



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

---

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

### **CONECTIVIDADE ESTUARINA AMAZÔNICA: UM ESTUDO DE CASO ENTRE OS RIOS MOJUIM E MOCAJUBA**

Apresentado por:

**ARTUR WILLEN RAMOS CORRÊA**

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)

**Coorientador:** Dr. Iranilson Oliveira Silva (UFPA)

---

Belém

2018



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

---

## **TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO**

# **CONECTIVIDADE ESTUARINA AMAZÔNICA: UM ESTUDO DE CASO ENTRE OS RIOS MOJUIM E MOCAJUBA**

Trabalho apresentado por:

**ARTUR WILLEN RAMOS CORRÊA**

**Orientador:** Prof. Dr. Marcelo Rollnic (UFPA)

**Coorientador:** Dr. Iranilson Oliveira Silva (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)

---

- C823c    Corrêa, Artur Willen Ramos  
          Conectividade Estuarina Amazônica: Um Estudo de Caso Entre os Rios Mojuim e Mocajuba / Artur Willen Ramos Corrêa. - 2018.  
          75 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Faculdade de Oceanografia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.  
          Orientação: Prof. Dr. Marcelo Rollnic  
          Coorientação: Prof. Dr. Iranilson Oliveira Silva.
1. Hidrologia. 2. Transporte. 3. Estuário Tropical. 4. Marajó. 5. Canal de maré. I. Rollnic, Marcelo, *orient.* II. Título
-



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA

## **CONECTIVIDADE ESTUARINA AMAZÔNICA: UM ESTUDO DE CASO ENTRE OS RIOS MOJUIM E MOCAJUBA**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO APRESENTADO POR:  
ARTUR WILLEN RAMOS CORRÊA**

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

Data de aprovação: 29/01/2018

Conceito: Excelente

Banca examinadora:

Prof. Dr. Marcelo Rollnic (Presidente)

Profa. Dra. Sury de Moura Monteiro (Membro)

Msc. Thais Angélica da Costa Borba (Membro)

Dedico este trabalho à minha avó Dalva (*in memoriam*) que desde sempre me chamava de “Doutor”. Começa assim, vó! ♥

## AGRADECIMENTOS

Meus agradecimentos,

Primeiramente a Deus por estar em todas as coisas que me fortaleceram durante essa jornada.

À minha avó Graça Ramos por toda a inspiração e conhecimento que proporciona diariamente na minha vida.

Aos meus pais pela paciência nesses 4 anos em fazer o meu café às 5h da manhã e por sempre me esperarem na parada quando eu chegava às 22h. Todas as minhas conquistas dedico a vocês.

Ao meu irmão Léo e toda minha família que me acompanham desde sempre na minha jornada.

Ao meu orientador Marcelo Rollnic que desde 2015 se tornou um amigo e exemplo de pessoa que levarei por toda a minha vida. Nos momentos que eu mais desacreditei de mim mesmo, as nossas conversas foram cruciais para que eu não desistisse no meio do caminho.

Ao meu coorientador Iran pela paciência e gentileza ao me ajudar em todas as etapas de realização deste trabalho.

Ao apoio essencial em São Caetano de Odivelas do Juninho, seu irmão Mayco e do Alex.

Às tartarugas que apareceram durante o meu campo fazendo eu chorar de emoção. Espero que estejam vivas.

A todos do GEOFMAR e LAPMAR pelo apoio durante o campo e acolhimento no laboratório.

À professora Sury Monteiro por todo apoio ao desenvolvimento deste trabalho, pelo incentivo na minha carreira acadêmica e profissional, pela mentoria com a Meandro, por fazer eu me apaixonar pela educação ambiental e principalmente por nunca ter me desclassificado durante as práticas de campo. Aliás, espero que eu esteja fazendo slides melhores agora.

Ao laboratório de sedimentologia (LAPMAR) pela ajuda com o tratamento e análise das amostras, especialmente ao Fabrício, Gabi e Herbert.

Especialmente ao Ivson, JP, Yago e Patrícia que me socorreram durante e nos últimos dias de submissão desse trabalho.

A Jacque por ser minha parceira de laboratório desde 2015 e por toda disposição que teve em me ajudar com as análises das amostras. Estamos juntos sempre!

Aos amigos do LOF por todas as conversas e parceria da torre mesmo quando disputávamos por um pc livre. Especialmente, ao JP e Rayssa.

A melhor turma de oceanografia da UFPA por todas as barcas desses 4 anos de graduação. Vocês foram os melhores amigos que eu poderia ter durante esse período e levarei todos no meu coração. Quem é Oceano 2014 sempre será Oceano 2014!

A todos que direta e indiretamente me aturaram durante a graduação e me ajudaram a concluir essa etapa. Desde o motorista do ônibus que passou no horário certo até quem me emprestou um notebook quando eu estava sem pc em casa. De coração, muito obrigado!

Por fim, a mim mesmo por ter escolhido entrar em Oceanografia.

Dê as suas lágrimas para a maré

*M83 - Wait*

## RESUMO

Este estudo realizou a coleta de dados oceanográficos em um canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba, à leste da zona costeira amazônica, afim de descrever a conectividade desta região. Realizou-se campanhas de campo sazonais (março/chuvoso e novembro/seco) em marés de sizígias, coletando-se dados concomitantemente em duas estações fixas no canal. A Estação 1 (E1,  $-0.770017^{\circ}$ - $48.000550^{\circ}$ ) foi instalada na conexão com o rio Mojuim e a Estação 2 (E2,  $-0.779450^{\circ}$ - $47.958600^{\circ}$ ) na conexão com o rio Mocajuba. Utilizaram-se sensores de pressão e condutividade do tipo CTD (Conductive, Temperature, Depth), medidores multiparâmetros para as propriedades físico-químicas da água (temperatura, pH, oxigênio dissolvido, saturação do oxigênio, sólidos totais dissolvidos, turbidez e salinidade) e coletas de água em superfície e fundo para o material particulado em suspensão (MPS) quantificado pelo método gravimétrico. A hidrodinâmica foi descrita utilizando-se um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) no interior do canal e um correntômetro nas duas estações de coleta. Com o CTD na E1, verificou-se uma salinidade de 0,8 a 11,3 e altura máxima da maré de 3,86 m no período chuvoso. No período seco houve alturas máximas da maré na E1 de 5,06 m e na E2 de 4,82 m, com o tempo de vazante superior à enchente e o efeito a maré iniciando na E2. A salinidade na E1 oscilou em função da maré de 22 a 30,8 e na E2 houve um máximo de 30,9 na enchente e que decresce rapidamente na estufa de baixa-mar com mínimo de 26,9. Em ambas as estações, a direção predominante da corrente durante a enchente é adentrando ao canal de maré que na vazante inverte sua direção no sentido de saída do canal. Entretanto, no interior do canal de maré principal existe um canal secundário que contribui significativamente na drenagem e na hidrodinâmica do sistema. A profundidade não regulou mudanças significativas nas propriedades físico-químicas analisadas, sendo a sazonalidade o fator principal neste processo. No período chuvoso, as maiores concentrações de MPS foram na enchente com médias de 593,77 mg/L na E1 e de 515,69 mg/L na E2. Entretanto, no período seco as maiores concentrações foram na vazante com médias de 170,91 mg/L na E1 e 87,11 mg/L na E2. Ao analisar o pH e a salinidade, observa-se uma forçante fluvial principalmente no rio Mojuim, enquanto que no rio Mocajuba houve predominantemente uma influência marinha, refletindo na conectividade entre eles. A salinidade é uma propriedade fundamental ao analisar a conectividade entre estuários tendo em vista que, possivelmente, águas menos salinas do rio Mojuim, aportam no rio Mocajuba na vazante por meio do canal de maré.

Palavras-chave: Hidrologia; Transporte; Estuário Tropical; Marajó; canal de maré.

## ABSTRACT

This study carried out the collection of oceanographic data in a tidal channel that connects the estuaries of the Mojuim and Mocajuba rivers, to the east of the Amazonian coastal zone, to describe the connectivity of this region. Seasonal field campaigns (March/rainy and November/dry) were carried out in spring tide, collecting data simultaneously in two stations at the tidal channel. The Station 1 (E1,  $-0.7770017^{\circ}$   $-48.000550^{\circ}$ ) was installed in the connection with the Mojuim River and the Station 2 (E2,  $-0.779450^{\circ}$   $-47.958600^{\circ}$ ) in the connection with Mocajuba River. CTD (Conductive, Temperature, Depth) pressure and conductivity sensors and multiparameter probes were used to measure physicochemical properties of water (temperature, pH, dissolved oxygen, oxygen saturation, total dissolved solids, turbidity and salinity) and surface and bottom water was collected for suspended solid concentration (SSC), quantified by the gravimetric method. The hydrodynamics was described using an ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) within the channel and a current meter at both stations. CTD data in E1 revealed salinity ranging from 0.8 to 11.3 and maximum tidal height of 3.86 m in the rainy period. In the dry period, there were maximum tidal heights at E1 of 5.06 m and at E2 of 4.82 m, with ebb phase duration higher than the flood tide and the tidal effect starting at E2. The salinity in E1 oscillated as a function of tide from 22 to 30.8 and at E2, there was a maximum of 30.9 in the flood, which decreases rapidly in the low tide with a minimum of 26.9. In both stations, predominant direction of the current during the flood enters the tidal channel reversing its direction in the ebb to exit the channel. However, within the main tidal channel there is a secondary channel that contributes significantly to the drainage and hydrodynamic of the system. The depth did not regulate significant changes in the physicochemical properties analyzed, seasonality being the main factor in this process. In the rainy period, the highest concentrations of SSC occurred in the flood with averages of 593.77 mg / L at E1 and 515.69 mg / L at E2. However, in the dry period, the highest concentrations occurred in the ebb with averages of 170.91 mg / L at E1 and 87.11 mg / L at E2. When analyzing the pH and the salinity, a fluvial forcing is observed mainly in the estuary of the Mojuim river while in the estuary of Mocajuba river, there was predominantly a marine influence and this aspect reflects in the connectivity between them. The Salinity is a fundamental property when analyzing the connectivity between estuaries considering that, possibly, less saline waters of the Mojuim River contribute in Mocajuba River mainly in the ebb through the channel studied.

Keywords: Hydrology; Transport; Tropical Estuary; Marajó; Tidal channel.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1 – Seção longitudinal de um estuário dividido em zonas de acordo com as isolinhas de salinidade. (ZR: Zona de maré do rio; ZM: Zona de mistura; ZC: Zona costeira; Qr: vazão do rio). .....5
- Figura 2 – Mapa de localização dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba na cidade de São Caetano de Odivelas e o canal de maré que os conecta utilizado para o levantamento de dados desse estudo. (A: Brasil e estado do Pará; B: Belém, ilha do Marajó e salgado paraense; C: Estuários dos rios Mojuim e Mocajuba; E1: Estação 1; E2: Estação 2; S1: Seção 1; S2: Seção2; S3: Seção 3)..... 13
- Figura 3: Classificação dos meses de 2016 quanto a precipitação nos intervalos quânticos. .. 17
- Figura 4 – Localização das RESEX de Mocajuba, Mãe Grande de Curuçá e São João da Ponta no nordeste paraense. .... 19
- Figura 5 – Variação da salinidade (PSU) em função da maré durante o final do período chuvoso em Estação 1 (E1) na conexão com o rio Mojuim. (EM: Erro de medição do equipamento).....24
- Figura 6 – Variação da salinidade (PSU) em função da maré durante o período seco no canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ....24
- Figura 7 – Descrição das velocidades (m/s) e direção da corrente durante o período chuvoso em seções realizadas com um ADCP no interior do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (S1: Seção 1 - Mojuim; S2: Seção 2 - Mocajuba; S3: Seção 3 – canal de maré secundário).....26
- Figura 8 – Descrição das velocidades (m/s) e direção da corrente durante o período seco nas estações de coleta realizadas com um correntômetro no canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 - Mojuim; E2: Estação 2 - Mocajuba). ....27
- Figura 9 – Variação sazonal da temperatura (°C) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).....29
- Figura 10 – Variação sazonal do pH durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ....30
- Figura 11 – Variação sazonal do OD (mg/L) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ....31
- Figura 12 – Variação sazonal de OD% durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ....32
- Figura 13 – Variação sazonal de STD (g/L) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). Fonte: Autor.....33

- Figura 14 – Variação sazonal da turbidez (NTU) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ..... 35
- Figura 15 – Variação sazonal da salinidade (PSU) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ..... 36
- Figura 16 – Variação sazonal de MPS (mg/L) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ..... 38
- Figura 17 – Diferentes aspectos do manguezal nas margens do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (A: árvores bem desenvolvidas e ausência de franja de mangue jovem com a presença de vegetação morta indicando desestabilização da margem por ações erosivas na zona de influência do rio Mojuim; B: presença de mangue jovem na margem considerada estável na zona de influência do rio Mocajuba). ..... 44

**LISTA DE TABELAS**

- Tabela 1 – Fluxo e transporte de volume durante o período chuvoso em seções realizadas com um ADCP no interior do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (S1: Seção 1 - Mojuim; S2: Seção 2 - Mocajuba; S3: Seção 3 – canal de maré secundário; u: Velocidade Longitudinal; Enchente: -; Vazante: +)..... 25
- Tabela 2 – Médias sazonais das propriedades físico-químicas registradas com a Horiba durante um ciclo de maré nas estações de coleta nos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba; T: Temperatura; OD: Oxigênio Dissolvido; OD%: Saturação do Oxigênio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos). ..... 28
- Tabela 3 – Médias sazonais de turbidez (NTU) para a superfície e o fundo durante um ciclo de maré nas estações de coleta nos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ..... 34
- Tabela 4 – Médias de MPS (mg/L) nas estações de coleta nos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba com destaque para as maiores concentrações considerando enchente e vazante e os diferentes períodos sazonais. (E1: estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). ..... 37

## SUMÁRIO

<b>DEDICATÓRIA</b> .....	iii
<b>AGRADECIMENTOS</b> .....	v
<b>EPÍGRAFE</b> .....	vi
<b>RESUMO</b> .....	vii
<b>ABSTRACT</b> .....	viii
<b>LISTA DE ILUSTRAÇÕES</b> .....	ix
<b>LISTA DE TABELAS</b> .....	xi
<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	1
1.1 OBJETIVOS.....	3
<b>1.2 Objetivos específicos</b> .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	4
2.1 ESTUÁRIO .....	4
2.2 CANAL DE MARÉ .....	6
2.3 TEMPERATURA.....	7
2.4 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH) .....	8
2.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD) .....	8
2.6 TURBIDEZ, SÓLIDOS DISSOLVIDOS E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS).....	9
2.7 SALINIDADE.....	10
2.8 MARÉ E CORRENTE .....	11
<b>3 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	12
3.1 ÁREA DE ESTUDO .....	12
<b>3.1.1 Geomorfologia</b> .....	14
<b>3.1.2 Geologia</b> .....	14
<b>3.1.3 Hidrologia</b> .....	15
<b>3.1.4 Vegetação</b> .....	15
<b>3.1.5 Aspectos Climáticos</b> .....	16
<b>3.1.6 Aspectos Oceanográficos</b> .....	17
<b>3.1.7 Unidades de Conservação</b> .....	18
3.2 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS .....	20
<b>3.2.1 Sensor CTD (Conductive, Temperature, Depth)</b> .....	20
<b>3.2.2 Sensor Multiparâmetros</b> .....	20
<b>3.2.3 Material Particulado em Suspensão (MPS)</b> .....	21
<b>3.2.4 Fluxo de Volume</b> .....	22
<b>4 RESULTADOS</b> .....	23

4.1 MARÉ E SALINIDADE .....	23
4.2 HIDRODINÂMICA .....	25
4.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA (sensor multiparâmetros HORIBA) .....	28
4.3.1 Temperatura (°C) .....	29
4.3.2 pH.....	30
4.3.3 OD (mg/L) .....	31
4.3.4 OD% .....	32
4.3.5 STD (g/L).....	33
4.3.6 Turbidez (NTU) .....	34
4.3.7 Salinidade .....	36
4.4 MPS.....	37
5 DISCUSSÃO .....	39
6 CONCLUSÃO.....	45
7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47
ANEXOS .....	58
ANEXO A – SCRIPT DA ROTINA UTILIZADA PARA CONVERSÃO DA CONDUTIVIDADE EM SALINIDADE .....	59
ANEXO B – MODELO DE PLANILHA UTILIZADA NA COLETA MANUAL DOS DADOS COM O SENSOR MULTIPARAMETROS .....	60
ANEXO C – SCRIPT DA ROTINA UTILIZADA PARA TRATAMENTO DOS DADOS DE FLUXO DE VOLUME .....	61

## 1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras possuem elevado valor ecológico, social e econômico. Nesse contexto, os estuários funcionam como polos de atração da atividade humana onde desenvolveram-se algumas das maiores áreas metropolitanas do mundo (Silva 2000). Além disso, esses ambientes estão em constante processo de mudança seja espacial ou temporal, correspondendo a setores extremamente dinâmicos onde ocorrem múltiplas e rápidas alterações morfológicas e sedimentológicas (Mendes 2005, Suguio *et al.* 2005).

Conhecer a influência de forças em diferentes regiões de um estuário é imprescindível para entender melhor o comportamento desses sistemas, assim como antecipar sua resposta a mudanças ambientais ou a intervenções humanas. A quantificação das forças e suas influências com o tempo é uma questão fundamental antes de qualquer avaliação da resposta dos sistemas estuarinos a mudanças de longo prazo (Jalon-Rojas *et al.* 2017).

Segundo Lexartza-Artza & Wainwright, (2009), a conectividade hidrológica é definida como a transferência de água de um sistema para outro e o seu sucessivo movimento físico relacionado à matéria através da bacia hidrográfica. Na zona costeira (ZC), os diferentes ambientes que podem coexistir numa mesma área estão naturalmente conectados a sistemas marinhos e continentais adjacentes. Esses fluxos são complexos e geralmente requerem esforços interdisciplinares para uma compreensão adequada (Araújo & Asp 2013).

A conexão entre os elementos da paisagem afeta o transporte de água e a matéria longitudinal, lateral, vertical e temporariamente (Ward *et al.* 2002). Também influencia processos biofísicos e funções biogeoquímicas (Brierley *et al.* 2006), tornando o conceito de conectividade de interesse crescente para uma variedade de disciplinas como a ecologia da paisagem, hidrologia e geomorfologia (Lexartza-Artza & Wainwright, 2009).

No setor leste da zona costeira amazônica (ZCA), encontram-se o rio Mojuim e o rio Mocajuba situados na zona do salgado paraense e que se conectam por meio de um canal de maré. Diferentemente do que ocorre com a maioria dos estuários, o estuário do rio Mojuim desemboca numa região abrigada assumindo um papel de um estuário secundário que compõe um sistema estuarino maior representado pela baía de Marajó e apesar do rio Mocajuba também ter sua foz incluída nesse sistema, este recebe ainda uma influência do oceano por meio de uma conexão com o rio Curuçá (Prost & Mendes 2013, Santos 2016). Logo, sugere-se que existem forças ambientais distintas que devem influenciar de modo desigual as características naturais dos dois estuários e assim na sua interconexão por meio das análises hidrológicas realizadas no canal de maré.

Os canais de canais de maré encontrados nesse sistema conectam diferentes estuários implicando, frequentemente, em complexos padrões de circulação relacionados às marés, desempenhando um papel central na hidrodinâmica (Araújo & Asp 2013) e, portanto, no perfil hidrográfico (salinidade, temperatura, pH, sedimentos em suspensão, gases dissolvidos etc.) desses ambientes. Dessa forma, o presente estudo visa compreender a conectividade entre os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba por meio de um canal de maré.

## 1.1 OBJETIVOS

Descrever os padrões hidrográficos de um canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba de acordo com a sazonalidade, zona de influência estuarina e profundidade d'água.

