um rio até o limite de influência de maré. Este pode ser dividido em três setores, o estuário inferior, com livre conexão com o oceano; o estuário médio, com intensa mistura de água marinha e a fluvial; e o estuário superior, onde o prisma de maré se localiza, considerado como o limite estuarino.

Em uma visão sedimentológica, Dalrymple *et al.* (1992) afirma que os estuários são ambientes associados a vales incisos formados na regressão marinha e que posteriormente foram preenchidos por água na transgressão marinha. A partir disso, é possível observar duas fácies sedimentares principais, a marinha, influenciada pelas ondas e maré, e a fluvial, proveniente dos rios.

Portanto, os estuários recebem sedimentos de ambos sistemas próximos, tanto sedimento marinho quanto fluvial. A disposição sedimentar é influenciada pela força dominante, marés ou ondas. Entretanto, existem características sedimentares iniciais comuns entre os estuários.

Normalmente, o leito do estuário inferior é composto por sedimentos relativamente grosseiros (areias e, mais raramente, cascalhos terrígenos) que são aportados da shoreface e plataforma continental adjacente para o estuário pela ação da onda e da corrente de maré. O estuário médio apresenta os sedimentos argilosos, siltosos e arenosos muito finos. A formação de flocos e deposição de lama neste setor estuarino é proveniente da floculação, coagulação e agregação, que aumenta devido a presença da salinidade e dos teores de MO. No estuário superior, encontram-se os sedimentos arenosos e cascalhosos de origem fluvial (Flemming 2011).

Em estuários, existe uma outra distribuição tão importante quanto a sedimentar, a MO e o carbonato de cálcio (CaCO_3). Naturalmente, a MO é proveniente do fluxo fluvial, de origem terrígena; e autóctone, a partir da síntese fitoplanctônica de origem marinha. Entretanto, segundo Meybeck (1982), a MO proveniente da descarga fluvial é a maior fonte de carbono reduzido para os oceanos. Assim, o teor de MO de origem continental pode ser maior que o de origem marinha em estuários, e de acordo com Abril *et al.* (2002), somente uma fração deste aporte de MO terrígena alcança a plataforma continental

Logo, a MO é comumente encontrada no estuário superior, onde o domínio é fluvial e no estuário médio, onde ocorrem os processos de floculação e adsorção entre a MO e as frações de argila e silte (Pettijohn 1975, Flemming 2011). A MO terrígena é derivada da vegetação continental e dos solos, transportados para os estuários a partir do escoamento superficial. Além disso, possui característica mais refratária à absorção por organismos (Hedges *et al.* 1994, Brito 2014, Oliveira *et al.* 2014).

Enquanto isso, o CaCO_3 é proveniente da síntese por organismos marinhos e é um componente predominante em sedimentos marinhos (Morse *et al.* 2007). Em águas rasas, os carbonatos são produzidos pela desintegração dos esqueletos de organismos

bentônicos, como corais, equinóides, moluscos, foraminíferos e algas coralinas (Morse et al. 2007). Assim, está presente, principalmente, no estuário inferior, onde o domínio é marinho.

Estes padrões de sedimentação podem ser moldados por diversos fatores, e um deles é a velocidade das correntes de maré, criando padrões em relação a enchente e vazante. Em estuários que a maré de enchente é mais forte (estuários dominados por enchente), o sedimento tende a se mover para montante, enquanto que em estuários dominados por vazante, o sedimento tende a ser transportado a jusante (Bird 2008).

O estuário Mocajuba, objeto de estudo deste trabalho, pode ser classificado como dominado por macromaré (DHN 2004), segundo a classificação de Davies (1964) e Hayes (1975), sendo este o processo físico dominante, além de se comportar como um estuário dominado por maré vazante (Silva 2015). Estuários dominados por maré e correntes de maré são, geralmente, em forma de funil, e segundo Dalrymple *et al.* (1992), na porção marinha são formadas barras arenosas longitudinais que dissipam a ação da onda, portanto, esta é de menor importância no estuário. Além disso, a maré de enchente atinge valores zero de energia quando alcança o prisma de maré, no estuário superior, enquanto que a energia fluvial decresce em direção ao mar, no estuário inferior (Dalrymple *et al.* 1992, Dalrymple & Choi 2007).

Quanto a formação dos estuários, estes possuem sua gênese intimamente ligada às oscilações do nível do mar. Estes, assim como a ZC, sofrem com estas oscilações em momentos de transgressão e regressão que inundam e expõem as plataformas continentais, respectivamente (Rovere *et al.* 2016). Nos momentos de transgressão, os vales fluviais são afogados e se tornam estuários.

A geomorfologia do estuário estudado, de acordo com a classificação proposta por Pritchard (1952b, apud Miranda *et al.* 2002) é de Planície Costeira. Este tipo de estuário está presente em áreas de planície costeira sendo formados durante a transgressão Holocênica (aproximadamente 5.000 anos) que inundou os vales fluviais.

Ainda segundo estes autores, para a formação de estuários, a inundação deve ser mais veloz do que a capacidade do ambiente de disponibilizar sedimentos, tornando a sua forma atual muito semelhante ao vale do rio. Este tipo de estuário é raso, raramente excedendo 30 m de profundidade e orientam-se perpendicularmente à linha de costa em regiões tropicais e subtropicais.

3.2 CLASSIFICAÇÃO SEDIMENTAR

Os sedimentos são fragmentos de rochas e minerais provenientes da erosão e do intemperismo terrestre, como o intemperismo químico, físico e biológico, quais podem sofrer o transporte para bacias de sedimentação próximas ou distantes de sua origem. Estes sedimentos, formados no continente são transportados até alcançar as bacias oceânicas, sendo seu destino final. Os estuários são ambientes responsáveis pelo intermédio continente-oceano (Delgado 2011).

3.3 CLASSIFICAÇÃO GRANULOMÉTRICA

Inicialmente proposta por Wentworth (1922), porém atualmente se utiliza versão modificada, onde são retratadas a partir da letra grega 'phi' (ϕ), onde o tamanho milimétrico é transformado em um \log_2 negativo. Segundo Flemming (2011) a escala phi é prática devido a facilidade na memorização, já que cada phi representa o dobro ou metade em mm. A origem é 1 mm, sendo 0 phi; -1 phi = 2 mm; -2 phi = 4 mm; etc. ou 1 phi = 0,5 mm; 2 phi = 0,25 mm, etc. A análise sedimentológica indica o agente transportador e a hidrodinâmica local. A análise é realizada a partir do método de logarítmicos gráficos propostos por Folk & Ward (1957).

Enquanto que a classificação da hidrodinâmica foi proposta por Pejrup (1988) onde o comportamento hidrodinâmico das areias é diferente do dos siltes e das argilas, indicando energias mais elevadas, enquanto que o silte e a argila se depositam em ambientes hidrodinamicamente calmos. Este comportamento foi observado por Baía (2016) e Dias (2004).

3.4 MATÉRIA ORGÂNICA (MO)

A MO é constituída da biomassa morta de organismos vegetais e animais, como fitoplâncton e zooplâncton, em diferentes estágios de decomposição, sendo importante para a troca de nutrientes e energia entre os compartimentos terrestres, crosta, atmosfera e oceanos (Libes 2009).

Os componentes constituintes da MO em ambientes estuarinos dependem da biota existente, assim como aportadas pelos dois ambientes adjacentes, e das condições hidrológicas da coluna d'água (Barcellos 2005).

A MO fornece um amplo conhecimento sobre a área que se deseja compreender, tanto paleoambientais como atuais. Algumas informações são: taxas de acumulação e de preservação, avaliando a produtividade biológica assim como a disponibilidade do uso

da MO por organismos bentônicos; condições paleoceanográficas e paleolimnológicas; dinâmica de massas d'água; e a paleo e atual hidrodinâmica local (Meyers 1997, Oliveira *et al.* 2014).

Nos sedimentos, a MO possui uma correlação inversa com o conteúdo de areia presente, devido maior porosidade e permeabilidade de sedimentos mais grosseiros, e uma correlação direta com sedimentos finos, que adsorvem a MO e se depositam (Tyson 1995).

3.5 CARBONATO DE CÁLCIO

O CaCO_3 é um sedimento detrítico amplamente estudado no mundo, estando presente em todos os oceanos. É formado por organismos como os foraminíferos, cocolitoforídeos, pterópodes, algas calcárias, entre outros, e são estruturas duras, como carapaças, endo e exoesqueletos, de diversos tamanhos (Libes 2009). Porém, existem alguns fatores que propiciam a formação e a preservação deste sedimento, como organismos formadores de carapaças, boa penetração de luz, altas temperaturas e baixa pressão, circulação da água, salinidade e oxigenação. O inverso, como baixas temperaturas e alta pressão, alto teor de MO e pH baixo, causam a dissolução do CaCO_3 (Libes 2009).

4 ÁREA DE ESTUDO

A porção norte da Zona Costeira Brasileira (ZCB) é conhecida como Litoral Amazônico, e se estende do Cabo Orange, no Amapá, até a Baía de São Marcos, no Maranhão (Coutinho 2005).

O litoral amazônico possui características meteorológicas e oceanográficas bastante peculiares quando comparadas a outras regiões costeiras do país. Esta possui elevada precipitação anual (até 3.300 mm) com altas temperaturas ($>20\text{ }^{\circ}\text{C}$) e baixa variação térmica anual. Apresenta plataforma continental, de aproximadamente, 330 km, com regime de macromarés e descarga de dezenas de estuários nos oceanos. Estes apresentam elevado transporte de sedimentos, nutrientes e MO, além de extensa área de manguezais (Pereira *et al.* 2009), perfazendo cerca de 650 km de litoral em linha reta (Souza-Filho 2005).

O município de São Caetano de Odivelas está inserido no litoral amazônico, no setor 1, segundo a divisão de Souza-Filho (2005) da costa amazônica, que engloba a Baía de Marajó até a de Pirabas (Fig. 1). Está inserido também na mesorregião do nordeste paraense, na Microrregião do Salgado. Localiza-se nas coordenadas geográficas de latitude -0.748902 e longitude -48.025177 . O município está a 96,7 km de distância de Belém em linha reta, e a sua via de acesso principal é a partir da rodovia PA 140.

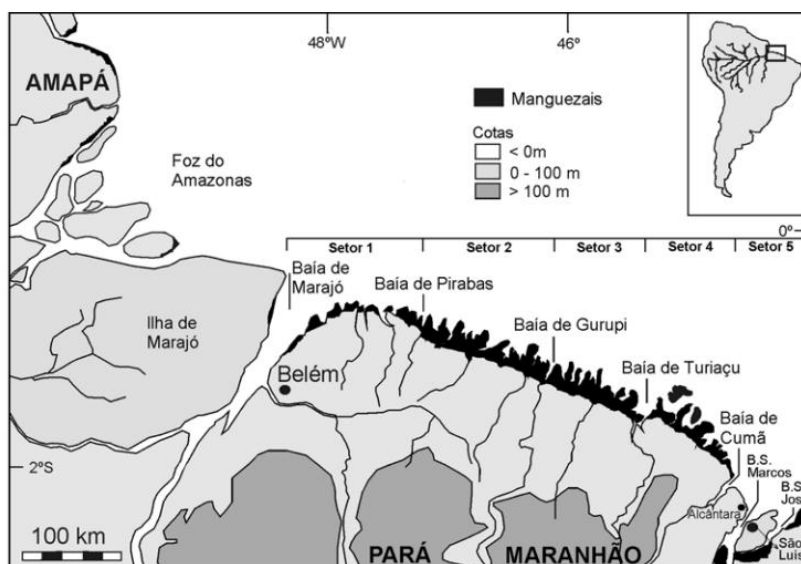


Figura 1 - Mapa de Localização da Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia (CMMA).
Fonte: Souza Filho (2005)

Este é banhado pelo estuário dos rios Mojuim e Mocajuba, onde a margem direita do rio Mocajuba faz parte da RESEX Mãe Grande de Curuçá, a margem esquerda integra a RESEX Mocapajuba, e o estuário superior pertence a RESEX de São João da Ponta (ICMBio 2014) (Fig. 2).

O estuário Mocajuba integra o sistema estuarino Mojuim e Mocajuba, com forma de “Y” e foz compartilhada com o estuário Mojuim, além de se conectar através de “furos” ao estuário Mojuim e ao Curuçá, o qual permite o intercâmbio de água, sedimento, nutrientes, etc.

