



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
FACULDADE DE OCEANOGRAFIA  
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

HERITON KEVIN DO NASCIMENTO SILVA

**TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NA FOZ DO  
RIO AMAZONAS**

BELÉM-PARÁ

2016

HERITON KEVIN DO NASCIMENTO SILVA

**TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NA FOZ DO  
RIO AMAZONAS**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de Oceanografia  
do Instituto de Geociências da  
Universidade Federal do Pará - UFPA,  
como requisito obrigatório para aquisição  
do diploma de bacharel em oceanografia.  
Orientador. Msc. Renan Peixoto  
Coorientador: Dr. Marcelo Rollnic

BELÉM-PA

2016

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

---

Silva, Heriton Kevin do Nascimento, 1993 -

Tranporte de material particulado em suspensão na foz do Rio Amazonas  
/ Heriton Kevin do Nascimento Silva. – 2016.

37 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Renan Peixoto

Coorientador: Marcelo Rollnic

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal  
do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Oceanografia, Belém,  
2015.

1. Hidrologia - Fluxo. 2. Hidrologia - Inundações. 3. Amazonas, Rio,  
Bacia. I. Título.

CDD 22 ed.551.48809811

---

HERITON KEVIN DO NASCIMENTO SILVA

TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO NA FOZ DO RIO  
AMAZONAS

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado à Faculdade de  
Oceanografia do Instituto de  
Geociências da Universidade Federal do  
Pará - UFPA, como requisito  
obrigatório para aquisição do diploma  
de bacharel em oceanografia.

Data de defesa: 28 / 04 / 2016 /

Conceito: Bom

Banca examinadora:

Renan Peixoto Rosário

Renan Peixoto Rosário- Orientador  
Mestre em Oceanografia Física, Química e Geológica  
Universidade Federal do Pará

Marcelo Rollnic

Prof. Marcelo Rollnic – Coorientador  
Doutor em Oceanografia  
Universidade Federal do Pará

Maurício da Silva da Costa

Maurício da Silva da Costa  
Mestre em Geologia e Geoquímica  
Universidade Federal do Pará

Sury de Moura Monteiro

Prof.<sup>a</sup> Sury de Moura Monteiro  
Doutora em Oceanografia Ambiental  
Universidade Federal do Pará

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus e a minha família, em especial as três mulheres da minha vida Vania, Fabiele e Kézia.

A todas as pessoas que contribuíram direta e indiretamente para conclusão deste trabalho, em destaque o pessoal do GEOF, LOF, LIOG.

Aos amigos conquistados ao longo do curso Leandro, Paulo, Thiago, Geyklin, Lizandra, Pamela e Gabriela.

Aos orientadores informais Mauricio, Arthur (piolho), Thais e Yuri que por meio de conversas descontraídas transmitiram conhecimentos essenciais para minha formação.

Aos orientadores formais Renan e Marcelo, que ensinaram muito além de conhecimentos voltados para a realização deste trabalho, mas também conhecimentos que adquiri para minha vida.

## RESUMO

O rio Amazonas diariamente aporta para Oceano Atlântico quantidades elevadas de água e material particulado em suspensão (MPS), este transporte de partículas finas sofre variação sazonal e ao longo da maré. A primeira é em decorrência de dois períodos distintos, diferenciados quanto a taxa de precipitação períodos seco e chuvoso e a segunda variação decorre do encontro entre forçantes fluviais e marinhas. Neste sentido o presente trabalho teve por objetivo geral quantificar a diferença sazonal e ao longo da maré no transporte de MPS, pelos canais Norte e Sul, foz do rio Amazonas. Para isto foram realizadas duas campanhas em cada canal, uma em novembro de 2012 (período seco) e outra em junho de 2013 (período chuvoso) ambas em maré de sizígia. Cada canal foi fragmentado em estações margem esquerda, margem direita e meio de modo a verificar a distribuição espacial das propriedades investigadas, para cada estação coletou-se água de superfície e de fundo ao longo de cinco seções distribuídas em um ciclo de maré, o registro da oscilação da maré foi adquirida com um sensor de pressão e os dados de vazão foram gerados com aplicação de um modelo numérico com um pacote de simulação hidrodinâmica D-Flow, também foram feitos registros de turbidez para serem analisados de maneira qualitativa, a fim que se corroborasse com os dados de MPS. A quantificação do MPS foi realizada por gravimetria e no cálculo de seu Transporte foi considerado que o MPS se movimentava concomitante ao fluxo hídrico. Durante o período chuvoso, foi observado um transporte de MPS em média 4,5 maiores em comparação ao período oposto, onde foi obtido um transporte médio entre os canais de 33.259 (toneladas.estágio<sup>-1</sup>). Explicado pelo alargamento do rio e seus afluentes durante o período chuvoso que provoca inserção de particulados em seu fluxo, sendo melhor observado em áreas acometidas por desmatamento, outra resposta a este aumento é a intensificação do processo erosivo nas regiões andinas que somam ao particulado carregado pelo rio. O canal Sul evidenciou maior taxa no transporte de MPS para o oceano Atlântico, aproximadamente 50% maior para ambos os períodos em resposta a configuração morfológica do ambiente tendo em vista que o maior aporte hídrico é dado por este canal. Ao longo da maré o transporte de MPS apresentou, sempre maiores valores durante o estágio de vazante, conferindo ao ambiente como exportado de MPS em decorrência da assimetria de maré, onde o tempo de vazante é maior que o tempo enchente. Os registros de turbidez e concentrações de MPS sofreram aumento durante o período chuvoso e evidenciaram aumento de suas taxas com a profundidade devido a interação com o fundo

Palavras-chave: Transporte de partículas finas. Variação sazonal e ao longo da maré. Bacia Amazônica.

## ABSTRACT

The Amazon river daily contributes to Atlantic Ocean water and high amounts of suspended particulate matter (SPM), this transport of fine particles undergoes seasonal variation and along the tide. The first is a result of two distinct periods, differentiated as the rate of precipitation periods dry and rainy and the second variation is the encounter between river and marine forcings. In this sense the present work was general objective to quantify the seasonal and along the tidal difference in the transport of SPM, the north and south channels, the mouth of the Amazon River. For this there were two campaigns in each channel, one in November 2012 (dry season) and another in June 2013 (rainy season) in both spring tide. Each channel was fragmented into left bank stations, right margin and a half in order to verify the spatial distribution of the investigated properties for each station collected to surface water and bottom over five sections distributed over a tidal cycle, the record the tide oscillation was acquired with a pressure sensor and flow data were generated by application of a numerical model with a hydrodynamic simulation package D-flow were also made turbidity records to be analyzed qualitatively, so that if corroboration with the SPM data. Quantification of SPM was performed by gravimetry and the calculation of its transport was considered that the SPM moved concomitantly with the water flow. During the rainy season, it was observed an SPM transport on average 4.5 higher compared to the opposite period, which obtained an average transport between channels of 33,259 (toneladas.estágio-1). Explained by the widening of the river and its tributaries during the rainy season which causes particulate inclusion in its flow and is best observed in areas affected by deforestation, another response to this increase is the intensification of erosion in the Andean regions that add to particulate carreado by River. The south channel showed the highest rate in the transport of SPM to the Atlantic Ocean, about 50% higher for both periods in response to morphological configuration of the environment, given that the greater fluid intake is given by this channel. Throughout tide SPM transportation presented, where higher values during ebb stage, giving the SPM exported as environment due to tidal asymmetry, where time ebb and flood time greater than. Turbidity and records SPM concentrations also had an increase during the rainy season and showed increase in their rates with depth, justified by the interaction between the water discharge with unconsolidated substrate.

Key words: Transport of fine particles. seasonal and along the tide change. Amazon Basin.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa da área de estudo com identificação das estações de coleta.....	11
Figura 2 - Climas abrangidos pelo rio Amazonas.....	12
Figura 3 - Principais afluentes do rio Amazonas.....	13
Figura 4 - Descarga e precipitação na estação de Óbidos para os períodos de coleta.....	14
Figura 5- Bacia Amazônica com suas 4 unidades morfoestruturais (1 - Cadeia Andina; 2 - Escudo das Guianas; 3 - Escudo Brasileiro e 4 - Planície fluvial) e seus principais cursos d'água.....	16
Figura- 6 Garrafa Dorn.....	18
Figura 7- Sensor infinity-turbi ATU75W-USB.....	18
Figura 8 - Modelo D-flow. (a) mechas flexíveis aplicadas a diferentes larguras e (b) área de abrangência do modelo.....	19
Figura 9 - Bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração.....	20
Figura 10 - Fluxograma da coleta e tratamento das propriedades amostradas.....	21
Figura 11 - Concentração de MPS para cada estação dos canais Norte e Sul, período Seco...	23
Figura 12 - Concentração de MPS para cada estação dos canais Norte e sul, período Chuvoso.....	24
Figura 13 - Turbidez nos Canais Norte e Sul em função da maré, período seco.....	26
Figura 14 - Turbidez nos Canais Norte e Sul em função da maré, período chuvoso.....	27

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS</b> .....	<b>11</b>
<b>2.1</b>	<b>Geral</b> .....	<b>11</b>
<b>2.2</b>	<b>Específicos</b> .....	<b>11</b>
<b>3</b>	<b>ÁREA DE ESTUDO</b> .....	<b>12</b>
<b>3.1</b>	<b>Clima</b> .....	<b>13</b>
<b>3.2</b>	<b>Aspectos hidrológicos</b> .....	<b>14</b>
<b>3.3</b>	<b>Aspectos geológicos e sedimentológicos</b> .....	<b>16</b>
3.3.1	Divisões da bacia Amazônia.....	17
<b>4</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>19</b>
<b>4.1</b>	<b>Aquisição de dados</b> .....	<b>19</b>
<b>4.2</b>	<b>Quantificação do material particulado em suspensão</b> .....	<b>21</b>
<b>4.3</b>	<b>Quantificação do transporte de mps</b> .....	<b>22</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b> .....	<b>24</b>
<b>5.1</b>	<b>Material particulado em suspensão</b> .....	<b>24</b>
<b>5.2</b>	<b>Turbidez</b> .....	<b>27</b>
<b>5.3</b>	<b>Transporte de MPS</b> .....	<b>29</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSSÃO</b> .....	<b>30</b>
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>32</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>33</b>

## 1 INTRODUÇÃO

O Material particulado em suspensão (MPS) é definido como todo material com diâmetro maior que 0,45  $\mu\text{m}$  (micrômetro) suspenso na coluna d'água, este particulado está sujeito a sofrer transporte tanto próximo a superfície ou como carga de fundo. Durante o processo de transporte ele é controlado e modificado por processos difusivos, gravitacionais e advectivos que estão diretamente relacionados como a granulometria e coesividade do sedimento e influencias biológicas (NITTROUER; WRIGHT, 1994).

