



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ



FACULDADE DE OCEANOGRAFIA



INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

GABRIELA SOUZA GOMES

**VARIAÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
NO RIO AMAZONAS NOS TRECHOS DE ALMEIRIM E GURUPÁ**

BELÉM - PARÁ

ABRIL - 2016

GABRIELA SOUZA GOMES

**VARIAÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO
NO RIO AMAZONAS NOS TRECHOS DE ALMEIRIM E GURUPÁ**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Oceanografia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, como requisito para a obtenção do grau de bacharelado em oceanografia.

Orientador: Msc. Maurício da Silva da Costa

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Rollnic.

BELÉM - PARÁ

ABRIL – 2016

FICHA CATALOGRÁFICA

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

Gomes, Gabriela Souza, 1992 -

Variação e transporte de material particulado em suspensão no rio Amazonas nos trechos de Almeirim e Gurupá / Gabriela Souza Gomes. – 2016
41 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias

Orientador: Maurício da Silva da Costa Coorientador:
Marcelo Rollnic.

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

1. Transportes de sedimentos. 2. Turbidez. 3. Amazonas, Rio. I. Título.

CDD 22 ed. 551.30309811

GABRIELA SOUZA GOMES

VARIAÇÃO E TRANSPORTE DE MATERIAL PARTICULADO EM
SUSPENSÃO NO RIO AMAZONAS NOS TRECHOS DE ALMEIRIM E
GURUPÁ

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado à Faculdade de
Oceanografia da Universidade Federal
do Pará – UFPA, como requisito para
a obtenção do grau de bacharelado
em oceanografia.

Data de aprovação: 27 / 04 / 16

Conceito: Bom

Banca examinadora:

Maurício da Silva da Costa

Maurício da Silva da Costa – Orientador

Mestre em Geologia e Geoquímica

Universidade Federal do Pará

Prof. Marcelo Rollnic

Prof. Marcelo Rollnic – Co-orientador

Doutor em Oceanografia

Universidade Federal do Pará

Sury de Moura Monteiro

Prof. Sury de Moura Monteiro

Doutora em Oceanografia Ambiental

Universidade Federal do Pará

Thaís Angélica da Costa Borba

Thaís Angélica da Costa Borba

Mestre em Geofísica Marinha

Universidade Federal do Pará

Dedico:

*À minha família, Mamí, Papi, Milena e aos meus quatro dogs.
A todos os meus amigos que agora fazem parte da minha família.*

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, que em toda sua grandiosidade sempre me mostrou os caminhos corretos a seguir, me protegendo e iluminando meus pensamentos, e dentre tantos cursos me encaminhou para esse lindo ramo da ciência.

Agradeço a minha família, que em momentos difíceis minha mãe sempre me dizia: Tenha força que você é mulher!!! Obrigada mamis, sem a senhora eu não seria nada, tenho enorme orgulho em ser sua filha, filha da dona Roseane, assim como de meu Pai, Benedito, obrigada pelo seu sempre 'Bom Dia', 'Boa prova', 'Como foi seu dia?' O senhor é um exemplo de homem e o homem da minha vida. E claro a minha irmã Milena, a pessoa que mais me conhece, que mais me aturou durante todo esse período conturbado, nossa amizade vem de outras vidas.

Ao meu Prof. Marcelo Rollnic que me abriu as portas para esse ramo do curso que eu tanto queria ter a oportunidade de conhecer, e que me aceitou em seu laboratório, o meu Muito Obrigado professor!! Nunca esquecerei do Laboratório de Oceanografia Física – LOF.

Ao meu orientador e amigo Maurício, obrigada pelos puxões de orelha, pelas neuroações, eu sei que tiveste muita paciência comigo, obrigada por sempre me ajudar quando eu precisei e pela sinceridade em falar que o que escrevia não fazia sentido. És uma excelente pessoa, obrigada por não desistir de mim!

Aos meus amigos Lofianos (Carol, Kevin, Leandro, Ian, Adriel) pelas inúmeras risadas, pelo companheirismo, e pelos vários cafés da vida, é nós galera!! E aos Geofianos (Thaís, Arthur, Yuri, Renan) que direta ou indiretamente sempre ajudavam.

A minha amiga mais que especial Pamela, você não existe mana, obrigada por todos os conselhos, pela força e por sempre se fazer presente nos momentos bons e ruins dessa nossa vida corrida, nossa amizade vai além dessa graduação, então que venham mais e mais momentos juntas!!

Aos meus amigos de curso da turma 2012, que foram de fundamental importância para que eu chegasse até aqui, somos todos uma família, e perto ou longe espero que nossa amizade vá longe!! Ei Thiago, tu és demais viu, valeuzão por toda a força. Lizandra, Rafaela, Paulo, Arthur tamo junto pro der e vier!!! Amo vocês.

“Deus ao mar o perigo e o abismo deu,
Mas nele é que espelhou o céu”.

Fernando Pessoa

RESUMO

O rio e sua bacia de drenagem constituem uma unidade funcional para o ciclo da água e estabelecimento de balanços sedimentares. Os rios da Bacia Hidrográfica da Amazônia são responsáveis por exportar para o oceano uma grande quantidade de materiais dissolvidos e particulados. Com isso, o objetivo deste trabalho foi de verificar se há um padrão sazonal no transporte de material particulado em suspensão (MPS), determinando como eles estão distribuídos na coluna d'água, em dois trechos do rio Amazonas, municípios de Almeirim e Gurupá. Ao longo de quatro anos (2010, 2011, 2012 e 2014) foram realizadas campanhas (períodos seco e chuvoso em Almeirim e uma no período chuvoso em Gurupá, 2014). Foram feitos perfis verticais na coluna d'água nas margens direita, esquerda e meio do rio Amazonas. Para análise do parâmetro de turbidez foi utilizado um aparelho OBS (Optical Backscatter Sensor) e para se determinar a concentração de material particulado em suspensão (MPS) foi feita coleta de água através de garrafa tipo Van Dorn, porém apenas nos anos de 2013 e 2014. Os valores mínimos e máximos de turbidez, variaram de 20 a 138 FTU, em Almeirim, no período seco, e de 20.5 a 231.4 FTU no período chuvoso, e em Gurupá no período chuvoso foi de 75 a 291 FTU. A quantificação mínima e máxima de MPS oscilou entre 20 e 208 mg/L em Almeirim e 20 a 388 mg/L em Gurupá. O transporte MPS nos dois trechos do rio teve um comportamento de exportação de sedimentos em direção à foz do rio Amazonas, tendo um máximo de transporte em Almeirim de 17 toneladas por segundo e uma resultante por ciclo de maré de 236 236.566 toneladas, enquanto que em Gurupá foi de 22,27 toneladas por segundo e resultante de 227.380,7. As distribuições espaciais da turbidez e do MPS, apresentaram um comportamento sazonal distinto entre os anos de coleta, com maiores valores durante o período chuvoso, no fundo do rio, durante maré de enchente, nos dois períodos estudados. Portanto, pôde-se verificar que nos dois trechos do rio Amazonas, Almeirim e Gurupá, apresentaram um padrão de transporte de distribuição sazonal de sedimento, que foram diretamente influenciados pela pluviosidade local, ocorrência do fenômeno da La Niña, vazão dos rios, e a componente maré atuando na intensificação e/ou atenuação na distribuição dos parâmetros de turbidez e MPS na coluna d'água (superfície e fundo).

Palavras-chave: Bacia Hidrográfica da Amazônia. Turbidez. Descarga hídrica.

ABSTRACT

The river and its watershed constitute a functional unit to the water cycle and establishing sedimentary balances. The rivers of the Amazon Basin are responsible for export to the ocean a lot of materials inside the erosion process, both in dissolved form and in particulate form. Thus, the aim of this study was to check if there is a seasonal pattern in the transport of particulate matter suspended (SPM), determining how they are distributed in the water column, in two stretches of the Amazon River near the municipalities of Almeirim and Gurupá. Over four years (2010, 2011, 2012 and 2014) campaigns were carried out in dry and rainy seasons in the municipality of Almeirim and a campaign in the rainy season in the city of Gurupá (2014), and only in the 2012 campaign was conducted during spring tide, the others were during neap tide. vertical profiles were made in the water column on the right, left and middle of the Amazon River. To analyze the turbidity parameter we used an OBS (Optical Beckscatter Sensor) sensor and for determine to the concentration of suspended particulate matter (SPM) was taken collecting water and your quantification was performed using gravimetric method, but only for the years 2013 and 2014. The results in all campaigns were analyzed, compared, and associated rainfall, flow and the tide. The minimum and maximum values of turbidity, ranged 20-138 FTU in Almeirim, in the dry season, and 20.5 to 231.4 FTU in the rainy season, and the rainy season was Gurupá 75-291 FTU. The minimum and maximum quantization MPS ranged between 20 and 208 mg / L in Almeirim, 20 to 388 mg / L Gurupá. MPS transport in the two sections of the river had an export behavior of sediment toward the mouth of the Amazon River, with a maximum of transport in Almeirim 17 tons per second and a resulting by tidal cycle of 236,566 tonnes, while in Gurupá it was 22.27 tonnes per second, resulting from 227,380.7. the spatial distributions of turbidity and MPS showed a distinct seasonal pattern between the years of collection, with higher values during the rainy season, in the bottom of river during flood tide, in both periods. Therefore, one can see that in the two sections of the Amazon River, Almeirim and Gurupá showed a pattern of seasonal sediment distribution transport, which were directly influenced by local rainfall, the occurrence of La Niña, river flows, and tide component acting in the intensification and / or attenuation in the distribution of turbidity and MPS parameters in the water column (surface and bottom).