## 1.2 Objetivos específicos

- Analisar a variação do nível da água com a maré;
- Analisar as variações nas propriedades físico-químicas da água;
- Quantificar o transporte material particulado em suspensão (MPS);
- Descrever o fluxo hidrodinâmico nas desembocaduras e no interior do canal de maré;

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1 ESTUÁRIO

Os estuários são ambientes sedimentares comuns onde os rios encontram os oceanos, ou seja, trata-se de um sistema de transição entre o oceano e o continente. Os processos físicos, geológicos, químicos e biológicos nos estuários são geralmente mais complexos e dinâmicos do que em outras áreas na superfície da Terra, com mudanças constantes em resposta a forçantes naturais além de considerar sua vulnerabilidade à influência do homem (Holligan & Boois 1993, Miranda *et al.* 2002). Como apresentam uma série de fatores e condicionantes envolvidos em seus processos, os estuários podem ser definidos de diversas maneiras e de acordo com o ponto de vista do autor.

Cameron & Pritchard (1963) propuseram uma clássica definição de estuários que é frequentemente adotada na Oceanografia:

*“Estuário é um corpo de água semifechado, 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”.*

Dionne (1963) considera o estuário como uma reentrância do mar que atinge o vale de um rio até o limite de influência da maré, sendo subdividido em três setores: a) estuário inferior ou marinho com ligação livre com o oceano aberto; b) estuário médio, sujeito à intensa mistura de água do mar com a água fluvial; c) um estuário superior ou fluvial, caracterizado por água doce, mas sujeito à influência diária da maré. Dessa forma, o estuário é considerado como um sistema constituído da região onde ocorre a diluição da água do mar e a parte do rio sujeita a oscilação da maré ampliando a definição e com limites entre os setores dependendo da intensidade da descarga fluvial, das correntes de maré e da influência do vento (Miranda *et al.* 2002).

A geologia local e os processos ambientais (clima, sedimentação, forçantes dinâmicas) também contribuem para a formação, geomorfologia e fisiografia desses ambientes. Dessa forma, Kjerfve (1987), definiu o estuário como um ambiente costeiro que apresenta conexão aberta pelo menos intermitentemente e restrita com o oceano adjacente. Esse ambiente pode ser dividido em três zonas: a) zona de maré do rio, parte fluvial com salinidade próxima de zero, mas que ainda recebe influência da maré; b) zona de mistura, região onde ocorre a mistura de água fluvial com a água do mar; c) zona costeira, região costeira adjacente que se estende até a

frente da pluma estuarina. Sendo assim, envolvendo todos os segmentos do sistema e a zona costeira (Figura 1).

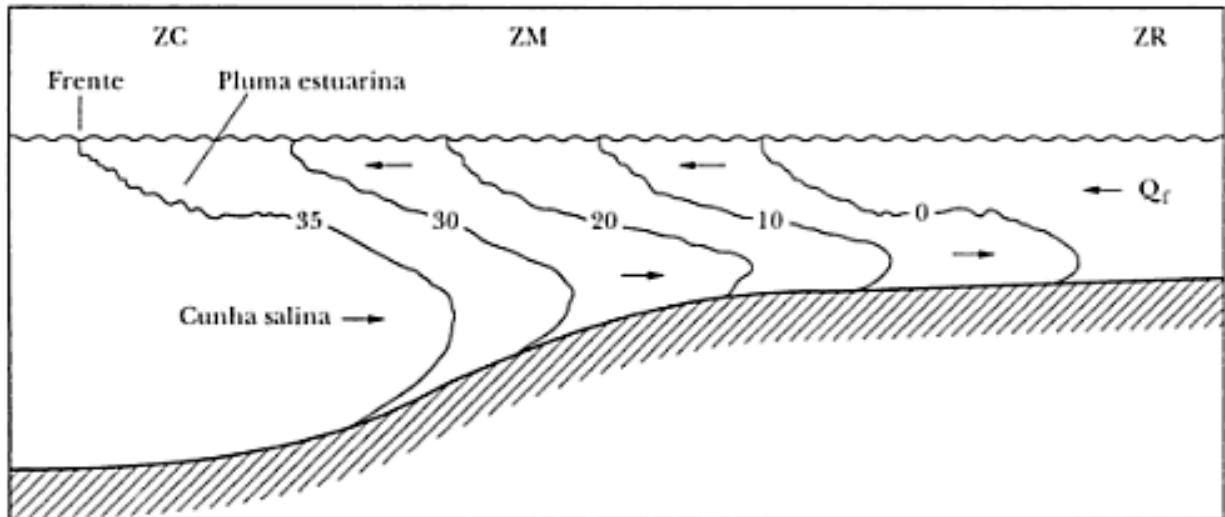


Figura 1 – Seção longitudinal de um estuário dividido em zonas de acordo com as isolinhas de salinidade. (ZR: Zona de maré do rio; ZM: Zona de mistura; ZC: Zona costeira;  $Q_r$ : vazão do rio).  
Fonte: Miranda *et al.* (2002).

Como forma de abranger especificamente a sedimentação e as fácies que ocorrem nos ambientes estuarinos, Dalrymple *et al.* (1992), propôs que estuário é a parte voltada para o mar de um sistema de vales inundados, os quais recebem sedimentos de fontes fluviais e marinhas, contendo fácies influenciadas pela maré, onda e processos fluviais, considerando sua extensão desde os limites internos das fácies de maré até o limite oceânico das fácies costeiras na entrada.

Abrangendo a natureza ecológica desses ambientes, Perillo (1995) atribuiu ao estuário como sendo um corpo de água costeiro semifechado, estendendo-se até o limite efetivo de influência da maré. Dentro dele a água salina que entra por uma ou mais conexões com o oceano aberto, é diluída significativamente com a água fluvial proveniente da drenagem continental, podendo sustentar espécies biológicas eurihalinas durante uma parte ou por todo o seu ciclo de vida.

Segundo Dyer (1997), estuário é um corpo de água costeiro semifechado com ligação livre com o oceano aberto, estendendo-se rio acima até o limite de maré, sendo que em seu interior a água do mar é mensuravelmente diluída pela água doce da drenagem continental. De acordo com essa definição, o estuário se compõe das zonas de mistura e de maré do rio e pode ser considerada bastante satisfatória, obtida a partir de uma adaptação da clássica definição de Pritchard (Miranda *et al.* 2002).

De maneira geral, as descargas fluviais, marés e ondas são as três forças principais que afetam os estuários e percebe-se que a montante de um estuário é controlada pelo rio, a região central do leito experimenta energia mista do rio e do oceano e a foz é controlada principalmente pelo oceano envolvido (Williams *et al.* 2013).

Os processos físicos comuns aos estuários são seus movimentos e a mistura entre as massas d'água de origem continental e marinha. Como resultado desses processos, os estuários são corpos de água não homogêneos e os fenômenos no seu interior variam em amplos intervalos das escalas espaciais e temporais. Os processos que afetam a distribuição e a variabilidade de propriedades físicas, concentração de substâncias naturais (salinidade, nutrientes dissolvidos e sedimentos em suspensão) e dos organismos biológicos, bem como a concentração de poluentes, devem ser estudados integrando alguns componentes principais, tais como: a circulação e mistura de águas, efeitos ambientais sobre a flora e fauna e o transporte de sedimentos. (Miranda *et al.* 2002).

Dada a sua complexidade, os sistemas estuarinos são ambientes que mostram variações sazonais e espaciais nas propriedades físico-químicas da água, assim como nas concentrações e tamanhos de partículas em suspensão, taxas de erosão e deposição, leito do canal principal etc.

## 2.2 CANAL DE MARÉ

O canal de maré é uma denominação geral que inclui uma série de ramificações dentro de um amplo espectro de tamanhos (largura e profundidade) e com pelo menos dois níveis de inundação (Perillo 2009). Além disso, são comuns e abundantes nos ecossistemas estuarinos (Mallin & Lewitus 2004).

Segundo Suguio (1998), canal de maré constitui um canal meandrante que se desenvolve sobre as planícies de maré e sofre influência da oscilação da onda de maré, caracterizando correntes de enchente e vazante. Durante as fases de preamar ou baixa-mar podem desenvolver velocidades correspondentes ao regime de fluxo superior.

Para Perillo (2009), os canais de maré são definidos como qualquer recorte ou vale alongado em uma zona úmida originada por processos de maré ou alguma outra origem, através da qual a água flui principalmente impulsionada pela influência das marés.

A sua forma meandrante é característica, e é consequência da erosão de bancos côncavos em conjunto com a deposição em barras convexas. As curvas dos canais meandrantés são

também consideradas como o resultado de processos sedimentares de transporte em que a erosão é destaque (Hood 2009).

A circulação hidrodinâmica dos canais de maré influencia fortemente as variações que ocorrem no substrato da planície de intermaré adjacente, sendo ela vegetada ou não. O desenvolvimento da elevação do substrato de manguezal é determinado por diversos parâmetros relacionados ao suprimento e acomodação sedimentar, que por sua vez também sofrem influência dos parâmetros hidrológicos, profundidade e tempo de inundação. Em alguns casos também respondem à influência do regime de chuvas, ondas, ventos e eventos de tempestades (Araújo 2012).

### 2.3 TEMPERATURA

A temperatura é uma variável física que assume grande importância na produtividade biológica da água cujos ritmos dependem dela, sendo considerado um dos fatores ecológicos decisivos dentro dos sistemas e o principal limitante da distribuição geográfica de muitas espécies vegetais e animais (Sipaúba-Tavares 1988). É uma propriedade termodinâmica medida da concentração de calor de um elemento de volume, apresentando variações no espaço e no tempo, devido aos processos advectivo e difusivo e as trocas de calor sensível e latente com a atmosfera (Miranda *et al.* 2002).

Em baixas profundidades, a temperatura na água resulta principalmente das condições climáticas, da profundidade e da hora do dia afetando diretamente muitas das características físicas, químicas e biológicas da água, influenciando no retardamento ou aceleração da atividade biológica, na absorção de oxigênio, na precipitação de compostos, na formação de depósitos e nos processos de mistura (Waichman 2002)

Nos estuários tropicais, a temperatura é sempre elevada e as pequenas variações que ocorrem durante o ciclo sazonal, dependem do grau de insolação e de outras condições meteorológicas, além disso, as massas d'água apresentam capacidade limitada de conter gases, tal como ocorre na região amazônica (Guimarães 2014, Silva *et al.* 2004).

## 2.4 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO (pH)

Este parâmetro representa a concentração de íons hidrogênio ( $H^+$ ) dando uma condição de acidez, neutralização ou alcalinidade da água. As águas passam por solos, subsolo e rochas provocando a dissolução das mais variadas substâncias químicas, as quais irão determinar o valor do pH destas águas e sua condição natural reflete a dissolução de rochas, absorção de gases atmosféricos, oxidação da matéria orgânica e fotossíntese. Historicamente, escolheu-se o valor da concentração do íon hidrogênio para identificar os meios ácidos, neutro e básico. Assim temos:  $pH < 7$ , meio ácido;  $pH = 7$ , meio neutro;  $pH > 7$ , meio básico. Por conta da urbanização, em águas naturais os valores de pH podem ser alterados devido aos despejos domésticos e industriais (Sodré 2007, Von-Sperling 1996).

O pH nos estuários sofre interferência das marés, atividades fotossintéticas, respiração dos organismos e disponibilidade dos compostos orgânicos e inorgânicos no meio aquático. Tratando-se do fluxo de água, a drenagem fluvial possui uma característica ácida devido à disponibilidade de ácidos húmicos e a drenagem marinha tem uma influência principalmente alcalina devido à presença de carbonatos e bicarbonatos presentes na água do mar.

## 2.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO (OD)

Dentre os gases dissolvidos na água, o oxigênio ( $O_2$ ) é um dos mais importantes na dinâmica e na caracterização de ecossistemas aquáticos. As principais fontes de oxigênio para a água são a atmosfera e a fotossíntese. Por outro lado, as perdas são o consumo pela decomposição de matéria orgânica (oxidação), perdas para a atmosfera, respiração de organismos aquáticos e oxidação de íons metálicos como, por exemplo, o ferro e o manganês (Esteves 1998).

A mudança da concentração de OD pode ser uma interação complexa de processos físicos, químicos e biológicos. Portanto, os estudos sobre a concentração de OD da água do mar são de grande importância na resolução de problemas químicos, biológicos, hidrológicos e geológicos no oceano (Wei *et al.* 2010), principalmente porque é um dos principais impulsionadores do funcionamento e composição da comunidade aquática, com flutuações nos níveis de oxigênio influenciando drasticamente os processos ecológicos (Rakocinski 2012, Tweedley *et al.* 2016).

Quando são atingidas pequenas concentrações de oxigênio, as comunidades de invertebrados e peixes podem entrar em colapso (Gazeau *et al.* 2005, Maes *et al.* 2008, Mialet

*et al.* 2010, Vaquer-Sunyer & Duarte 2008) e mudanças biogeoquímicas na coluna de água e nos sedimentos são induzidos (Gunnars & Blomqvist 1997). Além disso, os danos ecológicos são acompanhados por perda econômica de recursos pesqueiros (Diaz & Rosenberg 2008, Helly & Levin 2004, Vaquer-Sunyer & Duarte 2008).

Os estuários são naturalmente sistemas eutróficos e produtivos, pois concentram a água de grandes áreas de drenagem em corpos d'água relativamente pequenos (Van Damme *et al.* 2005). No entanto, o excesso de nutrientes e entrada de matéria orgânica, decorrente do aumento da atividade humana (indústria, agricultura, esgoto), além das condições naturalmente eutróficas, podem levar a graves deficiências de oxigênio (Rabalais *et al.* 2010).

A temperatura e a salinidade afetam as concentrações de oxigênio de forma direta e indireta, isto é, pelo seu controle sobre a solubilidade, e também pela temperatura e velocidade a que os processos de produção exigem bioquimicamente (Testa & Kemp 2011). Portanto, é importante elucidar os mecanismos subjacentes que podem levar à depleção de oxigênio ou hipóxia. Só então a eficácia das estratégias de gestão atuais pode ser avaliada e ajustada, se necessário (Geertz *et al.* 2017).

## 2.6 TURBIDEZ, SÓLIDOS DISSOLVIDOS E MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

A origem dos sedimentos que chegam à região estuarina é variada, englobando desde a bacia de drenagem, plataforma continental, atmosfera, erosão dentro do corpo estuarino e sedimentos oriundos da atividade biológica (Baptista-Neto *et al.* 2004).

O Material Particulado em Suspensão é definido como sendo aquele material que é retido em filtro de micro poros de aproximadamente 0,4 – 0,5  $\mu\text{m}$  e os materiais menores são considerados dissolvidos (Eisma 1993). Enquanto que a turbidez é uma propriedade visual que está relacionada com a atenuação da luz na coluna d'água devido à presença de materiais em suspensão (Wetzel 2001).

A física associada à dinâmica e ao transporte dos sedimentos em suspensão é conceitualmente bastante simples: o material permanecerá em suspensão caso a força vertical para cima, causada pela turbulência do meio, seja maior do que a força peso para baixo (Dyer 1986). Contudo, os processos associados com a formação das partículas são bastante complexos, uma vez que o MPS é constituído de sedimentos inorgânicos finos (argila e silte) e matéria orgânica formando flocos (Eisma 1986).

Dentro do sistema estuarino, os processos sedimentares são desencadeados pelo fluxo energético fluvial, variações de densidades tanto verticalmente na coluna d'água como longitudinalmente, prisma de maré, ondas, além de forçantes meteorológicas. Estes processos energéticos atuam interagindo simultaneamente, mesmo que em alguns casos uma forçante possa ser determinante, de maneira que injetam, transportam, redistribuem os sedimentos dentro do sistema (Davis 1985). Somado a isso, vale ressaltar a influência das características geomorfológicas do corpo estuarino, além das fontes e depósitos sedimentares em que estão inseridos (Perillo 1996).

Diversos fatores naturais e antrópicos contribuem para a disponibilidade das partículas sedimentares em suspensão nas regiões costeiras, como aportes fluviais e eólicos, erosão da costa, dragagem e atividade pesqueira (Pathitis & Collins 2005). O transporte, deposição e suspensão de sedimentos nos estuários são de grande importância para se entender a condição geral destes complexos sistemas assim como em rios, baías etc. Visto que os sedimentos ricos em nutrientes contribuem para a produção primária, enquanto a alta concentração de sedimentos em suspensão limita a transmissão de luz, diminuindo a fotossíntese, (Dyer 1997). Além disso, o destino e o transporte de contaminantes requerem conhecimento da dinâmica dos sedimentos em suspensão devido à sua correlação em ambientes estuarinos (Prandle 2009).

## 2.7 SALINIDADE

A salinidade é uma propriedade que representa a medida da concentração dos sais dissolvidos ionicamente na água, ou seja, é uma razão das massas dos sais pela massa de água que os contem. Nos estuários, a salinidade apresenta variações no espaço e no tempo, principalmente devido aos processos advectivo e difusivo e à descarga fluvial, levando-se em consideração que as trocas de massa do corpo de água estuarino com a atmosfera (precipitação-evaporação) em geral não desempenham um papel muito importante sobre a variação dessa propriedade (Miranda *et al.* 2002).

A salinidade é comumente representada em PSU (*Practical Salinity Scale*) que relaciona a condutividade com a quantidade de sais dissolvidos na água. Porém, a partir de 2010, a unidade em g/kg vem sendo utilizada no meio científico obtida a partir de um método indutivo (IOC *et al.* 2010).

A distribuição espacial da salinidade nos estuários é um indicador útil da condição física do sistema, pois representa o efeito líquido de numerosos processos complexos, como influxo de água doce, maré e grau de turbulência (Eaton 2007).

## 2.8 MARÉ E CORRENTE

As marés são formadas pela ação combinada de forças de atração gravitacional entre a Terra, Lua e Sol, associadas à aceleração centrípeta, agindo diretamente sobre as grandes massas de água das bacias oceânicas. A maré gerada globalmente pelas forças astronômicas em regiões oceânicas se propaga pela plataforma continental e se torna uma das principais forças geradoras dos movimentos e dos processos de mistura nos estuários (Miranda et al. 2002).

A altura da onda de maré é por definição a diferença da elevação entre o nível máximo (crista) e mínimo (cavado) e a distância entre as duas cristas ou cavados consecutivos é o comprimento de onda. A propagação desses eventos uma ou duas vezes por dia constitui o ciclo de maré e o intervalo de tempo desses ciclos, aproximadamente iguais a 12,4 e 25h, respectivamente, é o período semidiurno ou diurno da maré (Miranda *et al.* 2002).

O efeito conjugado da atração gravitacional do sol também exerce modificações significativas nas amplitudes de maré, sendo responsáveis pelas variações observadas entre as marés de sizígia (maiores amplitudes) e as marés de quadratura (menores amplitudes). As primeiras ocorrem em períodos de lua nova ou lua cheia quando o sistema Terra-Lua-Sol está linearmente disposto, enquanto que as marés de quadratura acontecem em fases de quarto crescente ou minguante, em um sistema perpendicularmente disposto (Batista-Neto *et al.* 2004).

A altura da maré oceânica é em geral menor do que um metro, porém, ao atravessar a plataforma continental ou penetrar em regiões semifechadas como baías, enseadas e estuários, a altura da maré pode amplificar-se podendo atingir vários metros (Miranda et al., 2002) e, sendo assim, de acordo com Davies (1964), pode-se classificar a maré de acordo com a sua altura máxima ( $H_{m\acute{a}x}$ ), tal que: micromaré:  $H_{m\acute{a}x} < 2$  m; mesomaré:  $2 < H_{m\acute{a}x} < 4$  m; macromaré:  $4 < H_{m\acute{a}x} < 6$  m; hipermaré:  $H_{m\acute{a}x} > 6$  m. Os movimentos horizontais associados às oscilações de maré são denominados correntes de maré que são condicionados pela profundidade local, pela morfologia do sistema, pela vorticidade relativa devida ao atrito no fundo e também aos efeitos de rotação da Terra e sua periodicidade e orientação dependem do regime de marés local (Miranda *et al.* 2002, Suguio 1998).