A bacia Amazônica possui a maior superfície de água doce do mundo, 3.889.489,6  $\text{km}^2$ , e esta é constituída pelo rio Amazonas, seus tributários e lagos de várzea que de forma intermitente interagem com os rios. As variações sazonais no nível da água, são uma importante ferramenta que dirigem o funcionamento ecológico onde, durante o período de maior precipitação o sistema é interligado os rios, as várzeas, canais, lagos, e depressões formando um complexo sistema, aumentando a carga hídrica e sedimentar transportada (REBOUÇAS, 2002). Caracterizado como um rio de planície, são distinguidas duas zonas: uma aquática conectada permanentemente ao rio principal e outra semiaquáticas conectada apenas durante os períodos de cheia, interligando ao rio zonas ricas em MPS (SCHIEMER, 2000).

O rio Amazonas aporta para oceano por meio dos canais Norte e Sul um volume de água de aproximadamente  $6,6 \text{ a } 10^{12} \text{ m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ , correspondendo em escala global, cerca de 16% a 20% do total das águas doces continentais (MOLINIER et al., 1996). A água doce descarregada pelos rios nos oceanos é composta por uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, onde quantidades significativas de nutrientes são transportadas, criando condições para o desenvolvimento dos produtores primários e consequentemente de cadeia alimentares bem estruturadas. Do ponto de vista geológico a carga sedimentar pode atuar na formação de banco arenosos impactando diretamente a navegação e também aumentando a turbidez local podendo afetar a produtividade biológica e em consequência a economia local. A carga sedimentar proveniente do rio Amazonas é responsável por alimentar diretamente a plataforma adjacente aos estados do Pará e Amapá e indiretamente a região de outros países, atuando diretamente na dinâmica costeira (SMITH, 2010).

Uma definição clássica para estuários é proposta por Pritchard (1955) onde, são definidos como corpos d'água semi-fechados com conexão direta com o mar, ocorrendo mensurável diluição das águas marinhas, introduzidas pela maré. Estuários com intensa descarga fluvial podem ser divididos em três regiões distintas: estuário inferior ou marinho onde há predominância marinha, caracterizando salinidade elevada; o estuário médio, onde gradientes

horizontais são intensos devido a intensa mistura entre a água fluvial e marinha e o estuário superior, onde é possível observar variação da maré, mas sem ocorrência de salinidade (DIONNE, 1963). Esta última região abrange a área de estudo do presente trabalho, situado na foz do rio Amazonas com pontos de coletas de dados, segmentados nos canais Norte e Sul, que apresenta águas com diminuta salinidade, entretanto, é observado variação do nível e inversão da corrente de maré. Como a região de estudo apresenta maré variando de meso a macro-maré e correntes de maré de ~2 m/s (BEARDSLEY et al., 1995), a carga de MPS pode também estar variando significativamente em função desta forçante.

Neste contexto por se tratar de um ambiente complexo dados referentes ao transporte de sedimento fino são relevantes para o entendimento da dinâmica da região. Projetos como *A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study* (AMASSEDS) Hidrologia e Geoquímica da Bacia Amazônica (HIBAM) entre outros foram realizados com visando o levantamento de dados para região Amazônica, proporcionado a realização de diversos trabalhos como (FILIZOLA et al., 2011; FRANZINELLI, 2011; GIBBS, 1972; GUYOT et al., 1996). Tendo em vista que a maioria dos trabalhos realizados estão concentrados mais a montante do rio Amazonas na região próximo a Óbidos distante 700 km, da foz do rio ou na porção adjacente, plataforma interna o presente trabalho objetivou verificar a variação do transporte efetivo de MPS para o oceano Atlântico pelos canais Norte e Sul levando em consideração forçantes climáticas e hidrodinâmicas.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Geral**

- Quantificar a diferença sazonal e ao longo da maré no transporte de MPS, pelos canais Norte e Sul, foz do rio Amazonas.

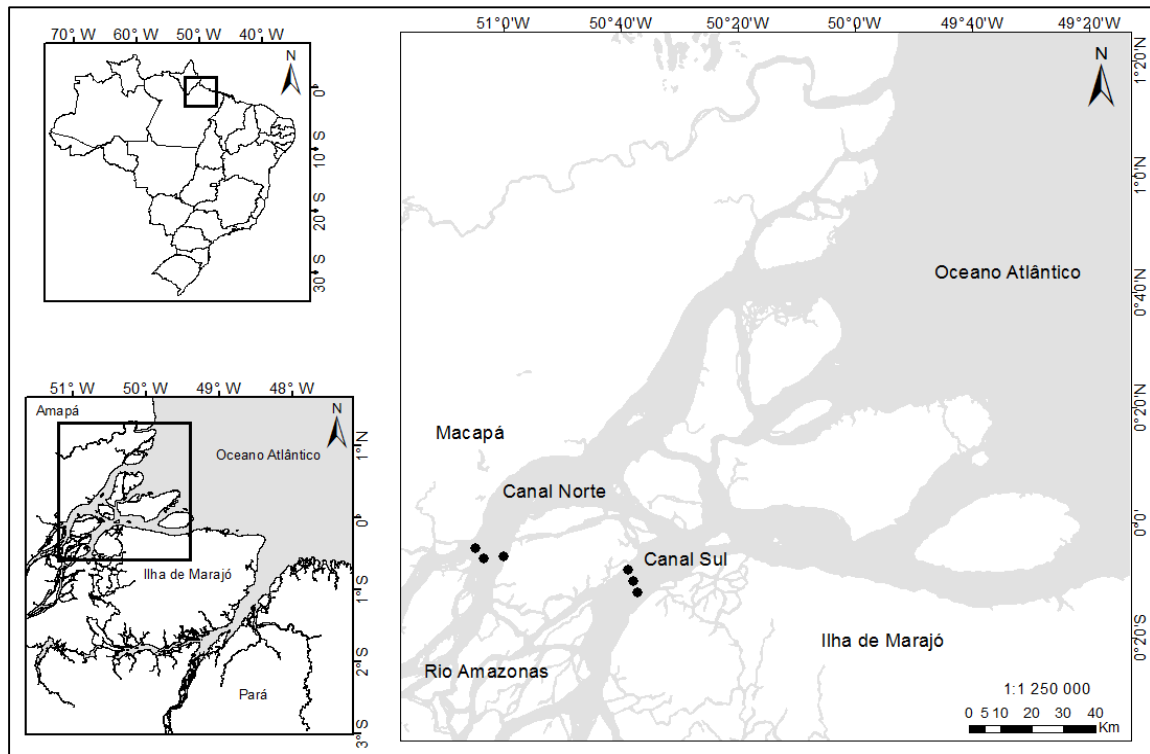
### **2.2 Específicos**

- Verificar a variação vertical (superfície e fundo) e espacial (margens e meio) do MPS e turbidez em cada canal.
- Verificar se há diferença no transporte de MPS entre os Canais Norte e Sul;

### 3 ÁREA DE ESTUDO

O local de estudo está inserido na desembocadura do rio Amazonas, que possui forma de delta com cerca de 330 km de largura. A região é formada pela ilha de Marajó e ilhas menores, por inúmeros bancos e por vários canais, sendo os canais Norte e Sul principais desaguadouros do rio Amazonas no oceano Atlântico, com larguras de aproximadamente 12 km. O cenário de estudo (Figura 1) possui como principais forçantes hidrodinâmicas a intensa descarga fluvial da bacia hidrográfica amazônica e a maré variando de macromaré na porção costeira a mesomaré, no interior da zona estuarina (BEARDSLEY et al., 1995). Além de fatores climáticos como a acentuada pluviosidade local e elevadas temperaturas, caracterizando o clima da região como tropical-úmido.

Figura1 - Mapa da área de estudo com identificação das estações de coleta.

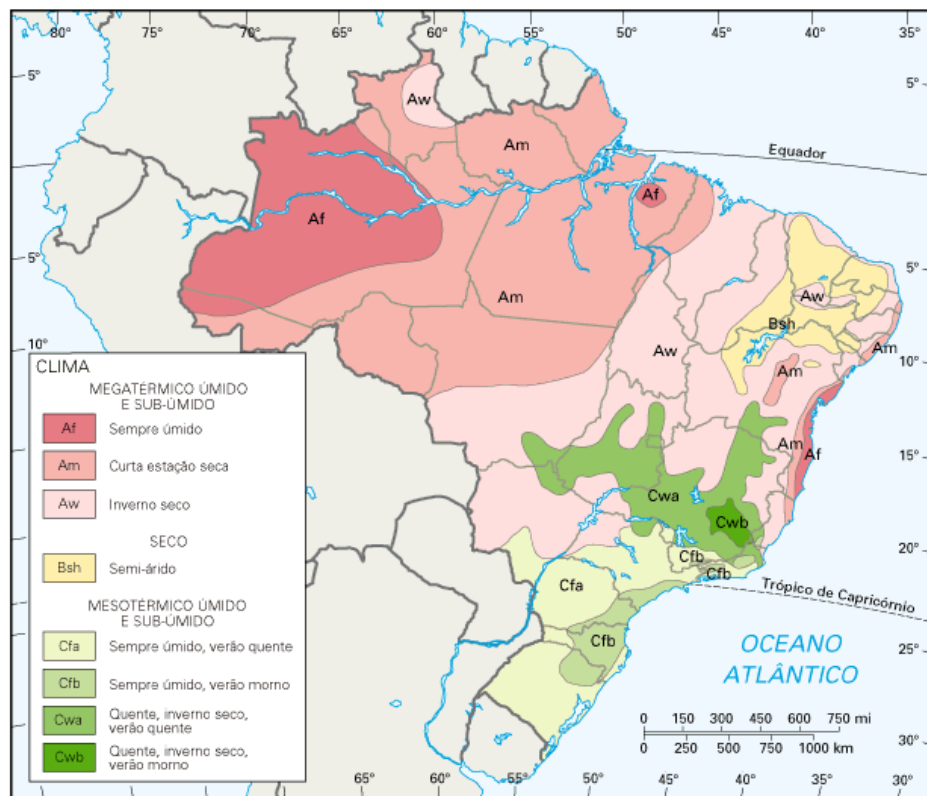


Fonte: Autor

### 3.1 Clima

Por ser um rio caudaloso o Amazonas ao longo do seu percurso é exposto em sua maior parte a dois tipos de clima poucos distintos (Figura 2). Nesta classificação ambos os climas são caracterizados como quente e úmidos, entretanto, mais a montante o clima predominante é caracterizado como sempre úmido (Af) e mais a jusante o clima é distinguido por ocorrência de uma estação curta estação seca (menos chuvosa), tipo Am.