Keywords: Amazon Basin Hydrographic. Turbidity. Water discharge.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1- Mapa de localização da área de estudo, em vermelho estão os transectos feitos nas margens direita, esquerda e meio do rio Amazonas, nos trechos dos municípios de Almeirim e Gurupá..... 15
- Figura 2- A Bacia Amazônica com suas 4 principais unidades morfoestruturais (1- Cadeia Andina; 2-Escudo das Guianas; 3 - Escudo Brasileiro e 4 - Planície fluvial) e seus principais cursos d'água. 17
- Figura 3- Precipitação acumulada de março, agosto e a anual com base na Normal climatológica..... 18
- Figura 4- Gráficos de pluviosidade da estação de Óbidos, no rio Amazonas, ao longo dos anos de 2010, 2011, 2012 e 2014, com setas em vermelho destacando os meses de coleta..... 19
- Figura 5- Rede Hidrológica da Bacia Amazônica e seus principais tributários.....20
- Figura 6- Hidrogramas médios do Rio Amazonas em Óbidos, no Rio Madeira em Porto Velho, no Rio Negro em Manaus e no Rio Solimões em Manacapuru. A banda azul representa o desvio padrão da vazão média do Rio Amazonas..20
- Figura 7- Turbidez nos anos de 2010 (figura da esquerda) e 2011 (figura da direita) em Almeirim, para o período seco. (A) Margem direita, (B) Meio, (C) Margem esquerda..26
- Figura 8- Turbidez nos anos de 2012 (figura da esquerda) e 2014 (figura da direita), em Almeirim, para o período chuvoso. (A) Margem direita, (B) Meio, (C) Margem esquerda.27
- Figura 9- Turbidez no ano de 2014 em Gurupá, para o período chuvoso. (A) Margem direita, (B) Meio, (C) Margem esquerda29
- Figura 10- Concentração de MPS (mg/L) ao longo sessões nas margens esquerda (ME), direita (MD) e meio (M), na superfície e no fundo, trecho de Almeirim em 2013 (A) e 2014 (B)..31
- Figura 11- Concentração de MPS (mg/L) ao longo de sessões nas margens esquerda (ME), direita (MD) e meio (M) na superfície e no fundo, trecho de Gurupá em 2014.32

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVOS	14
2.1	Geral	14
2.2	Específicos	14
3	ÁREA DE ESTUDO	15
3.1	Geologia	15
3.2	Geomorfologia	16
3.3	Clima	17
3.4	Hidrografia	19
4	MATERIAL E MÉTODOS	22
4.1	Procedimento de amostragem	22
4.2	Procedimento em laboratório	22
4.2.2	Transporte de Volume	23
4.2.3	Transporte de Material Particulado em Suspensão	24
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
5.1	Turbidez	26
5.2	Material Particulado em Suspensão	30
5.3	Transporte de MPS	33
6	CONCLUSÃO	36
	REFERÊNCIAS	37

1 INTRODUÇÃO

A Bacia Amazônica é caracterizada por extensas áreas, que se estendem desde as cadeias andinas até sua foz, no Oceano Atlântico (STRASSER, 2002). A região amazônica é marcada por uma grande quantidade de rios e afluentes, que desempenham um papel importante na navegabilidade, na economia local e, em muitos casos, são a única via de transporte e/ou comunicação dos ribeirinhos (COSTA, 2014).

Essa região é caracterizada por apresentar altas concentrações de material particulado em suspensão (MPS), sendo responsável por exportar de $600-800 \cdot 10^6$ ton. ano⁻¹ em direção ao oceano, de acordo com estimativa feita por Filizola e Guyt (2009). Esse MPS pode ser tanto autóctone quanto alóctone de áreas adjacentes ao canal principal do rio Amazonas, trazidos pelos diversos afluentes que compõem essa bacia.

Nas proximidades dos municípios de Almeirim e Gurupá, no rio Amazonas, devido a quantidade de concentração de material orgânico-mineral em suspensão as águas podem ser classificadas como águas brancas (SIOLI, 1984), esse material é transportado para o estuário pelos numerosos rios, e exemplos de rios de águas brancas são o Solimões, Madeira, Juruá e Purus (Agência Nacional de Águas - ANA, 2016).

A cor dessas águas interfere em um parâmetro denominado de turbidez, que é a medida da dificuldade de um feixe de luz em atravessar certa quantidade de água, causada pela quantidade de material em suspensão (SOUZA, 2008).

Esse MPS é composto por sedimentos de silte e argila e nos meses mais chuvosos à média da carga em suspensão próxima a foz do rio atinge valores de 125 mg/L (GIBBIS, 1967). O seu transporte é governado por fatores hidrológicos como maré, descarga fluvial e pluviosidade (FERNANDES, 2001).

Esses rios sofrem influência direta de fatores ambientais que regulam o clima nessa região, sendo a pluviosidade o principal deles. Além disso, em uma menor escala de tempo, a maré também exerce influência considerável sobre o comportamento dos materiais particulados em suspensão (SCHOELLHAMER, 2002; UNCLES, 1994), principalmente em áreas próximas ao estuário do rio Amazonas, pois ela atua na mistura das massas d'água, sedimentos e nutrientes desses ambientes estuarinos (PERILLO, 1995).

Nesse contexto, nas proximidades de Almeirim e Gurupá o rio pode ser classificado como “rio com maré”, pois ele possui diversas características morfológicas e sedimentologias de estuários, onde as ondas de maré se propagam por distâncias consideráveis (WELLS, 1995). De modo que a circulação das águas de um estuário depende diretamente das condições hidrodinâmicas geradas pela combinação ou predominância da descarga de água doce, propagação da onda de maré e pela influência do vento (DYER, 1995; GEYER 1997).

A área de estudo se encaixa em uma zona de transição (fluvial-marinho), caracterizada pelo aporte fluvial e pela oscilação da maré, sendo que o trecho localizado nas proximidades do município de Almeirim está nessa zona mais fluvial e o do município de Gurupá está mais na zona com maior influência da maré, em uma zona de mistura de águas, e devido essa diferença ocorre uma grande variação na turbidez e no material particulado da área. Dessa forma, a importância deste trabalho está na verificação do parâmetro hidrodinâmico, balanço sedimentar da área, que pode inferir modificações morfológicas na região ao longo da estação seca e chuvosa.

Assim, o objetivo deste trabalho é verificar se há um padrão sazonal no transporte de material particulado em suspensão e na turbidez, determinando como eles estão distribuídos na coluna d'água.

2 OBJETIVOS

2.1 Geral:

Verificar se há sazonalidade na concentração de material particulado em suspensão (MPS) e na turbidez no rio Amazonas determinando como eles estão distribuídos ao longo da coluna d'água, nos municípios de Almeirim e Gurupá, no Baixo Amazonas.

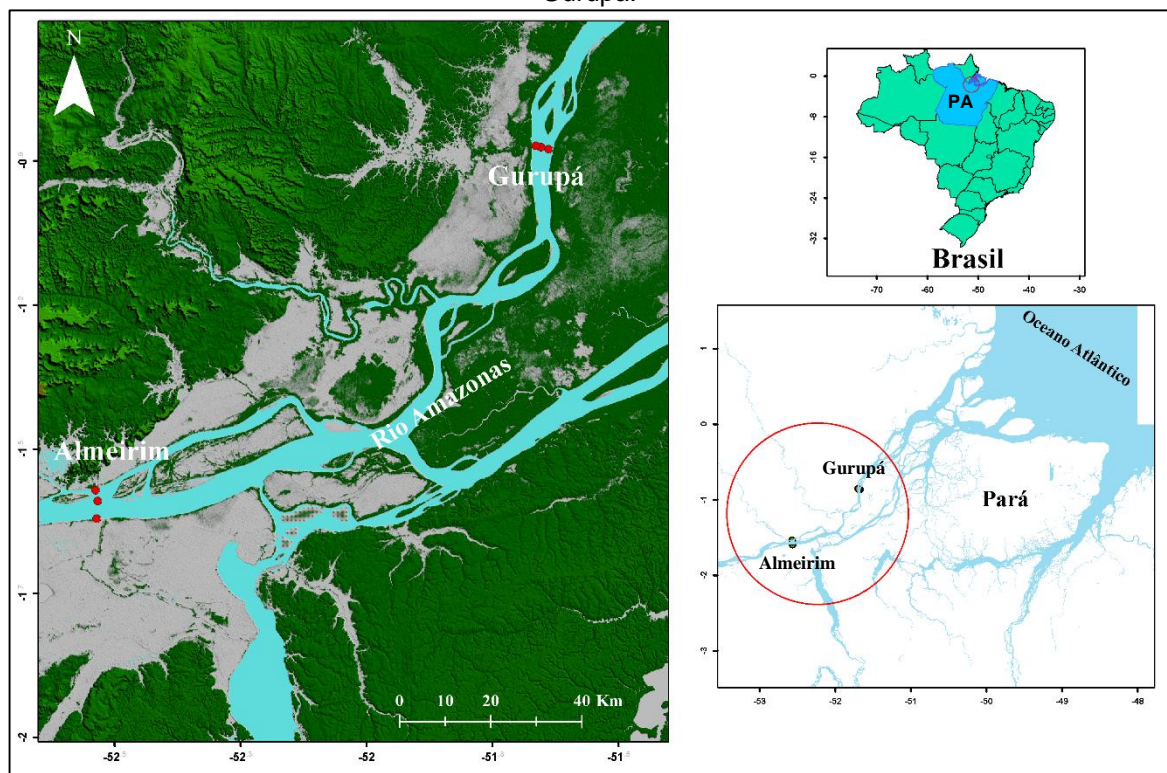
2.2 Específicos

- ✓ Análise dos perfis verticais de turbidez ao longo de um ciclo de maré;
- ✓ Determinar o transporte de volume;
- ✓ Determinar o transporte de MPS;
- ✓ Variação interanual da turbidez;
- ✓ Verificar se existe diferença espacial, entre os dois trechos do rio;

3 ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo está localizada no Baixo Amazonas, entre os municípios de Almeirim e Gurupá, no oeste do Estado do Pará (Figura 1). Os municípios de Almeirim (-1.600723° latitude e -52.565193° longitude) e Gurupá (-0.865303° latitude e -51.655054° longitude) fazem limite ao Norte com o Estado do Amapá e ao Sul com o município de Porto de Moz.