### **3 MATERIAL E MÉTODOS**

#### **3.1 ÁREA DE ESTUDO**

Localizados à leste da zona costeira amazônica, os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba integram a mesorregião do nordeste paraense e na microrregião do Salgado. Esses rios estão limitados pelos meridianos 48° e 47° O e os paralelos 0° e 1° S e, geograficamente, a oeste pelo município de São Caetano de Odivelas, a sul pelo município de São João da Ponta, a leste pelo município de Curuçá e ao norte pelo oceano Atlântico com um arquipélago formado pelas ilhas de São Miguel, da Macaca, do Papagaio, do Marinheiro, Taipu e ilha Nova. O município de São Caetano de Odivelas situa-se a 113 km da capital do estado, Belém do Pará, e o acesso a cidade se dá pela rodovia PA 140 (Picanço 2013, Santos 2016) (Figura 2).

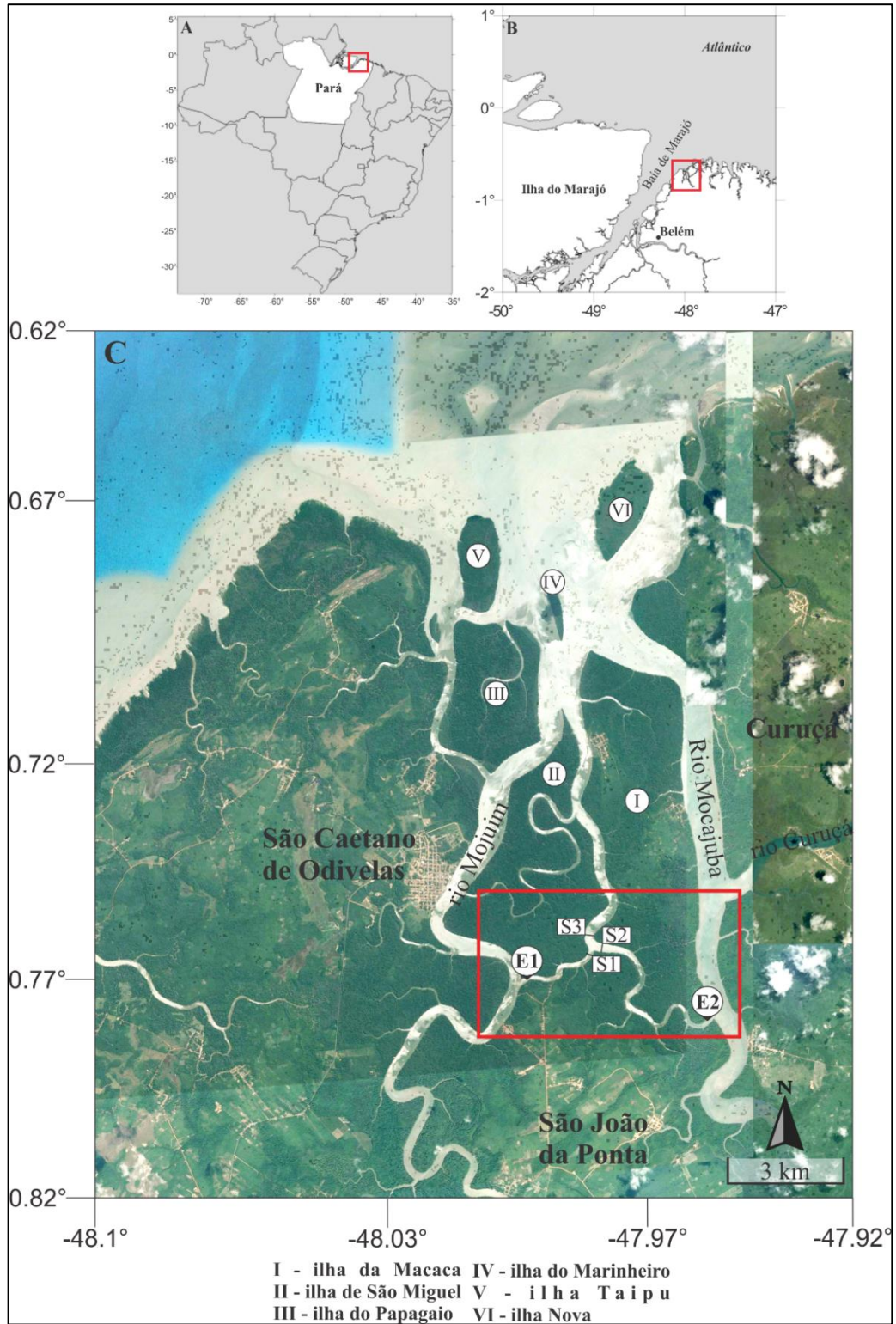


Figura 2 – Mapa de localização dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba na cidade de São Caetano de Odivelas e o canal de maré que os conecta utilizado para o levantamento de dados desse estudo. (A: Brasil e estado do Pará; B: Belém, ilha do Marajó e salgado paraense; C: Estuários dos rios Mojuim e Mocajuba; E1: Estação 1; E2: Estação 2; S1: Seção 1; S2: Seção2; S3: Seção 3).

Fonte: Autor.

### 3.1.1 Geomorfologia

A região dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba apresenta particularidades morfológicas que denotam um caráter singular, principalmente, devido à forte influência dos processos atmosféricos e hidrodinâmicos típicos da costa Paraense. Destacam-se a ocorrência de um grande número de reentrâncias que definem uma configuração extremamente recortada para a sua linha de costa denominada de “litoral de rias” que se estende desde a baía de São Caetano de Odivelas até a baía de São Luís no Maranhão (Barbosa & Pinto 1973, Prost *et al.* 2013).

A área é considerada uma costa formada por vales fluviais, parcialmente submersos em decorrência do aumento do nível relativo do mar durante o Holoceno, destacando-se por ser uma costa de baixo relevo recortada por planícies costeiras que estão em contato direto com o oceano Atlântico, situação propícia à formação de extensas áreas de manguezais (Prost *et al.* 2013).

### 3.1.2 Geologia

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

O Pleistoceno é caracterizado por uma cobertura detrítico-laterítica que apresenta as seguintes características: sedimentos argilo-arenosos amarelados, caoliníticos, alóctones e autóctones, parcial a totalmente pedogenizados, gerados por processos alúviocolúviais. Enquanto que o Holoceno é caracterizado principalmente pelos depósitos de pântanos emangues, 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 2008, MMA 2014).

### 3.1.3 Hidrologia

O rio Mojuim é o principal componente fluvial da rede de drenagem do município de São Caetano de Odivelas, pois corta o município de sul a norte. Além disso, é limite natural com o município de São João da Ponta, e ainda banha a sede municipal (MMA 2014). O rio tem um comprimento em linha reta de 36 km com sua nascente próxima ao município de Santo Antônio do Tauá, além de ser caracterizado por meandros em grande parte de seu percurso (Santos 2016). Possui cotas batimétricas variando entre 0,3 a 14,5 m, com média de 4,5 m, e vazão de 95,87 m<sup>3</sup>/s no período chuvoso e de 82,38 m<sup>3</sup>/s no período seco (Rocha 2015).

O rio Mocajuba é um limite natural com o município de Curuçá a leste, possui aproximadamente 57 km de comprimento desde sua nascente, no município de Terra Alta, até a foz, sendo que os primeiros 41 km a jusante correspondem ao estuário, sofrendo a influência da maré. Apresenta-se largo em grande parte de seu percurso chegando a formar um corpo hídrico, o rio Curuçá, que deságua no oceano Atlântico, a profundidade média é de 10 m, com mínima de 1 m e máxima de 40 m, e sua bacia hidrográfica tem uma área de drenagem de 380 km<sup>2</sup> (Silva 2015, Santos 2016).

O canal de maré utilizado para esse estudo possui aproximadamente 7,72 km de comprimento e as suas duas desembocaduras distam em torno de 5 km em linha reta. Além disso, na região central desse canal há um segundo canal de maré que se liga ao rio Mojuim à norte e possui diversos canais menores ao longo de sua extensão. Esses furos e canais de maré são componentes importantes da hidrografia da região pois geralmente são utilizados como “atalhos” na navegação flúvio-marinha (MMA 2014) e de novos ambientes de exploração para a pesca local.

### 3.1.4 Vegetação

A cobertura vegetal que abrange a área de estudo é típica de planícies de maré representada por manguezais que é uma vegetação de caráter flúvio-marinha que se desenvolve em áreas protegidas da ação efetiva de ondas. Esse tipo de vegetação em São Caetano de Odivelas possui baixa diversidade florística, do tipo arbóreo, com alturas que variam entre 10 a 30 m e com dominância principalmente das espécies de *Rhizophoramangle L.*, *Avicennia schaweriana*, *Avicennia germinians* e *Laguncularia racemosa*. Também são encontrados gramíneas e vegetação de pequeno porte como a *Spartina alterniflora* e *Acrostichum aureum* (Berrêdo *et al.* 2000, Luz 2001, Luz *et al.* 2000, Picanço 2013).

Os recursos do mangue são explorados comercialmente pelas comunidades locais por meio da captura de caranguejos, extração de mel, e retirada de madeira para a construção de canoas, currais e lenha. Os estuários com a vegetação predominante de mangue são considerados dentre os sistemas mais produtivos, em termos de produção primária e formação de substâncias orgânicas ricas em energia, permitindo a fixação de carbono no ambiente (MMA 2014, Pereira *et al.* 2009).

### 3.1.5 Aspectos Climáticos

O clima predominante da região é equatorial amazônico do tipo “Am”, segundo a classificação de Köppen, com temperatura média anual de 27 °C com pequena amplitude térmica, média de precipitação anual de 2.500mm e umidade relativa do ar atingindo valores médios anuais em torno de 80-85% (Martorano *et al.* 1993).

As oscilações da Zona de Convergência Inter-Tropical (ITCZ) controlam as principais mudanças do clima na ZCA. A ITCZ fica predominantemente no Hemisfério Norte, estando mais próxima ao 0° N entre março e abril e próximo dos 10°N, entre agosto e setembro. Conseqüentemente, o deslocamento sazonal da zona intensifica a ação os ventos alísios de NE na foz do rio Amazonas e no litoral paraense (Philander 1990, Costa *et al.* 1996).

O litoral do estado do Pará, assim como todo o estado, apresenta durante o ano dois períodos pluviométricos distintos: um de maior e outro de menor intensidade. O primeiro período vai de janeiro a junho, sendo o mês de março o mais chuvoso, com média de 705 mm; o segundo estende-se de julho a dezembro, sendo o mês de outubro o de menor incidência de chuvas com média de 1,9 mm (Bastos *et al.* 2013).

Entretanto, Valentim (2017) verificou a ocorrência de 3 períodos distintos no estuário do rio Mojuim com base na precipitação total mensal: um período chuvoso de janeiro a abril (490 a 320 mm/mês); um período intermediário de maio a julho (135 a 100 mm/mês); e um período seco de agosto a dezembro (35 a 0 mm/mês) (Figura 3). Além disso, essa região apresenta variações dos parâmetros meteorológicos (ventos, temperatura do ar e precipitação) em função da sazonalidade (Silva 2017).

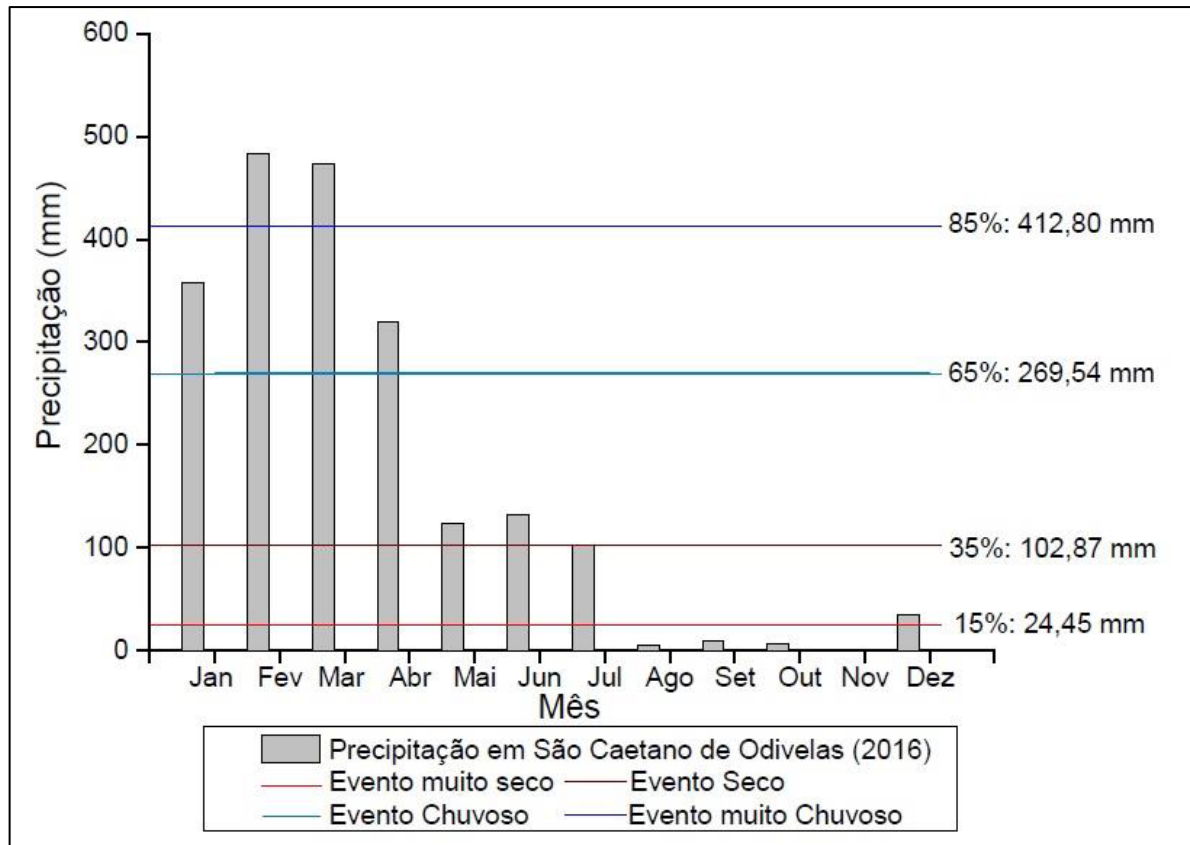


Figura 3: Classificação dos meses de 2016 quanto a precipitação nos intervalos quatílicos.  
Fonte: Valentim (2017).

### 3.1.6 Aspectos Oceanográficos

Os processos costeiros que operam nesta zona costeira resultam da superposição de várias características dominantes: localização latitudinal perto do equador; grande energia trazida por ondas, correntes (maré e outros) e ventos; e enorme descarga de massa de água, com solutos e partículas de dezenas de rios locais (Pereira *et al.* 2012).

O estuário do rio Mocajuba é fortemente influenciado pela propagação de maré, apresentando um regime de macromaré com alturas de 4,9 m na sizígia e 3,2 m na quadratura e com velocidades de vazantes superiores às velocidades de enchente (Santos 2016).

No rio Mojuim é possível observar uma macromaré na sua desembocadura com amplitude maior que 4 m e uma atenuação da onda estuário acima (Santos 2016).

### 3.1.7 Unidades de Conservação

Unidade de Conservação (UC) é um espaço territorial e seus recursos ambientais, incluindo as águas jurisdicionais, com características naturais relevantes, legalmente instituído pelo Poder Público, com objetivos de conservação e limites definidos, sob regime especial de administração, ao qual se aplicam garantias adequadas de proteção (Lei nº 9985/2000). Esses espaços territoriais especialmente protegidos são mundialmente reconhecidos como instrumentos fundamentais à conservação *in situ* de espécies, populações e ecossistemas, incluindo os sistemas e meios tradicionais de sobrevivência de comunidades humanas, gozando, por isso, de estatuto legal e regime de administração diferenciado (Medeiros *et al.* 2011).

O sistema de UC estabelece dois grupos: o grupo das unidades de proteção integral e o grupo das unidades de uso sustentável. Sendo as Reservas Extrativistas (RESEX) pertencentes ao grupo de unidades de uso sustentável.

As RESEX que integram o sistema estuarino dos rios Mojuim e Mocajuba compreendem áreas de manguezais, canais de maré e a áreas adjacentes à desembocadura dos rios (Santos 2016) e estão localizadas nos municípios de São Caetano de Odivelas, Curuçá e São João da Ponta. São elas: Resex Marinha Mocapajuba, Resex Mãe grande de Curuçá e Resex de São João da Ponta (Figura 4).

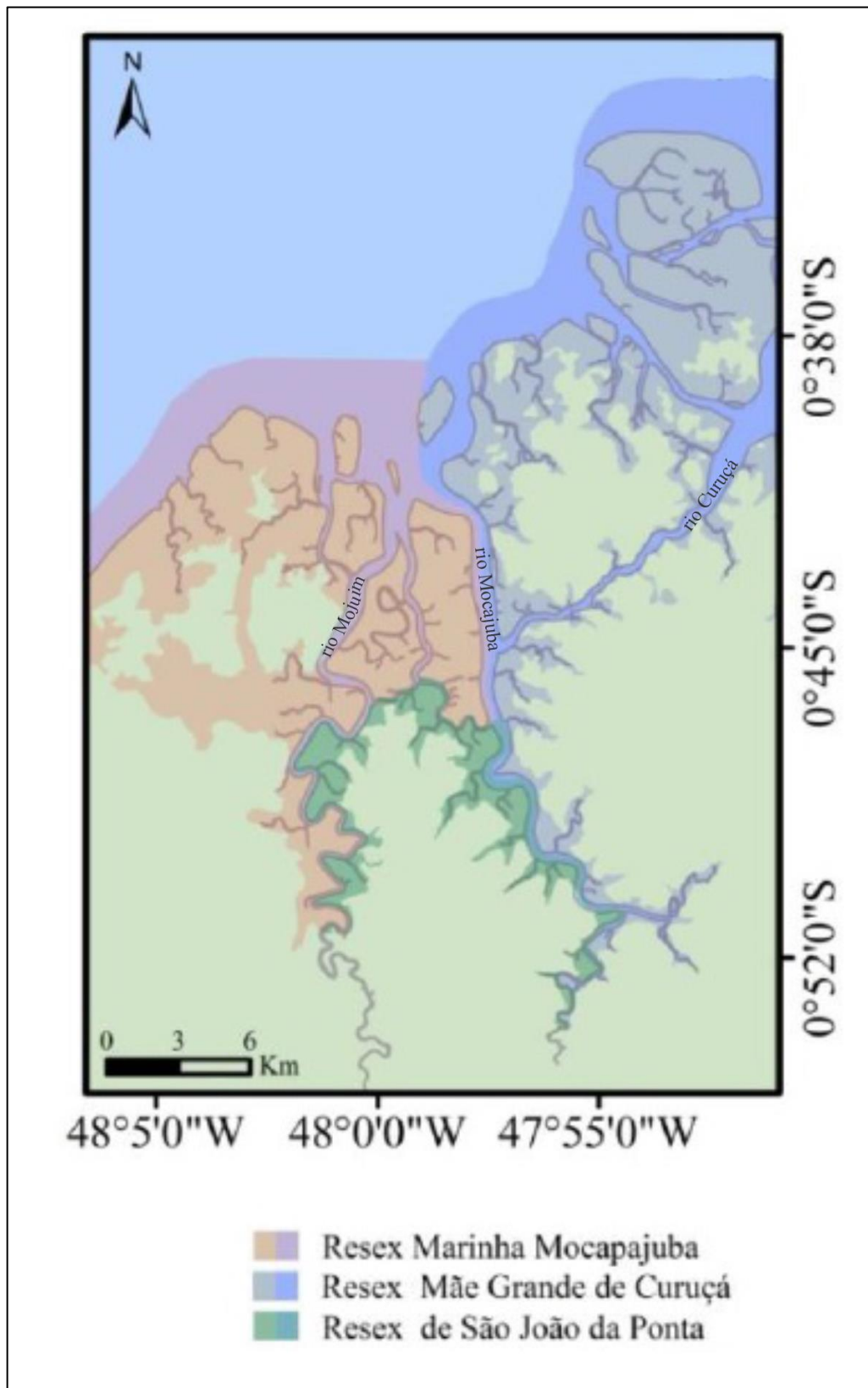


Figura 4 – Localização das RESEX de Mocapajuba, Mãe Grande de Curuçá e São João da Ponta no nordeste paraense.