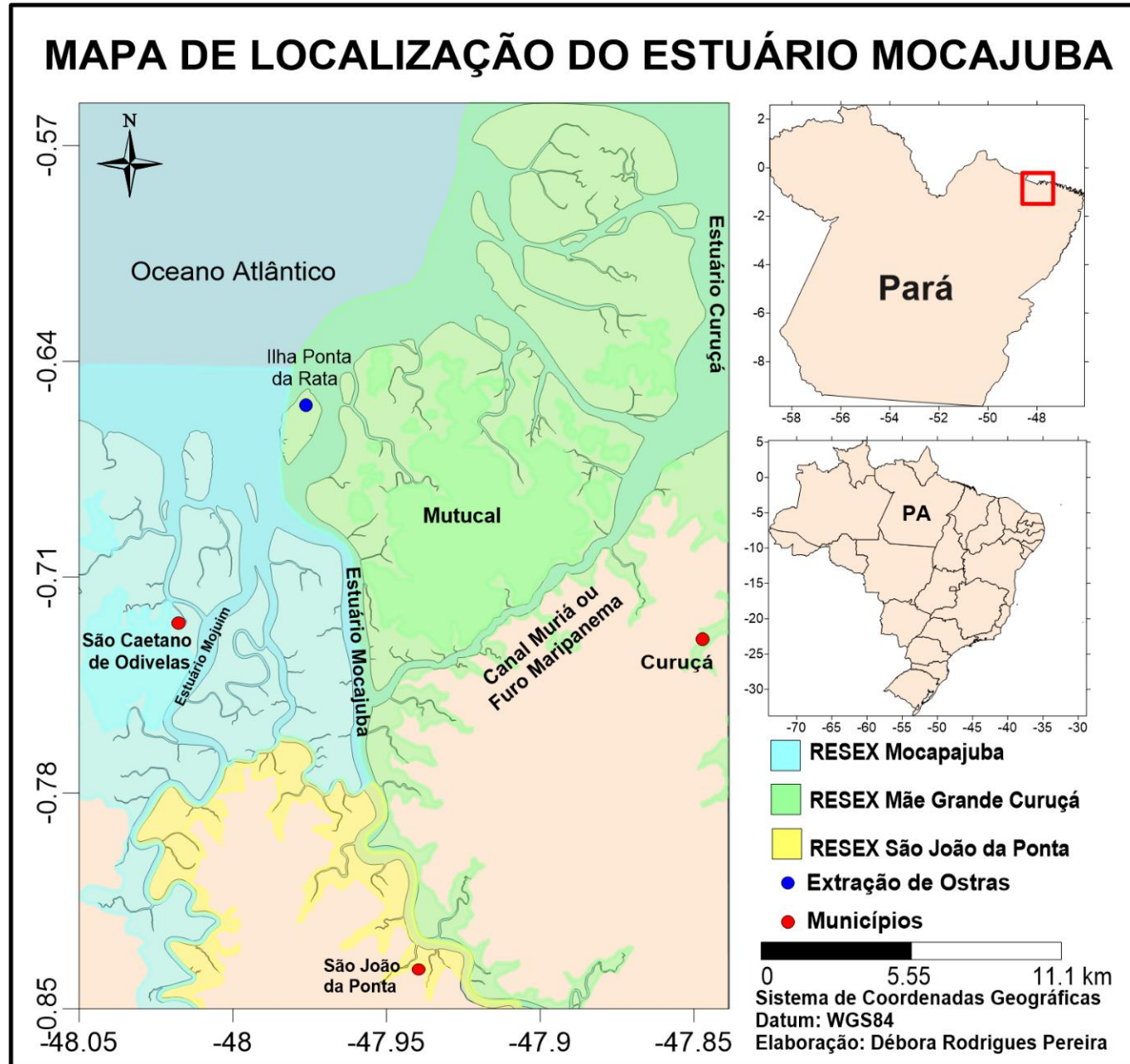


Figura 2 - Mapa ilustrando a localização do estuário Mocajuba, os principais municípios da região e as RESEXs que o estuário Mocajuba está incluído.

4.1 GEOMORFOLOGIA E GEOLOGIA

O litoral do NE do Pará perfaz uma extensão de 600 km (entre a foz dos rios Amazonas e Gurupi) e apresenta um forte controle estrutural, seguindo as orientações das falhas normais NW-SE e falhas transcorrentes NE-SW, vinculadas à atuação de binário dextral E-W, no Terciário-Quaternário (Costa *et al.* 1991). Segundo Martins *et al.* (2007), a drenagem da costa nordeste paraense apresenta um padro dentrítico, seguindo predominantemente o padrão NE-SW, e assim, apresenta um forte controle estrutural, corroborando com Costa *et al.* (1991).

O estuário Mocajuba está inserido na Plataforma do Pará e Bragantina (PPB), no Litoral Amazônico Oriental, e na Bacia do Pará-Maranhão. A cobertura sedimentar é cenozóicas detríticas e plataformais transgressivas e regressivas de deposição durante o Paleógeno e o Neógeno (CPRM 2008). No estuário inferior do Mocajuba predominam as barras arenosas, observadas em campo e através das imagens de satélite (Fig. 3). Segundo Ferreira (2013), estes bancos também são encontrados nas margens do estuário, com área de 18,1 ha, na RESEX de São João da Ponta (Fig. 4).

Estuário Mojuim e Mocajuba

São Caetano de Odivelas

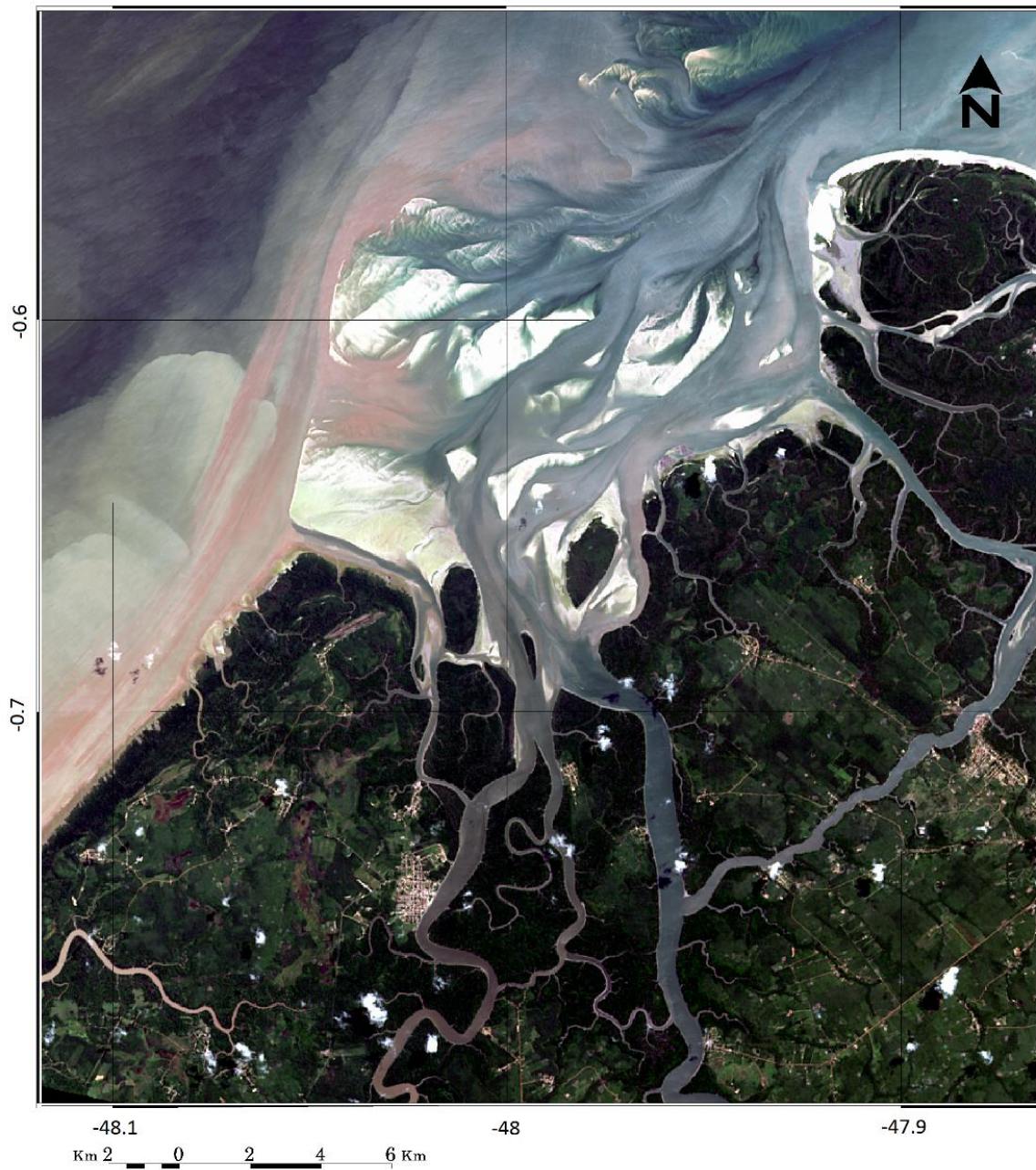


Figura 3 - Barras arenosas presentes no estuário inferior do Mocajuba.

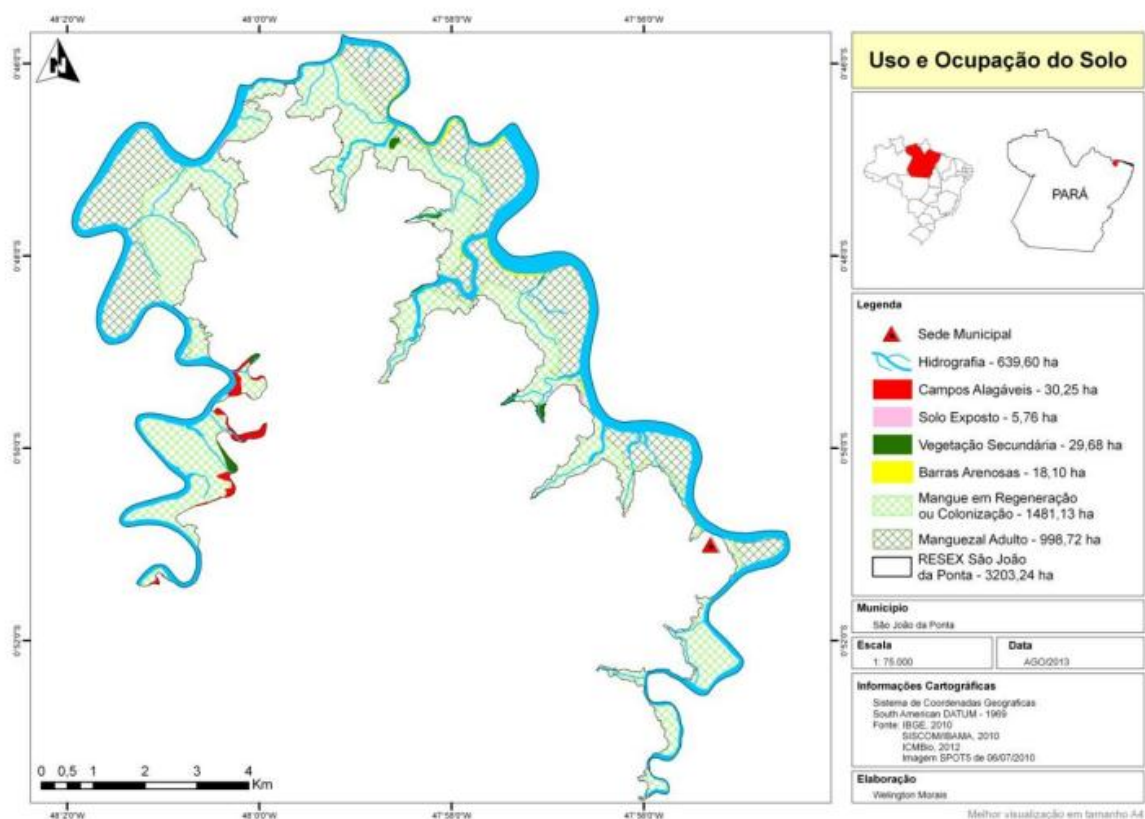


Figura 4 - Bancos arenosos nas margens do estuário Mocajuba, região de São João da Ponta.
Fonte: Ferreira (2013).

De acordo com França *et al.* (2016), existem três geossistemas na zona superior do sistema estuarino Mojuim e Mocajuba (Fig. 5). O primeiro são as capoeiras e os capoeirões sobre baixos platôs, tabuleiros e colinas degradados com dinâmica progressiva e regressiva sob forte antropismo devido ao uso urbano e rural (GI), tendo coberturas superficiais areno-argilosas da Formação Barreiras/Pós-Barreiras; o segundo é o geossistema das formações florestais alagáveis das planícies aluviais com dinâmica progressiva pelo uso extrativista e urbano (GII) com coberturas arenosas ou argilosas; o terceiro é o geossistema das florestas halófitas flúvio-marinhas em planícies de maré lamosas, com estabilidade dinâmica ou climácica sob uso extrativista (GIII), com coberturas sedimentares siltosas e argilosas. Neste geossistema se observam os manguezais adultos e senis, com os gêneros *Laguncularia sp.*; *Rhizophora sp.* e *Avicennia sp.*

A fração lamosa do estuário Mocajuba possui composição mineralógica de quartzo e caulinita, com menores concentrações de esmectita e ilita. Os níveis de SiO_2 , Al_2O_3 , e Fe_2O_3 são altos em comparação aos de Na_2O , K_2O , MgO e CaO (Vilhena *et al.* 2014).