Figura 1- Mapa de localização da área de estudo, em vermelho estão os transectos feitos nas margens direita, esquerda e meio do rio Amazonas, nos trechos dos municípios de Almeirim e Gurupá.



Fonte: Do autor.

3.1 Geologia

A Bacia Amazônica possui mais de $6.000.000 \text{ km}^2$, formada pelo rio Amazonas e seus tributários, com uma vasta área de inundação, que representa cerca de 17% da área da bacia (MELACK et al., 2004). A Bacia sedimentar da foz do rio Amazonas é constituída pelos Grabens de Limoeiro e Mexiana e pelas Plataformas continentais do Pará e Amapá (TANCREDI, 1986). É limitada a noroeste pelo Escudo das Guianas e a sudeste pelo Escudo Central Brasileiro. Entre esses dois escudos, situa-se o Arco de Gurupá, que separa a Bacia do Marajó da Bacia Paleozóica do Baixo Amazonas e o Arco Tocantins que separa a Bacia do Maranhão (SCHALLER et al., 1971).

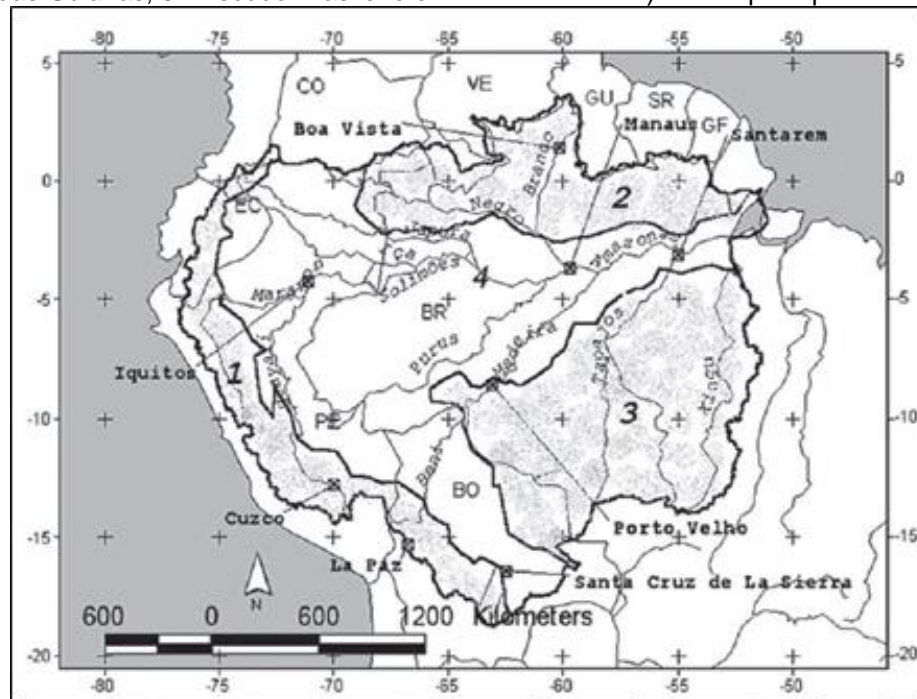
O Planalto Rebaixado da Amazônia, também chamado de Planalto do Baixo Amazonas, é constituído por sedimentos terciários e quaternários do Grupo Barreiras/Pós-Barreiras, e a Planície Amazônica é formada por sedimentos holocênicos lamosos e arenosos, e corresponde a um relevo plano de suave gradiente topográfico e altitudes entre 2 e 6 m (VALERIANO; ROSSETTI, 2007).

Nesta região amazônica está inserido os municípios de Almeirim e Gurupá, sendo que o primeiro apresenta em seu arcabouço geológico rochas do Pré-Cambriano e na porção mediana de seu território, é constituído por uma extensa faixa com direção geral SW-NE, onde estão expostos os sedimentos paleozoicos da Bacia Amazônica (IDESP, 2014). No município de Gurupá, a sua estrutura geológica corresponde à mesma da ilha de Marajó que é representada, predominantemente, por sedimentos aluvionares inconsolidados, constituídos de areia fina, de idade quaternária, em toda a ilha de Gurupá; e restos de sedimentos terciários da Formação Barreiras, localizados ao sul do município. O relevo dessa estruturação é inexpressivo, representado, em suas formas, pelos baixos terraços e várzeas, que morfoestruturalmente, se inserem na unidade da Planície Amazônia (IDESP, 2014).

3.2 Geomorfologia

Na Bacia Amazônica podem ser destacadas quatro importantes regiões geomorfológicas, a Cadeia Andina, o Escudo das Guianas, o Escudo Brasileiro e a Planície fluvial apresentadas na Figura 2.

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



Fonte: Modificado de Filizola (2003).

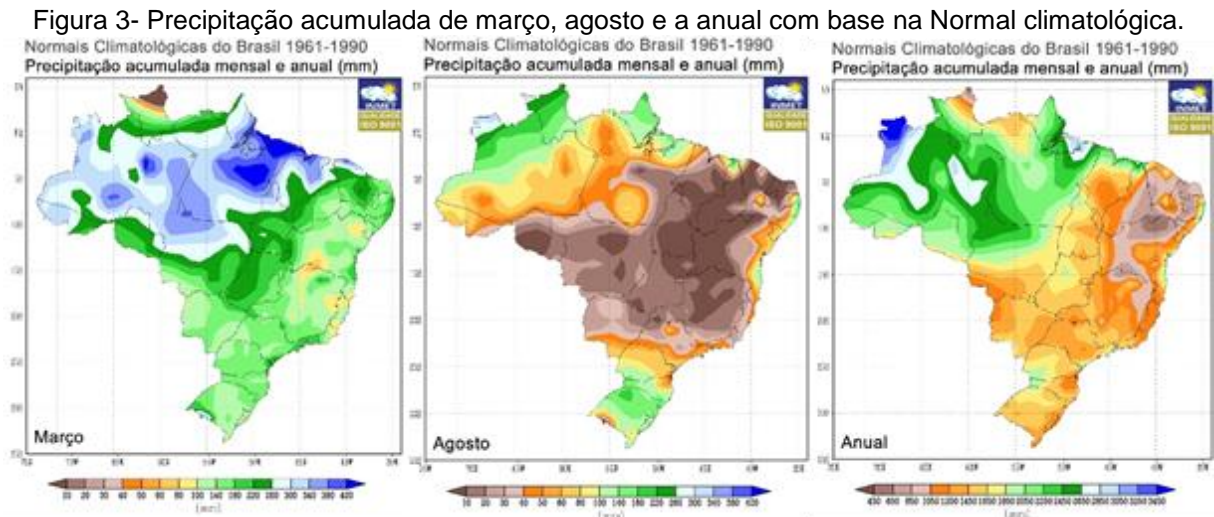
As regiões do médio e baixo Amazonas são caracterizadas por extensas planícies de inundação, as quais têm formação relacionada à flutuação do nível do mar durante o período Pleistoceno (IRION, 1997) e ao processo de soterramento de sedimentos compactados (DUNNE et al., 1998). Somente ao longo do canal principal do rio Amazonas esses sistemas podem atingir uma área em torno de 100.000 Km² (SIPPEL; MELACK et al., 1998). Subdivide-se, segundo Barbosa et al. (1974) em zonas de influência fluvial, que correspondem à planície aluvial, em zonas de influência estuarina e marinha, relativas à planície costeira.

3.3 Clima

As regiões encontram-se sob características gerais de clima quente e úmido. Em geral, tem-se o "período seco" (de julho a outubro) e o "período chuvoso" (de dezembro a maio). A região amazônica tem uma precipitação média da ordem de 2200 mm.ano⁻¹ (ANANIAS, 2010; ESPINOZA et al., 2007).

Nos mapas da figura 3 é possível verificar o quanto a precipitação dessa região amazônica é bem marcante entre os períodos chuvoso e seco, sendo que os meses escolhidos foram os mesmos do período da coleta de dados, com o mês de março apresentando uma variação de 300 a 380 mm e o mês de agosto de 40 a 80 mm. A

precipitação acumulada anual da região está entre 2050 e 2450 mm (Figura 3) (Instituto Nacional de Meteorologia-INMET, 2016).