Fonte: Modificado de Santos (2016).

### 3.2 COLETA E TRATAMENTO DE DADOS

Foram realizadas campanhas que ocorreram em duas etapas: a primeira durante o período chuvoso em março de 2017 e a segunda durante o período seco em novembro de 2017. Em campo, foram instaladas duas estações fixas de coleta em um canal de maré que interliga os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba: Estação 1 (E1,  $-0.770017^{\circ}$ - $48.000550^{\circ}$ ) na desembocadura da conexão no rio Mojuim e Estação 2 (E2,  $-0.779450^{\circ}$ - $47.958600^{\circ}$ ) na desembocadura da conexão no rio Mocajuba (Figura 2). Os dados foram coletados concomitantemente nas duas estações em marés de sizígias ao longo de um ciclo semidiurno de maré (13h).

#### 3.2.1 Sensor CTD (Conductive, Temperature, Depth)

Utilizaram-se sensores de pressão e condutividade do tipo CTD da marca *Solinst Leve Logger* (modelo 3001) em cada uma das duas estações. Esperava-se coletar dados ininterruptamente durante o intervalo entre as duas campanhas, diante disso, na primeira campanha, dois aparelhos (um para cada estação de coleta), programados para medições a cada 5 min, foram presos em estacas com 3 m de comprimento e introduzidas no substrato às margens do canal com o cuidado de deixar os sensores totalmente submersos na coluna d'água durante a estufa de baixa-mar. Entretanto, como houve a perda do equipamento na E2 durante este período, optou-se por realizar medições somente em um ciclo de maré na segunda campanha com os sensores programados para medições a cada 1 min, presos em uma gaiola metálica e fundeados no canal. Dessa forma, a coleta de dados na E1 ocorreu entre os dias 29/03/17 e 24/05/17 para a salinidade e dos dias 29/04/17 a 24/05/17 para a maré no período chuvoso e durante 13h nos dias 05/11/17 na E1 e 06/11/17 na E2 no período seco. A aquisição das informações se deu diretamente dos sensores após o fim das campanhas e o tratamento de dados, tal como a conversão da condutividade para a salinidade, foi aplicado em rotinas específicas (Anexo A).

#### 3.2.2 Sensor Multiparâmetros

Foram adotadas as seguintes propriedades físico-químicas para análise do estudo em questão: temperatura, pH, oxigênio dissolvido em mg/L (OD), saturação do oxigênio (OD%),

sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez e salinidade. Estas foram medidas *in situ* nas duas estações a cada 30 minutos utilizando medidores multiparâmetros (HORIBA U-50) em superfície (0,5 m) e fundo (até 14 m no rio Mojuim e 6 m no rio Mocajuba) com os dados coletados manualmente no visor do aparelho (Anexo B).

Para se verificar a variação das propriedades analisadas em função da maré, foi utilizada uma previsão de maré da DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação) de uma estação fixa na Ilha dos Guarás (00°35,9'S 047°54,9'W), o local mais próximo à área de estudo, para o dia 29/03/17 durante a primeira campanha no período chuvoso. No período seco, uma previsão de maré foi feita a partir da medição de um sensor CTD um dia anterior à coleta de dados hidrográficos na E1, enquanto que na E2 houve o registro da curva de maré simultaneamente ao período analisado.

### **3.2.3 Material Particulado em Suspensão (MPS)**

Nas estações, coletaram-se amostras de água da superfície e do fundo utilizando-se garrafas do tipo Van Dorn a cada hora e posteriormente armazenadas em garrafas de 500 ml até a análise em laboratório. O MPS foi determinado pelo método de gravimetria de volatilização segundo Baumgarten *et al.* (1996). Utilizaram-se envelopes de papel alumínio devidamente identificados para armazenar os filtros os quais foram previamente pesados (Peso 1 = envelope + filtro sem MPS) em uma balança analítica. Seguindo a metodologia, 250 mL de cada amostra foram filtradas com uso de uma bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração e após esse processo, o filtro contendo o material em suspensão foi transferido com uma pinça de volta ao envelope. Em seguida, os envelopes contendo os filtros foram postos em uma estufa a 70°C por 24h e posteriormente levados a um dessecador e depois de duas horas, novamente pesados (Peso 2 = envelope + filtro com MPS). Este último processo foi repetido para garantir a perda máxima de umidade sendo, por fim, utilizado a média entre todas as pesagens até atingir um desvio padrão aceitável ( $\leq 0,003$ ) ficando assim definido o peso final após a filtração. A diferença entre os pesos dos filtros após (Peso 2) e antes (Peso 1) da filtração forneceu o peso do material particulado em suspensão para um determinado volume dado em miligrama por litro (mg/L).

### 3.2.4 Fluxo de Volume

A descrição do fluxo de volume no canal de maré ocorreu da seguinte forma: na primeira campanha foram definidos transectos na região central do canal, sendo duas seções (seção 1 (S1) na conexão ao rio Mojuim; seção 2 (S2) na conexão ao rio Mocajuba) no canal principal e uma seção (seção 3 (S3)) em um canal de maré secundário que se conecta ao rio Mojuim a norte do estuário, e com um ADCP (Acoustic Doppler Current Profiler) acoplado na embarcação foram feitas seções transversais nos canais a cada uma hora durante um ciclo de maré. Contudo, houve problemas de medição devido à baixa profundidade na S2 e para evitar possíveis erros, na segunda campanha foi utilizado um correntômetro, programado com uma frequência de medição de 1 minuto, fundeado no canal na região das duas estações físicas de coleta. O tratamento de dados se deu pela aplicação de rotinas específicas (Anexo C).

## 4 RESULTADOS

### 4.1 MARÉ E SALINIDADE

No período chuvoso na E1, observou-se uma altura máxima de 3,86 m e 1,98 m, alturas essas relacionadas à sizígia e quadratura, respectivamente, logo sendo um estuário dominado por macromaré. Verifica-se uma salinidade máxima de 11,3 no dia 29/03/17 e mínima de 0,8 no dia 10/05/17 e uma variação de acordo com a maré com os maiores valores durante a enchente e os menores na vazante. Além disso, considerando a sazonalidade, é possível observar uma diminuição na salinidade, durante o mês de maio, no período intermediário entre o chuvoso e seco (Figura 5).

No período seco, observou-se uma diferença entre as alturas máximas da maré para a E1 em comparação à E2 com valores de 5,06 m e 4,82 m, respectivamente. A duração da enchente e vazante também foi distinta entre as duas estações, na qual, em E1 a enchente durou cerca de 5:48h e a vazante cerca de 6:44h. Na E2, a duração de enchente e vazante foram menores àquelas observadas na E1, com o total de 5:10h e 6:24h, respectivamente. Ou seja, a primeira entrada da maré é observada na E2 enquanto que há uma diferença em torno de 60 min para o início da enchente em E1. Além disso, foi visto uma estofa de preamar que durou cerca de 21 minutos nas duas estações, enquanto que a mudança entre enchente e vazante ocorre bastante rápido. Para E1, a salinidade oscilou entre 22 e 30,8 e a partir do gráfico, foi possível observar uma melhor relação da salinidade em função da maré quando comparado a E2. Os maiores registros de salinidade foram vistos para a E2 com máximo de 30,9 na enchente e que decresce rapidamente na estofa de baixa-mar com mínimo de 26,9. (Figura 6).

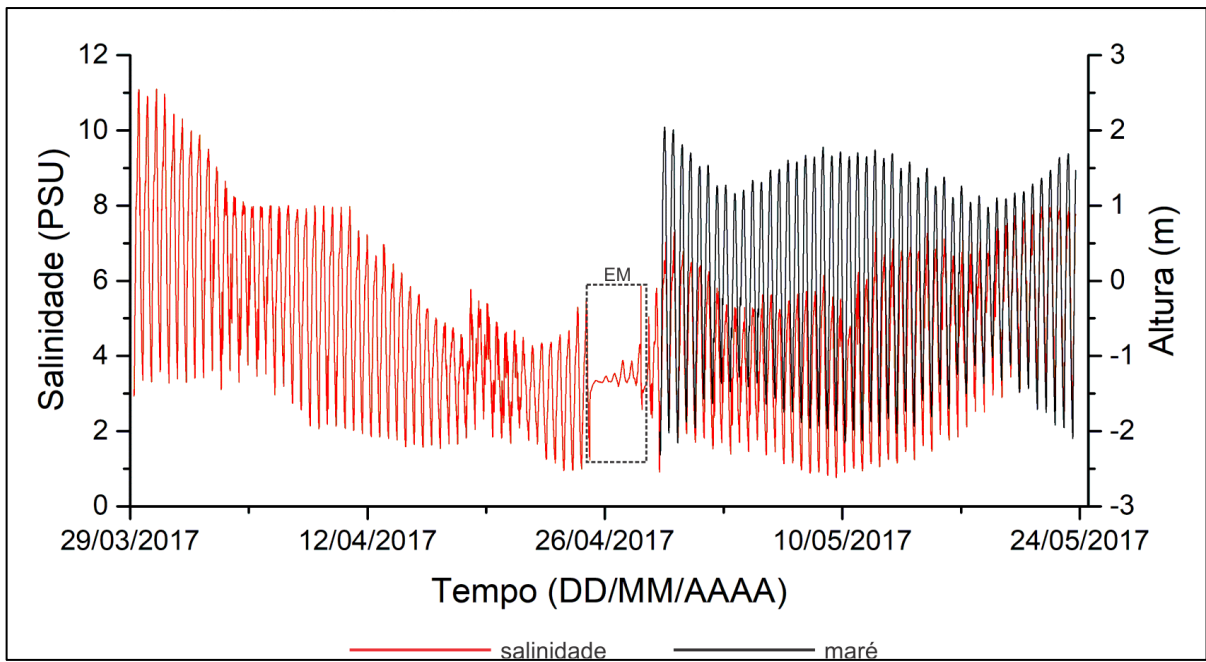


Figura 5 – Variação da salinidade (PSU) em função da maré durante o final do período chuvoso em Estação 1 (E1) na conexão com o rio Mojuim. (EM: Erro de medição do equipamento).

Fonte: Autor.

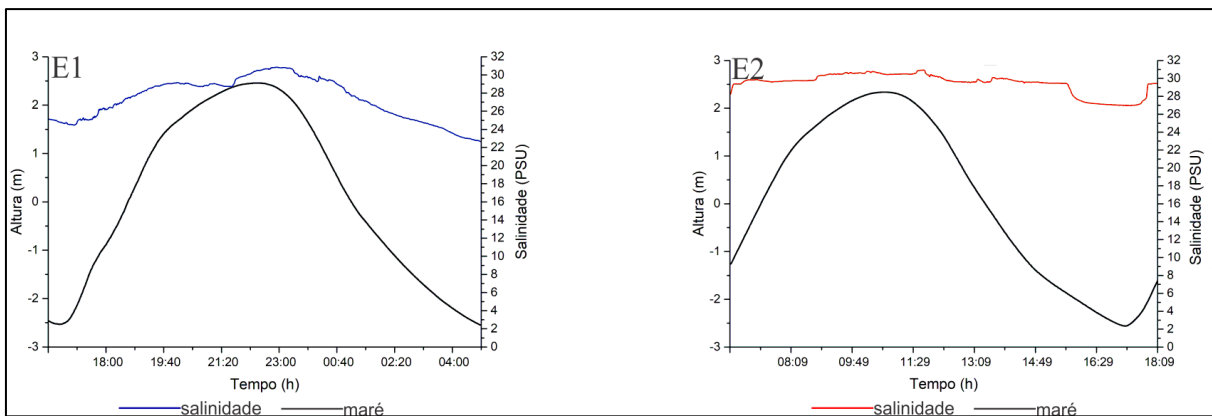


Figura 6 – Variação da salinidade (PSU) em função da maré durante o período seco no canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

## 4.2 HIDRODINÂMICA

O fluxo de volume no interior do canal durante a primeira campanha, pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Fluxo e transporte de volume durante o período chuvoso em seções realizadas com um ADCP no interior do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (S1: Seção 1 - Mojuim; S2: Seção 2 - Mocajuba; S3: Seção 3 – canal de maré secundário; u: Velocidade Longitudinal; Enchente: -; Vazante: +).

<b>PARAMÊTROS</b>	<b>S1</b>	<b>S2</b>	<b>S3</b>
<b>Transporte de Volume Resultante (m<sup>3</sup>/s)</b>	131,39	-80,56	140,46
<b>Balanco de Volume (m<sup>3</sup>)</b>	1140,4	-797,48	572,55
<b>Máximo Transporte Enchente (m<sup>3</sup>/s)</b>	-627,98	-972,85	-1755,7
<b>Máximo Transporte Vazante (m<sup>3</sup>/s)</b>	1013,9	856,72	2169,2
<b>u Máximo Enchente (m/s)</b>	-0,51	-0,92	-0,68
<b>u Máximo Vazante (m/s)</b>	0,99	0,77	1,07

Fonte: Autor

Os valores correspondentes à S2 serão descartados para análise, pois, durante a medição em campo, a profundidade era bastante baixa e dessa forma a maioria dos resultados nessa seção foi interpolada na rotina de tratamento.

Considerando o transporte de volume, na S3 se obteve os maiores resultados sendo bastante significativo em relação ao máximo transporte de enchente e vazante com valores acima do dobro quando comparados à S2. Entretanto, não houve uma variação expressiva no transporte de volume resultante e em ambas as seções se percebe a superioridade da vazante sobre os valores da enchente considerando o volume e a velocidade da corrente.

A descrição dos vetores de velocidade e direção das correntes nas seções durante o ciclo de maré também indicam o domínio da vazante sobre a enchente com a corrente acima de 0.6 m/s na vazante enquanto que durante a enchente houve, geralmente, valores até 0.4 m/s. Nota-se que durante a enchente, o fluxo segue em direção às desembocaduras do canal de maré principal e na vazante, o fluxo segue em direção ao canal de maré secundário que se conecta a esse sistema (Figura 7).

No período seco observa-se que as correntes na E1 durante a enchente foram superiores às observadas na vazante com máximos de até 1,2 m/s e 0,8 m/s, respectivamente. Enquanto que o oposto foi visto na E2 na qual, apesar da pouca diferença entre as velocidades máximas registradas, o fluxo é intensificado na vazante com velocidade de até 1 m/s e de até

0,8 m/s na enchente. Verifica-se que em ambas as estações a direção predominante da corrente durante a enchente é um fluxo adentrando ao canal de maré que na vazante inverte sua direção no sentido de saída do canal (Figura 8).

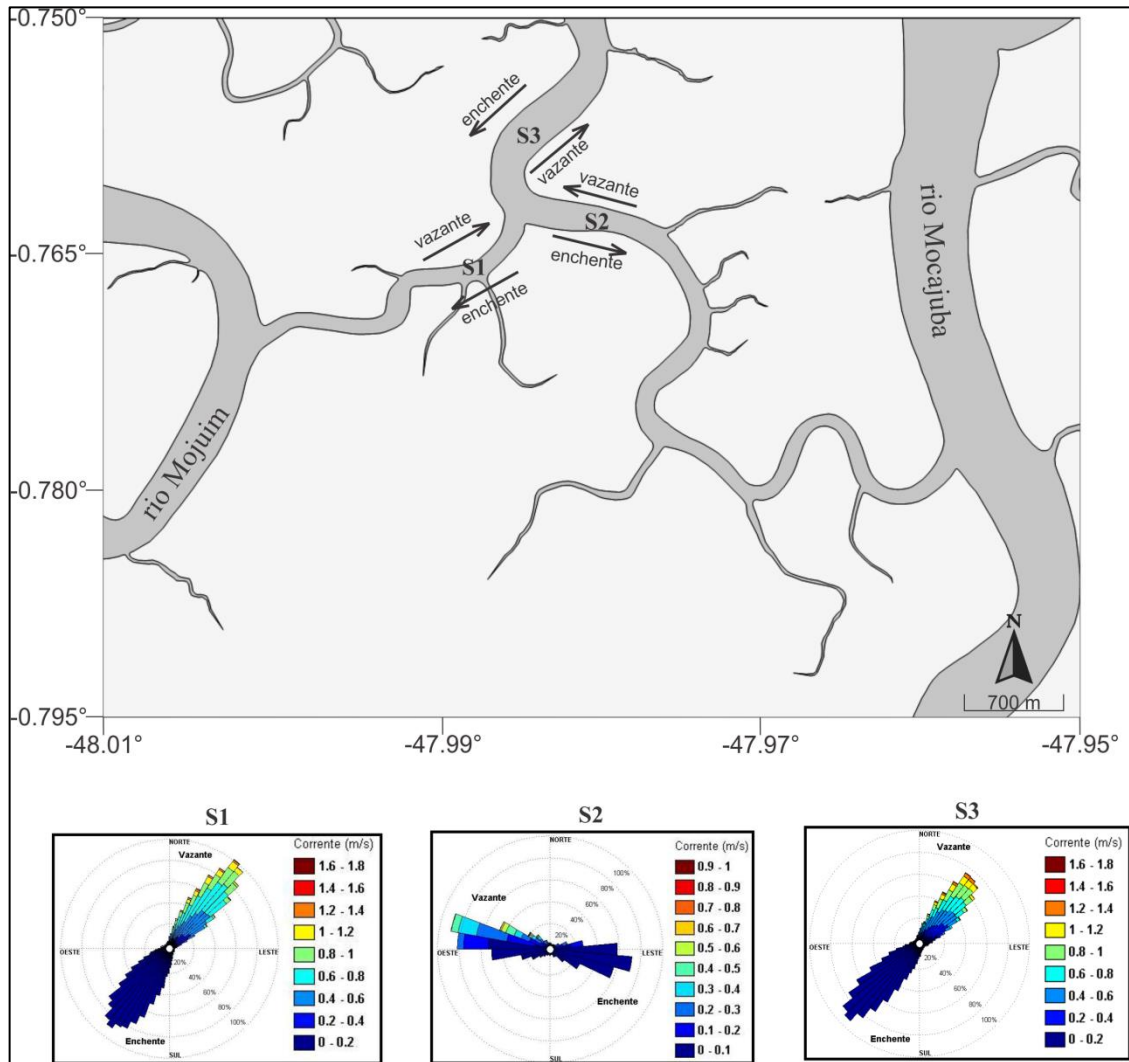


Figura 7 – Descrição das velocidades (m/s) e direção da corrente durante o período chuvoso em seções realizadas com um ADCP no interior do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (S1: Seção 1 - Mojuim; S2: Seção 2 - Mocajuba; S3: Seção 3 – canal de maré secundário).

Fonte: Autor.