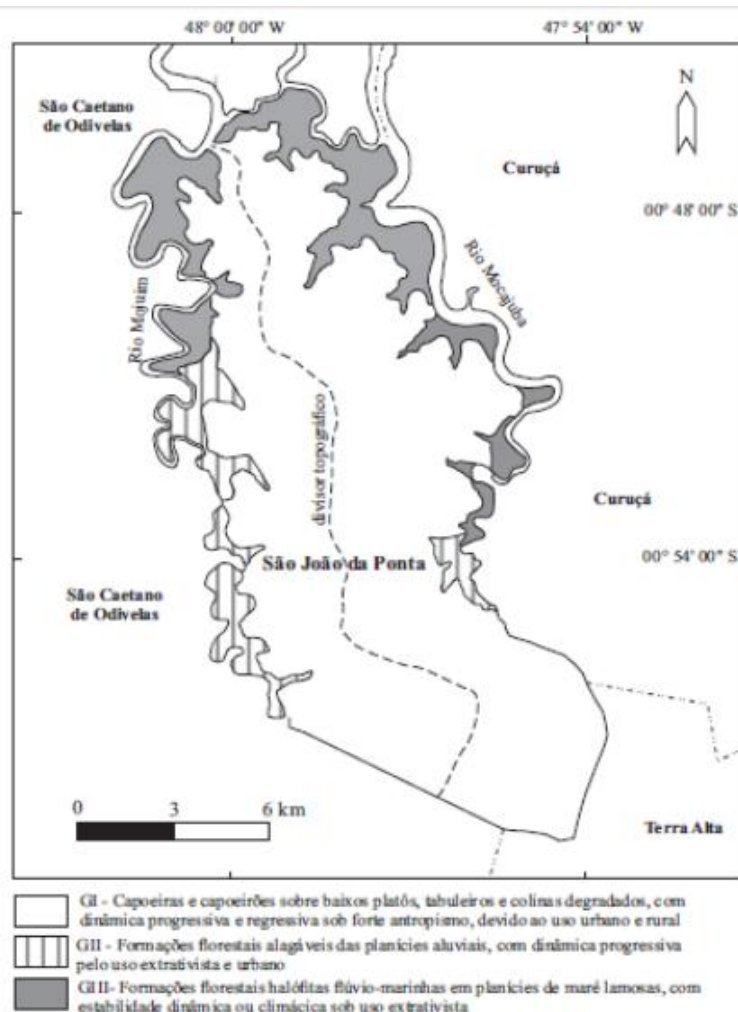


Figura 5 - Geossistemas do estuário Mocajuba, região da RESEX de São João da Ponta. Fonte: França *et al.* (2016).

4.2 HIDROGRAFIA

O estuário Mocajuba está inserido na sub bacia conjugada do rio Guamá e também está inserido na Região Hidrográfica Costa Atlântica Norte Nordeste (ANA 2018). O estuário Mocajuba é formado pelo rio Mocajuba, igarapé Pimenta e outros tributários menores, como os rios Tijoca, Candeuca, e o canal Maripanema ou Muriá (IDESP 2014). Serve de limite natural entre os municípios de São Caetano de Odiveiras e Curuçá e segue em direção a Sudeste-Noroeste formando meandros, para, posteriormente, seguir em direção Norte, até desembocar no Oceano Atlântico (IDESP 2014).

As águas do estuário Mocajuba são ligeiramente ácidas (pH 6,2- 6,9) e fortemente enriquecidas com álcalis ($\text{Na}^+ > \text{Mg}^{2+} > \text{Ca}^{2+} > \text{K}^+$), e altos níveis de Cl^- e Br^- . Concentrações relativamente altas da maioria dos elementos químicos, como Fe, Zn, Se, Sr, Pb e Al, foram registradas nas amostras (Vilhena *et al.* 2014).

A comunidade de microfítoplâncton é diversificada no estuário Mocajuba, com um total de 126 táxons, 85% pertencem às Bacillariophyceae, 10% às Cyanophyceae, 3% às Chlorophyceae, 1% à Dynophyceae e 1% à ordem Tintinnidae. Coscinodisco foi comum na maioria dos meses analisados (VILHENA *et al.* 2014).

4.3 VEGETAÇÃO

A costa nordeste do Pará e noroeste do Maranhão, é representada por manguezais de macromaré denominada de Costa de Manguezais de Macromaré da Amazônia – CMMA, a qual estende-se da Baía de Marajó (PA) até a Ponta de Tubarão, Baía de São José (MA), perfazendo cerca de 650 km de litoral em linha reta (Souza-Filho 2005) e são compostos por *Rhizophora mangle* e *Avicennia germinans* nas planícies de maré (Silva *et al.* 2009). Segundo Ferreira (2013), na RESEX de São João da Ponta ocorrem as espécies *Avicennia germinans*, *A. schaueriana*, *Laguncularia racemosa* e *Rizophora mangle*. Além de manguezais, o estuário Mocajuba apresenta o ecossistema de restinga, igapós, matas (secundárias) de terra firme, campos e campinas.

4.4 PARÂMETROS CLIMÁTICOS E OCEANOGRÁFICOS

De acordo com Prost *et al.* (2001), a região do estuário Mocajuba é quente e úmida. De acordo com a classificação de Köppen, esta região é classificada como Am (Ferreira 2013), com temperatura média anual de 27°C com pequena amplitude térmica (Martorano 1993). Segundo Fisch *et al.* (1998), a precipitação média anual aproximada é de 2300mm, enquanto que, para Moraes *et al.* (2005) a precipitação média anual total está entre 2400 e 3330mm.

Nesta região, assim como no Norte e Nordeste do Brasil, a Zona de Convergência Inter-Tropical (ITCZ) é responsável pela maior precipitação, permanecendo principalmente no Hemisfério Norte. Devido a sua oscilação sazonal, a ITCZ se aproxima do Equador (0°N) entre março e abril e avança próximo dos 10°N, entre agosto e setembro, definindo as estações chuvosa e seca da região amazônica, respectivamente (Santos 2016). Além da ITCZ, as Linhas de Instabilidades (LIs) da Amazônia também são responsáveis pela precipitação na costa litorânea do Pará (Fisch *et al.* 1998).

Assim, a sazonalidade influencia as condições pluviais e fluviais da região amazônica. No período chuvoso as áreas de inundação se expandem devido a descarga fluvial mais intensa. No período seco, as correntes de maré são predominantes nos

estuários, alcançam maiores extensões a montante e exercem grande influência nos mecanismos de mistura, sedimentação, erosão e transporte (Santos 2016), portanto, a descarga fluvial reduz e se torna menos importante.

A vazão resultante instantânea no estuário Mocajuba, durante o período seco, é baixa, aproximadamente de $8 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, sendo a descarga máxima de $3.670 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na vazante e $3.580 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ na enchente (Asp *et al.* 2013).

No nordeste do Pará, a predominância é de macro-marés semi-diurnas, com amplitudes variando de 4 a 6 m (DHN 2004). O estuário Mocajuba possui uma média da altura da maré anual de 4,81 m (Silva 2015), alcançando aproximadamente 37 km a montante (Gomes 2015). Através da imagem de satélite (Fig. 3) e batimetria (Silva 2015) podemos observar que há somente um canal para momentos de enchente e vazante.

A salinidade média do estuário Mocajuba no período chuvoso, foi de 8,76, enquanto que no período seco, a média foi de 3 (Gomes 2015). Além disso, o mesmo autor demonstrou que próximo de 37 km, para o período chuvoso, a salinidade apresenta valores aproximados de 7, e para o período seco valores maiores que 20, demonstrando que a água oceânica é um fator influenciador no estuário Mocajuba.

Asp *et al.* (2013) afirma que devido a falhas locais, o estuário possui seções estreitas, profundidades de até dez vezes a faixa de marés (por exemplo, 40m) e correntes relativamente fracas (correntes máximas inferiores a $0,5 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$).

Na região do canal de maré Muriá, as velocidades das correntes de maré são baixas, com valores máximos sempre inferiores a $1 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1}$ em condições de marés de sizígia, e ocorrendo em momentos de enchente e vazante (Reis 2016) assemelhando-se com as correntes do estuário Mocajuba.

Para o estuário Mocajuba, durante o período chuvoso as velocidades das correntes de vazantes predominam, portanto, neste período, o estuário Mocajuba se comporta como um estuário dominado por vazante (Silva 2015). De acordo com os padrões de sedimentação, este domínio indica que o transporte de sedimentos é em direção a foz, ou seja, um estuário exportador. Para o período seco, há uma simetria na onda de maré (Silva 2015).

5 METODOLOGIA

Este trabalho refere-se ao tratamento analítico de amostras de sedimento de fundo previamente coletadas no âmbito do Projeto RHIA - Rede de Hidrologia da Amazônia (FINEP). Coletamos as amostras com auxílio de uma draga de Van Veen, no estuário Mocajuba (Fig. 6), latitude -0.689911e longitude -47.980810, no nordeste paraense em novembro de 2015.

Definimos 73 estações de coleta de sedimento ao longo do estuário com distância latitudinal de 500m de um ponto a outro e longitudinal de acordo com a largura do rio, considerando um ponto no canal e outros dois nas margens. Definimos as coordenadas geográficas dos pontos de coleta de sedimento e exportamos para o GPS que foi utilizado na execução do trabalho em campo.

Ressaltamos que os dados refletem o momento da coleta, e esta foi realizada no período chuvoso, podendo ser alterada em outros períodos. Além disso, não foi possível coletar amostras na foz conjunta dos estuários Mocajuba e Mojuim devido a presença das barras arenosas, que impediram a mobilidade no local.

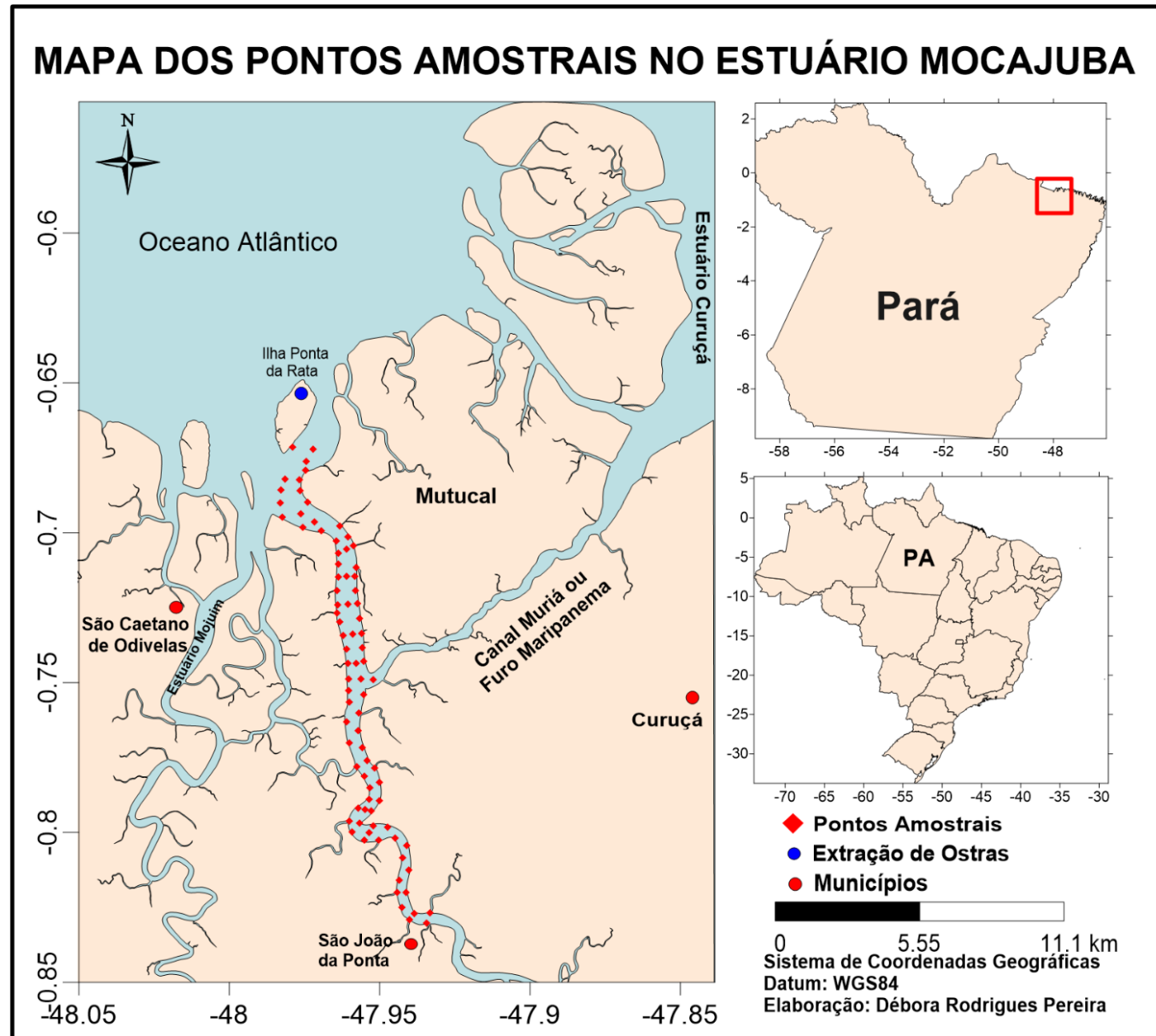


Figura 6 - Mapa das estações de coleta no estuário Mocauba.

Primeiramente, lavamos as amostras brutas para retirar o sal, e posteriormente adotamos três procedimentos analíticos: (5.1) quantificação do teor de MO e CaCO_3 ; (5.2) granulometria; e (5.3) tratamento estatístico. Devemos ressaltar que duas amostras eram rochas, assim, as consideramos apenas no mapa de Distribuição sedimentar.

5.1 QUANTIFICAÇÃO DO TEOR DE MATÉRIA ORGÂNICA E CARBONATO DE CÁLCIO

Obtivemos o teor de MO e CaCO_3 nas amostras de sedimento lavadas através do método de calcinação, adaptado de Kralik (1999), que consistiu na queima do material contido na amostra de sedimento. Adicionamos aproximadamente 3g (P_1) das amostras secas em cadinhos de porcelana, previamente desumidificados na mufla a 100°C por 1 hora e tarados (P_0). Em seguida, conduzimos os cadinhos com as amostras para a mufla, pré-aquecida a 360°C , por 2 horas.