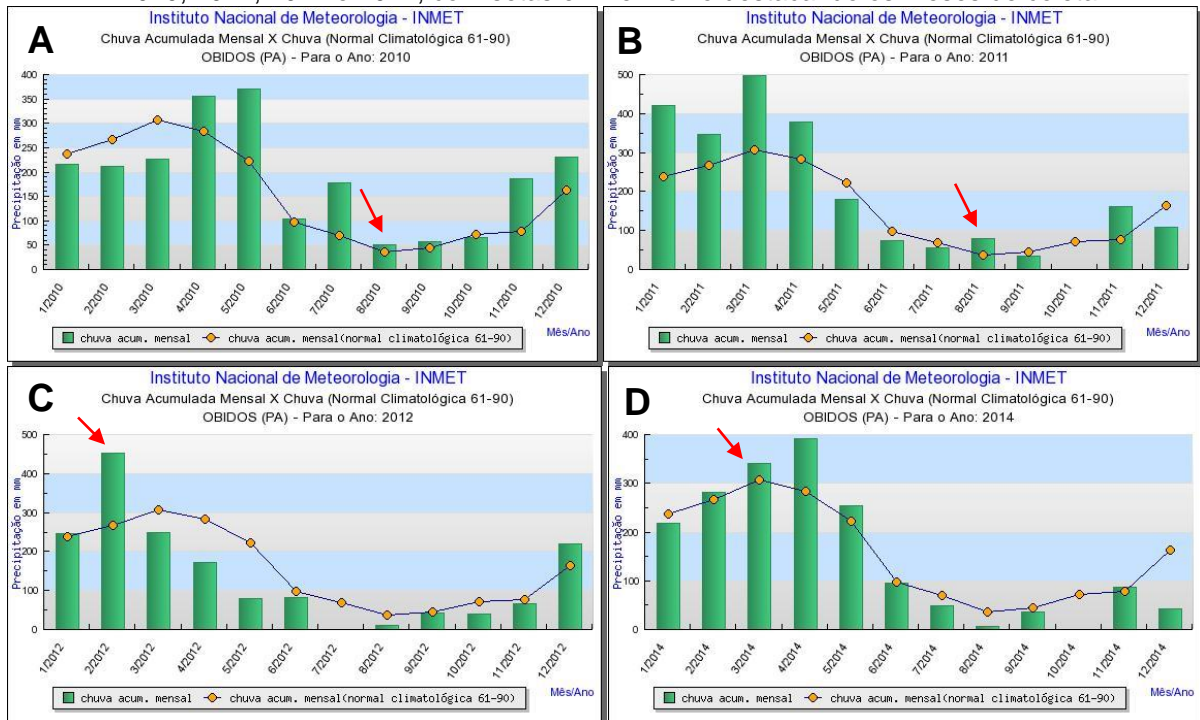


Fonte: INMET (2016).

Esse caráter sazonal da região amazônica pode ser observado também nos gráficos da figura 4 (A, B, C, D). A estação de Óbidos é bem próxima da área de estudo e pode-se perceber que no primeiro semestre de 2010 (Figura 4 A) a precipitação ficou abaixo da normal climatológica (NC) nos três primeiros meses, e no final do segundo semestre ela aumentou, tendo valores acima da NC, pois choveu mais do que o esperado. Esses altos valores de precipitação seguiram até no primeiro semestre de 2011 (Figura 4B), porém começaram a ter uma diminuição a partir do mês de maio.

No final de 2011 a precipitação reduziu bastante, sendo que o mesmo comportamento foi verificado até em 2012 (Figura 4C), que só apresenta um mês com precipitação acima da NC (fevereiro), o que pode ser explicado pelo fenômeno denominado de La Niña, registrado como de intensidade fraca nesse período (University Corporation for Atmospheric Research-UCAR, 2016), porém que ainda sim influenciou no aumento da precipitação nesse mês. O ano de 2014, começou com baixos índices de precipitação, porém no período de coleta, mês de março, ele esteve com um índice acima da NC (Figura 4D).

Figura 4- gráficos de pluviosidade da estação de Óbidos, no rio Amazonas, ao longo dos anos de 2010, 2011, 2012 e 2014, com setas em vermelho destacando os meses de coleta.



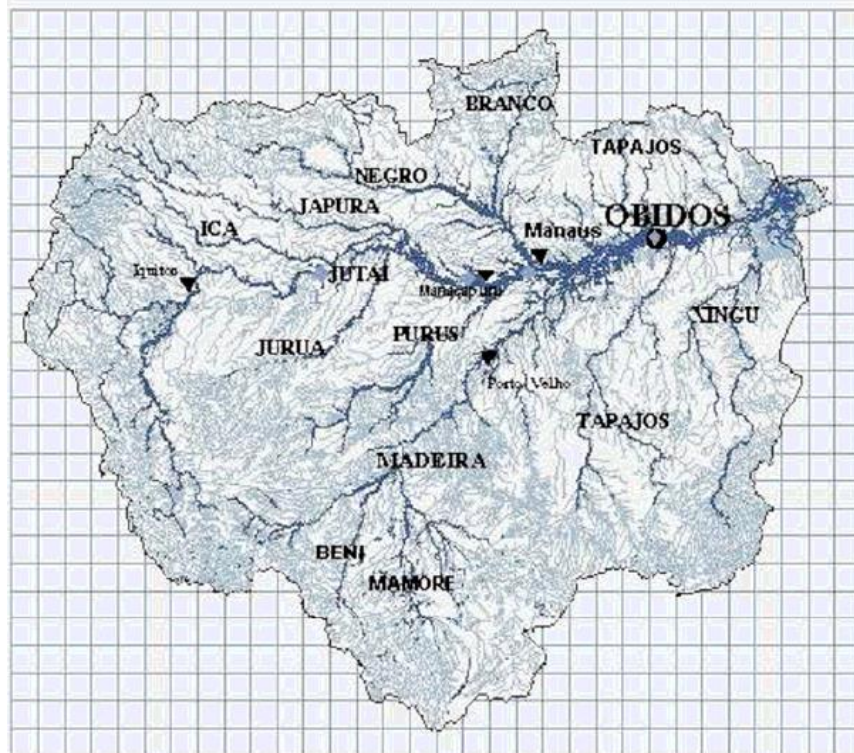
Fonte: INMET (2016).

3.4 Hidrografia

A Região Hidrográfica Amazônica é constituída pela bacia hidrográfica do rio Amazonas, pelas bacias dos rios existentes na Ilha de Marajó, além dos rios situados no Estado do Amapá que deságuam no Atlântico Norte, perfazendo um total de 3.870.000 km² (ANA, 2016).

O rio Amazonas é o maior e mais largo rio do mundo, com largura média de 5 km (PEREZ, 2008), e seus tributários são acompanhados ao longo de seu médio e baixo curso por largas planícies de inundação que cobrem uma área de mais ou menos 300.000 km² (Figura 5). Estes locais são chamados de “várzea” e “igapó” (KLINGE et al., 1990; IRON, 1997).

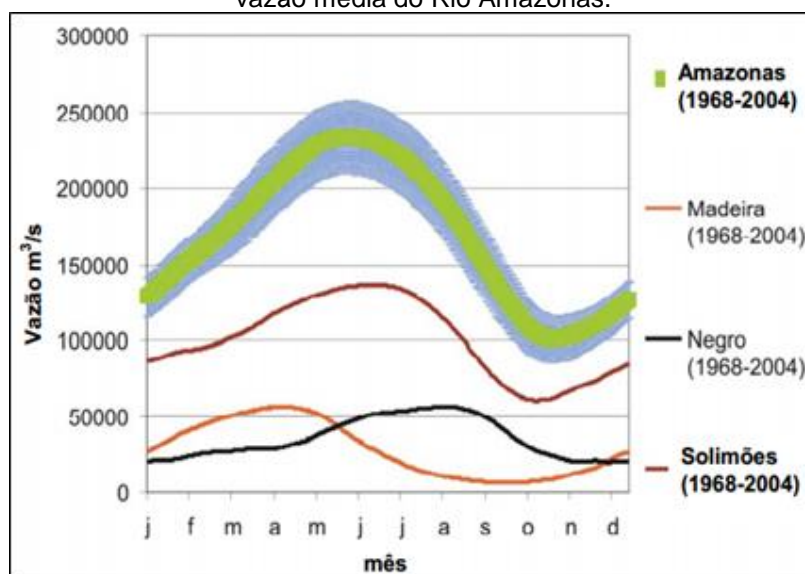
Figura 5- Rede Hidrológica da Bacia Amazônica e seus principais tributários.



Fonte: Barroux (2006).

Os três maiores afluentes do Rio Amazonas são os rios: Solimões, Negro e Madeira (PEREZ, 2008). Os níveis das águas destes rios apresentam hidrogramas monomodais com uma pequena defasagem entre eles ao longo do tempo, como mostrado na figura 6 (CALLÈDE et al., 2004; MOLINIER et al., 1997; SIOLI, 1968).

Figura 6- Hidrogramas médios do Rio Amazonas em Óbidos, no Rio Madeira em Porto Velho, no Rio Negro em Manaus e no Rio Solimões em Manacapuru. A banda azul representa o desvio padrão da vazão média do Rio Amazonas.



Fonte: Modificado de Barroux (2006); Dados adquiridos pela ANA (1968 - 2004).

Dependendo da estação do ano, a área coberta pelo Rio Amazonas e seus afluentes pode aumentar, sendo que em média na estação seca, 110.000 km² estão submersas, enquanto que na estação das chuvas essa área chega a ser de 350.000 km².

Os rios Tapajós e Xingu têm um comportamento hidrológico similar, sendo as vazões médias comparáveis e as cheias produzidas nos mesmos períodos (Tabela 1). Já, as vazões do rio Amazonas são maiores em uma ordem de magnitude, com as cheias atrasadas de um a dois meses em relação aos rios afluentes.