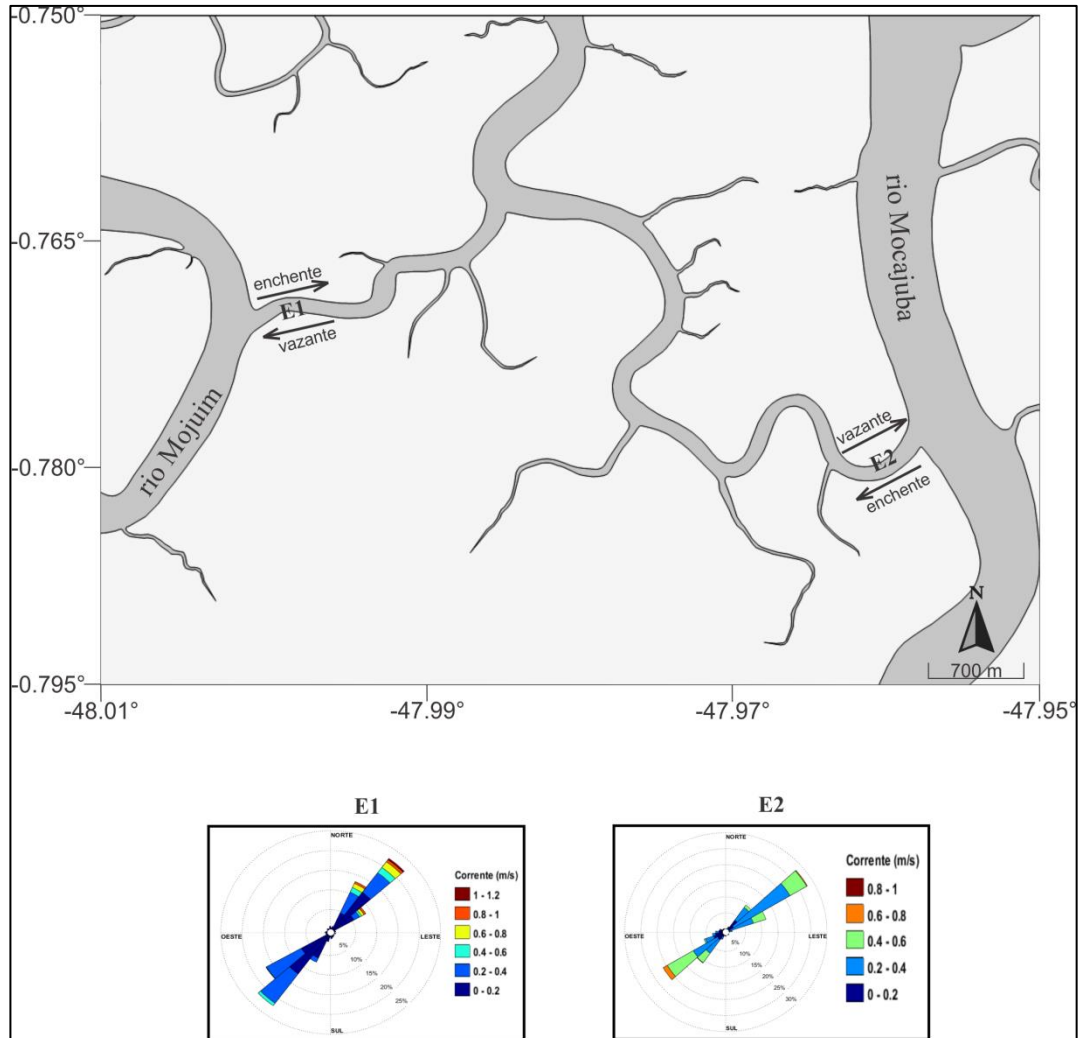


Figura 8 – Descrição das velocidades (m/s) e direção da corrente durante o período seco nas estações de coleta realizadas com um correntômetro no canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 - Mojuim; E2: Estação 2 - Mocajuba).

Fonte: Autor.

#### 4.3 PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DA ÁGUA (sensor multiparâmetros HORIBA)

Os dados referentes às propriedades físico-químicas da água coletados com a HORIBA podem ser vistos na Tabela 2.

Tabela 2 – Médias sazonais das propriedades físico-químicas registradas com a Horiba durante um ciclo de maré nas estações de coleta nos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba; T: Temperatura; OD: Oxigênio Dissolvido; OD%: Saturação do Oxigênio; STD: Sólidos Totais Dissolvidos).

PARÂMETROS		Chuvoso		Seco	
		E1	E2	E1	E2
Enchente	T (°C)	27,98	28,85	29,71	29,19
	pH	6,67	7,47	7,92	7,60
	OD (mg/L)	2,89	3,78	1,85	1,73
	OD%	38,06	49,71	27,38	27,10
	STD (g/L)	6,44	10,04	28,30	27,92
	Turbidez (NTU)	589,95	143,35	90,04	71,74
	Salinidade (PSU)	6,16	9,52	30,12	30,20
Vazante	T (°C)	28,21	29,01	30,18	29,59
	pH	6,99	7,64	7,96	7,62
	OD (mg/L)	3,24	3,15	1,39	1,57
	OD%	43,99	43,55	22,01	22,97
	STD (g/L)	8,64	10,35	27,36	28,26
	Turbidez (NTU)	615,36	189,78	110,80	104,70
	Salinidade (PSU)	8,35	9,77	29,00	30,06

Fonte: Autor.

### 4.3.1 Temperatura (°C)

A temperatura não apresentou uma influência considerável com a sazonalidade e entre as diferentes profundidades de amostragem. A temperatura média nas duas estações foi de 28°C no período chuvoso e de 29°C no período seco (Figura 9).

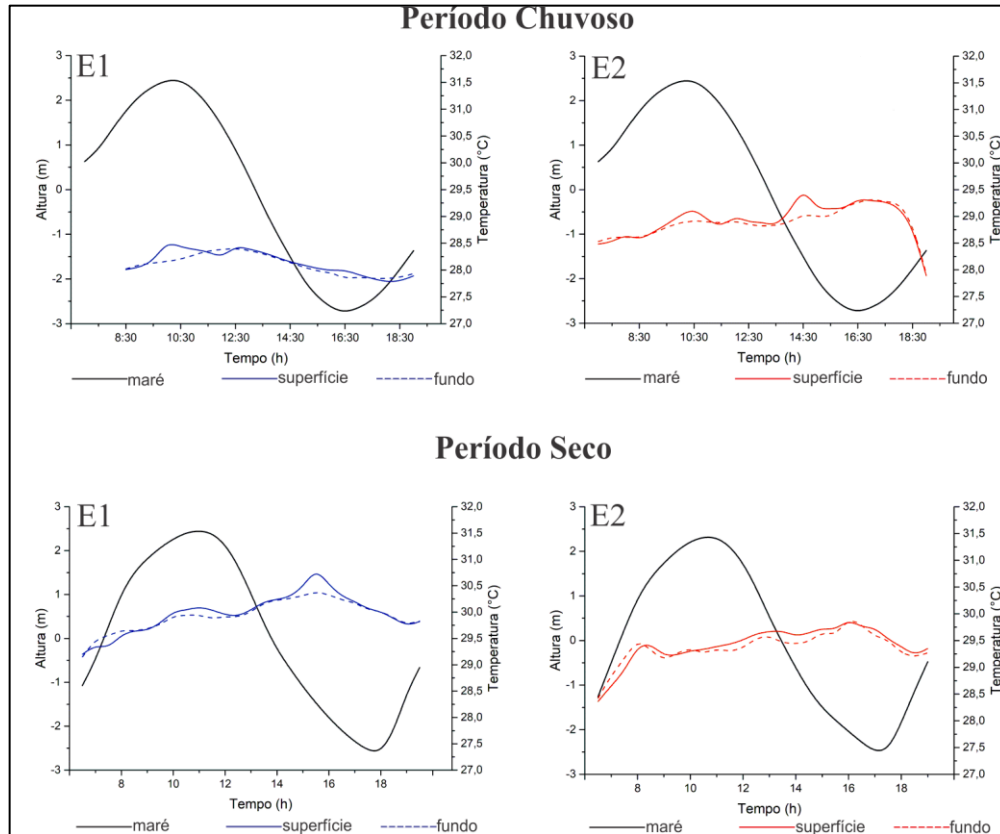


Figura 9 – Variação sazonal da temperatura (°C) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

### 4.3.2 pH

No período chuvoso, o pH em E1 se manteve geralmente constante na coluna d'água ao longo do ciclo de maré. Foi levemente ácido, tornando-se neutro no período de maior vazante. O pH mínimo foi de 6.35 e o máximo foi de 7.22. Do mesmo modo, E2 se comportou, porém, com os maiores valores registrados para o período. Seu pH foi de 7,1 a 8,3 com águas levemente básicas em todo o ciclo de maré.

No período seco, a variação do pH na coluna d'água também não foi tão evidente, com valores acima de 7 nas duas estações, entretanto, em E1 obteve-se os maiores registros. O valor de pH na E1 variou entre 7,46 e 8,55, enquanto que em E2, houve uma variação entre 7,25 e 7,82. De acordo com a maré, tanto em E1 com em E2 há uma leve tendência de o pH aumentar e diminuir com os estágios de enchente e vazante, respectivamente (Figura 10).

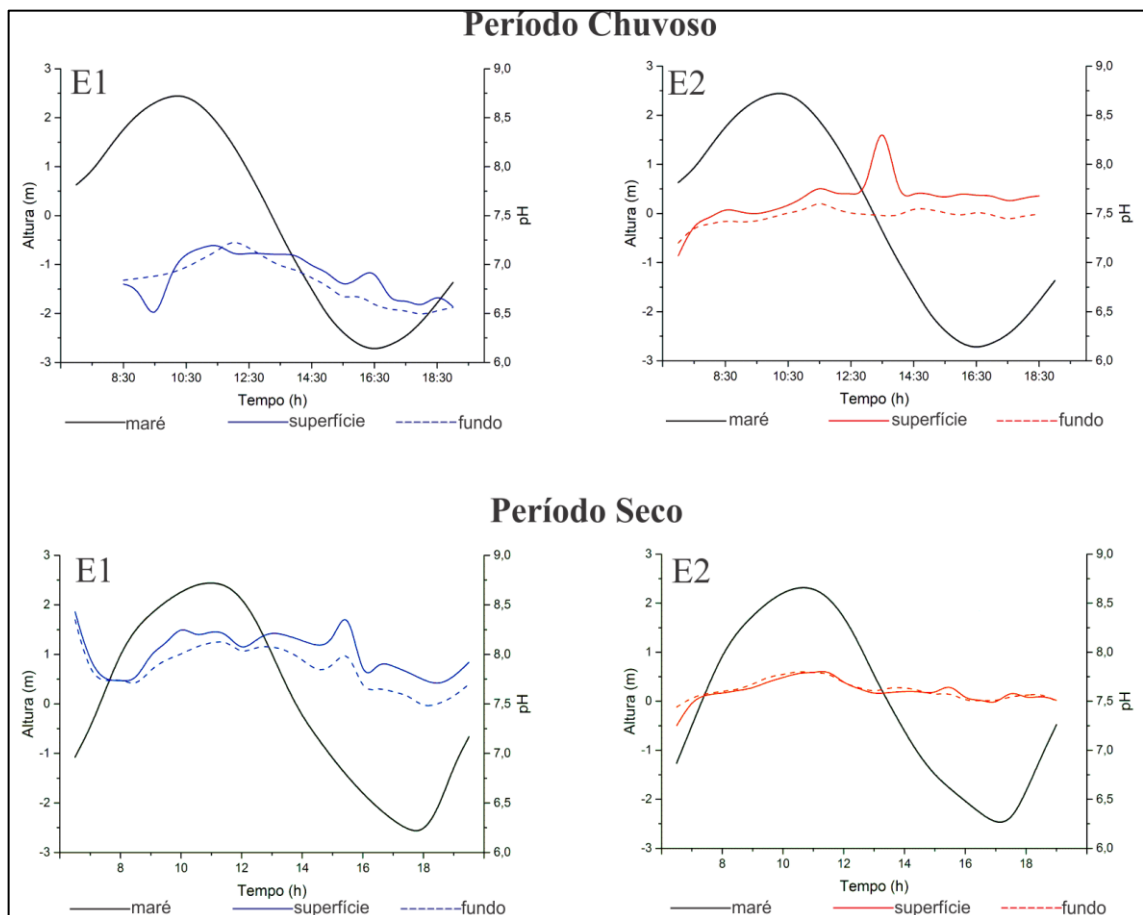


Figura 10 – Variação sazonal do pH durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

### 4.3.3 OD (mg/L)

No período chuvoso, o OD apresentou pouca variação na coluna d'água para ambas as estações com valores médios da enchente superiores aos de vazante em E1 e o oposto visto na E2. Em E1 os valores obtidos foram de 2,1 a 5,1 mg/L com médias de 2,8 mg/L na enchente e de 3,2 mg/L na vazante. Para E2 os valores foram de 2 mg/L a 8,8 mg/L com médias de 3,7 mg/L na enchente e de 3,15 mg/L na vazante.

No período seco, o OD também apresentou pouca variação considerando as diferentes profundidades de amostragem com as médias para a enchente maiores que as de vazante em ambas as estações. Os maiores registros foram em E1 com valores variando de 0,98 mg/L a 4,7 mg/L com médias de 1,84 mg/L na enchente e 1,39 mg/L na vazante. Em E2 os valores foram de 0,94 mg/L a 4,6 mg/L com médias de 1,72 mg/L na enchente e 1,57 mg/L na vazante (Figura 11).

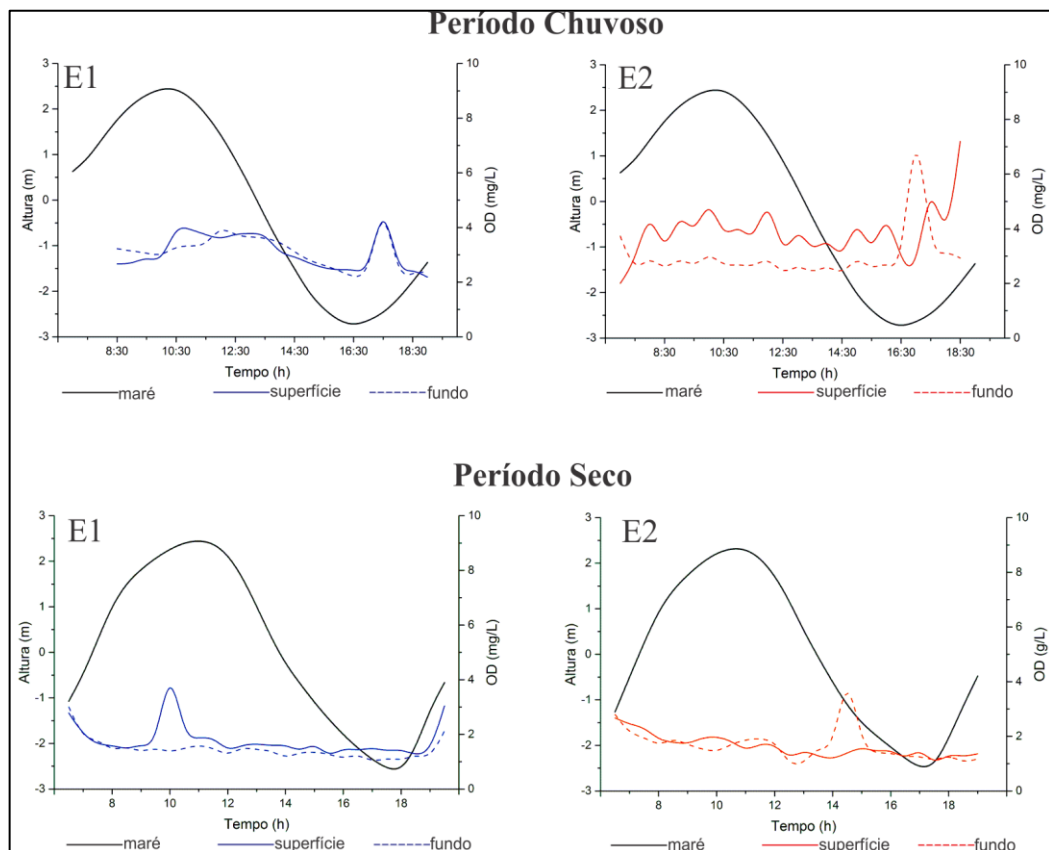


Figura 11 – Variação sazonal do OD (mg/L) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

#### 4.3.4 OD%

Durante o período chuvoso, de maneira geral houve pouca variação do grau de oxigênio dissolvido na coluna d'água e com maiores registros para a E2. Em E1, os dados variaram de 20% a 68% com médias de 38% na enchente e de 43% na vazante. Na E2 os dados variaram de 31% a 98% com médias de 49,7% na enchente e 43,5% na vazante.

Durante o período seco, o OD% também variou infimamente na coluna d'água e considerando os estágios da maré. Em E1, houve registros de 15,4% a 48% com médias de 27,4% e 28% para a enchente e vazante, respectivamente. Enquanto que em E2, os valores foram entre 14,8% e 43,3% com médias de 27,1% e 23% para a enchente e vazante, respectivamente.

Observa-se que existe um comportamento diferenciado entre as duas estações para ambos os períodos sazonais onde, na E1 os valores na vazante superam os de enchente, enquanto que o contrário ocorre na E2. O mesmo ocorreu com o OD, com exceção da E2 durante o período seco onde os dados da enchente foram superiores à vazante (Figura 12).

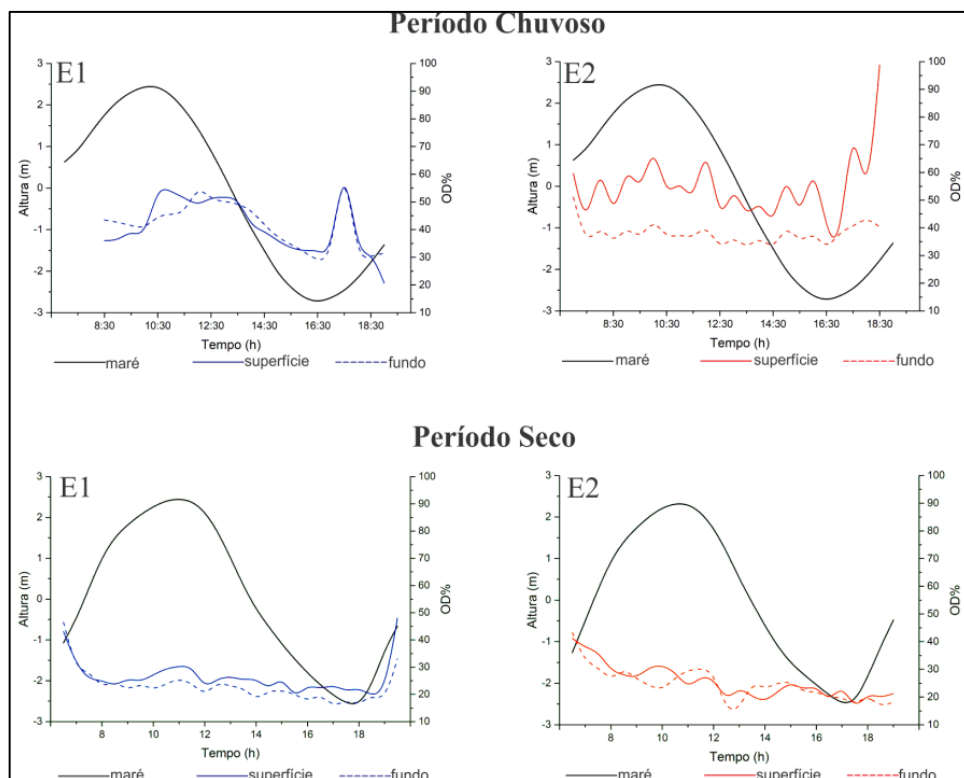


Figura 12 – Variação sazonal de OD% durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

### 4.3.5 STD (g/L)

No período chuvoso, houve pouca variação dos STD de acordo com as diferentes profundidades sendo que na E1 ficaram entre o intervalo de 3,6 g/L a 11,8 g/L e em E2 entre 9,3 g/L a 11,7 g/L.

Entretanto, no período seco, houve um aumento considerável nos valores de STD para as duas estações, mantendo a baixa variação considerando a superfície e o fundo. Os valores para esta segunda campanha foram de 24,8 g/L a 30,2 g/L na E1 e de 23,3 g/L a 29,3 g/L na E2.