Figura 2- Climas abrangidos pelo rio Amazonas.



Fonte: Sistema de Informação Aplicado ao Sistema de Gestão Ambiental, 2015.

O clima do baixo Amazonas apresenta duas estações diferenciadas pelo regime de chuvas, uma mais chuvosa (dezembro a maio) e outra menos chuvosa (julho a outubro). Sendo os meses de junho e novembro, os períodos de transição (FIGUEROA; NOBRE, 1990). Apesar de possuir um padrão de pluviosidade, eventos climáticos podem alterar o regime de chuvas da região Amazônica. Marengo (1992) concluiu que em anos de El Niño muito intenso, a precipitação do verão tende a ser mais baixa que em anos normais sobre a Amazônia, em consequência observando-se níveis de água abaixo do normal nos dos rios Negro e Amazonas, sendo este padrão também seguido pela Amazônia peruana (ACEITUNO, 1988).

### 3.2 Aspectos hidrológicos

O rio Amazonas recebe influência hídrica de vários outros rios durante seu percurso até o Atlântico onde, é possível observar, na parcela compreendida dentro dos limites nacionais importantes afluentes rios Japurá, Negro e Trombetas localizados na margem esquerda e na margem direita os rios Juruá, Purus, Madeira, Tapajós e o Xingu (Figura 3).

Figura 3- Principais afluentes do rio Amazonas.



Fonte: (CUNHA; GUERRA, 2001).

Em geral todo o aporte hídrico recebido por seus afluentes e despejado no oceano Atlântico através dos canais Norte e Sul. Dados referentes a estações de Óbidos revelam que a descarga média fluvial é de aproximadamente  $170\ 000\ \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , com máximos e mínimos de  $270\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  e  $60\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  respectivamente (GEYER et al., 1996). Como um complexo de ligações entre rios, formando um exutório a descarga hídrica do Amazonas está em função do somatório das descargas de diversos outros rios (Tabela 1).

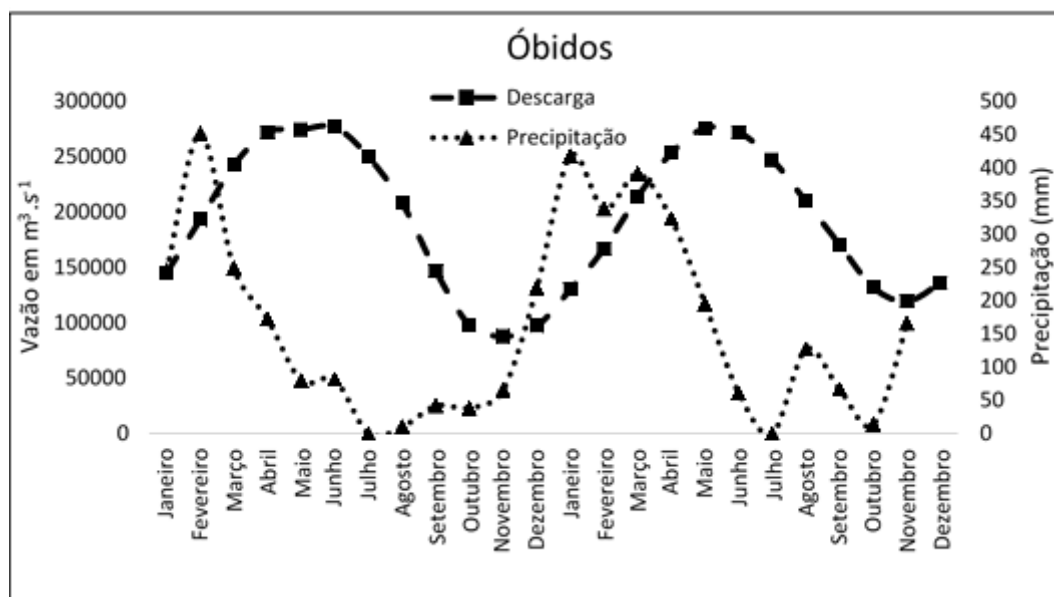
Tabela 1- Variabilidade hidrológica dos principais rios da bacia Amazônica. (Pluviosidade, P, média anual, Vazão, Q, máxima, média e mínima anual).

Estação	Rio	Lati.	Long.	Area (Km <sup>2</sup> )	Pméd (mm)	Qméd (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Qmáx (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )	Qmin (m <sup>3</sup> .s <sup>-1</sup> )
<b>Itaituba</b>	Tapajós	-4,28	-57,58	461.100	2145	11.700	24.500	3.000
<b>Porto Velho</b>	Madeira	-8,74	-63,92	954.400	1684	18.300	37.900	3.900
<b>Tamshiyacu</b>	Amazonas	-4,00	-73,16	726.400	1621	31.700	46.700	16.400
<b>Serrinha</b>	Negro	-0,48	-64,83	291.100	2730	16.500	28.500	5.900
<b>Caracarái</b>	Branco	1,83	-61,38	130.600	1855	2.900	9.600	500
<b>Faz. Vista Alegre</b>	Madeira	-4,68	-60,03	1.293.600	-	27.800	58.300	5.100
<b>Manacapuru</b>	Solimões	-3,31	-60,61	2.242.400	-	102.60	139.000	58.800
<b>Óbidos</b>	Amazonas	-1,93	-55,50	4.680.000	2240	172.40	240.000	100.200

Fonte: (ESPINOZA et al., 2009)

A descarga fluvial é controlada pela taxa de precipitação, neste sentido é possível observar oscilações periódicas de acordo com a estação seca e chuvosa, com uma defasagem de aproximadamente um mês (Figura 4), como observado nos valores de descarga hídrica fornecida pela Agencia Nacional de Águas (ANA) e Precipitação pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), compreendido pelos anos 2012 e 2013, anos de coleta de dados para realização deste trabalho.

Figura 4- Descarga e precipitação na estação de Óbidos para os períodos de coleta.



Fonte: Autor

Próximo a sua foz a elevada descarga hídrica e baixa profundidade, influenciam no amortecimento da amplitude de componentes de maré, ocorrendo a geração de novos (GALLO; VINZON, 2005). A maré para região é classificada como semidiurnas com fator de forma (0,1), apresentando predominância de 85% das componentes semidiurna na variação da amplitude (FERNANDES, 2006). A propagação da onda de maré, estuário acima é controlada pela descarga fluvial e se dá de forma progressiva da foz à cidade de Óbidos ocorrendo inversão das correntes a aproximadamente 150 km da foz para vazões máximas e a 300 km para vazões mínimas (GALLO, 2004). Em decorrência da diferença entre os tempos de duração para o estágio de enchente e vazante o estuário é classificado com assimetria positiva (tempos de enchente maiores que o de vazante). Para estes tipos de estuário é esperado, para a manutenção sedimentar, que a maior vazão seja observada durante a enchente, entretanto a elevada vazão fluvial do rio Amazonas faz com que apesar da assimetria na curva de maré seja positiva, as dominâncias nas correntes são de vazante, exibindo sempre exportação de sedimento (GALLO; VINZON, 2005). A elevada descarga hídrica do rio Amazonas também é refletida na assimetria de corrente de maré onde, apesar de que a maré esteja em estágio de vazante a corrente de maré pode estar em sentido oposto, em resposta a defasagem de horas entre estas as duas forçantes. (GALLO, 2004)

### **3.3 Aspectos geológicos e sedimentológicos**

Segundo Gibbs (1967) e Guyot et al, (1994), 80% do total anual de MPS transportados pelo rio Amazonas é proveniente da região Andina, como produto da erosão rápida decorrente do fluxo intenso do rio. Os rios mais importantes em termos de aporte sedimentar para o rio Amazonas são os rios Solimões, em decorrência da drenagem de sedimento proveniente dos Andes e em menor quantidade o rio Madeira que também possui parte da sua área de drenagem nos Andes.

O rio Amazonas percorre uma enorme planície de inundação cercada por dois escudos pré-cambrianos, com embasamento cristalino (o escudo da Guiana para o norte e o escudo brasileiro para o sul) desta forma, comparado o rio Madeira, com rios de origem ou que atravessam os escudos, estes pouco contribuem em termos de transporte de MPS para o rio Amazonas. Também é possível observar uma significativa variação na concentração de sedimento de acordo com os períodos do ano, nos períodos chuvosos, a média de material em suspensão próximo à foz do rio atinge  $125 \text{ mg.L}^{-1}$ , enquanto na estação menos chuvosa a concentração média é na ordem de  $22 \text{ mg.L}^{-1}$  (GIBBS, 1967).

O transporte de MPS pelo rio Amazonas possui significativa variação ao longo dos anos onde é possível observar na literatura resultados variados de acordo com a metodologia empregada (Tabela 2).

Tabela 2- Transporte de MPS pelo rio, segundo diferentes autores.