Tabela 1 – Vazões máximas, médias e mínimas do período 1992-2002

Vazões (m ³ /s)	Amazonas	Tapajós	Xingu
Média	167830	10831	8937
Máxima	268000	23930	27638
Mínima	61500	3842	1133

Fonte: (ANA, 2016).

No município de Almeirim, o rio Amazonas é a principal feição formada por um único canal, com mais dois afluentes da margem esquerda do Amazonas, os rios Paru de Este e Jari. No município de Gurupá, o rio Amazonas o subdivide em dois grandes canais: o Canal Norte e o Canal Sul, que circundam a ilha Grande do Gurupá e formam diversas ilhas (IDESP, 2014).

4 MATERIAL E MÉTODOS

4.1 Procedimento de amostragem

Para a realização deste trabalho, foram utilizados dados do Projeto AMAZON, no qual foram feitas campanhas ao longo de quatro anos nas proximidades dos municípios de Almeirim (duas no período seco- 2010 e 2011 e duas no chuvoso- 2012 e 2014) e em Gurupá (uma no período chuvoso- 2014) (Tabela 2), devido a logística de campo e custos de viagem, no trecho de Gurupá foi realizada apenas uma campanha para a coleta de dados de turbidez.

Tabela 2- Locais de coleta com as respectivas datas das campanhas, com o tipo de maré, período do ano e o x marca quais dados foram coletados de turbidez e MPS.

Local	Data	Maré	Período	OBS	MPS
Almeirim	03/08/2010	Quadratura	Seco	x	
	24/08/2011	Quadratura		x	
	11/02/2012	Sizígia	Chuvoso	x	
	16/03/2013	Quadratura			x
	21/03/2014	Quadratura		x	x
Gurupá	24/03/2014	Quadratura		x	x

Fonte: Do autor.

Foram feitos perfis verticais ao longo da coluna d'água, para a aquisição dos dados de turbidez, através de um sensor OBS (Optical Beckscatter Sensor) da marca Infinity-Turbi ATU75W-USB com uma taxa de medição a cada 1 segundo. Foi utilizada a unidade FTU (Formazine Turbidity Unit), no qual é o mais apropriado de se utilizar em locais onde se tenha baixas concentrações (menor que 1000 FTU).

As amostras de água para determinação de concentração de MPS foram coletadas ao mesmo tempo que as de turbidez, porém apenas nos anos de 2013 e 2014 em Almeirim e em Gurupá apenas em 2014, nas margens direita (MD), esquerda (ME), e no meio do rio (M), em superfície e próximo ao fundo, com uma garrafa do tipo Van Dorn, ao longo de 13 horas, durante um ciclo de maré. As amostras foram armazenadas em garrafas plásticas, devidamente identificadas, para posterior filtragem.

4.2 Procedimento em laboratório

O material particulado em suspensão (MPS) foi quantificado a partir da metodologia de Baumgarten et al (1996), que se fundamenta na técnica da

gravimetria. Primeiramente foi feita a filtração da água (250 mL), com o auxílio de um sistema de filtração acoplada a uma bomba a vácuo, com filtros de fibra de vidro de poros 0,45µm e medindo 0,47 mm de diâmetro, armazenados em envelopes de papel alumínio, que foram previamente pesados (P1) em uma balança analítica, para a determinação de sua massa inicial. Em seguida, o filtro foi colocado na estufa com uma temperatura de 50°C por duas horas, sendo retirado com o devido cuidado com o auxílio de uma pinça, ficando o mesmo período no dessecador para retirada da umidade, sendo pesados novamente (P2), para a quantificação do MPS.

A diferença entre as massas dos filtros antes sem material filtrado (P1) e após o material em suspensão seco no filtro (P2) proporciona os valores para o material total em suspensão em miligramas por litro (mg/L). Esse cálculo para a obtenção do valor de MPS é exemplificado abaixo:

$$\text{MPS} = \frac{(\text{P2}-\text{P1}) \cdot 10^6}{\text{V (mL)}} = \text{mg/L}$$

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

P1 (g) = Peso do filtro vazio e seco

V (mL) = Volume da amostra filtrada

10⁶ = Fator de conservação de unidade para mg/L

4.2.2 Transporte de Volume

O transporte de volume foi obtido através de dados gerados a partir de um modelo apresentado por Borba (2014), que utilizou um pacote hidrodinâmico D-Flow FM (Delft3D), contendo os respectivos locais de coleta, todos com frequência de medição de um registro a cada dez minutos. Sendo que não foi escolhido o ano de 2013 em Almeirim por conta do número pequeno de perfis realizados, por isso optou-se em fazer apenas do ano de 2014.

Tabela 3- Dados de vazão gerados a partir de modelo hidrodinâmico compreendendo os dois locais da área de estudo, ano de 2014, que foram utilizados no transporte de MPS.

ALMEIRIM 2014			GURUPÁ 2014		
Data	Hora	Vazão	Data	Hora	Vazão
21/03/2014	00:00:00	223772	24/03/2014	00:00:00	118377
21/03/2014	01:00:00	220453	24/03/2014	01:00:00	91565.7
21/03/2014	02:00:00	205740	24/03/2014	02:00:00	59933.1
21/03/2014	03:00:00	188554	24/03/2014	03:00:00	49556.2
21/03/2014	04:00:00	180832	24/03/2014	04:00:00	60694.5
21/03/2014	05:00:00	190525	24/03/2014	05:00:00	79247.1
21/03/2014	06:00:00	206831	24/03/2014	06:00:00	94396.5
21/03/2014	07:00:00	216721	24/03/2014	07:00:00	105492
21/03/2014	08:00:00	221324	24/03/2014	08:00:00	111608
21/03/2014	09:00:00	223915	24/03/2014	09:00:00	115838
21/03/2014	10:00:00	225833	24/03/2014	10:00:00	119756
21/03/2014	11:00:00	225399	24/03/2014	11:00:00	122250
21/03/2014	12:00:00	224202	24/03/2014	12:00:00	123368
21/03/2014	13:00:00	224002	24/03/2014	13:00:00	119956
21/03/2014	14:00:00	218897	24/03/2014	14:00:00	98552.3
21/03/2014	15:00:00	204412	24/03/2014	15:00:00	72899.6
21/03/2014	16:00:00	191588	24/03/2014	16:00:00	63691.2
21/03/2014	17:00:00	190515	24/03/2014	17:00:00	73158.9
21/03/2014	18:00:00	202973	24/03/2014	18:00:00	88481.3
21/03/2014	19:00:00	215109	24/03/2014	19:00:00	99852.2
21/03/2014	20:00:00	221527	24/03/2014	20:00:00	108006
21/03/2014	21:00:00	224423	24/03/2014	21:00:00	113441
21/03/2014	22:00:00	226659	24/03/2014	22:00:00	117301
21/03/2014	23:00:00	227827	24/03/2014	23:00:00	120060

Fonte: Do autor.

4.2.3 Transporte de Material Particulado em Suspensão

O transporte de sedimento em suspensão foi baseado no método de Colby (1957), segundo a equação:

$$Q_{ss} = 0,0864 \cdot Q \cdot C_{ss};$$

Onde:

0,0864 = fator de conversão de tonelada por dia;

Q = transporte de volume (m³/s);

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

Para obtenção do transporte de sedimento em suspensão (Q_{ss}) foi utilizado o método simplificado de Colby (1957), modificado por COSTA (2014), onde foi

considerando que o sedimento se movimenta com a velocidade da corrente em toda a seção transversal, ficando igual ao produto do transporte de volume pela concentração de MPS, através da seguinte equação:

$$Q_{SS} = t. Q. C_{SS} / 10^6;$$

Onde:

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

Q_{SS} = transporte de MPS (t/e ou t/v);

t= tempo de medição em segundos (ciclo de maré);

Q = descarga fluvial (m^3/s);

C_{SS} = média da concentração do MPS por seção (mg/L).

Depois de calcular o transporte de MPS, calculou-se o transporte resultante para um ciclo de maré, convertendo à unidade do transporte de sedimento para toneladas por ciclo de maré (t/cm). O transporte resultante (R_{QSS}) será igual a somatória do transporte de MPS (Q_{SSn}) ao longo do ciclo.

$$R_{QSS} = Q_{SS1} + Q_{SS2} + Q_{SS3} + Q_{SSn}.$$

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

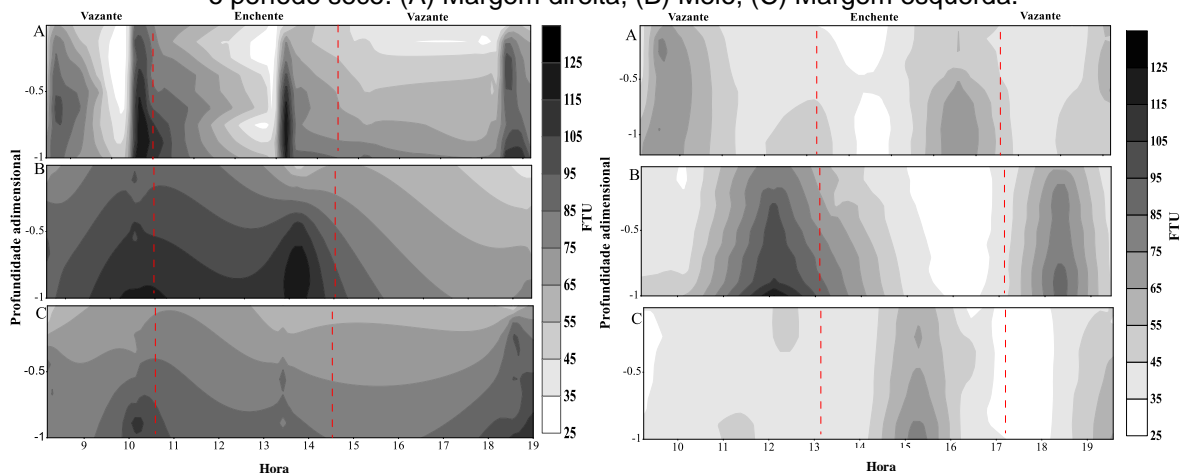
5.1 Turbidez

- Almeirim

No ano de 2010, período seco, as concentrações de turbidez, no trecho de Almeirim, oscilaram entre 30 e 137 FTU. O máximo registrado foi no meio do rio, maré de enchente, e teve como valor mínimo 33 FTU. As margens do rio apresentaram comportamentos parecidos, com valores mínimos de 30 FTU e máximo de 97 FTU, na MD e 32 e 119 FTU, na ME. A média de vazante e enchente foi de 74 FTU (Figura 7). Nesse ano a variação da maré em relação a máximo e mínimo foi pequena de apenas 0,4 metros.