Apesar de em ambas as estações a variação ocorrer em função da maré, com as maiores concentrações observadas na enchente e diminuindo na vazante, observa-se que em E1 esta relação é melhor visualizada graficamente quando comparada a E2 (Figura 13).

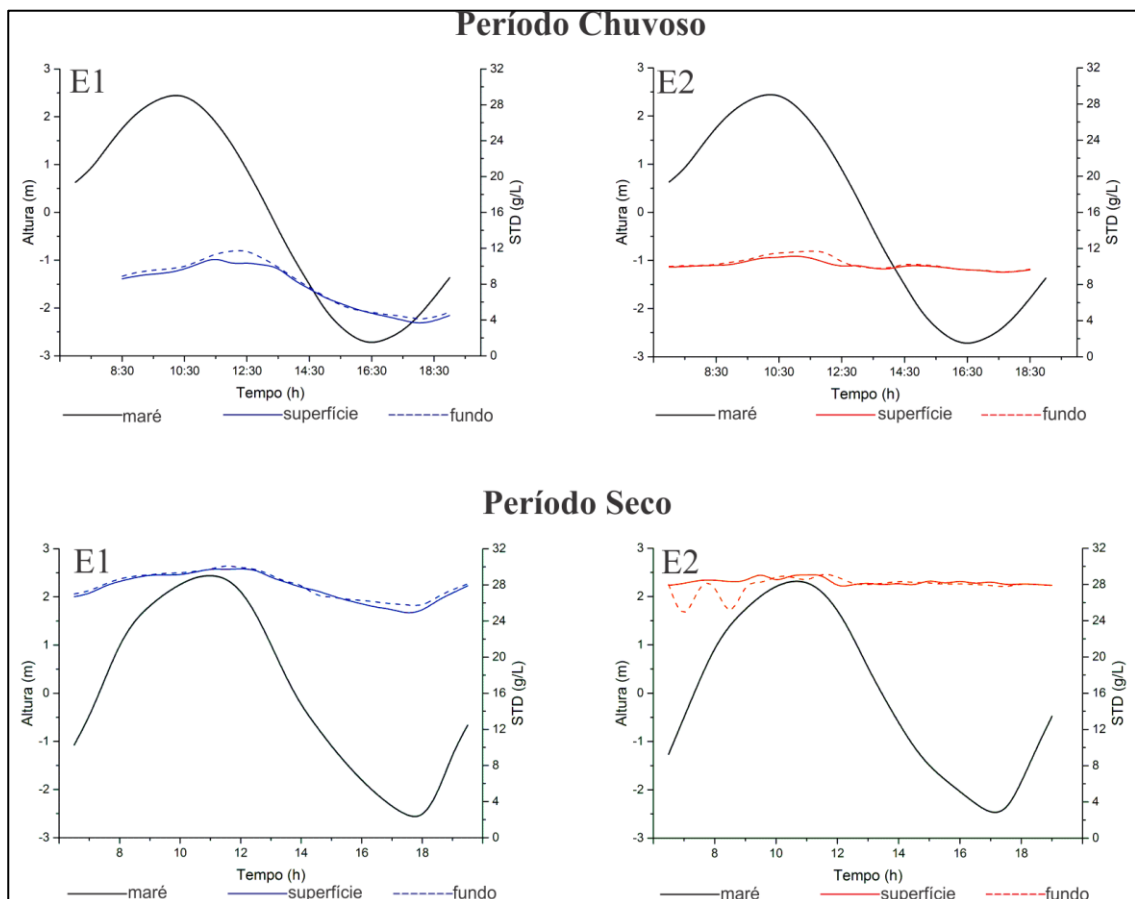


Figura 13 – Variação sazonal de STD (g/L) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba). Fonte: Autor.

### 4.3.6 Turbidez (NTU)

A Turbidez possuiu diferenças expressivas considerando a sazonalidade e as estações. Além disso, como a profundidade de coleta foi determinante para as oscilações de turbidez, foram feitas médias para a superfície e o fundo que podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 3 – Médias sazonais de turbidez (NTU) para a superfície e o fundo durante um ciclo de maré nas estações de coleta nos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

PROFUNDIDADE		Chuvoso		Seco	
		E1	E2	E1	E2
Enchente	Superfície	303,46	127,16	71,80	33,54
	Fundo	876,44	159,54	108,27	52,71
Vazante	Superfície	375,45	121,53	66,07	86,43
	Fundo	855,27	258,02	155,52	87,79

Fonte: Autor.

No período chuvoso, houve os maiores níveis de turbidez com o fundo superando os valores da superfície em ambas as estações, sendo essa diferença bastante expressiva na E1. Tanto no período chuvoso como no período seco, a turbidez em E1 foi acima daquela encontrada na E2 e durante a vazante também se obteve, geralmente, os maiores valores quando comparados com a enchente (Figura 14).

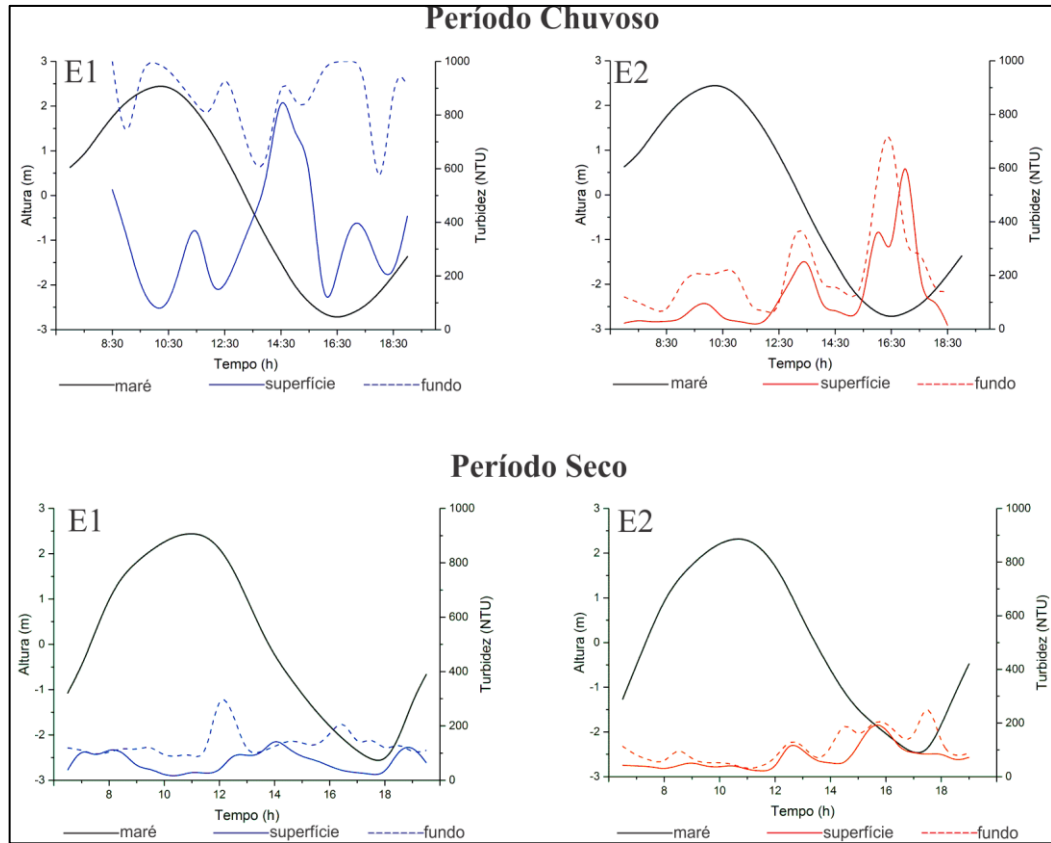


Figura 14 – Variação sazonal da turbidez (NTU) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

### 4.3.7 Salinidade

A salinidade variou em função da maré, aumentando na enchente e diminuindo na vazante e geralmente foi constante na coluna d'água.

No período chuvoso, os dados em E1 variaram de 3,5 a 11,3 enquanto que em E2 foi de 8,2 a 11,2. No período seco a salinidade apresentou um aumento bastante expressivo nas duas estações mantendo a baixa variação entre as profundidades. Em E1 a salinidade variou de 25,9 a 32,4 e em E2 houve uma variação entre 29,3 e 31,4. A partir da análise gráfica, percebe-se uma tendência clara da salinidade de acordo com a maré principalmente na E1 em ambos os períodos sazonais (Figura 15).

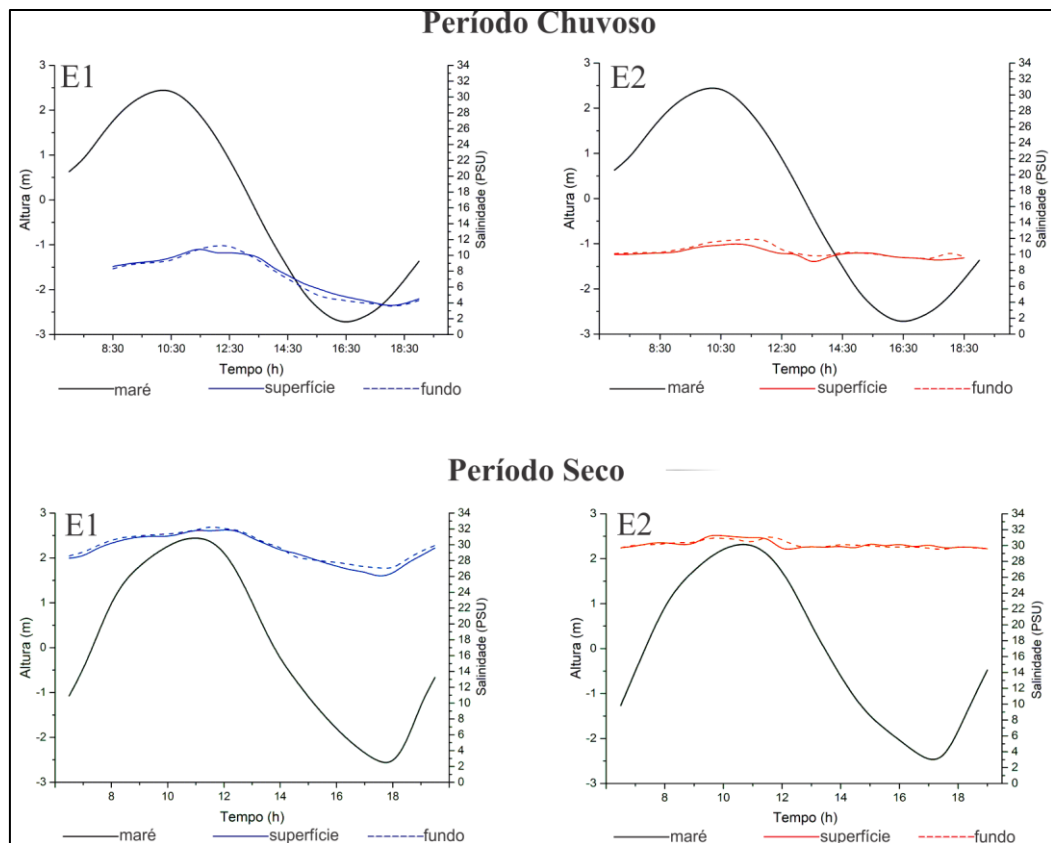


Figura 15 – Variação sazonal da salinidade (PSU) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

#### 4.4 MPS

A variação de MPS ocorreu considerando os três aspectos principais de amostragens: profundidades, estações de coleta e estágio da maré. Além de considerar a sazonalidade como um agente importante para a variação desses valores, como pode ser visto na Tabela 4

Tabela 4 – Médias de MPS (mg/L) nas estações de coleta nos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba com destaque para as maiores concentrações considerando enchente e vazante e os diferentes períodos sazonais. (E1: estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

PROFUNDIDADE		Chuvoso		Seco	
		E1	E2	E1	E2
Enchente	Superfície	267,03	72,51	137,21	33,54
	Fundo	920,5	958,86	167,96	52,71
	Geral	<b>593,77</b>	<b>515,69</b>	152,58	43,12
Vazante	Superfície	319,07	155,3	108,68	86,43
	Fundo	824,6	455,83	233,14	87,79
	Geral	571,84	305,56	<b>170,91</b>	<b>87,11</b>

Fonte: Autor.

De maneira geral, as maiores concentrações de MPS foram registradas na E1 com o fundo superando os valores da superfície. Também foi perceptível concentrações elevadas durante as estofas de preamar e baixa-mar principalmente no fundo, enquanto que na superfície ocorrem, geralmente, durante a vazante em ambas estações e nos dois períodos sazonais.

A relação das concentrações considerando o período de enchente e vazante mostrou que existe uma variação maior na E2 comparado à E1, na qual, observa-se uma diferença de 68,7% e 50,5% sob as médias gerais no período chuvoso e seco, respectivamente. (Figura 16).

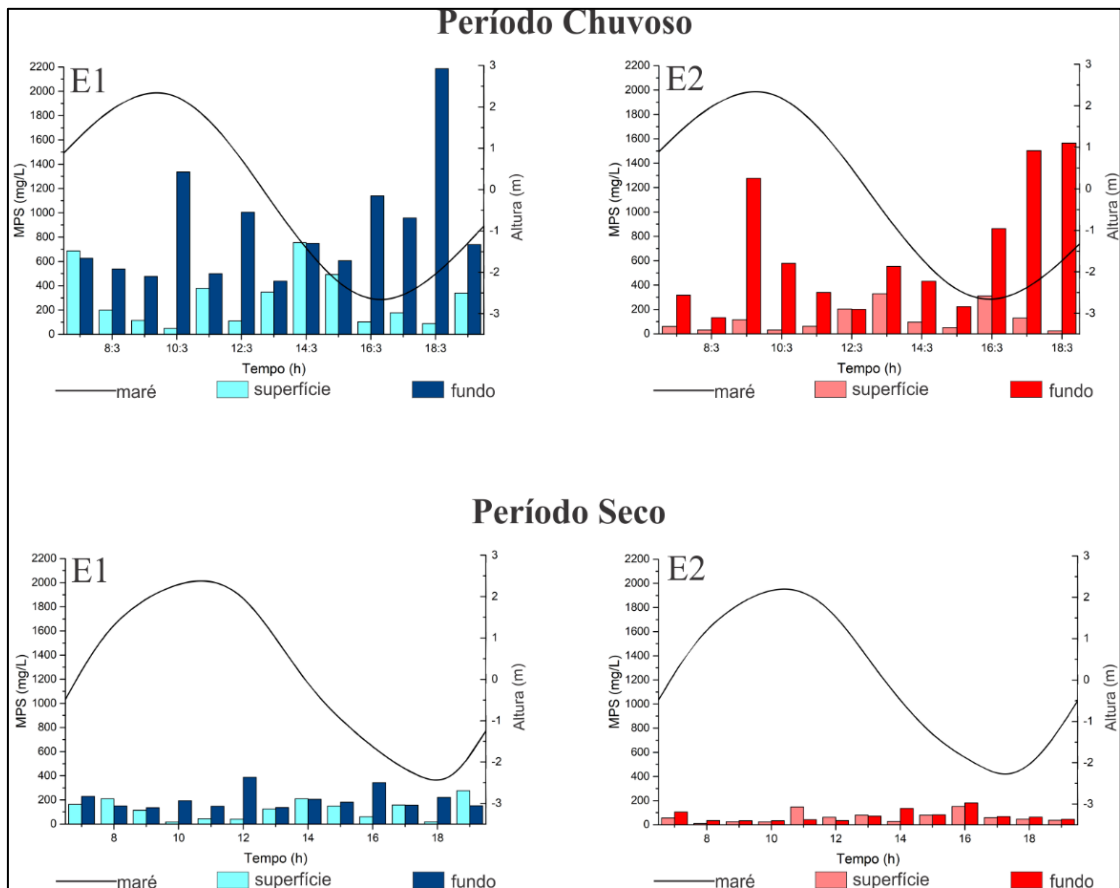


Figura 16 – Variação sazonal de MPS (mg/L) durante um ciclo de maré nas estações de coleta dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (E1: Estação 1 – Mojuim; E2: Estação 2 – Mocajuba).

Fonte: Autor.

## 5 DISCUSSÃO

Os canais de maré são as características mais distintivas e importantes dos ambientes costeiros, pois representam o sistema circulatório básico através do qual a água, sedimentos, matéria orgânica, nutrientes e poluentes são transportados dentro e fora dessas zonas húmidas, tal como ocorre nos estuários (Perillo 2009).

A conectividade entre os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba ocorre sob alguns aspectos principais da hidrodinâmica local, pois a partir da descrição pontual do fluxo nas desembocaduras do canal de maré durante o período seco, existe um padrão bimodal com um transporte hídrico adentrado o canal na enchente e de saída do canal durante a vazante. Entretanto, com a descrição durante o período chuvoso, o transporte no interior do canal de maré se modifica, visto que existe ainda a conexão com um canal de maré secundário contribuindo consideravelmente no volume hídrico e na hidrodinâmica do sistema.

A interação entre a onda de maré propagando-se estuário acima e a morfologia do estuário, é responsável por importantes variações na altura da maré e na intensidade das correntes (Miranda *et al.* 2002), o que pode explicar as diferenças nas curvas de maré entre as duas estações e o efeito da maré se iniciar primeiro na E2. Nas duas estações a vazante foi superior a enchente, sugerindo que água adicional está fluindo para o canal de maré seja dos manguezais, das reentrâncias ali encontradas ou do próprio acúmulo de água no centro do canal visto que nas duas desembocaduras ocorre a entrada de água.

Além de apresentarem um domínio de macromaré, a sazonalidade é um fator determinante para o regime hidrológico da região, pois, de acordo com Santos (2016), no rio Mojuim para o período chuvoso observa-se uma maré suavizada, já no período seco, ocorre uma elevação do nível da água com enchentes e vazantes bem definidas, sendo que as velocidades de vazantes são superiores as de enchente.

A temperatura da água apresentou praticamente nenhuma variação entre as marés de enchente e vazante assim como nos diferentes períodos sazonais. Essa característica está de acordo com o esperado para a região do nordeste paraense que se caracteriza por temperaturas elevadas com médias de 27°C (Martorano 1993) e como já foi visto anteriormente para os estuários dos rios Mojuim, Marapanim e Curuçá com médias em torno de 28-29°C (Berredo *et al.* 2008, Kiyatake 2011, Silva 2017).

Os valores de pH indicam uma influência da sazonalidade principalmente durante o período seco no qual a vazão fluvial diminui e a intrusão salina adentra limites maiores estuário acima, dando a característica de águas mais neutras a alcalinas. Este fato se torna mais evidente

durante os períodos de enchente com a elevação do pH em ambas as estações e na vazante o pH tende a diminuir. Isto ocorre porque as águas acidificadas rio acima pelos ácidos orgânicos produzidos nos manguezais e a drenagem fluvial influenciam o pH. Este processo foi apontado por Berredo *et al.* (2008) no estuário do rio Marapanim e por Menezes (1999) no rio Arapepó no município de Salinópolis destacando a influência do oceano Atlântico na foz do rio com o pH diminuindo em direção à montante.

Ao relacionar a forçante fluvial com um pH de caráter mais ácido, torna-se mais claro ao se verificar o estuário do rio Mojuim, pois na E1 se manteve geralmente os valores mais baixos. No rio Mocajuba, além da posição geográfica e configuração geológica, existe também uma contribuição do rio Curuçá para as características alcalinas de águas registradas na E2, visto que o rio Mocajuba se conecta ao rio Curuçá mais ao norte e este possui conexão direta com o oceano aberto.