<b>QS (10<sup>6</sup>t.ano<sup>-1</sup>)</b>	<b>Pesquisadores</b>
<b>500</b>	(GIBBS, 1967)
<b>600</b>	(OLTMAN, 1968)
<b>900</b>	(MEADE et al., 1979)
<b>1.100 – 1.300</b>	(MEADE, 1985)
<b>550 – 1.000</b>	(NITTROUER et al., 1995 e 1986a)
<b>600 - 700</b>	(BORDAS, 1988; FILIZOLA, 1999)
<b>600 - 800</b>	(FILIZOLA, 2003; GUYOT et al., 2005; FILIZOLA e GUYOT ,2009)
<b>800</b>	(MARTINEZ et al., 2009)
<b>610</b>	(WITTMANN et al., 2011)
<b>872</b>	(GUYOT et al., 2011)

Fonte: (FILIZOLA et al, 2011)

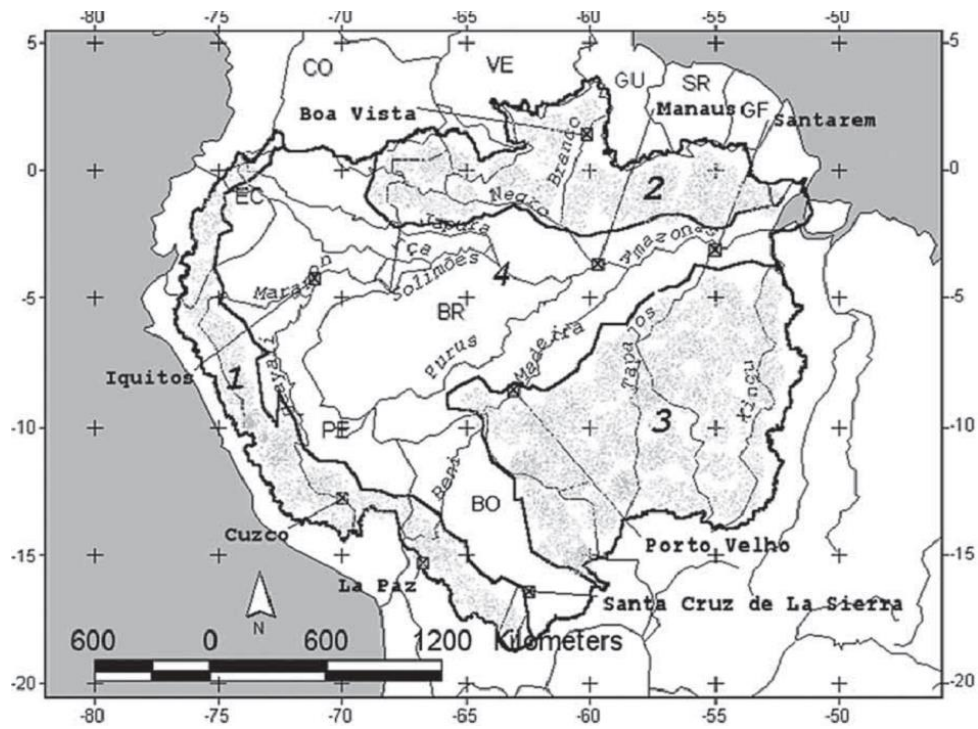
### 3.3.1 Divisões da bacia Amazônica

Para melhor entendimento da proveniência de sua carga sedimentar a bacia Amazônica pode ser dividida em três regiões com características geológicas semelhantes, considerando a união entre a cadeia andina e planície fluvial (FITTKAU, 1971).

A primeira região compreendia pelos escudos cristalinos periféricos da Guiana e Brasileiro, caracterizada por uma litologia bem mais ramificada em comparação a formação Barreira, bacia sedimentar terciária. A maioria dos rios que drenam estas áreas são rios de águas-claras, ou seja, baixas carga sedimentar como os rios Tapajós, Trombetas, e o rio Xingu.

A segunda é compreendida pela Amazônia Central, que tem sua origem geológica relacionada a sedimentos flúvio-lacustres do Terciário e Pleistoceno, produto do intemperismo dos escudos cristalinos, os rios desta região também são pobres em carga sedimentar e muito são classificados como rios de água preta como exemplo o rio Negro.

Figura 5- Bacia Amazônica com suas 4 unidades morfoestruturais (1 - Cadeia Andina; 2 - Escudo das Guianas; 3 - Escudo Brasileiro e 4 - Planície fluvial) e seus principais cursos d'água.



Fonte: (FILIZOLA, 2003).

A terceira unidade é a mais importante em quesito de contribuição sedimentar, está inserida na região Andina, pré-Andina e as várzeas Holocênicas que se estendem até a Ilha de Marajó, esta unidade é totalmente formada por sedimentos Andinos que são erodidos e transportados para a região sub-Andina e daí para as várzeas da Amazônia (GIBBS, 1967). Sendo os rios que drenam esta região relativamente ricos em sólido em suspensão, desta forma os rios desta unidade são classificados como rios de água-branca. Como exemplos desses rios estão o Solimões-Amazonas, Purus, Juruá e o Madeira. Entretanto peguemos rios que drenam áreas carboníferas durante a estação chuvosa, podem apresentar este tipo de água (SIOLI, 1984).

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 Aquisição de dados

A obtenção dos dados de turbidez e MPS foram realizadas por meio de duas campanhas nos canais Norte e Sul na foz do rio Amazonas, uma no período seco (novembro/2012) e outra no período chuvoso (junho/2013), ambas em maré de sizígia. Em cada campanha, foram realizadas coletas de água e turbidez ao longo de três estações em cada canal: margem direita, meio e margem esquerda, por um período de 13 horas de forma a cobrir um ciclo de maré, sendo realizada 5 cinco seções para cada canal. O ideal seria fazer 13 seções de maneira a caracterizar todo o ciclo, entretanto, não foi possível pois os canais são muito largos (12 km). Para se obter a concentração do MPS em cada estação, foram realizadas amostras de água próximas a superfície e ao fundo do rio com uso de uma garrafa tipo Van Dorn (Figura 6).

Figura- 6 Garrafa Dorn.



Fonte: (LIMINOTEC, 2015).

Os registros de turbidez foram coletados sinótico a coleta de MPS, por meio de perfis verticais com um sensor de luz retroespalhada (Optical backscatter sensor - OBS) modelo infinity-turbi ATU75W-USB (Figura 7) programado a fazer medições a cada segundo. O resultado obtido pelo sensor é o produto de um algoritmo calibrado interno, que relaciona a quantidade de luz retroespalhada no infravermelho pela água, com as concentrações equivalentes de partículas calibradas de fábrica.

Figura 7- Sensor infinity-turbi ATU75W-USB.

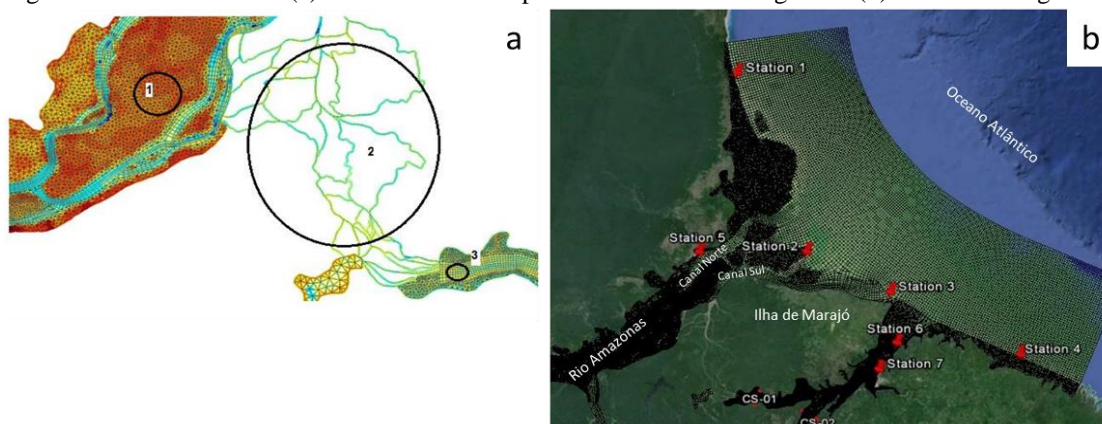


Fonte: (JFE ADVANTECH CO., LTD, 2015)

A precisão do aparelho é dada tanto para altas concentrações, onde a unidade utilizada é o ppm (precisão de  $\pm 10$  ppm ou  $\pm 5\%$  e intervalo de medição 0-100.000), como para baixas concentrações, onde a unidade utilizada é o FTU (Formazine Turbidity Unit) com precisão de  $\pm 0,3$  FTU ou  $\pm 2\%$  e intervalo de medição 0-1000 FTU. Neste estudo foi utilizado a unidade FTU justificado, pois os valores concentraram-se abaixo de 1000.

Os dados de vazão para os anos de 2012 e 2013 foram gerados a partir da aplicação de um modelo numérico com um pacote de simulação hidrodinâmica D-Flow FM, rodado segundo Borba (2014) e cedidos pela própria autora. O modelo em comparação com outros é ideal para simular a hidrodinâmica de regiões de baixa profundidade pois o mesmo, possui malhas flexíveis (Figura 8a) que podem adequar-se as diversas formas dos rios e canais, já foi utilizado com correspondência positiva nas regiões deltaicas dos países baixos (KERNKAMP et al., 2011). Borba (2014) aprimorou o modelo com dados coletados em *situ* para simular a hidrodinâmica dos estuários Amazônicos (Figura 8b), que possuem rios e canais com variação significativa em tamanho e forma. O Modelo gerou dados, para regiões costeiras e interiores sendo capaz de adentrar 716 km a montante da foz do rio Amazonas.

Figura 8- Modelo D-flow. (a) mechas flexíveis aplicadas a diferentes larguras e (b) área de abrangência.



Fonte: (BORBA, 2014).

## 4.2 Quantificação do material particulado em suspensão

No Laboratório as amostras de MPS foram quantificadas pelo método de gravimetria de volatilização segundo Baumgarten et.al. (1996). Seguindo a metodologia, 250 ml de cada amostra foram filtradas com o auxílio de uma bomba a vácuo acoplada no sistema de filtração (Figura 8), com filtros de fibra de vidro de 0,45 µm de poros e 47 mm de diâmetro previamente pesados (P1). Após esse processo, o filtro contendo o MPS foi transferido, com uma pinça para um recipiente livre de particulados e secado a 50°C em uma Mufla por um período de 1 hora, depois esperou-se por igual período o resfriamento da Mufla. Posterior a isto foram pesados o (P2) de cada filtro e em casos onde percebeu-se que os filtros ainda estavam úmidos secava-se novamente na Mufla e pesava-se novamente o (P2) dos filtros.

Figura 9- Bomba a vácuo acoplada ao sistema de filtração.