Após a queima, colocamos os cadinhos no dessecador por 1 hora e, posteriormente, os pesamos (P_2) em uma balança de precisão. Para a obtenção do teor de MO, aplicamos a seguinte equação nos dados obtidos:

$$\% \text{MO} = [(P_0 + P_1) - P_2] * 100 / (P_0 + P_1)$$

Onde:

P_0 = peso do cadinho

P_1 = peso da amostra (3g)

P_2 = peso final

Após a obtenção do teor de MO por calcinação, recolocamos os cadinhos contendo as amostras na mufla, dessa vez, aquecemos a 1000°C por 1 hora. Posteriormente, colocamos os cadinhos em dessecador para resfriarem por 2h e os pesamos para obtenção do peso final (P_3). Obtivemos o teor de CaCO_3 através da seguinte equação:

$$\% \text{CaCO}_3 = (P_2 - P_3) * 100$$

Onde:

P_2 = peso da queima de MO à 360°C .

P₃= peso da queima de CaCO₃ à 1000°C.

5.2 GRANULOMETRIA (SECO E A ÚMIDO)

Para esta análise, primeiramente separamos 150g de cada amostra de sedimento em béqueres para a remoção da MO por imersão de aproximadamente 20mL de Peróxido de Hidrogênio (H₂O₂) a 30%. Homogeneizamos com um bastão de vidro para acelerar a reação e acrescentamos o reagente quando havia a necessidade. Após a eliminação da MO, lavamos as amostras no mínimo três vezes com água destilada para a remoção do reagente e em seguida, foram desidratadas a luz natural. Após a desidratação, maceramos e quarteamos as amostras, para retirarmos 100g de sedimento para posterior análise da granulometria.

Observamos que as primeiras 30 amostras do estuário inferior apresentavam teores arenosos muito acentuados. Portanto, nestas amostras, nós realizamos o peneiramento a seco com um jogo de peneiras em ordem de 2.000, 1.000, 0.500, 0.250, 0.125, 0.063 e < 0.063mm e auxílio de um agitador do tipo Ro-tap por 10 minutos em uma frequência de 3 Hz. Após o peneiramento, pesamos as amostras contidas nas peneiras e acondicionamos em sacos plásticos previamente identificados quanto ao tamanho dos grãos.

No restante das amostras, 41 no total, utilizamos a metodologia de peneiramento a úmido. Em uma peneira, com abertura de 0.063mm, separamos a fração arenosa da lamosa, e as acondicionamos em diferentes béqueres. Em seguida, adicionamos pirofosfato de sódio a 10%, em cada amostra lamosa, para que a argila ficasse em suspensão.

Posteriormente, agitamos as amostras na centrífuga por dois minutos a 1000 rpm, para a decantação da fração silte. Retiramos o sobrenatante, água e argila, e secamos e pesamos o material decantado (silte), dessa forma, por diferença de peso foi obtivemos o teor de argila.

Além disso, usamos as siglas: AMG para areia muito grossa; AG para areia grossa; AM para areia média; AF para areia fina; e AMF para areia muito fina.

5.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA

Plotamos os resultados granulométricos em uma planilha do Microsoft Office Excel e exportamos para o programa Sysgran 3.0 para gerar os diagramas de Pejrup (1988) e a tabela de classificação de Folk & Ward (1957).

A partir dos resultados obtidos dentro dessas classificações, confeccionamos no programa Surfer os mapas de distribuição de algumas classificações e características sedimentares como: granulometria, grau de seleção, assimetria, hidrodinâmica, MO e CaCO_3 , a fim de delimitar as zonas de influência fluvial e marinha, a partir dessas variáveis sedimentológicas. Utilizamos o método de interpolação Kriging, pois este produz a melhor representação de observações <250 , sendo indicado pelo próprio software.

Inicialmente, para propor a Setorização sedimentar, analisamos estatisticamente os dados sedimentológicos no software Origin 2015 (Graphing e Analysis) aplicando a Análise de Agrupamento (Cluster Analysis). Para a Análise de Componentes Principais (PCA) utilizamos o software Statistica 7.1, por este possuir cálculos estatísticos mais refinados em comparação ao software Origin 2015.

Testamos as variáveis: desvio padrão, média, curtose, assimetria, seleção, porcentagem de areia, porcentagem de lama, granulometria, fornecidas pelo programa Sysgran 3.0; batimetria, a partir de dados fornecidos por Silva (2015); porcentagem do teor de MO e CaCO_3 .

A partir de uma análise de correlação de Simpson, variáveis foram excluídas, portanto, adotamos somente as variáveis granulometria de cada fração, porcentagem do teor de MO e CaCO_3 . Além disso, algumas amostras não foram utilizadas nas análises, totalizando um n amostral de 71 amostras.

Como estas variáveis possuem diferentes escalas de mensuração, realizamos a padronização, uma vez que não podem ser diretamente comparadas. Posteriormente, realizamos a Análise de Agrupamento para avaliar as similaridades entre as amostras com o intuito de agrupá-las, e a PCA para avaliar a correlação entre o comportamento da MO e CaCO_3 e as variáveis sedimentológicas, visando analisar os padrões de distribuição destas características (Falco *et al.* 2000).

Para facilitar a compreensão e discussão dos dados, a priori, definimos três setores conceituais considerando a morfologia do estuário Mocajuba, de acordo com Dionne (1963): 1) Inferior, da foz conjunta, onde está tracejado, até 11,09 km; 2) Médio, setor do canal de maré Muriá, com orientação retilínea, possivelmente associada a falhas locais (Asp *et al.* 2013). Consideramos que o estuário médio possui dois subsetores, estes foram classificados conforme sua posição em relação ao canal Muriá: o subsetor 1 é do começo do estuário médio até o a foz do canal Muriá, já o subsetor 2 é

da foz do canal Muriá até o início do estuário inferior; e 3) Superior, situada a montante, com predominância de meandros (Fig. 7).

Além disso, estabelecemos o termo “Distribuição sedimentar” para explicar e discutir as variáveis provenientes da tabela de Folk & Ward (1957), e o termo “Características sedimentológicas” para as Análises Multivariadas, Agrupamento e PCA.

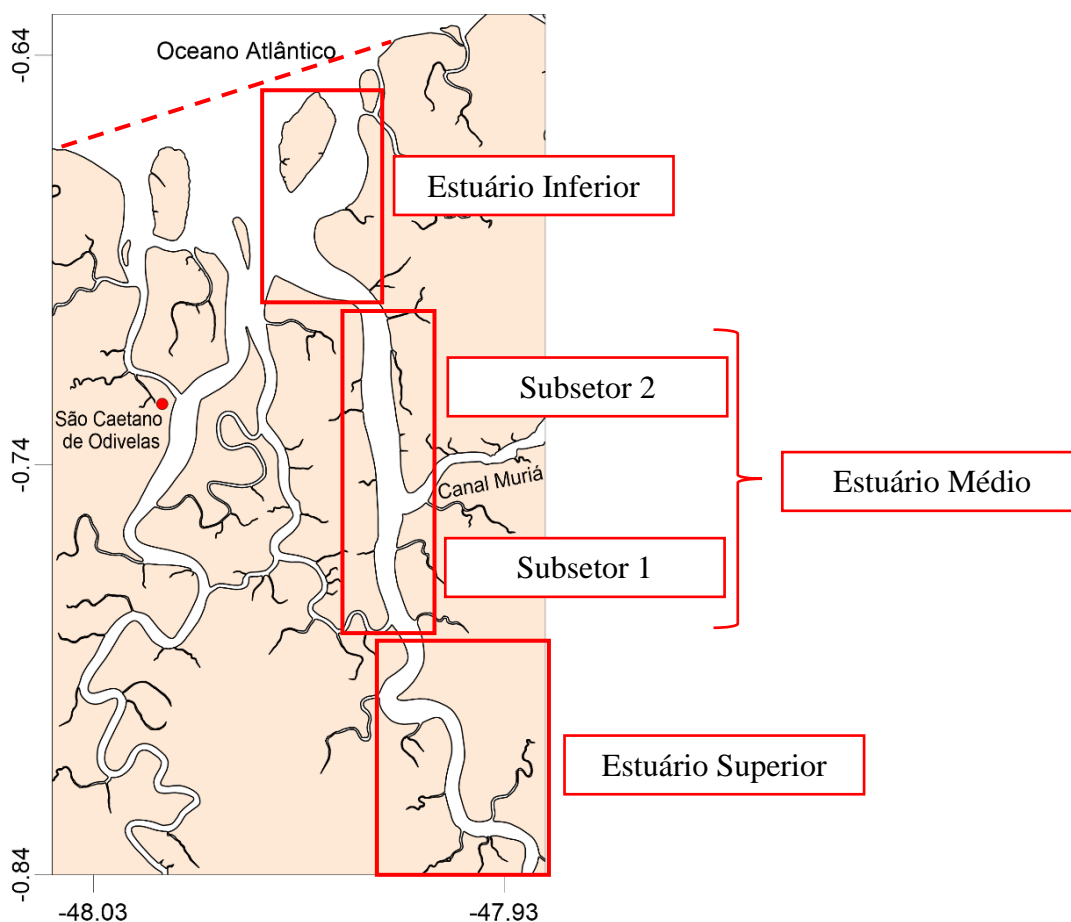


Figura 7 - Mapa conceitual dos três setores do Mocaíba para a discussão dos dados.

6 RESULTADOS

6.1 DISTRIBUIÇÃO E PARÂMETROS SEDIMENTARES

Na análise sedimentológica, observamos que a granulometria se apresentou diversificada (Fig. 8a), com 45,1% na fração lamosa, se dividindo nas frações silte médio com 19,7%, silte grosso com 14,1% e silte fino com 11,3%; e fração arenosa, com 55%, demonstrando que o total arenoso ultrapassa a porcentagem lamosa. Se

divide nas frações areia muito fina com 16,9%; areia fina, com 14,1%; areia média, 14,1%; e areia grossa, 9,9%.

Quanto ao grau de seleção (Fig. 8b), baseado na escala de Folk & Ward (1957), a predominância é de pobremente selecionado (60,6%) e moderadamente selecionado (23,9%). Em relação a assimetria (Fig. 8c), a predominância é positiva e muito positiva, abrangendo 53,5% das amostras, indicando maior deposição de sedimentos (Duane 1964).

Analizamos os dados da Hidrodinâmica através do Diagrama de Pejrup e obtivemos que ao longo deste estuário, a hidrodinâmica é variada (Fig. 9a). As maiores porcentagens se encontram na seção II e III, representando 46,7% e 43,3% das amostras, respectivamente. Portanto, o estuário Mocajuba possui hidrodinâmica moderada a alta.

Os dados de MO não ultrapassaram máximo de 2%, sendo homogênea na extensão do canal (Fig. 9b) e o CaCO_3 possui máximo (20,98%) e mínimo (0,24%) no estuário superior (Fig. 9c). Ressaltamos que para a produção do mapa de MO foi necessário a diminuição do intervalo de contorno, para que as menores mudanças fossem mais nítidas.

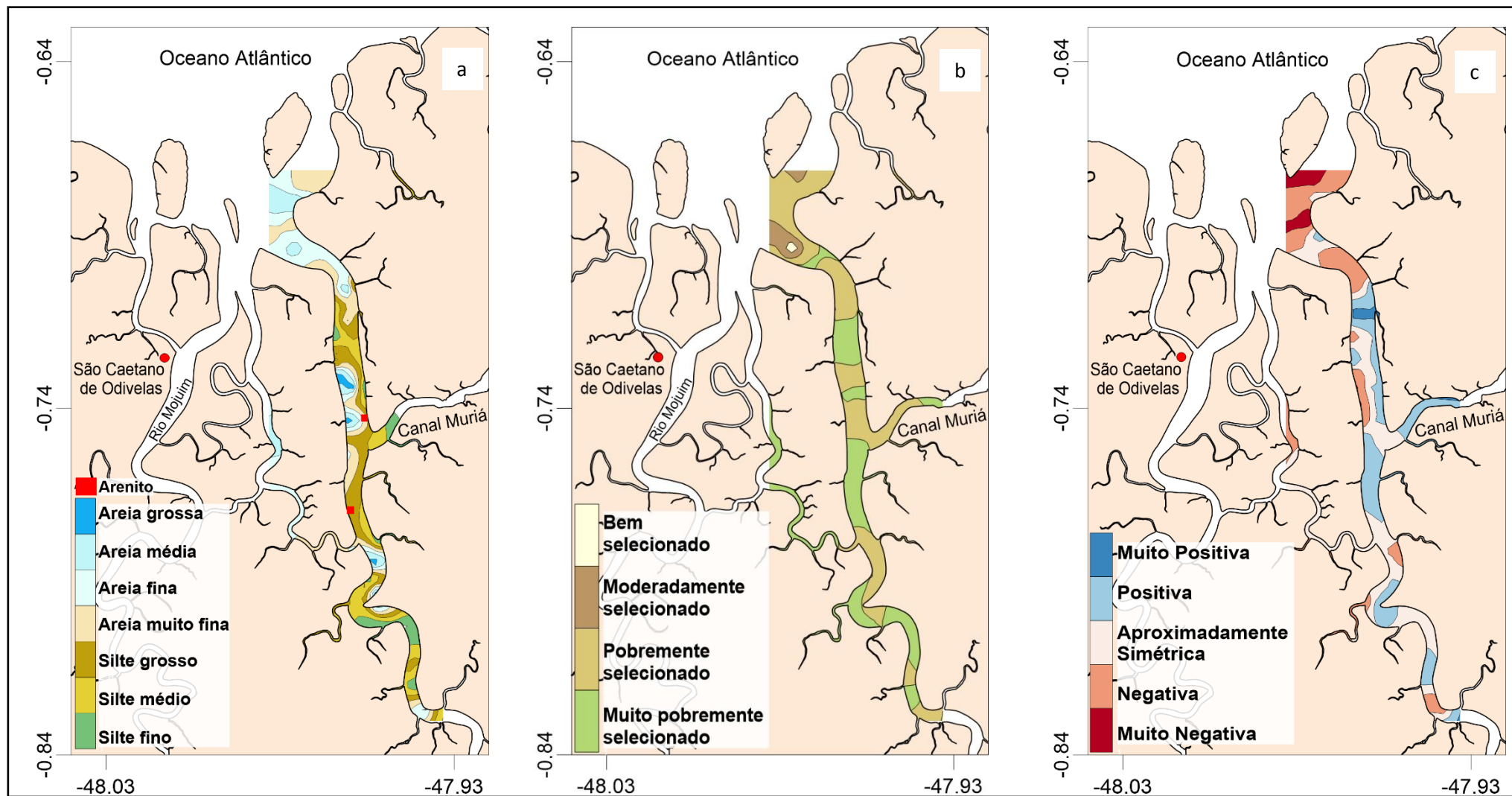


Figura 8 - Mapa da distribuição da a) Granulometria; b) Seleção e c) Assimetria do estuário Mocauba.