As concentrações de OD e OD% foram praticamente homogêneas na coluna d'água para as duas estações e apresentaram uma diminuição no período seco. Esse comportamento sazonal foi o oposto ao encontrado em algumas zonas do Salgado Paraense (Cohen 1998, Monteiro *et al.* 2015, Pamplona *et al.* 2013, Pereira 2006, Pereira *et al.* 2012). Geralmente, este efeito está associado a altas taxas de sedimentação que aumentam a transparência da água, favorecem a penetração solar, principalmente no período menos chuvoso, e conseqüentemente intensifica a atividade fotossintética, a qual influencia diretamente na elevação das concentrações desse gás (Monteiro *et al.* 2015).

Todavia, ao verificar a dinâmica de nutrientes no furo do Chato na baía de Caeté em Bragança, Lara & Dittmar (1999) constataram a queda das concentrações média de OD no período seco no qual, possivelmente, estaria relacionado com a produção primária na coluna de água durante o dia e à noite, dinâmica de águas subterrâneas e regime das marés. Perez *et al.*, (2017) também perceberam o OD significativamente maior no período chuvoso ao avaliar características biogeoquímicas do rio Zarumilla no Peru, em decorrência do carreamento de águas oxigenadas acentuadas com a alta pluviosidade, enquanto que o oposto foi visto no período seco com a diminuição do OD devido ao tempo de residência maior da água no canal de maré durante as estofas de preamar e baixa-mar. Percebe-se diferentes fatores que estão associados na dinâmica do OD em estuários e deve-se considerar que uma grande importância se dá as trocas gasosas da atmosfera com a água nos estuários amazônicos, o que determina em uma fonte crucial de oxigênio dissolvido na água nesses ambientes (Alves 2010, Esteves 1998, Junk *et al.* 1983, Melack & Fisher 1983). Diante disso, sugere-se que as concentrações de oxigênio disponíveis nas águas dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba estejam associadas

às forçantes que caracterizam esse comportamento sazonal (longo prazo) e a atividade biológica diretamente associada ao estado momentâneo (curto prazo) desse gás.

Considerando o material em suspensão e dissolvido presentes na água, a turbidez, o MPS e os STD apresentam um comportamento de acordo com a sazonalidade, profundidades da coluna d'água e os locais de amostragem. Enquanto que a turbidez e o MPS possuem níveis elevados durante o período chuvoso, o contrário é visto com os STD comparando os dois períodos.

Em estuários de macromaré, as concentrações de MPS são bastante elevadas, pois grandes quantidades de sedimentos tendem a ser ressuspensos, transportados e retrabalhados (Burford *et al.* 2008) que são acentuados durante o período chuvoso quando há uma intensa descarga fluvial. Por outro lado, com a diminuição dos índices pluviométricos, no período seco, há também a diminuição da vazão do rio e da carga de material em suspensão que passa a ser controlada principalmente pela energia dos ventos e marés (Monteiro *et al.* 2015). Além disso, por estar em contato direto com o leito, as concentrações no fundo da coluna d'água serão maiores que àquelas encontradas na superfície geralmente.

Corroborando a esse comportamento sazonal de material particulado em suspensão, a turbidez do litoral da ZCA também é influenciada principalmente pela descarga fluvial considerável da região e pela alta energia hidrodinâmica sendo diretamente relacionada às concentrações de MPS.

A dinâmica sazonal de material particulado em suspensão e sua influência na coluna d'água, vem sendo descrita em diferentes estuários da ZCA, tanto em estuários com sua foz na baía de Marajó (Monteiro & El-Robrini, 2016) assim como em estuários com conexão direta com o oceano Atlântico (Pereira *et al.* 2012). No canal de maré “furo do Chato” na cidade de Bragança, Araújo & Asp (2013) além de verificarem a influência da sazonalidade, também constataram diferentes fases da concentração de MPS com o estágio da maré: os máximos registrados no início da vazante ocorrem em função das velocidades altas de corrente; conforme a maré aumenta, o MPS tende a diminuir até elevar-se em decorrência da inundação de áreas de mangue; logo após a preamar, o MPS diminui; e quando o nível da água cai e os fluxos de água são limitados dentro do canal, o MPS aumenta e atinge valores máximos de vazante.

A descrição da turbidez registradas na confluência com o estuário do rio Mojuim estão em conformidade com as análises feitas por Valentim (2017). Em medições concentradas na desembocadura do canal de maré aqui estudado, os processos estão sujeitos a ação flúvio-marinha e pela sedimentação predominantemente lamosa onde há uma intensa ressuspensão sedimentar promovida pelas correntes fluviais e/ou de marés as quais acarretam o aumento nas

concentrações de turbidez. Os maiores valores de turbidez estão associados aos processos erosivos naturais nas margens externas (côncava) dos meandros e pelo aporte de sedimentos finos das planícies de inundação, principalmente no período chuvoso (Baia 2016, Valentim 2017). Outra condição que pode ser aferida com a intensa erosão na E1 em comparação a E2, é a presença de mangue do tipo paliteiro (Bertrand 1993; 2000) característico das zonas de erosão decorrentes da ação de fortes correntes de maré. Associado a árvores adultas e bem desenvolvidas de *Avicennia* sp. e/ou *Rizophora* sp., localizada em região de borda, onde toda a franja de manguezal mais jovem preexistente foi removida pelo ataque erosivo, o que já havia sido descrito por Prost et al. (2013) no estuário do rio Mojuim e o que difere das margens do canal ocupada por árvores de mangue na conexão com o estuário do rio Mocajuba (Figura 17).

Diferentemente ao que ocorreu com o MPS e turbidez, os STD obtiveram os maiores índices durante o período seco. De acordo com Alves (2010), grande importância se dá aos sedimentos da plataforma continental e à contribuição oceânica principalmente durante os períodos de estiagem. No sul do rio Amazonas, na região da baía do Marajó, Santos *et al.* (1986), constataram o aumento dos constituintes em solução em direção a água marinha. Tal efeito pode ser determinante para o significativo aumento dos STD em águas nos rios Mojuim e Mocajuba visto que a água oceânica adentra maiores extensões no período seco e, no período chuvoso, as concentrações tendem a se elevar com o aumento da descarga fluvial como foi aqui constatado.

A salinidade foi um parâmetro que apresentou nitidamente uma relação direta com a sazonalidade. O que já era de se esperar, pois o efeito climático na zona costeira do Pará refletiu-se, principalmente, na variação do teor de sais das águas estuarinas, verificado entre o período chuvoso e a estiagem (Berredo *et al.* 2008) e como já havia sido descrito por Santos (2016) ao observar também a influência da sazonalidade sobre a intrusão salina nos estuários sendo que no rio Mojuim para o período seco, ocorre um máximo de salinidade no início da vazante e zero na baixa mar. Já no rio Mocajuba é possível observar a intrusão salina no período chuvoso, acompanhando a movimentação da maré, com máximos na preamar e mínimos na baixa mar.

Assim como aconteceu com o pH, a salinidade variou com uma forçante fluvial diferenciada comparando as duas estações de coleta. Em E1, na conexão com o rio Mojuim, os mínimos dos períodos sazonais foram registrados e a salinidade responde diretamente aos níveis da água. Já na E2, na conexão com o rio Mocajuba, a salinidade é geralmente elevada e com uma oscilação suavizada. Não possui uma influência fluvial significativa, diz respeito em uma salinidade fortemente associada à oscilação das marés, taxas de evapotranspiração e circulação

residual dos manguezais, enquanto que o oposto ocorre substancialmente influenciado pela sazonalidade da precipitação e, portanto, pela descarga fluvial (Araújo & Asp 2013).

A partir da medição feita com o sensor CTD, na estufa de baixa-mar na E2 durante o período seco, observou-se um decréscimo repentino da salinidade. Durante os períodos analisados, este comportamento não havia sido descrito, entretanto, pode-se inferir que seja uma influência de águas oriundas do rio Mojuim tendo em vista que apresentou águas com os menores teores de sais e a dinâmica do fluxo no interior do canal.

Valentim (2017) classificou o estuário do rio Mojuim a partir da intrusão salina em coletas mensais durante um ano e caracterizou diferentes tipos de água pela sazonalidade. Na região em que a E1 foi instalada, durante o período chuvoso, apresentou águas predominantemente mesohalinas (5 – 18 PSU), enquanto que no período seco houve a predominância de águas euhalinas (30 – 40 PSU). Além disso, também foi observada pouca variação da salinidade considerando a coluna d'água, logo, definindo águas bem misturadas. A salinidade registrada na E1 e na E2 tanto com a Horiba assim como pelo CTD está em conformidade ao que estudos anteriores descreveram para os estuários em diferentes períodos sazonais (Rocha 2015, Santos 2016, Silva 2015, Silva 2017, Valentim 2017).

Uma relação inversa pode se verificar entre a salinidade e o material particulado em suspensão principalmente considerando o aumento da salinidade no período seco. A salinidade é uma propriedade que favorece a decantação de sedimentos coesivos e de matéria orgânica (Mehta 1984), logo, durante o período seco, além de considerar a atenuação da descarga fluvial, os sedimentos em suspensão tendem a diminuir pelo processo de deposição devido ao aumento expressivo da salinidade.

As mudanças nos padrões de conectividade podem ter efeitos significativos em processos como erosão e sedimentação e o transporte de sedimentos e substâncias associadas aos sedimentos que, por sua vez, podem afetar a qualidade da terra e da água (Freeman *et al.* 2007). Assim, considerando a importância da conectividade hidrológica em processos de paisagem e condição do habitat (Pringle 2003), o conhecimento aprimorado da conectividade hidrológica é essencial para gerenciar recursos terrestres e hídricos de forma sólida e ter uma compreensão dos potenciais efeitos ambientais das mudanças induzidas nos sistemas. Além disso, as crescentes demandas de Gestão Integrada de Cobertura Integrada requerem a aplicação de um conceito que permita considerar sistemas inteiros em vez de suas partes individuais separadamente (Lexartza-Artza & Wainwright 2009).

Os estudos referentes aos canais de maré são recentes no ponto de vista científico e se concentram principalmente na Europa Ocidental, Argentina, Canadá, EUA e Austrália, mas sua

relevância ecológica é subvalorizada, como reflete a falta de pesquisa nesses sistemas em comparação com outras partes das zonas litorâneas (Perillo 2009).

Tendo em vista que os canais de maré são comuns na ZCA e pouco se sabe sobre o comportamento desses sistemas, os dados aqui analisados contribuem cientificamente para um melhor entendimento das forças que agem nesse meio e principalmente para fornecer subsídios a gestão, conservação e resposta à pressão antrópica e ambiental que a região dos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba estão sujeitos.

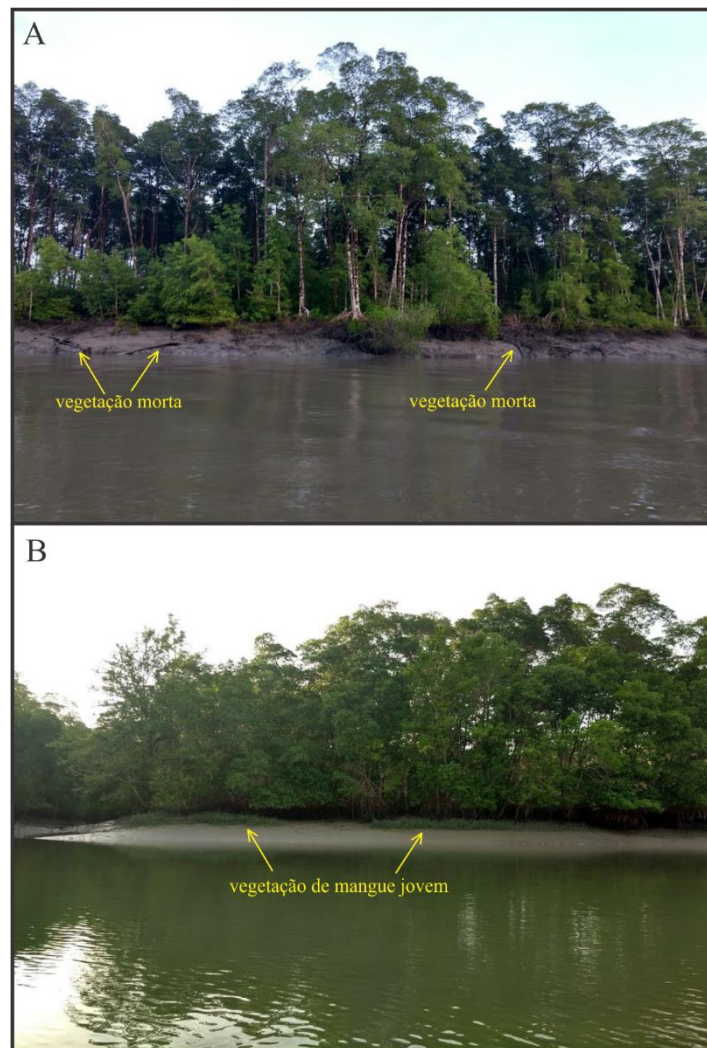


Figura 17 – Diferentes aspectos do manguezal nas margens do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba. (A: árvores bem desenvolvidas e ausência de franja de mangue jovem com a presença de vegetação morta indicando desestabilização da margem por ações erosivas na zona de influência do rio Mojuim; B: presença de mangue jovem na margem considerada estável na zona de influência do rio Mocajuba).

Fonte: Autor.

## 6 CONCLUSÃO

Os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba possuem grande susceptibilidade aos efeitos da sazonalidade e além de apresentarem dados típicos de uma zona de transição estuarina, possuem particularidades que denotam o caráter singular desses ambientes.

A conectividade existente a partir do canal de maré entre os estuários reflete principalmente na influência marinha e fluvial, o efeito da maré diferenciada entre os estuários e as descargas hídricas que aportam dentro desse sistema, o que gera um padrão diferenciado na interconexão estuarina. A corrente na desembocadura do canal está sujeita ao fluxo principal dos rios Mojuim e Mocajuba, pois a partir da E1 a água foi em direção ao Mocajuba na enchente e em direção ao Mojuim na vazante, em contrapartida, a partir da E2, a água flui em direção ao Mojuim na enchente e em direção ao Mocajuba na vazante. Entretanto, a corrente no interior do canal de maré recebe principalmente a influência de um canal de maré secundário, ou seja, a distribuição e trocas entre os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba devem ser tratados considerando todo o sistema que controla a hidrodinâmica desses ambientes.

No rio Mojuim, a forçante fluvial foi mais expressiva visto na salinidade e pH influenciados pela descarga fluvial principalmente. Enquanto que no rio Mocajuba, grande importância se dá na conexão que este rio possui a ambientes adjacentes como ocorre com o rio Curuçá, ratificando a relevância de se analisar esse aspecto na zona costeira.

A profundidade da água durante os períodos de enchente e vazante não regulou mudanças significativas sobre as propriedades analisadas nas duas estações. Possivelmente, a intensidade das correntes e dinâmica da maré promovem uma mistura eficiente da coluna d'água.

O padrão sazonal atípico do oxigênio dissolvido colabora em novos resultados na dinâmica desse gás em águas amazônicas e contribui para que novos estudos sejam implementados para investigação desse processo. Visto que poucos são os estudos que analisam os aspectos que propiciam ou não a retenção desse gás além de considerar somente a produtividade primária.

O sedimento em suspensão, atribuído aos dados de MPS e turbidez, indica que na região do estuário do rio Mojuim há uma grande oferta de material carregado ao leito do rio e que passa a sofrer o processo de transporte entre os estuários. Aliado ao estado das margens, pode ser um indicio de processos erosivos desencadeados pelas correntes como aconteceu na E1 ou de possíveis processos de sedimentação e progradação como aconteceu na E2. Além do mais, as taxas de material em suspensão respondem diretamente à sazonalidade com níveis elevados e

predominantemente importados ao canal durante o período chuvoso, e que diminuem no período seco principalmente exportando esse sedimento aos estuários dos rios Mojuim e Mocajuba.

A salinidade é uma propriedade da água que pode ser um indicativo eficiente na interconexão estuarina. Visto que está diretamente associada à descarga fluvial, sazonalidade e intrusão da água do mar. Neste caso, os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba apresentaram condições distintas para a salinidade e, dessa forma, foi possível inferir que águas menos salinas, oriundas do rio Mojuim, podem estar sendo transportadas ao rio Mocajuba durante a vazante considerando o efeito da maré diferenciado entre os estuários e análise dos resultados com a frequência amostral a partir do CTD.

A análise do padrão hidrográfico do canal de maré que conecta os estuários dos rios Mojuim e Mocajuba realizados nesse estudo, podem ser implementadas nas diretrizes de gestão e avaliação desses ambientes como, por exemplo, ao relacionar as espécies utilizadas na pesca e sua susceptibilidade a variação da salinidade, oxigênio dissolvido e pH. Complementando aos dados aqui discutidos, a hidrodinâmica do canal deve ser avaliada considerando toda sua extensão e zonas de influência para que assim obtenha-se uma descrição mais precisa entre os estuários. Desta forma, este estudo tende a contribuir na caracterização da ZCA, sob a importância socioambiental das RESEX ali instaladas e pela identidade singular desse sistema estuarino.

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, I. C. C. 2010. *Hidrologia e Biomassa Fitoplanctônica do Sistema Flúvio-Estuarino do Rio Arari (Ilha do Marajó-PA)*. DS Mestrado. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém. 79 p.
- Araújo, W. P. 2012. *Conectividade hidrodinâmica entre dois estuários Amazônicos de macromaré*. DS Mestrado. Universidade Federal do Pará, Bragança. 61 p.
- Araújo, W. P.; Asp, N. E. 2013. Hydrodynamic connectivity between two macrotidal Amazonian estuaries. *Journal of Coastal Research*, Special Issue. 65 (sp2): 1086-1091.
- 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.
- Barbosa, G. V.; Pinto, M. N. 1973. Geomorfologia. *In: Projeto RADAMBRASIL. Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação e uso potencial da terra*. Rio de Janeiro. p. 1-26.
- Bastos, M. N. C.; Santos, J. U. M., Amaral, D. D.; Costa-Neto, S. V. 2013. Alterações ambientais de origem natural e antrópica na vegetação litorânea do nordeste do Pará. *In: Prost, M.T; Mendes, A. (ed.) Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. FUNTEC e Museu Paraense Emílio Goeldi. p. 25-34.
- Batista-Neto, J. A.; Ponzi, V. R. A.; Sichel, S. E. 2004. *Introdução à Geologia Marinha*. Editora Interciencia Ltda. Rio de Janeiro.
- Baumgarten, M. G. Z.; Rocha, J. M. B.; Niencheski, L. F. H. 1996. *Manual de análises em Oceanografia Química*, 1ª ed., Editora da Furg: Rio Grande.

Berrêdo, J. F.; Sales, M. E. C.; Costa, A. A. C. 2000. Características físico-químicas dos solos sob diferentes espécies de mangue (São Caetano de Odiveiras – Pará). *In: Ecossistemas Costeiros Amazonicos. V Workshop ECOLAB: Macapá.*

Berrêdo, J. F.; Costa, M. L.; Progene, M. P. S. 2008. Efeitos das variações sazonais do clima tropical úmido sobre as águas e sedimentos de manguezais do estuário do rio Marapanim, costa nordeste do Estado do Pará. *Acta Amazônica. v. 38 (3) 473 – 482.*

Bertrand, F. 1993. Contribution à l'étude environnement et de la dynamique des mangroves de Guinée. Données de terrain apport de la télédétection. Paris. ORSTOM. 201 p.

Brierley, G., Fryirs, K., Jain, V., 2006. Landscape connectivity: the geographic basis of geomorphic applications. *Area. v.38 (2), 165–174.*

Burford, M. A., Alongi, D. M., McKinnon, A. D., Trott, L. A. 2008. Primary production and nutrients in a tropical macrotidal estuary, Darwin Harbour, Australia. *Estuarine Coastal and Shelf Science. v.79, 440 - 448.*

Cameron, W. M.; Pritchard, D. W.; 1963. Estuaries. *In: Hill MN (Ed), The sea: ideas and observations on progress in the study of the seas. Interscience, New York, p. 306-324.*

Cohen, M.C.L. 1998. *Nutrientes e outros fatores relacionados à produção primária nas águas do manguezal de Bragança – PA.* DS Mestrado. Universidade Federal do Pará. Belém. 116 p.