Em 2011, período seco, os valores mínimos e máximos registrados foram de 20 e 138 FTU. O maior registro foi no meio do rio, durante maré de vazante, sendo seu mínimo de 26 FTU e nas margens, os valores oscilaram entre 20 e 99 FTU na MD, e 28 e 87 FTU na ME. As médias de vazante e enchente foram de 56 e 51 FTU, respectivamente (Figura 7).

Figura 7- Turbidez nos anos de 2010 (figura da esquerda) e 2011 (figura da direita) em Almeirim, para o período seco. (A) Margem direita, (B) Meio, (C) Margem esquerda.

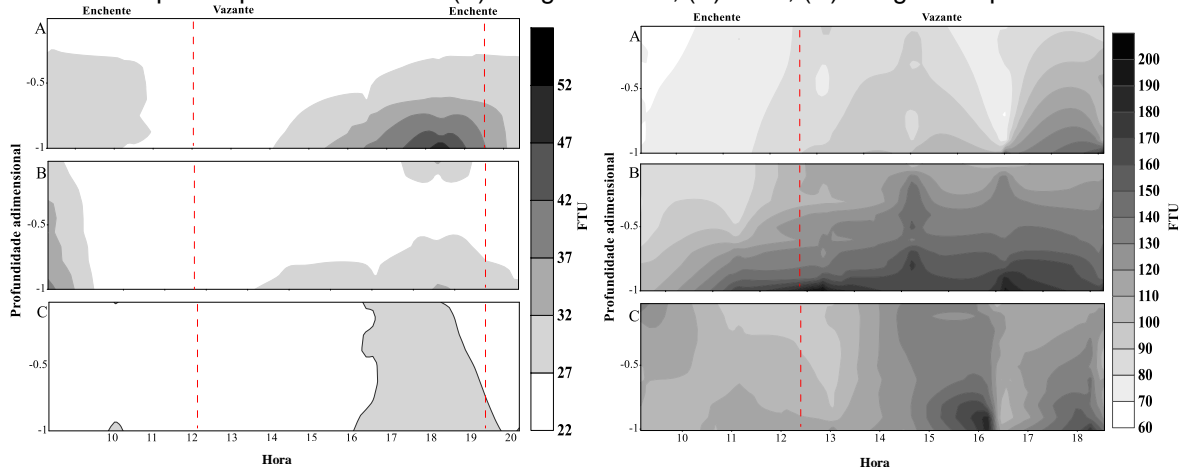


Fonte: Do autor.

Em 2012, período chuvoso, a turbidez apresentou baixas concentrações, variando de 20 a 56 FTU, sendo que esses mínimos e máximos foram os valores encontrados na MD. A ME teve variações de 22 e 30 FTU, o M do rio teve máximos e mínimos variando de 41 e 21 FTU, respectivamente. As médias de vazante e enchente foram de 26 FTU (Figura 8). A variação da maré nesse ano foi de apenas 0.2 metros.

No ano de 2014, período chuvoso, os valores de turbidez foram mais elevados, oscilando de 61 a 201 FTU. Os maiores valores encontrados foram no M do rio, em maré de vazante, oscilando entre 77 e 231 FTU, na sua MD eles oscilaram entre 61 e 191 FTU, enquanto que na ME foram de 88 a 165 FTU, as médias de enchente e vazante foram de 107 e 123 FTU (Figura 8).

Figura 8- Turbidez nos anos de 2012 (figura da esquerda) e 2014 (figura da direita), em Almeirim, para o período chuvoso. (A) Margem direita, (B) Meio, (C) Margem esquerda.



Fonte: Do autor.

As médias de superfície e fundo oscilaram de 53 e 89 FTU, em 2010, e de 46 e 66 FTU, em 2011, sendo que essa média foi bem maior no primeiro ano, no qual percebe-se também uma maior estratificação ao longo da coluna d'água, com valores maiores na transição da vazante para a enchente, do que em relação ao segundo ano, que apresentou quase o mesmo padrão, porém menores valores e com o perfil de turbidez mais homogêneo.

A relação entre as concentrações de turbidez entre esses dois anos do período seco não apresentou muita variação, isso se deve as correntes atuantes serem menos intensas nesse período seco e com isso causando uma menor turbulência na água (SCHOELHAMER, 2001; UNCLES et al., 1994). Os maiores valores registrados de turbidez em ambos os anos, foram maiores no meio do rio, devido a uma maior turbulência, tanto na enchente como na vazante, com maiores valores no fundo (COSTA, 2014). A mesma relação no perfil de turbidez encontrada na primeira (73 FTU) e segunda campanha (53 FTU), apresentou valores aproximados ao valor encontrado por Costa (2014) no rio Jacaré Grande, durante o período seco, no qual obteve média geral de 60 FTU.

Dentre as duas campanhas do período chuvoso, o ano de 2012 exibiu menores valores de turbidez, sendo que o esperado era um valor alto devido a maior descarga fluvial. Os valores registrados foram quatro vezes menores quando comparados aos do ano de 2014, isso pode ser justificado devido nesse ano a influência da maré ter sido maior, maré de sizígia, nas quais as correntes são mais intensas, e aliado a isso a alta taxa de pluviosidade (maior nível de base) e conseqüentemente de vazão, durante o período de coleta, o nível de base foi maior, acarretando em uma diminuição nas concentrações de turbidez.

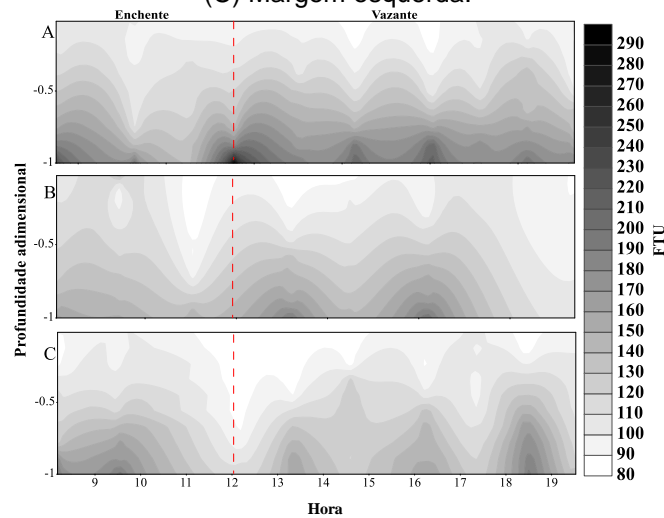
No período chuvoso, os níveis de turbidez apresentaram concentrações bem maiores quando comparados aos do período seco, pelo fato do maior escoamento provocado pelo índice pluviométrico aumentar o volume do rio consideravelmente, e assim aumentando também a concentração de partículas em suspensão na água (CHAPMAN; KIMSTACH, 1992), essa variação da turbidez pode ser influenciada de acordo com diferenças de topografia e do escoamento, bem como da vazão do rio (GALLO; VINZÓN, 2005); assim como da floculação do MPS, que ocasiona a deposição de parte do material transportado pelas correntes (GEYER et al., 2004; MANNING et al., 2006).

As maiores concentrações de turbidez foram no fundo do rio e durante maré de enchente, nos dois períodos estudados, por conta da influência da maré ocasionando alta energia, que movimentam em um curto período de tempo uma carga sedimentar superior à verificada durante longos períodos em condições normais (MANTOVANELLI, 1999).

- Gurupá

Em Gurupá, período chuvoso (Figura 9), a concentração de turbidez oscilou entre 75 e 291 FTU, sendo este maior valor encontrado na sua MD, que teve um mínimo de 79 FTU. Na ME os valores variaram de 75 a 256 FTU e no M do rio os máximos e mínimos foram de 208 e 79 FTU. As médias de vazante e enchente foram de 121 e 114 FTU, respectivamente.

Figura 9- Turbidez no ano de 2014 em Gurupá, para o período chuvoso. (A) Margem direita, (B) Meio, (C) Margem esquerda.



Fonte: Do autor.