A diferença entre os pesos dos filtros após (P2) e antes (P1) do secamento fornece o peso do MPS e através da equação (1) obtemos o MPS em miligrama por litro (mg.L<sup>-1</sup>).

$$\text{MPS} = \frac{[(P2-P1)] \cdot 10^6}{V(\text{mL})} \quad (1)$$

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

P1 (g) = Peso do filtro vazio e seco

V (mL) = Volume da amostra filtrada

10<sup>6</sup> = Fator de conversão de g.mL<sup>-1</sup> para mg.L<sup>-1</sup>

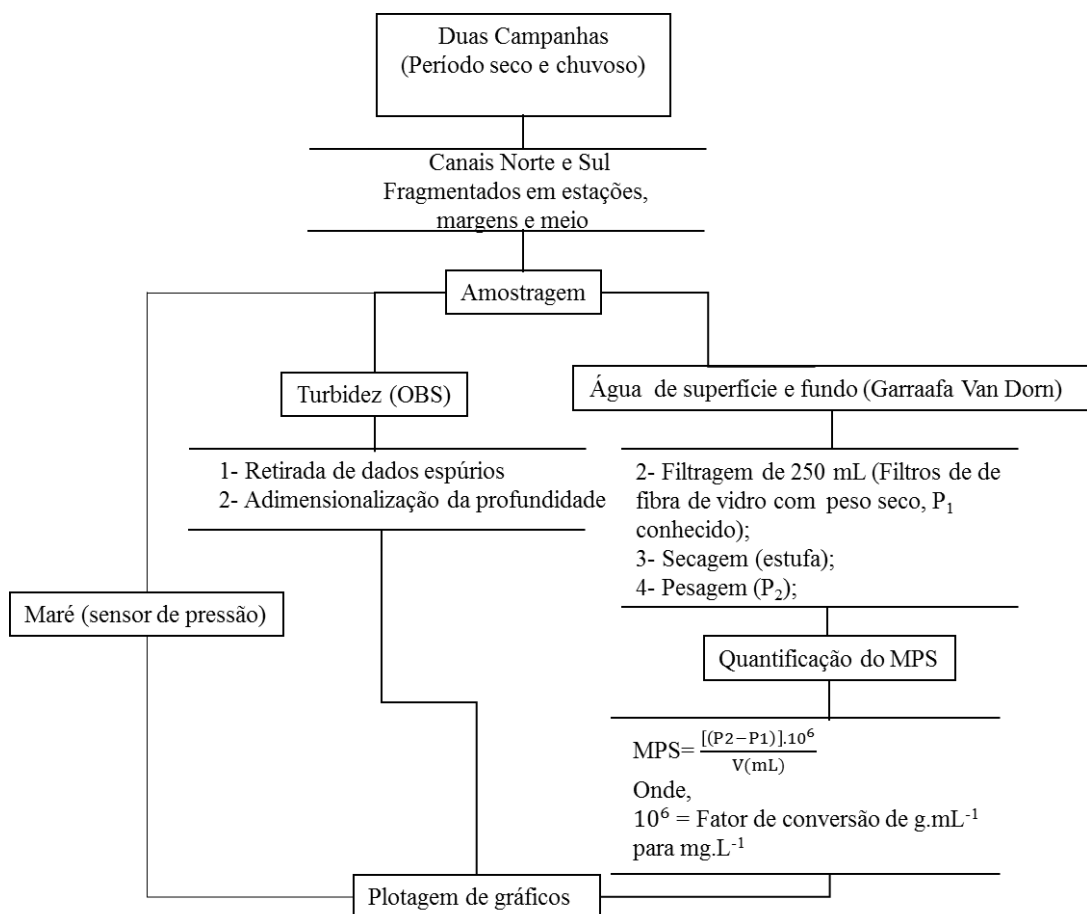
Os dados dos perfis verticais de turbidez e da quantificação do MPS gerados foram tabelados, processados e apresentados em gráficos para análise de sua distribuição espacial (superfície-fundo) e temporal (seco-chuvoso). As profundidades nos perfis de turbidez foram adimensionalizadas (Equação 2), para facilitar a comparação entre dados de diferentes profundidades. Onde, Z é a profundidade adimensional, z profundidade a ser transformada e h

maior profundidade para o perfil, o resultado é multiplicado por -1 de modo a representar um perfil vertical em direção ao fundo do rio.

$$Z = \frac{z}{h} * (-1) \quad (2)$$

Desta forma permitindo a comparação de dados de diferentes profundidades, em termos de porcentagem. Considerando a variação de Z entre valores próximos a 0 (superfície) e -1 (fundo). Para este trabalho, os dados de turbidez foram considerados como critério qualitativo de modo a verificar sua correspondência com os dados de MPS.

Figura 10- Fluxograma da coleta e tratamento das propriedades amostradas.



### 4.3 Quantificação do transporte de MPS

O transporte de sedimento em suspensão ( $Q_{ss}$ ), foi obtido a partir da modificação da fórmula proposta por Colby (1957). A modificação feita por Costa (2014), incluiu a ação da maré pois, a equação original considerava apenas um fluxo unidirecional. Na equação (3) o sedimento movimenta-se em conjunto com o transporte de volume ao longo de toda a seção transversal. Desta forma o  $Q_{ss}$  é obtido para cada estágio de maré, a partir do tempo decorrido, do transporte de volume e da média da concentração de MPS, para o estágio de maré específico.

$$Q_{ss} = t \cdot Q \cdot C_{ss} / 10^6 \quad (3)$$

onde:

$Q_{ss}$  = Transporte MPS (t);

t = Tempo decorrido (s);

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

$C_{ss}$  = Média da concentração de MPS ( $mg.L^{-1}$ );

$10^6$  = Fator de conversão de mg para t.

Com os dados de  $Q_{ss}$  para o ciclo de maré é possível calcular o fluxo resultante ( $R_{Qss}$ ), através da diferença entre os transportes de MPS (Equação 4).

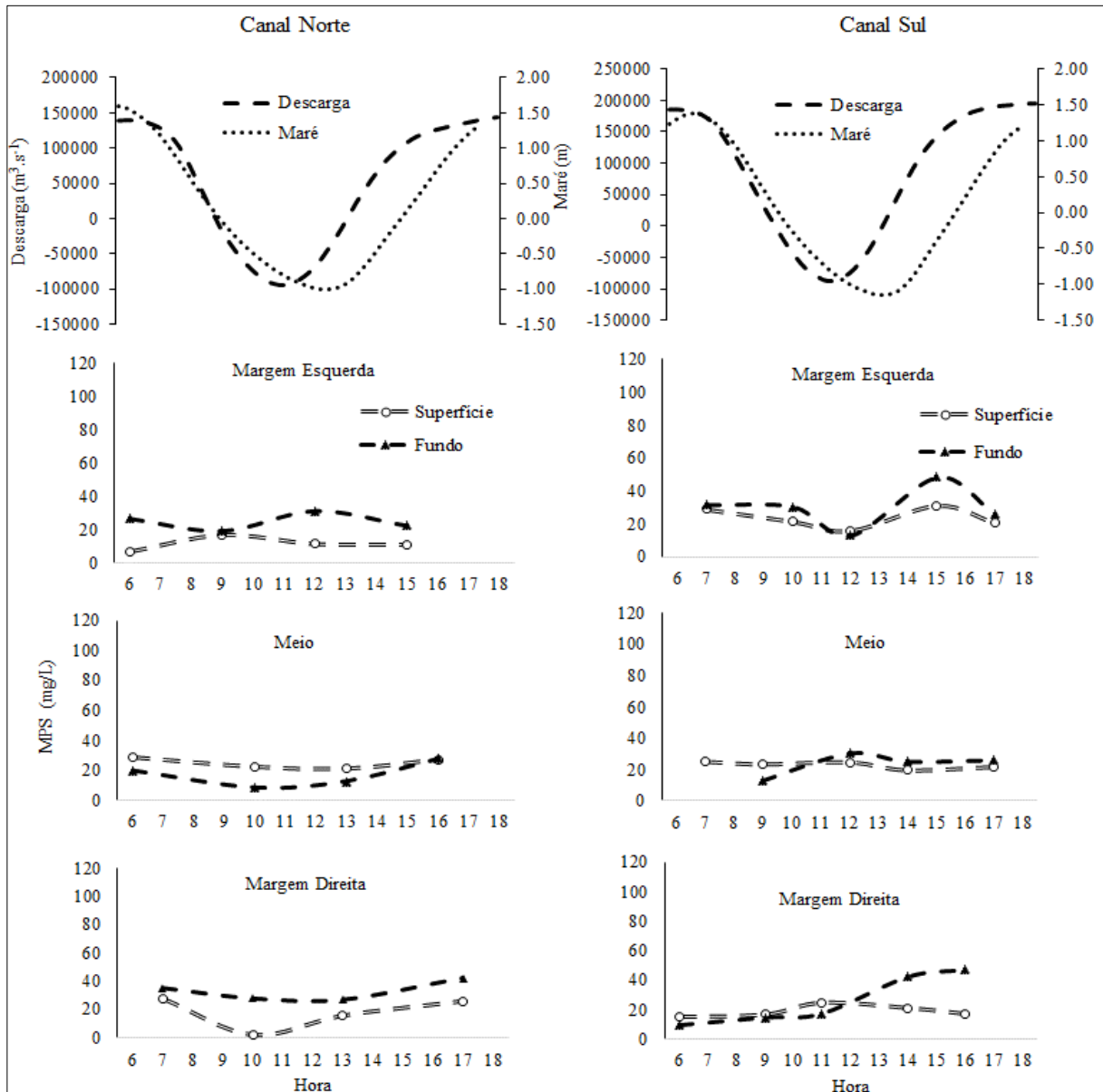
$$R_{Qss} = Q_{ss} (\text{Vazante}) - Q_{ss} (\text{Enchente}) \quad (4)$$

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Material particulado em suspensão

Os valores de MPS para ambos os canais Norte e Sul, referentes aos períodos Seco (Figura 11) e Chuvoso (Figuras 12), foram plotados em função da maré, profundidade (superfície e fundo), separados por estação e quanto ao canal (Norte e Sul).