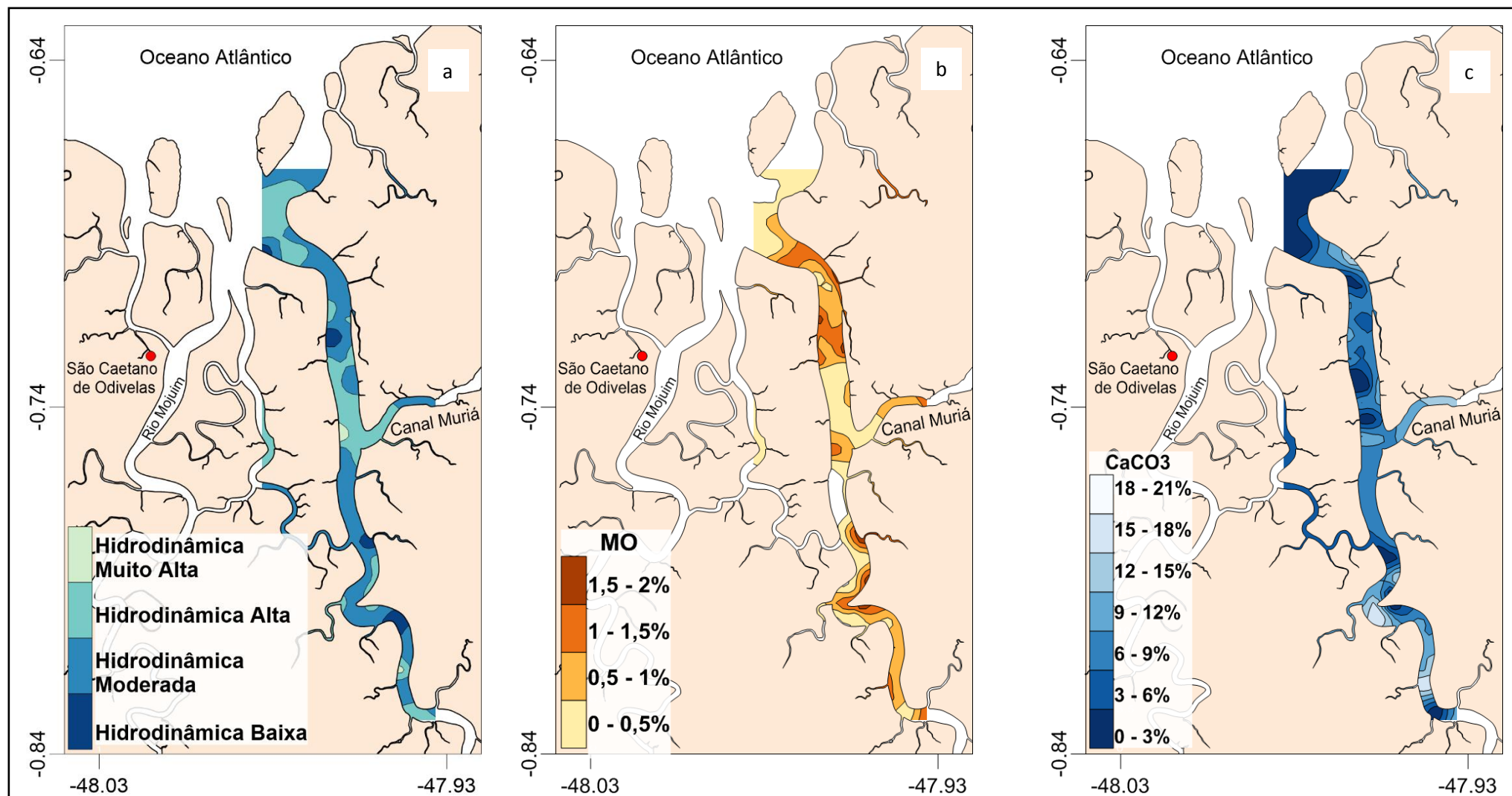


Figura 9 - Mapa da distribuição da a) Hidrodinâmica; b) Matéria Orgânica e c) Carbonato de Cálcio do estuário Mocajuba.

6.2 SETORIZAÇÃO

6.2.1. Análise de Agrupamento

Através da Análise de Agrupamento dos parâmetros sedimentológicos (todas as frações granulométricas, porcentagem do teor de MO e CaCO₃), obtivemos três grupos (Fig. 10 e Tab. 1), sendo:

Grupo 1 (n=14):

Agrupar as frações arenosas muito finas (57%), pobremente selecionados, assimetria negativa e hidrodinâmica moderada. A porcentagem média de Lama foi 9,39%, MO com 0,67% e CaCO₃ com 6,24%.

Grupo 2 (n=22):

Agrupar as frações arenosas médias (45,5%) e arenosas grossas (31,8%), moderadamente selecionadas, assimetria positiva a muito positiva e alta hidrodinâmica. Apresentou os valores médios de: 5,8% de Lama, 0,68% de MO e 6% de CaCO₃.

Grupo 3 (n=35):

Apresenta o maior número amostral, representado pela fração siltica média (43,8%) e grossa (28,6%), pobremente selecionada, assimetria positiva a muito positiva, e hidrodinâmica moderada. A porcentagem média de Lama foi 83,71%, MO 0,75% e CaCO₃ com 9,38%, e atingiu máximo neste grupo, de 20,98% de CaCO₃.

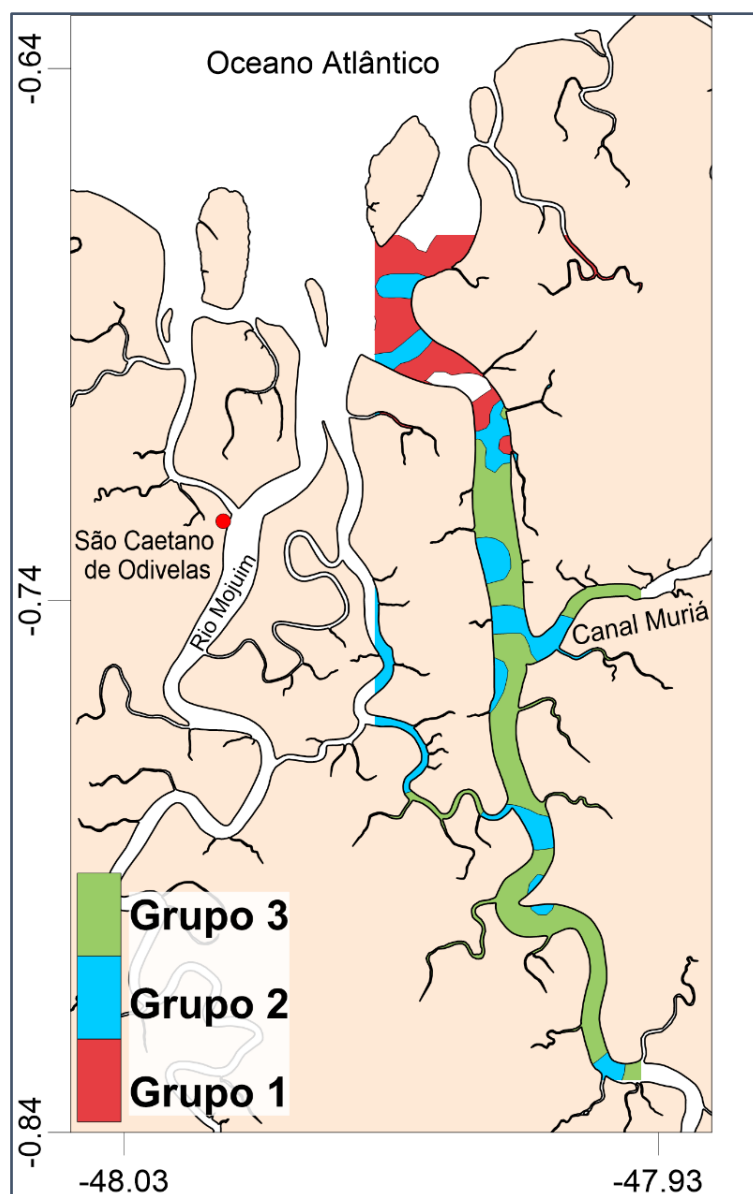


Figura 10 - Mapa da setorização sedimentar apresentando os 3 grupos existentes no estuário Mocajuba.

Tabela 1 - Tabela apresentando as principais características sedimentológicas médias dos grupos existentes no estuário Mocajuba.

Grupos	Classificação	% Areia	% Lama	%MO	%CaCO ₃
1	Areia muito fina	90,58	9,39	0,67	6,24
2	Areia média e grossa	90,84	5,8	0,68	6
3	Silte e Argila	15,89	83,71	0,75	9,38

6.2.2. Análise de Componentes Principais

A análise de componentes principais explicou 77,82% (Tab. 2) da dispersão da nuvem de pontos. A partir do gráfico dos vetores (Fig. 11), observamos que as variáveis AM, AG, AMG e Cascalho são altamente correlacionadas, entretanto, o menor vetor do cascalho significa a mudança brusca que esta variável apresenta ao longo do canal estuarino. O conjunto MO, CaCO₃, silte e argila, também demonstram alta correlação, mas a proximidade da MO ao eixo principal indica a sua homogeneidade no estuário. As frações arenosas finas (AF e AMF) são pouco correlacionadas com todas as outras variáveis.

Tabela 2 - Distribuição dos autovalores segundo cada eixo. Em destaque encontram-se os eixos com maior variabilidade dos dados.

Eixo	Autovalores	% Variância	% Acumulativa
1	4,97	52,54	52,54
2	2,39	25,29	77,82

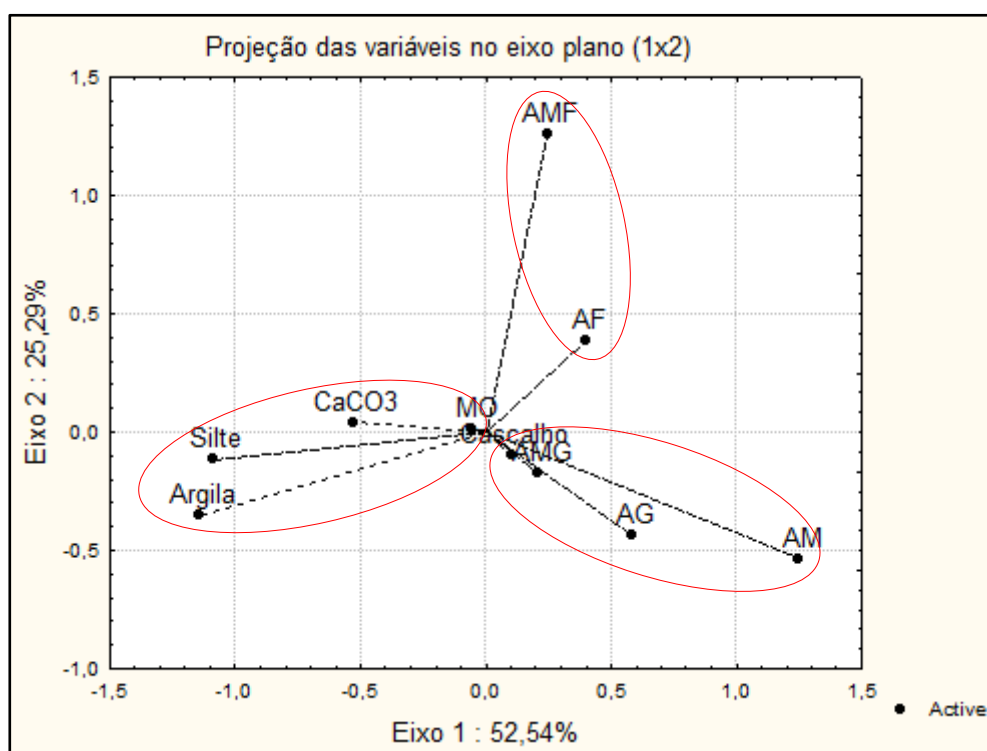


Figura 11 - Representação gráfica das coordenadas das variáveis sedimentológicas e suas correlações com os eixos 1 e 2 com a formação de grupos.