Suas concentrações foram bem maiores na sua MD do rio, durante maré de vazante, e isso pode ser explicado por conta da grande concentração de solo na beirada dos rios, assim como matéria orgânica e material vegetal (USEPA, 1997), além de Gurupá ser um sistema mais de mistura de águas fluviais e marinhas, com uma maior região de turbulência, assim como também uma maior amplitude de maré, relacionada a maior proximidade da foz do rio Amazonas.

Na Tabela 4, são apresentados os máximos, mínimos e as médias, ao longo dos períodos seco e chuvoso de cada ano em Almeirim e Gurupá. Através disso, é possível perceber a variação da turbidez sazonalmente. No período seco não houve grande variação, os perfis de turbidez se mostraram mais parecidos e de acordo com o esperado para o período, porém no período chuvoso é nítido como os valores apresentaram uma grande variação, pois esse aumento de MPS impede o feixe de luz de penetrar na água (ARCOVA; CICCIO, 1999).

Tabela 4- Valores sazonais e interanuais de turbidez nas proximidades de Almeirim e Gurupá.

	ALMEIRIM			GURUPÁ	
	SECO 2010	SECO 2011	CHUVOSO 2012	CHUVOSO 2014	CHUVOSO 2014
Mínimo MD	30	20	20.5	61.3	79.8
Máximo MD	97	99	56.6	191.7	291.6
Média	56.9	48.1	26.6	87.0	115.7
Mínimo M	33	26	21.3	77.3	79
Máximo M	137	138	41.2	231.4	208.9
Média	86.5	64.6	26.4	132.9	113.2
Mínimo ME	32	28	22.1	88.2	75
Máximo ME	119	87	30.9	165.3	256.8
Média	82.3	45.4	25.1	112.8	125.9

Fonte: Do autor.

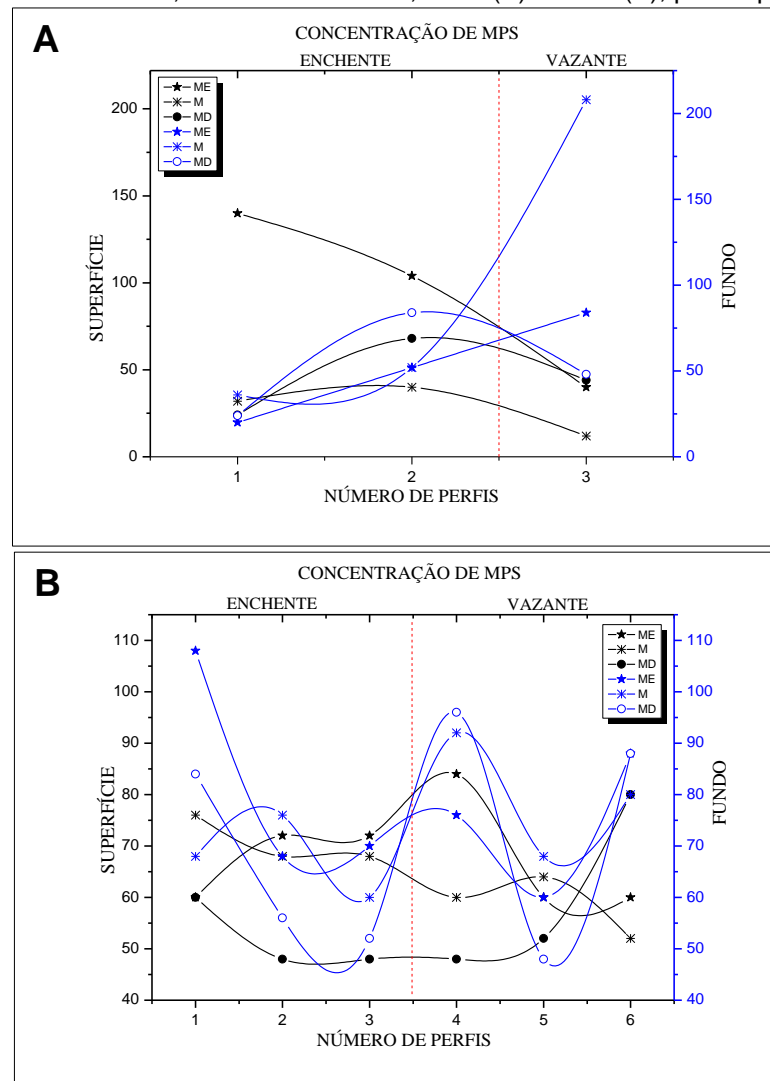
5.2 Material Particulado em Suspensão

- Almeirim

Os valores de MPS no ano de 2013, período chuvoso, foram maiores no fundo do rio com valores oscilando de 20 a 208 mg/L. Enquanto que na superfície houve variação de 12 a 84 mg/L, com médias de 58 mg/L, na enchente e 74,4 mg/L na vazante (Figura 10A) e com média geral de 68,8 mg/L. As maiores diferenças são no perfil 1, no início da enchente, no qual a ME apresenta um máximo de quase 150 mg/L na superfície. No perfil 3, pode ser observado no M do rio, um máximo ultrapassando os 200 mg/L, durante maré vazante, no fundo do rio.

No mesmo período, os valores de MPS em 2014, foram maiores no fundo do rio variando de 48 a 108 mg/L. Enquanto que na superfície houve variação de 48 a 84 mg/L, com médias de 67,59 mg/L, na enchente e 69,88 mg/L na vazante (Figura 10B) e média geral de 68,6 mg/L. Uma das maiores diferenças observadas foi no perfil 1, início da enchente na sua ME que apresentou um máximo de quase 110 mg/L, no fundo do rio, e a MD teve valores bem baixos na superfície em ambos os períodos de maré enchente e vazante. O perfil 3 também apresentou uma grande diferença com um máximo de ultrapassando a 200 mg/L no fundo do rio, durante maré vazante.

Figura 10- Concentração de MPS (mg/L) ao longo das margens esquerda (ME), direita (MD) e meio (M), na superfície e no fundo, trecho de Almeirim, 2013 (A) e 2014 (B), para o período chuvoso.



Fonte: Do autor.

No ano de 2013, os valores de MPS foram maiores do que no ano de 2014, isso pode ser devido a coleta do primeiro ter sido realizada no final do período chuvoso, mês de junho, e o segundo no período máximo de chuvas, mês de março, sendo que o maior aporte de água para os rios aumenta o material particulado.

A variação da partícula em suspensão está sujeita à ação da velocidade da corrente na direção horizontal e do seu peso. Consequentemente, a concentração do sedimento é menor próxima a superfície e maior próxima ao leito (CARVALHO, 2008).

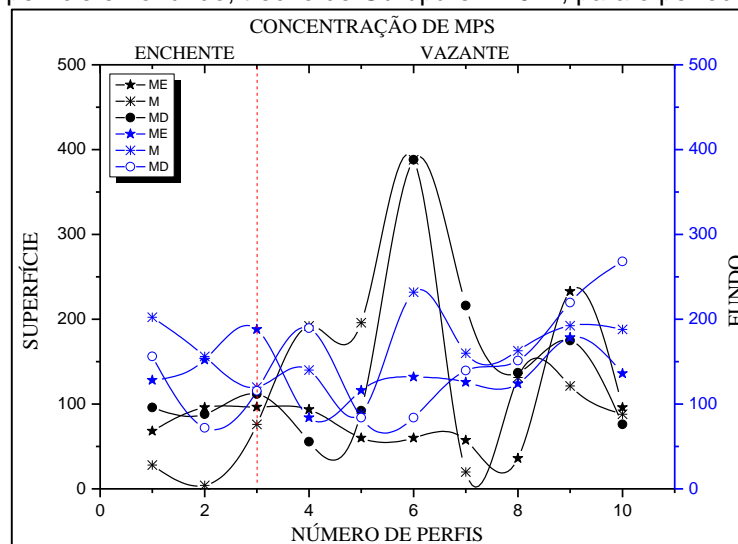
Em região próxima da área de estudo o trabalho de Monteiro (2009), no rio Paracauari, obteve valores de turbidez oscilando entre 62 a 115,6 mg/L no período chuvoso e de 12, 51 e 18,91 mg/L no período seco. Na porção mais interna da região Amazônica, Costa et. al., (2016) em estudo no estuário de Portel- Melgaço verificou

um máximo de MPS na estação chuvosa de 40 mg/L e uma média variando entre 5,9 na superfície e 12,5 mg/L no fundo.

- Gurupá

Em Gurupá no ano de 2014, período chuvoso, apresentou valores oscilando de 72 a 232 mg/L, no fundo do rio. Enquanto que na superfície houve variação de 20 a 388 mg/L, com médias de 108 mg/L, na enchente e 148 mg/L na vazante (Figura 11) e com média geral de 148 mg/L. Os maiores valores encontrados foram na MD do rio, na superfície (388 mg/L), e no fundo o máximo valor encontrado foi no período de vazante do rio (232 mg/L).

Figura 11- Concentração de MPS (mg/L) ao longo das margens esquerda (ME), direita (MD) e meio (M) na superfície e no fundo, trecho de Gurupá em 2014, para o período chuvoso.



Fonte: Do autor.

As elevadas concentrações de MPS durante o período chuvoso em estuários tropicais, são devido ao alagamento das áreas adjacentes do estuário, explicando assim as altas concentrações de MPS encontradas nesse trabalho e que podem ser comparadas ao estuário Annan, Austrália, onde foi verificada uma variação da concentração de sedimento em suspensão de 15 a 105 mg/L durante o período chuvoso e de 3 e 15 mg/L no período seco (BRADLEY; PHILIP, 1999).