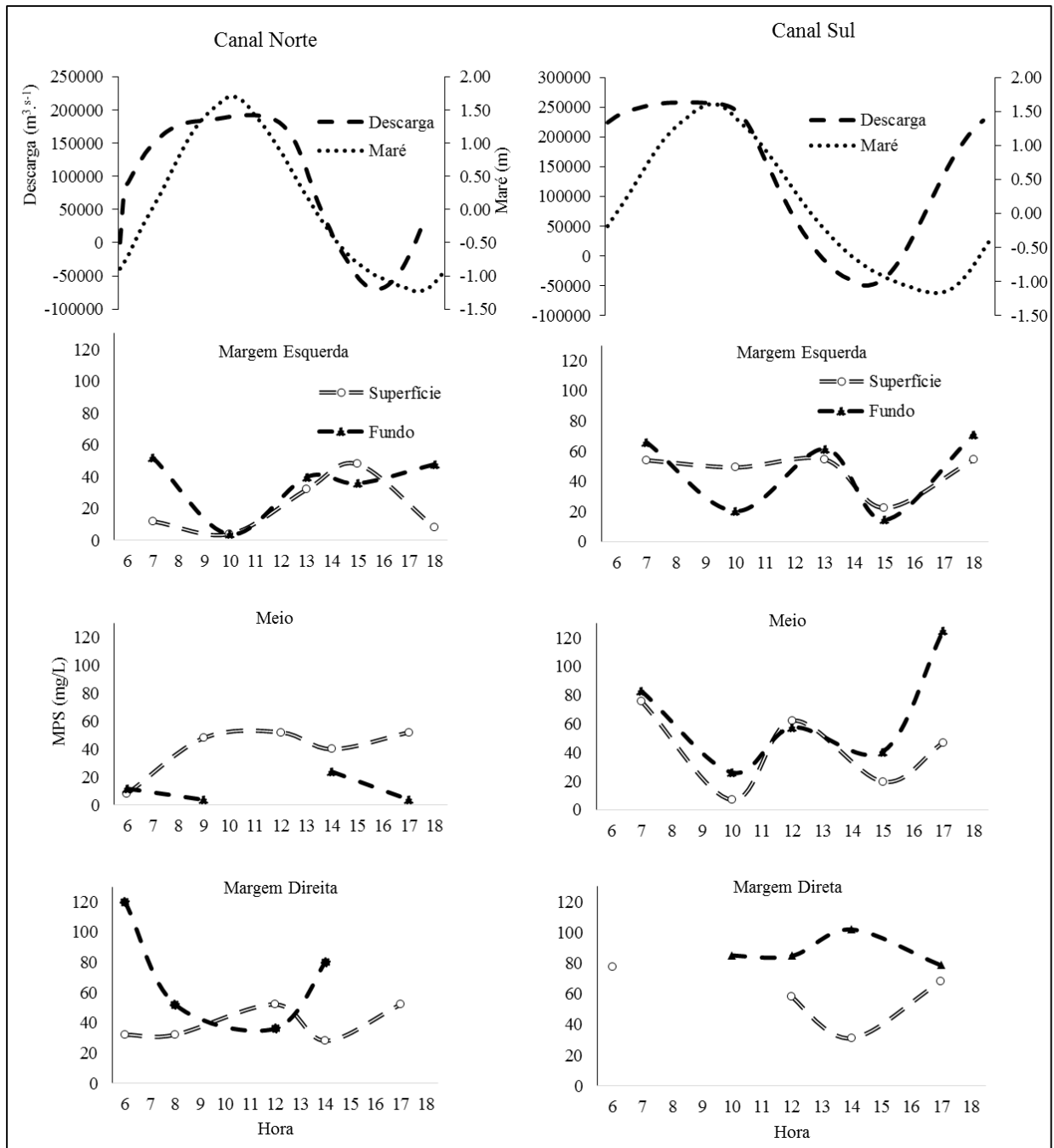
Figura 11- Concentração de MPS para cada estação dos canais Norte e Sul, período Seco.



No período de menor precipitação os valores de MPS apresentaram pouca diferença entre os canais, obtendo-se em média valores superiores em 4 mg/L na superfície e 0.4 mg/L no fundo para o canal Sul, em comparação aos resultados obtidos para o canal Norte. Quase em sua totalidade os maiores valores fazem menção ao fundo, com exceções no meio do canal

Norte e parcialmente na margem direita do canal Sul, observado maiores valores na superfície. De modo geral a concentração de MPS na superfície e no fundo apresetaram diferenças médias de 12 e 9 mg/L para os canais Norte e Sul respectivamente, está diferença não foi mais marcante em decorrência de valores semelhante entre superfície e fundo independente do estágio de maré e evidente em todas as estações dos canais. Os maximos valores de MPS para ambos os canais foram encontrados durande o estágio de enchente na margem direita do canal Norte (42mg/L) e margem esquerda do canal Sul (48mg/L).

Figura 12- Concentração de MPS para cada estação dos canais Norte e sul, período Chuvoso.



A concentração do MPS durante o período de maior precipitação exibiu significativa diferença entre os canais, ocorrendo superioridade do canal Sul apresentando valores médios na superfície de 14 mg/L e no fundo de 32 mg/L no fundo, maiores em comparação aos valores obtidos nas estações do canal Norte. Novamente é observado o padrão de maiores valores no fundo e de forma semelhante ao período oposto, o contrário é observado no meio do canal Norte, maiores concentrações de MPS na superfície e de forma clara quando comparado ao período seco. Neste período foi evidenciado maior distanciamento entre os dados de superfície e fundo, ocorrendo diferenças médias de (30 mg/L) e (24 mg/L) para os canais Norte e sul respectivamente. Os máximos valores de MPS foram encontrados na margem direita do canal Norte (120 mg/L) durante o estágio de enchente e no canal Sul (125 mg/L), no meio do canal durante o estágio de vazante, sendo que para o canal Norte o máximo encontrado, foi na mesma estação do período oposto.

Para os dois períodos e em ambos os canais não foi observado padrões na variação do MPS em função da descarga hídrica ou da maré, apenas eventuais picos e proximidades entre os dados de superfície e fundo. Em geral o período chuvoso apresentou maiores valores de MPS em comparação ao período seco, padrão característico da região Amazônica (GIBBS, 1967; GUYOT et al, 1994; FILIZOLA et al, 2011), entretanto, este aumento se deu de maneira desproporcional entre os canais ocorrendo maior variação sazonal no canal Sul, apresentando aumento médio de MPS em torno de 26 mg/L na superfície e 36 mg/L no fundo e no canal Norte este aumento ficou na ordem de 13 mg/L e 20 mg/L para a superfície e fundo, respectivamente.

A descarga hídrica apresentou clara diferença entre os estágios de maré ocorrendo substancial aporte para o Atlântico em comparação a entrada, estuário acima. Observando-se superioridade em média de 2 vezes maior durante o período Seco, em ambos os canais. No período oposto isto é mantido, no entanto em maior e diferentes escalas para cada canal no Canal Norte 3 vezes e no Sul 6 vezes maior a descarga média durante a vazante sobre a enchente. A discrepância entre a descarga entre os canais, também vista por GABIOUX et al., (2005), ficou bem visível onde no canal Sul foi observado valor máximo de  $257.0000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  enquanto que no canal Norte  $192.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ , sendo observado dominância média do canal Sul em  $35.000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  e  $43.0000 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  para os períodos Seco e Chuvoso, respectivamente.

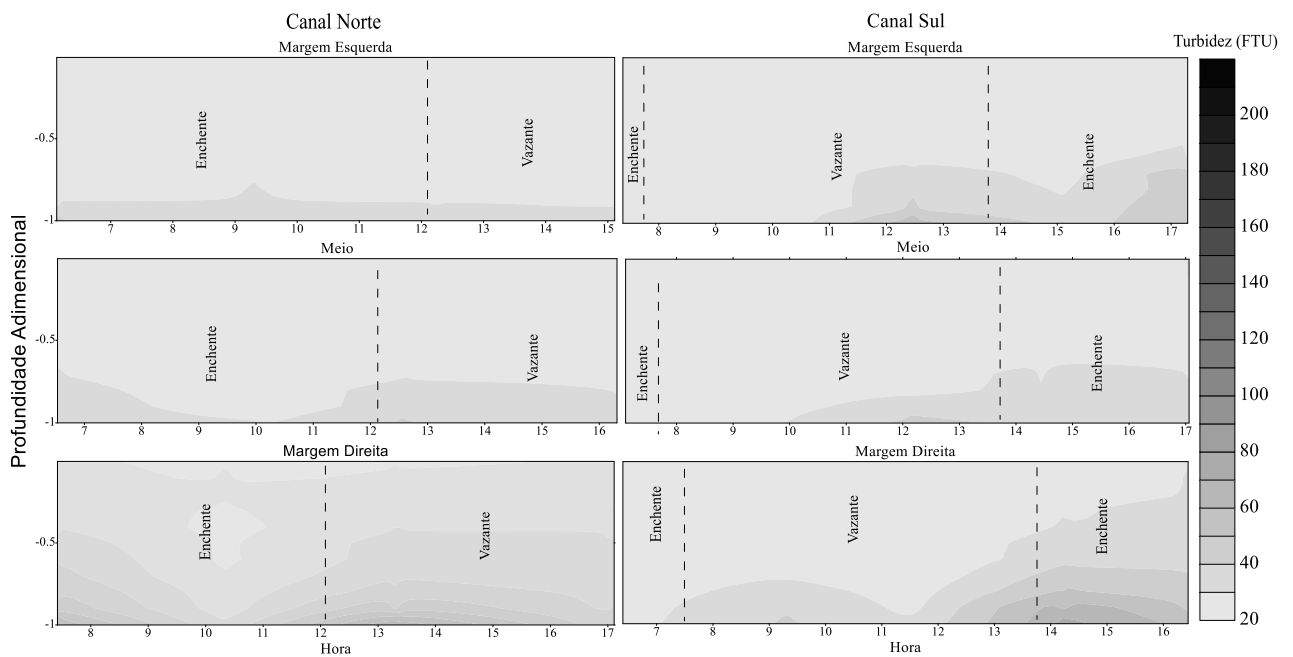
A intensificação da descarga é percebida na oscilação da maré onde, no período Seco a maré varia de forma contínua e durante o período Chuvoso ela sofre alteração ocorrendo, pontos de não variação do seu nível observado durante a preamar de ambos os canais. Perturbação também visualizada por Gallo (2004). A assimetria da corrente de maré também foi percebida

em ambos os períodos, sendo mais evidente no período chuvoso principalmente no canal Sul apresentando cerca de 3 horas de defasagem e no canal Norte aproximadamente 2 horas.

## 5.2 Turbidez

Os dados de turbidez, para os períodos Seco (Figura 13) e chuvoso (Figura 14), foram plotados em função da maré e profundidade (adimensional) e separados por canal.