Os planos fatoriais foram analisados através do cruzamento do eixo 1 com o eixo 2, deste modo, o plano fatorial destes eixos (Fig. 12) explica 77,82% da variância das amostras e indica a nítida influência da porcentagem de areia fina e muito fina no

isolamento do grupo 1, assim como a porcentagem de lamosa e de CaCO_3 no grupo 3. As amostras do grupo 1 possuem correlação inversa com as porcentagens de MO, CaCO_3 e lama. Confirmando que o grupo 1 é constituído por sedimentos arenosos finos. Já o grupo 3 é constituído por sedimentos finos, e associados à maior porcentagem média do teor de MO e CaCO_3 da área de estudo.

As amostras reunidas no grupo 2 são predominantemente arenosas (AM e AG). Através da Fig. 12 observamos que o grupo 2 é mais disperso que os outros grupos em relação a distância dos eixos.

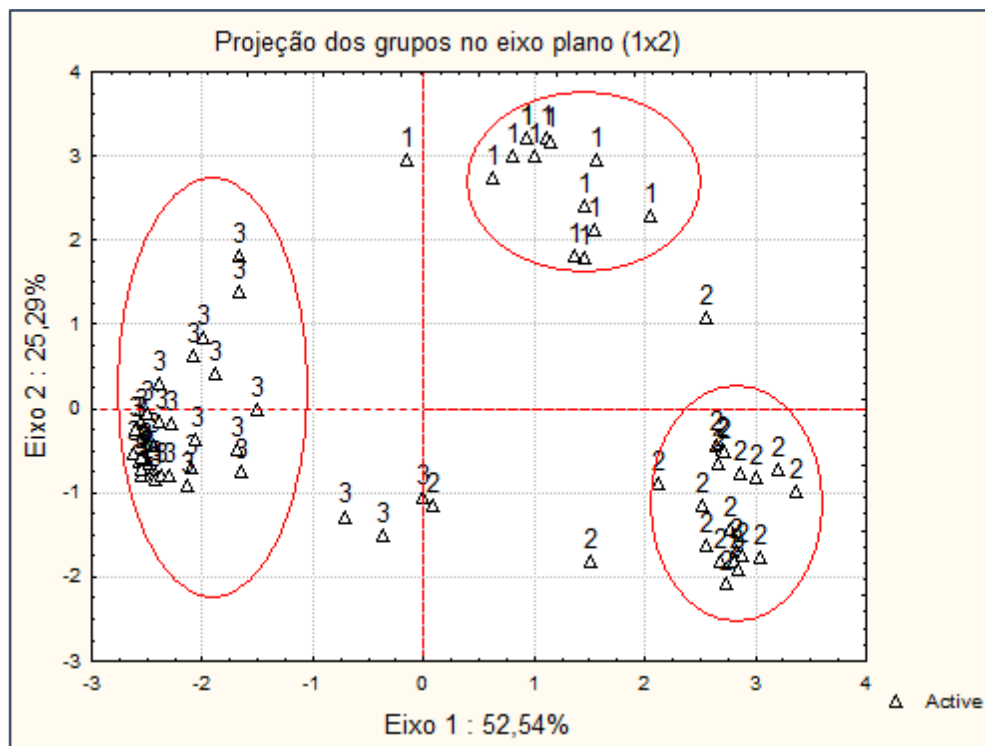


Figura 12 - Representação gráfica das coordenadas vetoriais das estações analisadas no estuário Mocajuba e suas relações de distância com os eixos fatoriais 1 e 2.

7 DISCUSSÃO

7.1 DISTRIBUIÇÃO E PARÂMETROS SEDIMENTARES

O estuário inferior do Mocajuba apresenta areias finas e muito finas e evidencia maior influência marinha. Estas são comumente aportadas pela plataforma continental (Flemming 2011) o que corrobora com o tipo de sedimento presente na plataforma norte do Brasil, que predomina a areia quartzosa litorânea (Coutinho 2005).

A partir da assimetria, observamos que o estuário inferior apresenta barras arenosas emersas durante a baixa-mar, as quais são moldadas pelas correntes de maré de enchente. Esta força é predominante neste setor em comparação à energia fluvial, sendo que este tipo de barras é comum em estuários dominados pela maré.

Quando comparamos a assimetria no estuário inferior do Mocajuba ao Mojuim, observamos diferenças de sedimentação (Fig. 13).

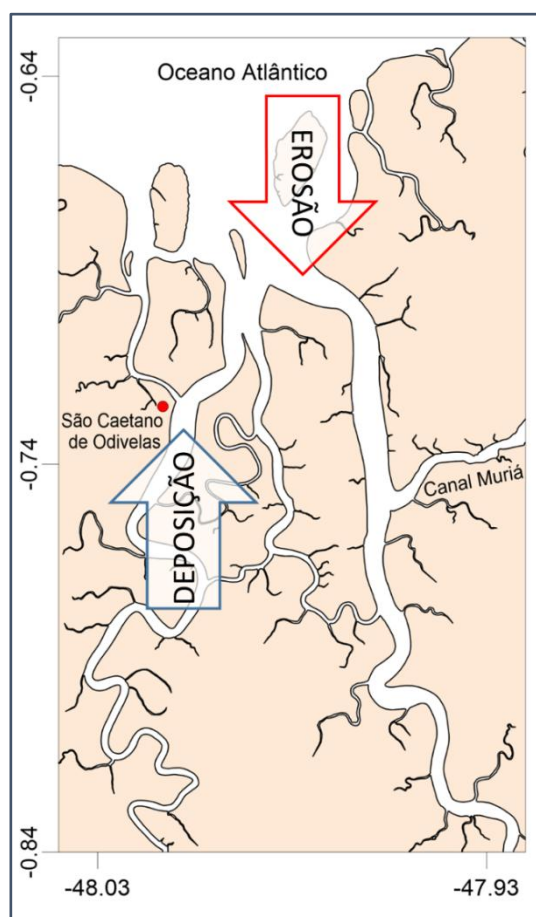


Figura 13 - Modelo da região que apresenta maior erosão (estuário Mocajuba) e da região com maior deposição (estuário Mojuim).

O estuário Mojuim apresenta assimetria positiva (Baía 2016), atribuída a forte deposição sedimentar oriunda principalmente do maior aporte continental. Isso proporciona o desenvolvimento de barras arenosas as quais são preservadas/protegidas pelas ilhas vegetadas localizadas na foz deste estuário. O estuário Mocajuba apresenta características erosivas para o mesmo setor, proveniente da forçante maré, o que impede a fixação de barras arenosas e a formação de ilhas vegetadas.

Em relação ao estuário médio do Mocajuba, nós observamos que apresenta sedimentos mais grosseiros que, possivelmente, são aportados das planícies cascalhosas, dos planaltos tabulares e dos afloramentos rochosos presentes no percurso e no rio (Fig. 8a), enquanto que os sedimentos finos são aportados das planícies lamosas existentes (França et al. 2016). Este pressuposto pode ser confirmado pela seleção, que é pobremente selecionada em todo o estuário Mocajuba, demonstrando que a área fonte dos sedimentos é próxima.

Além disso, a velocidade de corrente é relativamente baixa para transportar este tipo de sedimento. O mesmo ocorre no canal Muriá, onde segundo Reis (2016), as baixas velocidades de corrente que ocorrem no canal inviabilizam o transporte de sedimentos por alta energia. Portanto, as fontes destes sedimentos são as unidades geomorfológicas desta região.

O canal Muriá, presente no subsetor 2 do estuário médio, cria uma área de erosão com predomínio de frações arenosas, e segundo Reis (2016) o canal Muriá é predominantemente arenoso, logo, a deposição arenosa encontrada no estuário médio pode ter sua origem do canal em conjunto com as unidades geomorfológicas presentes.

O estuário superior é o setor com a menor influência marinha. Porém, por apresentar baixa vazão fluvial no período seco, a salinidade média é bastante elevada (23,5) à aproximadamente 37 km de distância da foz (Gomes 2015), significando a intrusão marinha nesta porção estuarina. Entretanto, geomorfologicamente, a vazão fluvial possui força suficiente para moldar o canal estuarino e desenvolver seus meandros. Este processo é natural da ação fluvial, sendo uma característica geomorfológica que resulta na migração gradual do seu curso (Ahmed & Fawzi 2011, Gutierrez *et al.* 2014, Santos 2005, Ríos-Villamizar *et al.* 2011, Ramalho *et al.* 2016, Souza Filho & El-Robrini 1996).

Além disso, é o setor com a maior ocorrência da fração lamosa em comparação aos outros dois setores. Este está relacionado com: as planícies lamosas bem desenvolvidas da região amazônica (Gregório 2008), onde a interação das forçantes,

maré e fluvial, com as margens do estuário, geram o transporte da fração sedimentar fina e desenvolvem um setor superior com alto teor lamoso no estuário Mocajuba; e com o encontro destas duas forçantes neste setor. Esta convergência da maré e do rio altera as condições químicas e físicas da coluna d'água (Mazuqui 1999) e resulta na deposição de sedimentos lamosos pela floculação.

Assim, observamos que o estuário Mocajuba apresenta diversas interferências que o impedem de ter sua identidade própria, pois este sofre com influências dos canais de maré, dos estuários adjacentes e das unidades geomorfológicas próximas. Esta influência foi observada por Reis (2016) em relação ao canal Muriá, que permite o intercâmbio dos estuários Mocajuba e Curuçá, principalmente em condições de mar de sizígia.

Quanto a MO, ela apresentou máximo de 2% e este teor pode ser considerado como baixo em relação a estuários eutrofizados estudados (Noronha *et al.* 2011, Oliveira *et al.* 2014). Isto indica que o ambiente não recebe grandes cargas antrópicas de MO pelos municípios no entorno, portanto, é proveniente de fontes naturais, como os manguezais, a descarga fluvial e os canais de maré. Além disso, a MO é influenciada pelo gradiente de salinidade e processos de ressuspensão sedimentar. Assim, o conjunto destes parâmetros permite que a distribuição da MO seja homogênea no estuário Mocajuba.

Diversos estudos abordam o tema da distribuição da MO e a eutrofização do ambiente, porém ainda há imprecisão para a porcentagem máxima de MO para o ambiente ser considerado eutrofizado. Teores médios acima de 5% de MO, geralmente, estão associados a aportes ou interferências antrópicas (Siqueira *et al.* 2003, Cunha & Calijuri 2008, Oliveira *et al.* 2014). Assim, considerando esta porcentagem, o valor máximo aproximado de 2% de MO, ocorrentes no estuário Mocajuba, caracteriza o ambiente como não eutrofizado.

No estuário Mocajuba, teores maiores que 15% de CaCO_3 , associadas ao sedimento, inferem que organismos bentônicos formadores de carapaças de CaCO_3 são responsáveis por essa deposição em comparação aos planctônicos, diatomáceas com carapaças silicosas (Vilhena *et al.* 2014). Assim, a presença do bentos aumenta os teores tanto de CaCO_3 como de MO, e esta associação indica que estes preferem colonizar áreas com maior aporte de MO. Esta característica é observada em outros estuários, como estudado por Kumar & Sheela (2013), no estuário Manakudy na Índia, Rolemberg

et al. (2008), no estuário Camurupim no Piauí, e Vicente *et al.* (2016), no estuário Guapimirim na Baía da Guanabara, localizados no Brasil.

Segundo Ferreira (2013), os bentos encontrados são ostras, fixadas ao sedimento (*Crassostrea gasar*), formando bancos naturais à montante do estuário Mocajuba e nas raízes dos mangues (*Crassostrea rhizophorae*); mexilhões (*Mytella falcata*, *Mytella guyanensis*) e sarnambis (*Anomalocardia brasiliiana*, *Protothaca pectorina*, *Donax sp.*, *Tivella sp.*).

A presença destes organismos bentônicos torna o ambiente propício para o assentamento dos juvenis, favorecendo a produção da maricultura pela população local. Sendo que esta é aproveitada pelas comunidades de Pereru e Pereru de Fátima em São Caetano de Odivelas (Brabo *et al.* 2016). A produção extrativista, como coleta de ostras e caranguejos, é vista em todas as comunidades de São Caetano de Odivelas, como na ilha Ponta da Rata e no rio Pereru (ICMBio 2014).

7.2 SETORIZAÇÃO

Observamos através dos mapas de distribuição sedimentar que é possível definir as zonas com influência marinha ou fluvial, considerando somente o tipo de fração sedimentar e a sua distribuição através das forçantes descarga fluvial e maré, como explicado na Distribuição e Parâmetros Sedimentares.

Contudo, ao propor a setorização sedimentar a partir de ferramentas estatísticas, Análises Multivariadas, observamos que os grupos 2 e 3 são concomitantes ao longo do estuário. Isto pode ser explicado pela existência das unidades geomorfológicas da região (França *et al.* 2016), as quais estão intercaladas em todo o estuário e podem estar influenciando na configuração sedimentar. Esta característica somada aos altos teores de CaCO_3 e os teores homogêneos de MO se tornam empecilhos no momento da setorização sedimentar, já que mascaram os limites de cada zona.

Quando compararmos o estuário Mocajuba com o estuário Mojuim, observamos que o estuário Mojuim pode ser setorizado perante suas características sedimentológicas (Baia 2016), enquanto que o Mocajuba não.

Além disso, devemos ressaltar que, apesar destes dois estuários serem adjacentes, refletem diferentes domínios na coluna d'água relacionados a salinidade. Para o período chuvoso, no estuário superior, o Mocajuba apresenta valores de salinidade maiores que 7 (Gomes 2015), enquanto que no mesmo setor, o Mojuim apresenta valores de 1,2 (Valentim 2017). Assim, considerando a salinidade, o estuário

Mocajuba apresenta maior intrusão marinha quando comparado ao Mojuim (Corrêa *et al.* 2017).