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

Dalrymple R.W. & Zaitlin B A., Boyd R.1992. A conceptual model of estuarine sedimentation. *Journal Sedimentary Petrology. v.62: 1130-1146*

Davies J. H. A. 1964. Morphogenic approach of world shorelines. *Z. Geomorphology*. v.8 (1): 127 – 142.

Davis, R. A. 1985. *Coastal Sedimentary Environments*. 2nd ed. USA: Halliday Lithograph.

Diaz, R. J.; Rosenberg, R. 2008. Spreading dead zones and consequences for marine ecosystems. *Science*. v.321: 926–929.

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

Dyer, K. R., 1986. Coastal and estuarine sediment dynamics. New York, John Wiley and Sons, 342p.

Dyer, K.R. 1997. Estuaries: A physical introduction. 2nd Ed. New York: John Wiley and Sons, 195 p.

Eaton, T .T. 2007. Analytical estimates of hydraulic parameters for an urbanized estuary e flushing Bay. *Journal of Hydrology*. v.347 (1): 188-196.

Eisma, D., 1993. Suspended Matter in the aquatic environment. New York, Springer-Verlag, 315p

Eisma, D., 1986. Flocculations and de-flocculation of suspended matter in estuaries. *Netherlands Journal of Sea Research*. v.20 (1/3): 183-199.

Esteves, F. A. *Fundamentos de Limnologia*. Interciência, Rio de Janeiro, 1998. 602 p.

Freeman, M.C., Pringle, C., Jackson, M., Rhett, C., 2007. Hydrologic connectivity and the contribution of stream headwaters to ecological integrity at regional scales<sup>1</sup>. *Journal of the American Water Resources Association* 43 (1), 5–14.

Gazeau, F.; Gattuso, J. P.; Middelburg, J. J.; Brion, N.; Schiettecatte, L. S.; Frankignoulle, M.; Borges, A. V. 2005. Planktonic and whole system metabolism in a nutrient-rich estuary (the Scheldt estuary). *Estuaries*. v. **28**: 868-883.

Geerts, L.; Cok, T. J. S.; Maris, T.; Wolfstein, K.; Meire, P.; Soetaert, K. 2017. Substrate origin and morphology differentially determine oxygen dynamics in two major European estuaries, the Elbe and the Schelde. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v. **191**: 157-170.

Guimarães, R. H. E. 2014. *Influência da sazonalidade sobre as águas estuarinas dos furos da ilha de colares (baía do Marajó)*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Universidade Federal do Pará, Belém. 114 p.

Gunnars, A., Blomqvist, S., 1997. Phosphate exchange across the sediment-water interface when shifting from anoxic to oxic conditions - an experimental comparison of freshwater and brackish-marine systems. *Biogeochemistry*. v. **37**: 203-226.

Helly, J. J.; Levin, L. A. 2004. Global distribution of naturally occurring marine hypoxia on continental margins. *Deep-Sea Research Part: Oceanographic Research. Papers*. v. **51**: 1159-1168.

Holligan, P. M.; Boois, H. 1993. Land Ocean Interactions in the Coastal Zone (LOICZ). Science plan. Global Change Report (Sweden).

Hood, W.G., 2009. Tidal channel meander formation by depositional rather than erosional processes: examples of the prograding Skagit River Delta (Washington, USA). *Earth Surf. Process. Landforms*. v. **35**. p. 319-330.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística- IBGE. 2008. Mapa geológico do estado do Pará. Geomorfologia. Disponível em: <[ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes\\_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades\\_da\\_federacao/pa\\_geomorfologia.pdf](ftp://geofp.ibge.gov.br/informacoes_ambientais/geomorfologia/mapas/unidades_da_federacao/pa_geomorfologia.pdf)>. Acesso em 10/01/18.

IOC; SCOR; IAPSO. 2010. The international thermodynamic equation of seawater – 2010: Calculation and use of thermodynamic properties. Intergovernmental Oceanographic Commission, Manuals and Guides. UNESCO, 56(1):1 – 196.

Jalón-Rojas, I.; Schmidt, S.; Sottolichio, A. 2017. Comparison of environmental forcings affecting suspended sediments variability in two macrotidal, highly-turbid estuaries. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. v.198: 529-541.

Junk, W. J. 1983. As águas da região amazonica. In: Salati, E. *et al. Amazônia desenvolvimento, integração e ecologia*. São Paulo, Brasiliense, 7:397-431.

Kjerfve, B. 1987. Estuarine Geomorphology and Physical Oceanography. In: Day Jr.; Hall, C. H. A. S.; Kemp, W. M.; Yáñez-Aranciba, A. (eds.). *Estuarine Ecology*. New York, Wiley, p. 47-78,

Kiyatake, D. M. 2011. *Avaliação Sanitária de água de cultivo e de ostras da zona do salgado, nordeste do estado do Pará – Brasil*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ecologia Aquática e Pesca. Universidade Federal do Pará. Belém.

Lara, R. J.; Dittmar, T. 1999. Nutrient dynamics in a mangrove creek (North Brazil) during the dry season. *Mangroves and Salt Marshes*. v.3: 185-195.

Lexartza-Artza, I; Wainwright, J. 2009. Hydrological connectivity: Linking concepts with practical implications. *Catena*. v.79. 146–152

Luz, L. M.; Prost, M. T. R. C.; Mendes, A. C.; Berrêdo, A. C. 2000. Interações entre os gradients de sucessão de manguezais e dinâmica costeira: o exemplo da ilha Nova – São Caetano de Odivelas – Pará – Brasil. In: Workshop ECOLAB, 5, MPEG: Macapá.

Luz, L. M. 2001. *Processos Geomorfológicos e padrões de sucessão de manguezais: o exemplo da ilha Nova, São Caetano de Odivelas (PA)*. TCC. Instituto de Filosofia e Ciências Humanas. Universidade Federal do Pará. Belém.

Maes, J.; Stevens, M.; Breine, J. 2008. Poor water quality constrains the distribution and movements of twaite shad *Alosa fallax fallax* (Lacepede, 1803) in the watershed of river Scheldt. *Hydrobiologia*. **602**: 129-143

Mallin, M. A.; Lewitus, A. J. 2004. The importance of tidal creek ecosystems. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*. V 298, p. 145-149.

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

Medeiros, R.; Young; C.E.F.; Pavese, H. B. & Araújo, F. F. S. 2011. Contribuição das unidades de conservação brasileiras para a economia nacional: Sumário Executivo. Brasília: UNEP-WCMC, 44p.

Mehta, A. J. Estuarine cohesive sediment dynamics. Berlin: Springer-Verlag, 1984. 290-325 p.

Melack, J. M.; Fisher, T. R. 1983. Diel oxygen variation and their ecological implications in Amazon floodplain Lakes. *Archiv Hydrobiology*. **98**: 422-442.

Mendes, A. C. 2005. Geomorfologia e Sedimentologia. In: Fernandes, M. E. B. *Os Manguezais da costa Norte Brasileira*. Belém: Petrobrás/ Fundação Rio Bacanga, v. 2, p. 13-32.

Menezes, L. B. C. 1999. *Caracterização biogeoquímica de ecossistemas amazônicos: rios e lagos selecionados das microrregiões Bragantina, do Salgado e Guajarina – PA*. Tese (Doutorado). Programa de pós-graduação em geologia e geoquímica. Universidade federal do Pará. Belém.

Mialet, B.; Azemar, F.; Maris, T.; Sossou, C.; Ruiz, P.; Lionard, M.; Van Damme, S.; Lecerf, A.; Muylaert, K.; Toumi, N.; Meire, P.; Tackx, M. 2010. Spatial spring distribution of the

copepod *Eurytemora affinis* (Copepoda, Calanoida) in a restoring estuary, the Scheldt (Belgium). *Estuarine Coastal Shelf Science*. v. **88**: 116-124.

Ministério do Meio Ambiente- MMA. 2014. Pará: Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio). Estudo socioambiental referente à proposta de criação de reserva extrativista marinha no município de São Caetano de Odivelas, Estado do Pará.

Miranda, L. B.; Castro, B. M.; Kjerfve, B. 2002. *Princípios de Oceanografia Física de Estuários*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo.

Monteiro, S. M.; El-Robrini, M.; Alves, I. C. C. 2015. Dinâmica sazonal de nutrientes em estuário amazônico. *Mercator Fortaleza*. v. **14** (1): 151-162.

Monteiro, S. M.; El-Robrini, M. 2016. Salinity variation in the macrotidal mixing zone: the Paracauari River estuary, Marajó Island (Northern Brazil). *Journal of Coastal Research*, Special Issue N 75. 93-97

Pamplona, F. C.; Paes, E. T.; Nepomuceno, A. 2013. Nutrient fluctuations in the Quatipuru river: A macrotidal estuarine mangrove system in the Brazilian Amazonian basin. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*. 133. 273-284

Paphitis, D. E.; Collins, M. B. 2005. Sediment resuspension events within the (microtidal) coastal waters of Thermaikos Gulf, northern Greece. *Continental Shelf Research*. V. **25**: 2350-2365.

Pereira, C. T. C. 2006. *Caracterização hidrogeoquímica do estuário do rio Curuçá (município de Curuçá – NE do Pará)*. MS Dissertation. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará, Belém.

Pereira, L. C. C.; Dias, J. A.; Carmo, J. A.; Polette, M. 2009. A Zona Costeira Amazônica Brasileira. *Revista da Gestão Costeira Integrada*. v. 9 (2): 3-7.

Pereira L, C. C.; Pinto, K.S.T.; Costa, K.G. DA; Vila-concejo, A.; Costa, R.M. DA. 2012. Oceanographic conditions and human factors on the water quality at an Amazon macrotidal beach. *Journal of Coastal Research*, **28** (6), 1627–1637.

Pérez, A.; Gutiérrez, D.; Saldarriaga, M. S.; Sanders, C. J. 2017. Hydrological control on the biogeochemical dynamics in a Peruvian mangrove forest. *Hydrobiologia*. **803**: 69-86.

Perillo, G. M. E. 1995. Geomorphology and sedimentology of estuaries. Amsterdam, Science Elsevier, p. 1-16. (Developments in Sedimentology, 53).

Perillo, G. M. E. 1996. Definitions and Geomorphologic Classifications of Estuaries. In: Perillo, G. M. E. *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. Amsterdam. Elsevier.

Perillo, G. M. E., 2009. Tidal Courses: Classification, Origin and Functionality. Coastal Wetlands: An Integrated Ecosystem Approach. Elsevier. ISBN: 978-0-444-53103-2.

Philander, S.G. 1990. El Niño, La Niña, and the Southern Oscillation. First Edition. San Diego; New York: Academic Press, 230p. (International Geophysics Series, v. 46).

Picanço, M. S. M. 2013. *Formas de relevo e dinâmica costeira em São Caetano de Odivelas (PA)*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Federal do Pará. Belém,

Prandle D. 2009. Estuaries: dynamics, mixing sedimentation and morphology. Cambridge University Press, Cambridge, 248 p

Pringle, C., 2003. The need for a more predictive understanding of hydrologic connectivity. *Aquatic Conservation: Marine and Freshwater Ecosystems* **13** (6), 467–471.

Prost M.T., Mendes A.C., Faure J.F., Berredo J.F., Sales M.E., Furtado L.G., Santana M.G., Silva C.A., Nascimento I., Gorayeb I., Secco M.F., Luz L. 2001. Manguezais e estuários da costa paraense: exemplo de estudo multidisciplinar integrado (Marapanim e São Caetano de Odivelas). In: Prost, M.T; Mendes, A. (ed.) *Ecossistemas costeiros: impactos e gestão ambiental*. FUNTEC e Museu Paraense Emílio Goeldi, p. 73-88.

Rabalais, N. N.; Diaz, R. J.; Levin, L. A.; Turner, R. E.; Gilbert, D.; Zhang, J. 2010. Dynamics and distribution of natural and human-caused hypoxia. *Biogeosciences*. v(7): 585–619

Rakocinski, C. F. 2012. Evaluating macrobenthic process indicators in relation to organic enrichment and hypoxia. *Ecological Indicators*. V.13: 1-12.

Rocha A.D. 2015. *Caracterização Física do Estuário do Rio Mojuim em São Caetano de Odivelas-PA*. DS Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. p.50.

Santos, A.; Tancredi, A. C. N. S.; Silva, M.S. 1986. Limnologia da Amazônia Oriental: caracterização biogeoquímica da parte sul do estuário do rio Amazonas. *Acta Limnologica Brasiliensis*, n.1, p.113-126.

Santos, A.S. 2016. *Modelagem matemática do sistema estuarino dos rios Mojuim e Mocajuba (Pará-BR)*. DS Mestrado. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Pará. p.61.

Silva, H. m.; Passavante, J. Z. O.; Silva-Cunha, M. G. G.; Vieira, D. A; Grego, C. K. S.; Muniz, K. 2004. Distribuição espacial e sazonal da biomassa fitoplanctonica e dos parâmetros hidrológicos do estuário do rio Formoso (rio Formoso, Pernambuco, Brasil). *Tropical Oceanography*. v(32): 89-106.

Silva, A. M. M. 2015. *Propagação da maré ao longo do estuário do rio Mocajuba, nordeste Paraense*. TCC. Universidade Federal do Pará. Bragança.

Sipaúba-Tavares, L.H., 1988. *Utilização do plâncton na alimentação de larvas e alevinos de peixes*. Tese. Universidade Federal de São Carlos. São Carlos. 191p.

Silva, A. M. P. 2017. *Estudo dos Parametros meteoceanograficos de um estuário amazônico*. TCC. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém.

Sioli, H. 1957. pH values to Amazonian waters. Bulletin of the Museum Paraense Emilio Goeldi, 1: 1-35.

Sodré, S. S. V. 2017. *Hidroquímica dos lagos Bolonha e Água Preta mananciais de Belém-Pará*. DS Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais. Universidade Federal do Pará. Belém.

Suguio, K. 1998. Dicionário de geologia sedimentar e áreas afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil. 1190p.

Suguio, K.; Ângelo, R. J.; Carvalho, A. M.; Tomazelli, L. J.; Willcock, J. A.; Vital, H. 2005. Paleoníveis do Mar e Paleolinhas de Costa. In: Quaternário do Brasil. Souza, C. R. G.; Suguio, K.; Oliveira, A. M. S.; Oliveira, P. E. (Orgs). Ribeirão Preto: Holos.

Testa, J., Kemp, W., 2011. Oxygen dynamics and biogeochemical consequences. Page 362. In: McLusky, D., Wolanski, E. (Eds.), Treatise on Estuarine and Coastal Science. Elsevier, Italy.

Tweedley, J. R.; Hallett, C. S.; Warwick, R. M.; Clarke, K. R.; Potter, I. C. 2016. The hypoxia that developed in a microtidal estuary following an extreme storm produced dramatic changes in the benthos. Marine and Freshwater Research. **67**: 327-341.

Valentim, M. M. 2013. *Relação da salinidade e turbidez nos limites de um estuário amazônico*. TCC. Instituto de Geociências. Universidade Federal do Pará. Belém.

Van Damme, S.; Struyf, E.; Maris, T.; Ysebaert, T.; Dehairs, F.; Tackx, M.; Heip, C.; Meire, P. 2005. Spatial and temporal patterns of water quality along the estuarine salinity gradient of the

Scheldt estuary (Belgium and The Netherlands): results of an integrated monitoring approach. *Hydrobiologia*. **540**: 29-45

Vaquer-Sunyer, R., Duarte, C.M., 2008. Thresholds of hypoxia for marine biodiversity. Proc. Natl. Acad. Sci. U. S. A. **105**, 15452-15457

Von-Sperling, E. 1996. Introdução a qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 2 ed. Belo Horizonte. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Minas Gerais. V 1. 243p.

Waichman, A. V. 2002. *Qualidade da água*. Belém. 22 p.

Ward, J.V., Tockner, K., Arscott, D.B., Claret, C., 2002. Riverine landscape diversity. *Freshwater Biology* v **47** (4), 517–539.

Wei Qinsheng, Wei Xiuhua, Xie Linping, et al. 2010. Features of dissolved oxygen distribution and its effective factors in the Southern Yellow Sea in spring, 2007. *Advances in Marine Science* (in Chinese), **28** (2): 179–185

Wetzel R.G. 2001. *Limnology: lake and river ecosystems*. 3 editions. London, Uk- Academic Press, an Elsevier Imprint. p.1006.

Williams, J. R.; Dellapenna, T. M.; Lee, G. H. 2013. Shifts in depositional environments as a natural response to anthropogenic alterations: nakdong Estuary, South Korea. *Marine Geology*. v(343): 47-61.

**ANEXOS**

## ANEXO A – SCRIPT DA ROTINA UTILIZADA PARA CONVERSÃO DA CONDUTIVIDADE EM SALINIDADE

<pre> %% CONVERSÃO DA CONDUTIVIDADE EM SALINIDADE clear load %nome_do_arquivo_1; dados = %nome_do_arquivo_1;  %%Separando variáveis condu=dados(:,5); clear dados; </pre>	
<pre> %% Renomeando as variáveis Condu00=condu; %condutividades </pre>	
<pre> %% Convertendo a condutividade para Salinidade m=0; ntotal=length(Condu00); for i=1:ntotal     cond_micros(i)=Condu00(i)*1000;     sal(i)=(5.572/10000)*cond_micros(i)+((2.02/10000000000)*cond_micros(i)^2); % ref: EPA/600/3-     m=m+1;     n=m; end % end if n ~= ntotal     sal_tratado=sal(1:n);     clear n condu00 sal i m end </pre>	
<pre> %% Salinidade salinidade=sal; %% Salvando os dados de salinidade em txt save %salinidade.txt salinidade -ascii </pre>	
<pre> figure (1) hist(salinidade); grid on </pre>	



## ANEXO C – SCRIPT DA ROTINA UTILIZADA PARA TRATAMENTO DOS DADOS DE FLUXO DE VOLUME

```

%% Comando para chamar o arquivo dos dados de correntes
load %nome_do_arquivo_1;

%% renomeando o arquivo
dados=load ('%nome_do_arquivo_1');

%% nomeando as variáveis
mod=dados(:,3)*0.01; %modulo da corrente convertido de cm para metro
dir=dados(:,4); %Direção das correntes
velNS=dados(:,5)*0.01; %Velocidades N-S convertida de cm para metro
velEW=dados(:,6)*0.01; %Velocidades W-E convertida de cm para meetro
vel_X=dados(:,11)*0.01; %Componente da velocidade na direção X convertida de cm para m
vel_Y=dados(:,12)*0.01; %Componente da velocidade na direção Y convertida de cm para m
decmag= %20.12; %Declividade magnética para o local

%% Correção da declividade magnética
Dir = dir -20.12; %Declividade magnética para o local

%% Salvando arquivo com as direções corrigidas
save %nome_do_arquivo_2 Dir -ascii

%% Windrose
%% Direção e Velocidade da Corrente
load %nome_do_arquivo_2;

figure(1)
[m,n]= size (%nome_do_arquivo_2);
for k=1:n % comando para ler cada valor contido na matriz;
    for j=1:m

        if %nome_do_arquivo_2(j,k)< 180
            dirs_seco(j,k)=180+%nome_do_arquivo_2(j,k);
        else
            dirs_seco(j,k)=%nome_do_arquivo_2(j,k)-180;
        end
    end
end
end
n=30;
ci=[5:5:25];
di=[0:0.2:1.2];
wind_rose (dirs_seco,mod,'dtype','current','labeled','Corrente (m/s)','quad',4,'ci',ci,'di',di,'n',n)
legend('%legenda_da_figura')

```