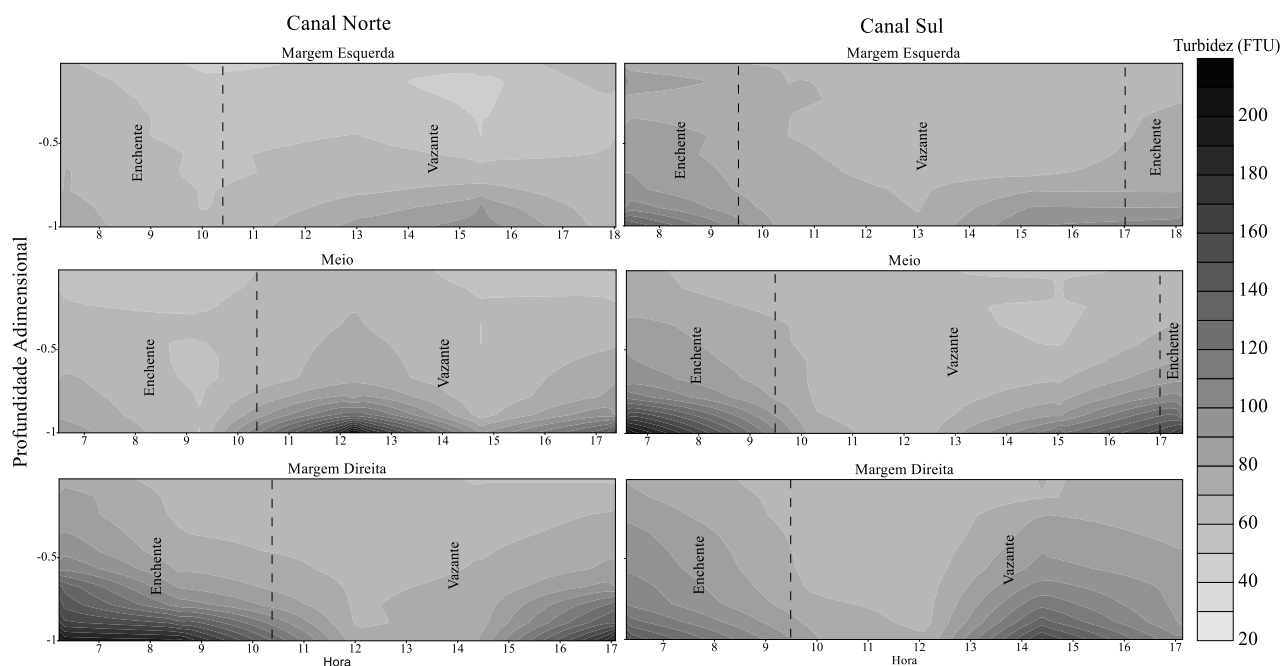
Figura 13- Turbidez nos Canais Norte e Sul em função da maré, período seco.



Para ambos os canais durante o período Seco, os níveis de turbidez não apresentaram evidente diferenças tanto ao longo da maré como ao longo do perfil vertical, percebível um leve aumento da turbidez com a proximidade do fundo e alguns picos principalmente durante o estágio de enchente no canal Sul e em menor escala na vazante do canal Norte.

Os canais entre si apresentaram resultados semelhantes onde encontrou-se valores gerais de turbidez: mínimos 20 (FTU) e 19 (FTU); médias de 27 (FTU) e 28 (FTU); máximos de 82 (FTU) e 88 (FTU) para os canais Norte e Sul respectivamente. Os máximos correspondem as margens direitas dos canais Norte e Sul, próximo ao fundo.

Figura 14- Turbidez nos Canais Norte e Sul em função da maré, período chuvoso.



Durante o período chuvoso em sua totalidade os dados de turbidez evidenciaram aumento com a proximidade do leito. Exibindo de maneira significativa e visualmente perceptível o aumento da turbidez neste período quando comparado ao período oposto. Para os valores obtidos no período chuvoso canais Norte e Sul respectivamente, foram observados valores gerais com: mínimos de 46 FTU e 55 FTU; médias de 73 FTU e 76 FTU; máximos de 243 FTU e 223 FTU, sendo que o máximo para canal Norte se refere a margem direita e para o canal Sul a região do meio, ambas durante a enchente

Entre os canais a semelhança entre os níveis de turbidez foi mantida, entretanto elevações ao longo dos estágios de maré são mais perceptíveis quando comparado ao período seco, ocorrendo tanto na enchente como na vazante para ambos os canais, períodos de intensificação da corrente de maré.

### 5.3 Transporte de MPS

Os resultados de transporte de MPS obtidos a partir dos dados de vazão gerados pelo modelo D-flow, foram separados de acordo com cada canal Norte e Sul e períodos Seco (Tabela 3) e Chuvoso (Tabela 4).

Tabela 3- Transporte de MPS (t/estagio de maré) para o período seco

Q <sub>ss</sub> /Canal	Norte	Sul
Vazante	49388	73202
Enchente	-25005	-31066
R <sub>QSS</sub>	24383	42136

Os dados referentes a transporte de MPS no período seco indicam uma constância no saldo positivo do transporte de MPS para o oceano atlântico, para ambos os canais com predominância do canal Sul, apresentando um transporte durante a Vazante e fluxo resultante aproximadamente 50 % maior em comparação ao canal Norte, em relação ao transporte durante a enchente o canal Sul também exibiu maior carga sedimentar, mas em menor magnitude 20 %.

Tabela 4- Transporte de MPS (t/estagio de maré) para o período chuvoso.

Q <sub>ss</sub> /Canal	Norte	Sul
Vazante	142667	226666
Enchente	-25816	-45453
R <sub>QSS</sub>	116851	181213

Para os dados referentes ao transporte de MPS no período Chuvoso, também foi mantida a constância no saldo positivo do transporte de MPS para o oceano, com preponderância novamente do canal Sul, para ambos os estágios. Apresentando em torno de 60 % maior em carga sedimentar durante a vazante e 20 % durante a enchente. Com relação ao fluxo resultante foi exibido um total de 55 % maior para o canal Sul.

De maneira geral os dados revelam um aumento significativo do MPS transportado em comparação aos períodos estudados, ocorrendo um aumento de médio de 4,5 vezes em ambos os canais.

## 6 DISCUSSÃO

O evidente aumento da concentração de MPS e turbidez em direção ao fundo é explicado pela interação do fluxo do rio com o substrato, causando movimentação do sedimento fino, processo comum a diferentes tipos de rios em substratos com mínimos de profundidade e sedimentos inconsolidado (GENSAC et al., 2016). Este padrão encontrado, efeito do processo de ressuspensão é bem característico da região, que apresenta elevada taxa de depósitos sedimentar, caracterizados por apresentar vários bancos lamosos (MEADE, 1985). A concentração de MPS no fundo é tão elevada a ponto de formar um fundo falso para equipamentos como ecobatímetros principalmente na desembocadura do canal Norte onde Gabioux (2005), identificou uma espécie de lama fluida, produto da elevada taxa de MPS próximo ao fundo que provavelmente também ocorre no canal Sul. A concentração de MPS elevada próxima ao fundo, influenciam na redução da dissipação de energia, o que afeta significativamente a propagação da onda de maré, facilitando sua entrada estuário acima (GALLO, 2004).

Por outro lado, foi verificado em algumas amostras a mistura vertical do MPS, resultado da elevação da descarga e diminuição da profundidade, ocasionando movimento do sedimento de fundo até próximo a superfície, sendo este processo mais evidenciado durante o período Seco, onde a lamina d'água possui menor altura.

A Particularidade encontrada no meio do canal Norte, observado maiores valores de MPS na superfície é explicado pela característica do ponto amostral, onde é observado a presença de uma ilha em processo de erosão, como está próximo à estação de coleta, sua presença causa atenuação da velocidade da corrente de maré criando uma região de sombra, principalmente durante a vazante e o processo de erosão desta barreira estaria fornecendo sedimento mais a superfície para o meio o canal.

Os valores de MPS máximos encontrados para o Canal norte em ambos os períodos, são referentes a margem direita, que também apresentou valores máximos nos resultados de turbidez, em decorrência da predominância no transporte de MPS por este local, visto por (GABIOUX et al., 2005).

O aumento do transporte sedimentar, taxa de turbidez e concentração do MPS durante o período de maior precipitação é característica comum em rios com clima semelhante ao rio Amazonas (FILIZOLA; GUYOT; BOAVENTURA, 1999. COSTA, 2014), onde taxa de precipitação causa transbordamento das margens provocando a lavagem de regiões terrestre adjacente, neste sentido muitos particulados alóctones são carreados para dentro do rio, principalmente em regiões de elevado desmatamento (REBOUÇAS, 2002). A interligação

intermitente durante a estação chuvosa entre alguns tributários que antes estavam desconectados ao rio Amazonas provoca um incremento substancial na carga hídrica e sedimentar transportada, com ênfase se estes tributários tiverem suas bacias voltadas para região andina que é a principal fonte de sedimento para o rio Amazonas, aportando quantidades significativas de MPS em decorrência da erosão rápida, produto do rápido escoamento do rio e incidência de chuvas nesta regiões (GIBBS, 1967). Em relação ao aumento no transporte de MPS durante o estágio de maré vazante e justificado pela assimetria de maré, onde o tempo de vazante é bem maior que o tempo de enchente (GALLO, 2004).

As visualizações das diferenças entre superfície e fundo e períodos seco chuvosos foram mais perceptíveis com análise dos dados obtidos com o sensor de turbidez, em decorrência da maior frequência de registros, a cada um segundo em comparação aos dados de MPS com frequência dada em horas, desta forma deixando estas discrepâncias mais claras.

A deformação da onda de maré e consequente assimetria da corrente maré é causada pela junção entre a diminuição da profundidade e intensificação da descarga fluvial (SCHETTINI; MIRANDA, 2010). Estas alterações foram evidenciadas principalmente no canal Sul, como produto da maior descarga apresentada por este canal em comparação ao canal Norte. As concentrações de MPS exibidas pelos canais não demonstraram elevada discrepância, entretanto a Descarga hídrica foi fundamental para a que o canal Sul obtivesse predominância no aporte de MPS, tendo em vista que para o cálculo foi considera que o MPS se movimentava concomitante a descarga hídrica. A preferência no aporte de água para o atlântico pelo canal Sul e explicada pela configuração geomorfológica da região, que tende a drenar a maior parcela de água que chega na foz do rio Amazonas, por este canal.

O somatório do transporte resultante ingressante pelos canais Norte e Sul na plataforma adjacente, gera uma pluma de baixa salinidade que se estende vários quilômetros no sentido noroeste sobre a plataforma. A pluma gerada pode ser rastreada levando consideração o MPS transportado ou apenas a diluição da água salgada, levando em consideração apenas a diluição é possível verificar uma pluma com 3 a 10 m de espessura e 80 a 200 km de largura com interferência de até 400 km da plataforma entre as isóbatas de 10 e 20 m (BEARDSLEY et al., 1995).