Apesar desta diferença, observamos que em ambos os estuários há uma coexistência entre o CaCO_3 , a MO e os sedimentos lamosos. Porém, esta associação e as características dos grupos analisados pelo Agrupamento não foram fortes o suficiente para alterar a setorização da autora, se diferenciando do estuário Mocajuba.

Deste modo, embora haja uma semelhança visual de distribuição sedimentar do estuário Mocajuba, com o estuário adjacente, Mojuim, e com o modelo conceitual de Flemming (2011), a setorização através da estatística foi limitada e não permitiu a aplicação dos modelos estuarinos ao Mocajuba, considerando todos os parâmetros sedimentológicos analisados (granulometria de cada fração, teor de MO e CaCO_3).

Entretanto, enfatizamos que os parâmetros MO e CaCO_3 , principais causadores dessa limitação estatística, devem ser considerados, já que são importantes caracterizadores dos ambientes, fluvial e marinho, respectivamente.

Assim, somente a semelhança visual, quanto a distribuição sedimentar, não pode ser o único fator comparativo, uma vez que a estatística nos dá o embasamento significativo do comportamento das variáveis. A partir disso, constatamos que o estuário Mocajuba não se assemelha ao modelo estuarino conceitual, considerando os métodos estatísticos, refutando a hipótese inicial deste trabalho.

De início atribuímos esta divergência ao método estatístico utilizado (Hipótese 1). Entretanto, observamos que este método é amplamente empregado em diversos estuários tanto de micromaré (Vieira *et al.* 2008, Heise *et al.* 2010, Silva 2012) de modo eficaz, assim como pode ser aplicado ao estuário Mojuim (Baia 2016), dominado por macromaré, adjacente ao Mocajuba. Portanto, refutamos esta hipótese e consideramos que o estuário Mocajuba possui configuração diferenciada (Hipótese 2). Assim, esta configuração pode ser consequência: da evolução estuarina; do baixo aporte fluvial; da alta influência marinha; e da orientação retilínea do canal, possivelmente moldada pela presença de uma falha tectônica e ação da maré.

Isso implica que, apesar da generalização do funcionamento dos estuários ser necessária para a sua compreensão, nem todos se comportam da mesma forma. Dependem de sua evolução, do tectonismo local, da área fonte, dos agentes hidrodinâmicos, entre outros. Assim, nós consideramos que as Análises Multivariadas não foram suficientes para definir a setorização do estuário Mocajuba, pois este evidencia características particulares. Devemos ressaltar que estas análises foram

geradas para o período seco da região amazônica, podendo sofrer mudanças dos resultados no período chuvoso.

8 CONCLUSÃO

Concluimos que não é possível setorizar o estuário Mocajuba a partir das suas características sedimentológicas. Isso dificulta a classificação do estuário Mocajuba dentro da proposição do modelo clássico. Este estuário não segue um padrão de distribuição sedimentar de acordo com o modelo conceitual, ocasionado pelo aporte de sedimentos das diferentes unidades geomorfológicas da região. E o teor de CaCO_3 apresentou relação com os sedimentos lamosos, assim este apresenta um padrão de distribuição contrário ao que deveria ser observado.

Assim, é imprescindível avaliar se outros estuários da porção norte da ZCB apresentam características semelhantes ao estuário Mocajuba, para que haja um entendimento sobre estas diferenças na distribuição sedimentar. A partir desse cenário, será possível concluir, de forma generalizada, se há uma divergência entre os setores sedimentares dos estuários do Litoral Amazônico e o modelo conceitual; ou, se a distribuição sedimentar do Mocajuba é particular na região costeira paraense.

Constatamos também que há relação entre a distribuição granulométrica e a hidrodinâmica local, entretanto, esta hidrodinâmica deve ser estudada melhor para compreender integralmente o estuário Mocajuba, principalmente nos aspectos relacionados a associação dos finos ao teor de CaCO_3 . Além disso, concluimos que as Análises Multivariadas são métodos amplamente utilizados para a Setorização sedimentar, entretanto, não proporcionaram a Setorização do estuário Mocajuba.

Assim, gostaríamos de destacar que este estudo desempenha um papel importante para estudos futuros, assim como para o auxílio no gerenciamento costeiro das áreas de Resex, Mocapajuba, São João da Ponta e Mãe Grande do Curuçá, existentes na região do município de São Caetano de Odivelas, São João da Ponta e Curuçá, respectivamente. Auxilia também na mitigação de possíveis mudanças antropogênicas em habitats, que possuem importância econômica e social para a população local.

REFERÊNCIAS

Abril G., Nogueira M., Etcheber H., Cabecadas G., Lemaire E., Brogueira M. J. 2002. Behavior of organic carbon in nine contrasting European Estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, **54**(2): 241-262.

Agência Nacional das Águas (ANA). 2015. *Avaliação dos Aquíferos das Bacias Sedimentares da Província Hidrogeológica Amazonas no Brasil (escala 1:1.000.000) e Cidades Pilotos (escala 1:50.000)*. Disponível em: <http://www.consultaesic.cgu.gov.br/busca/dados/Lists/Pedido/Attachments/527818/REPOSTA_PEDIDO_resposta%20da%20ci%205-2017%20cleverson.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Agência Nacional Das Águas (ANA). 2018. *Região Hidrográfica Atlântico Nordeste Ocidental*. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/todos-os-documentos-do-portal/documentos-spr/mapas-regioes-hidrograficas/atlantico-nordeste-ocidental-para-site-ana-a0.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2018.

Aranha L.G.F., Lima H.P., Souza J.M.P., Marinho R.K. 1990. Origem e Evolução das Bacias de Bragança Vizeu, São Luís e Ilha Nova. *Origem e evolução de bacias sedimentares*. Rio de Janeiro, *Petrobrás*, p. 221-233.

Ahmed A.A. & Fawzi A. 2011. Meandering and bank erosion of the River Nile and its environmental impact on the area between Sohag and El-Minia, Egypt. *Arabian Journal of Geosciences*, **4** (1): 1-11. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/226832850_Meandering_and_bank_erosion_of_the_River_Nile_and_its_environmental_impact_on_the_area_between_Sohag_and_El-Minia_Egypt>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Asp N.E., Freitas P.T.A., Gomes V.J.C., Gomes J.D. 2013. Hydrodynamic overview and seasonal variation among the estuarine diversity at the eastern sector of the Amazon coast. *Journal of Coastal Research*, Special Issue 65: 1092-1097. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/278192353_Hydrodynamic_overview_and_seasonal_variation_of_estuaries_at_the_eastern_sector_of_the_Amazonian_coast>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Baia L.P. 2016. *Setorização sedimentar do estuário do rio Mojuim, São Caetano de Odivelas/PA*. TCC, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 65 p.

Barcellos R.L. 2005. *Distribuição da matéria orgânica sedimentar e o processo sedimentar atual no sistema estuarino-lagunar de Cananéia-Iguape (SP)*. PhD Thesis, Instituto Oceanográfico, Universidade de São Paulo, São Paulo. 185 p. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/21/21133/tde-01072008-102612/pt-br.php>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Bird E.C.F. 2008. *Coastal geomorphology: an introduction*. 2nd ed. England: Wiley, 434 p.

Brabo M.F., Pereira L. F. S., Ferreira L. A., Costa J. W. P., Campelo D. A. V., Veras G. C. 2016. A cadeia produtiva da aquicultura no nordeste paraense, Amazônia, Brasil. *Informações Econômicas*, São Paulo, **46**(4): 16-26.

Brito F.P. 2014. *Composição e fluxo da matéria orgânica em um canal de maré no ecossistema de manguezal do estuário do rio Paraíba do Sul, Costa Norte do Rio de Janeiro*. MS Dissertation, Centro de Biociências e Biotecnologia, Universidade Estadual do Norte Fluminense. 110 p. Disponível em: <<http://uenf.br/posgraduacao/ecologia-recursosnaturais/wp-content/uploads/sites/7/2015/11/Frederico-Brito-DISSERTA%C3%87%C3%83O-2014.pdf>>. Acesso em: 18 fev 2018.

Corrêa A.W., Müller P.C., Santana L.S.S., Silva I.O., Prestes Y.O., Rollnic M. 2017. Propriedades físico-químicas da água e suas relações na interconexão entre dois estuários amazônicos em condições de elevada precipitação. *In* 17º Congresso Latino-Americano de Ciências do Mar – COLACMAR´2017. *Anais de Resumos*. Balneário Comboriú, Santa Catarina, p. 1102 – 1103.

Costa J.B.S., Borges M.S., Igreja H.L.S., Pinheiro R.V.L. 1991. Aspectos da tectônica cenozóica na região do salgado, litoral nordeste do Estado do Pará. *In*: III Simpósio de Geologia da Amazônia. *Anais Belém*. Belém. SBG-Núcleo Norte. p. 156-165. Disponível em: <http://cmig.ufpa.br/Produ%C3%A7%C3%B5es%20Cient%C3%ADficas/1991/Eventos/aspectos_da_tectonica_cenozoica_na_regiao_do_salgado_litoral_ne_do_estado_do_para.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Costa A.C.L., Ribeiro J.B.M., Souza Filho J.D.C. 1996. *Estudo micrometeorológico em manguezais*. Belém. MADAM/UFPA/ZMT. Belém. Pará: 9p.

Coutinho P.N. 2005. *Levantamento do estado da arte da pesquisa dos recursos vivos marinhos do Brasil*. Relatório do Programa REVIZEE (1995-2000), Oceanografia Geológica. Brasília, DF. FEMAR/SECIRM/MMA. 138 p.

Cunha D.G.F. & Calijuri M.C. 2008. Comparação entre os teores de matéria orgânica e as concentrações de nutrientes e metais pesados no sedimento de dois sistemas lóticos do Vale do Ribeira de Iguape, SP. *Revista de Engenharia Ambiental*, Espírito Santo do Pinhal, **5**(2): 24-40. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/228699444_Comparacao_entre_os_teores_de_materia_organica_e_as_concentracoes_de_nutrientes_e_metal_pesados_no_sedimento_de_dois_sistemas_loticos_do_Vale_do_Ribeira>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Dalrymple R.W., Zaitlin B.A., Boyd R. 1992. Estuary facies models: conceptual basis and stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, **62**(6): 1130-1146.

Dalrymple R.W. & Choi K. 2007. Morphologic and facies trends through the fluvial-marine transition in tide-dominated depositional systems: A schematic framework for environmental and sequence-stratigraphic interpretation. *Earth-Science Reviews* **81**(3-4): 135–174. Disponível em <<ftp://geoladm.geol.queensu.ca/pub/dalrymple/Dalrymple%20and%20Choi-Earth%20Science%20Review-2007.pdf>>. Acesso em: 15 fev 2018.

Davies J.L. 1964. A morphogenetic approach to world shorelines. *Zeit. Geomorphology*, **8**: 127– 142.

Departamento de Hidrografia e Navegação (DHN). 2004. Tábuas de marés para 1994. Costa do Brasil e alguns portos estrangeiros. DHN, Rio de Janeiro, p 1-6.

Delgado A.L.S.A.P. 2011. *Caracterização Hidrodinâmica e Sedimentar do Estuário do Rio Minho*. MS Dissertation, Departamento de Engenharia Civil, Universidade do Porto, Porto, Portugal, 197 p.

Dias J.A. A Análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Versão preliminar. Faro: Universidade do Algarve, 2004, 80p.

Dionne J.C. 1963. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. *Geomorphology*, **7**: 36-44.

Falco G., Ferrari S., Cancemi G., Baroli M. 2000 Relationship between sediment distribution and *Posidonia oceanica* seagrass. *Geo-Marine Letters*, **20**(1): 50-57. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/225602585_Relationship_between_sediment_distribution_and_Posidonia_oceanica_seagrass>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Ferreira W.M. 2013. *Diagnóstico Ambiental da reserva extrativista marinha de São João da Ponta: subsídios para o planejamento ambiental*. MS Dissertation, Instituto de Filosofia e Ciências Humanas, Universidade Federal do Par. 154 p.

Fidellis C.N.A. 2013. *A pesca de curral no município de São Caetano de Odivelas-Pa*. MS Dissertation, Instituto de Ciências Biológicas, Universidade Federal do Pará, Belém, 83 p. Disponível em: <http://repositorio.ufpa.br/jspui/handle/2011/6014>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Fisch G., Marengo J.A., Nobre C. 1998. Uma reviso geral sobre o clima da Amazônia. *Acta Amazônica*, **28**(2):101-126.

Flemming B.W. 2011. Geology, morphology and sedimentology of estuaries and coasts. *Treatise on Estuaries and Coasts*, **3**: 7–38. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/234111861_Geology_Morphology_and_Sedimentology_of_Estuaries_and_Coasts. Acesso em: 20 dez. 2017.

França C.F., Pimentel M.A.S., Neves S.C.R. 2016. Estrutura paisagística de São João da Ponta, nordeste do Pará. *Geografia Ensino & Pesquisa*, **20**(1): 130-142. Disponível em: <<https://periodicos.ufsm.br/geografia/article/view/18331/pdf>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Gomes V.J.C. 2015. *Dinâmica longitudinal de estuários de macromaré na Amazônia oriental e zonas de turbidez máxima*. MS Dissertation, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade de Federal do Pará, Bragança, 56p.

Gregório A.M.S. 2008. *Contribuição à gestão ambiental da Baía de Guajará (Belém-Pará-Amazônia) através de estudo batimétrico e sedimentológico*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 128p. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/10183/13775>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Gruber N.L.S., Barbosa G., Nicolodi J.L. 2003. Geografia dos sistemas costeiros e oceanográficos: subsídios para a gestão integrada da zona costeira. *Gravel*, Porto Alegre. (1): 81 – 89. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/gravel/1/Gravel_1_07.pdf>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Gutierrez R.R., Abad J. D., Choi M., Montoro H. 2014. Characterization of confluences in free meandering rivers of the Amazon basin, *Geomorphology*, **220**: 1 – 14.

Hayes M.O. 1975. Morphology of sand accumulations in estuaries, in L.E. Cronin, ed., *Estuarine Research*, **2**: 3-22. Academic Press, New York. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/285623679_MORPHOLOGY_OF_SAND_ACCUMULATION_IN_ESTUARIES_AN_INTRODUCTION_TO_THE_SYMPOSIUM>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Harvey N. 2000. Strategic environmental assessment in coastal zones, especially Australia's. *Impact Assessment and Project Appraisal*, **18**(3): 225-232. Disponível em: <<http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.3152/147154600781767358>>. Acesso em: 20 dez. 2017.

Hedges J., Cowie G., Richey J., Quay P., Benner R., Strom M., Forsberg B. 1994. Origins and processing of organic matter in the Amazon River as indicated by carbohydrates and amino acids. *Limnology and Oceanography*, **39**(4), 743–761. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/235936815_Origins_and_processing_of_organic_matter_in_the_Amazon_River_as_indicated_by_carbohydrates_and_amino_acids>. Acesso em 18 fev. 2018.

Heise B., Bobertz B., Harff J. 2010. Classification of the Pearl River Estuary via principal component analysis and regionalisation. *Journal of Coastal Research*, **26**(4): 769-779.

Instituto de Desenvolvimento Econômico e Social do Pará (IDESP). *Estatística Municipal, Curuçá*. 2014. Disponível em: <<http://www.saocaetanodeodivelas.pa.gov.br/Home/Historia>>. Acesso em 20 set. 2016.

Kjerve B. 1987. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day Jr., J. w., C.H. A.S. Hall, Kemp, W. M. & Yañez- Aranciba, A. (eds). *Estuarine Ecology*. New York, Wiley, p. 47-48.

Kralik M. 1999. A Rapid Procedure for Environmental Sampling and Evaluation of Polluted Sediments. *Applied Geochemistry*, **14**: 807-816.

Kumar S.P. & Sheela M.S. 2013. Studies on the sediment characteristics of Manakudy estuary, south west coast of India. *International Research Journal of Environment Sciences*, **2**(11): 78-83. Disponível em: <<http://www.isca.in/IJENS/Archive/v2/i11/10.ISCA-IRJEvS-2013-220.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Libes S.M. 2009. *An Introduction to Marine Biogeochemistry*, 2nd ed. Elsevier, Academic Press, 909 pp.

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

Martins E.D.S.F., Souza-Filho P.W.M., Costa F.R., Alves P.J.O. 2007. Extração automatizada e caracterização da rede de drenagem e das bacias hidrográficas do nordeste do Pará ao noroeste do Maranhão a partir de imagens SRTM. *Annals of the 13 Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Florianópolis.

Mazuqui L.M.B. 1999. Estudo de ressuspensão de sedimentos coesivos. PhD Thesis, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, 110p.

Meybeck M. 1982. Carbon, nitrogen, and phosphorous transport by world rivers. *American Journal of Science*, **282**: 401-450.

Ministério do Meio Ambiente Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). 2014. *Estudo socioambiental referente à proposta de criação de reserva extrativista marinha no município de São Caetano de Odivelas, estado do Pará*. 102 p. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/o-que-fazemos/consultas_publicas/Estudo_Socioambiental_Cria%C3%A7%C3%A3o_de_Res_ex_em_S%C3%A3o_Caetano_de_Odivelas_PA_2.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Miranda L.B., Castro B.M., Kjerfve B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo. Editora da Universidade de São Paulo (EDUSP). 414p.

Moraes B.C., Costa J.M.N., Costa A.C.L., Costa M.H. 2005. Variação espacial e temporal da precipitação no estado do Pará. *Acta Amazônica*, **35**(2): 207-214. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672005000200010>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Morse J.W., Arvidson R.S., Lüttge A. 2007. Calcium Carbonate Formation and Dissolution. *Chemical Reviews*, **107**(2): 342–381.

Noronha T.J.M., Silva H.K.P., Duarte M.M.M.B. 2011. Avaliação das Concentrações de Metais Pesados em Sedimentos do Estuário do Rio Timbó, Pernambuco - Brasil. *Arquivos de Ciências do Mar* (ISSN: 0374-5686), **44**(2):70-82. Disponível em: <<http://www.labomar.ufc.br/wp-content/uploads/2017/02/acm-2011-44-2-08.pdf>>. Acesso em: 23 jan. 2018.

Oliveira T.S., Barcellos R.L., Schettini C.A.F., Camargo P.B. 2014. Processo sedimentar atual e distribuição da matéria orgânica em um complexo estuarino tropical, Recife, PE, Brasil. *Revista da Gestão Costeira Integrada*, **14**: 399-411. Disponível em: <http://www.aprh.pt/rgci/pdf/rgci-470_Oliveira.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Portal Amazônia. *São Caetano de Odivelas, município do Pará*. Disponível em: <<http://www.portalamazonia.com.br/secao/amazoniadeaz/interna.php?id=665>>. Acesso em: 17 out. 2016.

Portal Icmbio. *RESEX de Mãe Grande Curuçá*. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/resex-mae-grande-de-curuca>>. Acesso em 21 dez. 2017.

Portal Icmbio. *RESEX de Mocapajuba*. Disponível em: <<http://www.icmbio.gov.br/portal/resex-marinha-mocapajuba>>. Acesso em 21 dez. 2017.

Pejrup M. 1988. The triangular diagram used for classification of estuarine sediments: a new approach. In: de Boer, vand Gelder & Nio (eds), *Tide-influenced sedimentary Environments and Facies*. Pergamon Press, pp. 289-300. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/259374267_The_Triangular_Diagram_Used_for_Classification_of_Estuarine_Sediments_A_New_Approach>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Pereira L.A.D.J., Carmo A.J., Polette M. 2009. The Brazilian Amazon coastal zone. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, **9**(2): 3 – 7.

Pritchard D.W. 1952. Salinity distribution and circulation in the Chesapeake Bay estuarine system. *Journal of Marine Research*, **11**: 106 - 123. Disponível em: <<https://www.essie.ufl.edu/~arnoldo/ocp6295/homeworks/pritchard2.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Pritchard D.W. 1955. Estuarine circulations patterns. *Proceedings of the American Society of Civil Engineers*, **81**(717): 1-11.

Ramalho A.G.C., Sperandio D. G., Gomes C. H. Densidade dos meandros abandonados do rio Mamorecillo (Bolívia) no período de 1987 a 2011. In: Salão Internacional de Ensino. Pesquisa e Extensão, 2017, Uruguaiana. *Anais do Salão Internacional de Ensino, Pesquisa e Extensão*, 2016. v. 8. Disponível em: <<http://seer.unipampa.edu.br/index.php/siepe/article/view/17982>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Reis C.S.G. 2016. *Caracterização morfossedimentológica e hidrodinâmica de um canal profundo entre estuários de macromarés na costa amazônica, Brasil*. MS Dissertation, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança, 81 p.

Ríos-Villamizar E.A., Martins Junior A.F., Waichman A.V. 2011. Caracterização físico-química das águas e desmatamento na bacia do rio Purus, Amazônia brasileira Ocidental. *Revista de Geografia Acadêmica*, **5**(2): 54 – 56.

Rodriguez J.J. & Windevoxhel N.J. 1998. Análisis regional de la situación de la zona marina costera centroamericana. Inter-American Development Bank, Washington D. C. No – ENV 121, 107 p.

Rolemberg K.F., Barreira C.A.R., Arzabe C. 2008. Caracterização do macrozoobentos nas áreas sob a influência da carcinicultura no entorno do estuário do rio Camurupim, Piauí, Brasil. *Arquivos de ciências do mar*, **41**(1): 36-47. Disponível em: <<http://www.labomar.ufc.br/wp-content/uploads/2017/01/acm-2008-41-1-05.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Rossetti D.F., Truckenbrodt W., Góes A.M. Estudo paleoambiental e estratigráfico dos Sedimentos Barreiras e Pós-Barreiras na Região Bragantina, Nordeste do Pará. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi, Série Ciência da Terra*, **1**(1): 25-74, 1989. Disponível em: <<http://repositorio.museu-goeldi.br/handle/mgoeldi/623>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Rovere A., Stocchi P., Vacchi M. Eustatic and Relative Sea Level Changes. *Current Climate Change Report*, **2**(4): 221–231, 2016. Disponível em: <<https://link.springer.com/article/10.1007/s40641-016-0045-7>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Santos V.F., Figueiredo Jr. A.G., Silveira O.F.M., Polidori L., Oliveira D.M., Dias M.B., Santana L.O. 2005. Processos sedimentares em áreas de macro-marés influenciados pela pororoca - estuário do rio Araguari-Amapá-Brasil. *In: 10º Congresso ABEQUA, Anais... 6 p.* Disponível em: <http://www.abequa.org.br/trabalhos/0203_santos_et_al_pororoca_araguari.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Santos A.S. 2016. *Modelagem matemática do sistema estuarino dos rios Mojuim e Mocajuba (Pará- BR)*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 61 p. Disponível em: <[http://cpgf.ufpa.br/spgf/cpgf2/ger_arquivos/arquivos/TESES%20E%20DISSERTACOES/Arthur%20Souza%20dos%20Santos%20\(M\).pdf](http://cpgf.ufpa.br/spgf/cpgf2/ger_arquivos/arquivos/TESES%20E%20DISSERTACOES/Arthur%20Souza%20dos%20Santos%20(M).pdf)>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Silva C.A., Souza-Filho P.W.M., Rodrigues S.W.P. 2009. Morphology and modern sedimentary deposits of the macrotidal Marapanim Estuary (Amazon, Brazil). *Continental Shelf Research*, **29**(3): 619 - 631.

Silva A.E. 2012. *Caracterização Morfo-sedimentar e Setorização do Sistema Estuarino dos rios Piraquê-açu e Piraquê-mirim e da Plataforma continental interna adjacente, Aracruz – ES*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, Espírito Santo, 82 p.

Silva A.M.M. 2015. *Propagação da maré ao longo do estuário do rio Mocajuba, nordeste paraense*. TCC, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança, Pará, 41 p.

Siqueira G.W., Aprile F.M., Mahiques M.M., Braga E.S. 2003. Determinação da matéria orgânica em sedimentos de fundo dos estuários de Santos/São Vicente e Baía de Santos-SP/Brasil. *In: 3º Congresso Brasileiro de Pesquisas Ambientais e Saúde, Anais do CBPAS 2003 p. 131-136.* Disponível em: <<http://copec.eu/congresses/cbpas2003/proc/pdf/T101.pdf>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Souza Filho P.W M. & El-Robrini M. 1996. Morfologia, processos de sedimentação e litofácies dos ambientes morfo-sedimentares da Planície Costeira Bragantina, Nordeste do Pará, Brasil. *Revista Geonomos*, **4**(2): 1-16. Disponível em: <http://general.igc.ufmg.br/geonomos/PDFs/4_2_01_16_SouzaFilho.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Souza Filho P.W.M. 2005. Costa de manguezais de macromaré da Amazônia: cenários morfológicos, mapeamento e quantificação de áreas usando dados de sensores remotos. *Revista Brasileira de Geofísica*, São Paulo, **23**(4): 427-435. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0102-261X2005000400006>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Valentim M.M. 2017. *Relação da salinidade e turbidez nos limites de um estuário amazônico*. TCC, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 48 p.

Vasquez M.L., Sousa C.S., Carvalho J.M.A. (Orgs.). 2008. *Mapa geológico e de recursos minerais do Estado do Pará, escala 1:1.000.000*. Programa Geologia do Brasil (PGB), integração, atualização e difusão de dados da geologia do Brasil, mapas geológicos estaduais. CPRM-Serviço Geológico do Brasil, Superintendência Regional de Belém. Disponível em: <http://www.cprm.gov.br/publique/media/geologia_basica/cartografia_regional/para.pdf>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Vicente M.A.F., Melo G.V., Baptista Neto J.A., Oliveira A.S. Phosphorus fractionation distribution in Guapimirim estuary: SE Brazil. *SpringerPlus*, **5**(1): 1406, 2016. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC4995195/>>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Vieira C.V., Horn Filho N.O., Bonetti C.V.D.H.C., Bonetti J. 2008. Caracterização morfosedimentar e setorização do Complexo Estuarino da Baía da Babitonga/Sc. *Boletim Paranaense de Geociências*. (62 – 63): 85-105.

Vilhena M.D.P S.P., Costa M.L.D., Berrêdo J. F., Paiva, R. S., Almeida, P. D. 2014. Chemical composition of phytoplankton from the estuaries of Eastern Amazonia. *Acta Amazonica*, **44**(4): 513-526. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0044-59672014000400012>. Acesso em: 21 dez. 2017.

Wentworth C.K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30**(5): 377-392. Disponível em: <<http://www.jstor.org/stable/30063207>>. Acesso em: 20 dez. 2017.