## 7 CONCLUSÃO

As propriedades mensuradas turbidez e MPS apresentaram comportamento comum aumentando com a proximidade do leito, com exceção do meio do canal Norte que apresentou comportamento inverso. Entre si os canais apresentam irrelevante variação para os dados de turbidez, não sendo verificada correlação entre estas propriedades com a maré apenas, alguns picos aleatórios ao longo dos estágios. Já nos dados de MPS foi verificada diferença entre os canais apenas, durante o período Chuvoso com superioridade do canal Sul apresentando valores médios na superfície de 14 mg/L e no fundo de 32 mg/L maiores que o canal Norte.

O período de maior precipitação apresentou efetividade no aumento dos valores de turbidez, MPS e descarga hídrica em correspondência a isto um acréscimo de 4,5 vezes em comparação ao período oposto, onde foi obtido um transporte médio entre os canais de 33.259 (t.estágio<sup>-1</sup>).

Ambos os canais apresentaram resultantes positivas, ou seja, sempre estão exportando sedimento. O canal Sul foi mais efetivo no transporte resultante de MPS apresentando valores 50% e 55% maiores em comparação ao canal Norte para os períodos Seco e Chuvoso respectivamente.

Para melhor caracterizar a variação das propriedades mensuradas ao longo da maré é recomendado que se faça coletas com maior número de amostras e melhor distribuídas ao longo da maré, a fim de diminuir a influência de dados esporádicos.

## REFERÊNCIAS

- ACEITUNO, P. On the functioning of the southern oscillation in the South America sector Part I: surface climate. **Monthly Weather Review**, v. 116, n. 3, p 505-524, 1988.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Dados de descarga**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/PortalSuporte/frmDadosEstacao.aspx>>. Acessado em 19 out. 2015.
- BAUMGARTEN, M. G. Z; ROCHA, J. M.; NIENCHESKI, L. F. H. **Amazon river plume: correlation with seasonal river discharge**. Continental Shelf Research. Manual de análises em oceanografia química. Rio Grande: FURG. 1996. 132p.
- BEARDSLEY, R. C.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; GEYER, W.R.; LENTZ, S.J.; CASTRO, B.M.; CACCHIONE, D. CARNEIRO. 100 The M<sub>2</sub> tide on the Amazon shelf. **Journal of Geophysical Research**. v. 100, n. C2, p. 2283-2319, Fev. 1995.
- BORBA, T. A. C.; ROLLNIC, M. Runoff quantification on Amazonian Estuary based on hydrodynamic model. **Journal of Coastal Research**, v.1, Especial Issue n. 75, p. 43-47, 2016.
- COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. **Transactions, Amer. Geophy. Union**. v.38, n. 5, p .708-719, 1957.
- COSTA, M. S **Aporte hídrico e do material particulado em suspensão para a Baía de Marajó**: contribuições dos rios Jacaré Grande, Pará e Tocantins. 2014. 83 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Pará, Programa de Pós-Graduação em Geologia, Belém, 2014.
- CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2001. 235p.
- DIONNE, J.C. Towards a more adequate definition of the St. Lawrence estuary. **Zeitschr. F. Geomorphology**, v. 7, n. 1, p. 36-44, 1963.
- ESPINOZA, J. C; GUYOT, J. L; RONCHAIL, J; COCHONNEAU, G.; FILIZOLA, N; FRAIZY, P; LABAT, D; NORIEGA, L; DE OLIVEIRA, E; ORDOÑEZ, J. J; VAUCHEL, P.. Contrasting regional runoff evolution in the Amazon basin (1974-2004). **Journal of Hydrology**, v. 375, n. 3, p 297-311, 2009.
- FERNANDES, R. D. **Teste metodológico para a redução de sondagens na foz do rio Amazonas**. 2006. x, 72 f. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia Rio de Janeiro, 2006.
- FIGUEROA, S.N.; NOBRE, C. Precipitation distribution over central and western tropical South America. **Climanálise**, v.5, n.6, p. 36-48, 1990.
- FILIZOLA N. **Transfert sédimentaire actuel par les fleuves Amazoniens**. 2003. 273f. Thèse (Doctorat) - Université de Toulouse III - Paul Sabatier. Toulouse, 2003.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J.-L.; WITTMANN, H.; MARTINEZ, J.-M.; OLIVEIRA, E. de. The Significance of suspended sediment transport determination on the Amazonian hydrological scenario. In: ANDREW, J.M. (edt.). **Sediment transport in aquatic environments**. Hardcover: InTech, 2011. Chapter 3, p. 45–64.

FILIZOLA, N.; GUYOT, J. L.; BOAVENTURA, G. Fluxo de sedimentos em suspensão na Amazônia: uma análise a partir da base de dados da ANEEL. In: SYMPOSIUM HYDROLOGICAL AND GEOCHEMICAL PROCESSES IN LARGE SCALE RIVER BASINS, 1., 1999, Manaus. [Conference]. Manaus, 1999. p. 9.

FITTKAU, E.J. Ökologische gliederung des Amazonas-gebietes auf geochemischer grundlage. Münster, Forsch. **Geologischies Paläontol**, v.20/21, p.35-50, 1971.

FRANZINELLI, E. Características morfológicas da confluência dos rios Negro e Solimões (Amazonas, Brasil). **Revista Brasileira de Geociências**, v. 41, n. 4, p. 587–596, 2011.

GABIOUX, M.; VINZON, S. B.; PAIVA, A. M. Tidal propagation over fluid mud layers in the Amazon shelf. **Continental Shelf Research**, v. 25, n. 1, p. 113-125, 2005.

GALLO, M. N., VINZON, S. B. Generation of overtides and compound tides in Amazon estuary. **Ocean Dynamics**, v. 55, n. 5-6, p.441 -448, 2005.

GALLO, M. N. A **Influência da vazão fluvial sobre a propagação da maré no estuário do rio Amazonas**. 2004. xii, 99 f. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

GENSAC, E.; MARTINEZ, J., M.; VANTREPOTTE, V.; ANTHONY, E. Seasonal and inter-annual dynamics of suspended sediment at the mouth of the Amazon river: the role of continental and oceanic forcing, and implications for coastal geomorphology and mud bank formation. **Continental Shelf Research**, Submitted March, 2016.

GEYER, W.R.; BEARDSLEY, R.C.; LENTZ, S.J.; CANDELA, J.; LIMEBURNER, R.; JOHNS, W.E.; CASTRO, B.M.; SOARES, I.D. Physical oceanography of the Amazon shelf. **Cont. Shelf Res.**, v. 16, n. 5–6, p. 575-616, 1996.

GIBBS, R. G. The Geochemistry of the Amazon river system: Part I. The factors that control the salinity and the composition and concentration of the suspended solids. **Geol. Soc. Amer. Bull**, v. 78, p. 1203 -1232, 1967.

GIBBS, R. J. Water chemistry of the Amazon river. **Geochimica et Cosmochimica Acta**, v. 36, n. 9, p. 1061–1066, 1972.

GUYOT, J. L.;BOURGES, J. ; CORTEZ, J. Sediment transport in the Rio Grande, an Andean river of the Bolivian Amazon drainage basin. Variability in stream erosion and sediment transport. In: OLIVE, L. J. ; LOUGHRAN, R.J.; KESBY, J. A. (ed.). **Variability in stream erosion and sediment transport**. Wallingford: International Association of Hydrological Sciences-IAHS Publ., 1994. p. 223-231. (n. 224).

GUYOT, J. L.; FILIZOLA, N.; QUINTANILLA, J.; CORTEZ, J. Dissolved solids and suspended sediment yields in the Rio Madeira basin, from the Bolivian Andes to the Amazon. In: AUTORES. **Erosion and sediment yield: global and regional perspectives**, Exeter. Local: Editor, 1996. p. 55-63.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados de precipitação**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acessado em 19 out. 2015.

KERNKAMP, H. W. J. et al. **Efficient scheme for the shallow water equations on unstructured grids with application to the Continental Shelf**. Ocean Dynamics. 2011., v. 61, n. 8, p. 1175–1188.

LIMINOTEC, Garrafas para coleta de água. Disponível em <http://www.limnotec.com.br/itm/garrafas-para-coleta-de-amostras-de-agua.html>. Acessado em 14 jul. 2015.

MARENGO, J. **Interannual variability of surface climate in the Amazon basin**. International Journal of Climatology, 12 (8), 1992.

MEADE, R. H. **Suspended Sediment in the Amazon River and its tributaries in Brazil, during 1982–1984**. US Geol. Survey Open File Report 85-492. US Geol. Survey, Denver, Colorado, USA. 1985.

MOLINIER M., GUYOT J.L., OLIVEIRA E., GUIMARÃES V. **Les Régimes Hydrologiques de L'amazone et de ses Affluents**. In: Chevallier P. & Pouyaud B. (eds.) L'hydrologie Tropicale: Géoscience et Outil Pour le Développement. Paris, IAHS, 1996. p. 209-222.

NITTROUER, C.A., WRIGHT, L.D. **Transport of particles across continental shelves**. Rev. Geophys. 32, .1994. p. 85–113.

OCEAN AND RIVER INSTRUMENTS, Sensor infinity-turbi. Disponível em <http://www.jfe-advantech.co.jp/eng/ocean/infinity/infinity-turbi.html>. Acessado em 14 out. 2015.

PRITCHARD, D. W. **Estuarine circulations patterns**. Proceedings of the American Society of Civil Engineers, 1955. v. 81, n. 717, p. 1-11.

REBOUÇAS, A. C. **Águas Doces no Brasil - Capital Ecológico, Uso e Conservação. 2.º Edição** Revisada e Ampliada. Escrituras. São Paulo. Organização e Coordenação científica. Capítulo 05 - Ecossistemas de Águas Interiores, 2002.

SCHETTINI, C. A. F.; DE MIRANDA, L. B. **Circulation and suspended particulate matter transport in a tidally dominated estuary: Caravelas Estuary, Bahia, Brazil**. Brazilian Journal of Oceanography, 2010. v. 58, n. 1, p. 1–11.

SCHIEMER, F. **Fish as indicators for the assessment of the ecological integrity of large rivers**. Hydrobiologia, 2000. v. 422, n. 0, p. 271–278.

SIOLI, H. **The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types.** SIOLI, H. (Ed.). The Amazon. Springer Netherlands, 1984. p. 127-165.

SISTEMA DE INFORMAÇÃO APLICADO AO SISTEMA DE GESTÃO AMBIENTAL (SISGA). Disponível em:<http://www2.inf.furb.br/sisga/educacao/ensino/mapaClima.php>. Acessado em 13 out. 2015.

SMITH, N. J. H. **Amazon Sweet Sea: Land, Life, and Water at the River's Mouth.** [S.l.]: University of Texas Press, 2010.