Comparativamente Kineke e Sternberg (1992, 1995) no âmbito do projeto do AmasSeds (A Multidisciplinary Amazon Shelf Sediment Study) identificaram na zona costeira amazônica a concentração de MPS na ordem de 10 até 100 mg/L, observadas nas camadas inferiores entre 2 - 4 m na região interna e no meio da plataforma.

As maiores concentrações de MPS são encontradas mais próximas a montante do rio, variando de acordo com a sazonalidade da região. Em Óbidos, a concentração média de sedimentos em suspensão apresenta geralmente valores maiores a 150 mg/L (STRASSER, 2002).

Além dos caracteres sazonais e espaciais, outro fator que influencia nesse comportamento de MPS são as variações da maré, na sizígia e quadratura, que variam a sua amplitude e resultam em diferentes concentrações desse MPS nos estuários, devido a mudanças na intensidade da ressuspensão. Marés energéticas frequentemente causam a retenção de sedimentos devido à dominância de enchente no transporte (GEYER et al., 2004).

Entretanto, o aumento da carga em suspensão durante as marés de sizígia também pode levar a uma alta exportação de sedimentos, se corresponderem a períodos de forte descarga de água doce, como demonstrado no estuário Gironde por Castaing e Allen (1981, apud GEYER et al., 2004).

Dependendo do estágio em que a maré se encontre, o seu perfil vertical de velocidades pode variar bastante, ficando mais ou menos uniforme, durante maré enchente como consequência disso, os perfis de velocidade são intensificados no fundo e intensificados em superfície durante a vazante (BUCHARD; BAUMERT, 1998). Pelo fato da concentração de sedimentos em suspensão normalmente aumentar em direção ao fundo, essa assimetria de velocidades na enchente e na vazante pode levar a um transporte líquido de sedimentos rio acima.

5.3 Transporte de MPS

O cálculo do transporte de MPS, obtido através dos dados de transporte de volume, demonstrou que não ocorre uma inversão da maré nesses dois pontos de coleta, apenas uma atenuação dessa forçante, por isso os dados não possuem valores negativos o que indicaria um transporte em direção a montante do rio, existe apenas um transporte positivo em direção a jusante do rio Amazonas.

Dentre esses dados, os três primeiros transectos foram em maré de enchente e os três últimos em maré de vazante. O transporte resultante de MPS em Almeirim, demonstrou maiores valores em maré de enchente, com um máximo de transporte de quase 17 t/s e 52.993, 3 t/sec, e menores valores durante a vazante, com um mínimo de 11,12 t/s e 26.683, 5 t/sec (Tabela 5). Em relação ao transporte por ciclo de maré

a resultante foi de 236.566 t/cm, demonstrando o quanto de sedimento que foi exportado para a foz do Amazonas.

Tabela 5- Resultante do transporte de MPS, Almeirim em 2014.

Número do Transecto	Transporte por segundo (t/s)	Transporte por seção (t/sec)
1	16,99	52.993,3
2	14,57	36.704,7
3	13,45	37.109,4
4	16,20	42.761,0
5	11,12	26.683,5
6	15,63	40.314,6

Fonte: Do autor.

Na Tabela 6, os quatro primeiros transectos são em maré de enchente e os outros seis são em maré de vazante. O transporte resultante de MPS em Gurupá demonstrou maiores valores em maré de vazante, com um máximo de transporte de 22,27 t/s e 32.061,9 t/sec, e mínimos de 7,77 t/s e 10.720,1 t/sec. O transporte por ciclo de maré teve como resultado 227.380,7 t/cm, sendo que em relação a Almeirim a diferença desse transporte por ciclo de maré foi de 9.185,727 t/cm.

Tabela 6- Resultante do transporte de MPS, Gurupá em 2014.

Número do transecto	Transporte por segundo (t/s)	Transporte por seção (t/sec)
1	12,39	19.499,7
2	11,17	24.797,7
3	14,42	17.299,4
4	15,52	22.352,9
5	18,77	34.913,6
6	12,42	20.863,2
7	7,77	10.720,1
8	10,41	14.363,1
9	22,27	32.061,9
10	19,56	30.509,1

Fonte: Do autor.

O transporte dos sedimentos é processado nos cursos da água e eles ocorrem em maior quantidade nas épocas chuvosas. Cerca de 70 a 90% de todo o sedimento transportado ocorre nestes períodos, principalmente nos grandes eventos pluviométricos (BARTELLI, 2012). Isso explica os altos valores de transporte de MPS nesses dois trechos do rio Amazonas.

Em Almeirim foi verificado um predomínio do transporte de MPS durante a enchente da maré e em Gurupá, foi durante a vazante, isso pode ser explicado devido a diferença da intensidade das correntes de maré que atuam nesses locais ser diferente, o primeiro não apresenta uma grande variação de maré, diferente do segundo local e isso influencia diretamente na descarga desse material em suspensão na coluna d'água.

O padrão de exportação encontrado neste trabalho pode ser comparado ao do rio Pará, em que foi possível verificar que tanto durante o período seco como no chuvoso ele se comportou como exportador de MPS, ambos em direção a baía de Marajó (COSTA, 2014).

Em estudo de Filizola (1997) foi feita uma estimativa anual do material transportado em suspensão em Óbidos de 600×10^6 t, comparativamente, estudos realizados em um dos maiores rios como o Yang-Tse demonstra que ele é responsável pelo transporte de 226×10^6 t/ano (HU et al., 1982) e o rio Mississipi por 142×10^6 t/ano (MEYBECK; CARBONNEL, 1975; CARBONNEL, 1982).

Dessa forma, o transporte em suspensão, é ocasionado por diversos fatores naturais e antrópicos que contribuem para que as partículas sedimentares estejam em suspensão nas regiões costeiras, como aportes fluviais e eólicos, erosão da costa, dragagem e atividade, e pesqueira (PATHITIS; COLLINS, 2005).

Além disso, muitos processos físicos atuantes nos corpos d'água, isto é, correntes de maré, velocidade orbital das ondas, correntes originadas pelo vento, plumas de sedimentos, correntes de densidade e ondas internas são responsáveis pela ressuspensão, transporte e dispersão do sedimento. No entanto, os processos físicos que ocorrem junto ao fundo, ou seja, a interação entre o fluxo (unidirecional ou bidirecional) e o sedimento de fundo possui maior significância em termos do transporte de sedimento (COSTA, 2014).

6 CONCLUSÃO

A distribuição de turbidez e MPS ao longo da coluna d'água mostrou um padrão, com maiores valores encontrados no fundo do rio, para ambos os trechos do rio Amazonas. A turbidez apresentou um padrão sazonal, com maiores valores no período chuvoso da região e menores no período seco, a única diferença ocorreu no ano de 2012 em Almeirim, que apresentou baixos valores de turbidez.

Outro fator que influencia nas concentrações desses parâmetros é a componente maré, que durante maré de quadratura foram observados valores até quatro vezes maiores do que o coletado durante maré de sizígia. Quando essas regiões estão sob regime de alta descarga hídrica, a componente maré é menos intensa, e apresenta uma baixa energia em movimentar cargas sedimentares, o inverso ocorre durante o período de mínima descarga hídrica.

O padrão de transporte de MPS encontrado neste trabalho foi de exportador de sedimentos em direção a foz do rio Amazonas, que teve um transporte no trecho de Almeirim de 17 toneladas de sedimento por segundo e um resultante por ciclo de maré na casa de 236.566 t/cm, enquanto que Gurupá foi de 22,27 toneladas de sedimento por segundo e seu resultante por ciclo de maré foi menor com 227.380,7 t/cm, o que pode ser explicado pela sua localização ter uma maior influência fluvial do que marinha, o que acarreta em um aumento da sua descarga hídrica e diminui a influência da maré, que em ambos os trechos do rio Amazonas foi verificado que não ocorre uma inversão dessa componente, apenas uma atenuação.

Portanto, pode-se verificar que Almeirim e Gurupá apresentaram um padrão de distribuição de transporte de sedimento sazonalmente, que foram diretamente influenciados pela pluviosidade local, com a ocorrência do fenômeno da La Niña, vazão dos rios, e a componente maré atuando na intensificação ou atenuação na distribuição dos parâmetros de turbidez e MPS na coluna d'água (superfície e fundo).

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS (ANA). **Sistema de informações hidrológicas (Hidroweb)**. Disponível em: <<http://hidroweb.ana.gov.br/HidroWeb/HidroWeb.asp>>. Acesso em 10/ 03/2016.

ANANIAS D. S; SOUZA E. B; SOUZA, P. F. S; SOUZA, A. M. L, VITORINO, M. I; TEIXEIRA, G. M; FERREIRA, D. B. S. Climatologia da estrutura vertical da atmosfera em novembro para Belém-PA. **Revista Brasileira de Meteorologia**; v. 25, n. 2, p. 218-226. 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0102-77862010000200006>>.

ARCOVA, F. C. S.; CICCIO, V. Qualidade da água de microbacias com diferentes usos do solo na região de Cunha, estado de São Paulo. **Scientia Forestalis**, n. 56, p. 125 – 134, 1999.

BARBOSA, G. V.; RENNÓ, C. V.; FRANCO, E. M. S. **Folha SA-22 Belém**. Rio de Janeiro: Ministério das Minas e Energia; Departamento Nacional de Produção Mineral- Projeto Radam. v. 5, 1974.

BARROUX, G. A. **Etude biogéochimique d'un système lacustre de la laine d'inondation amazonienne**: cas de la várzea de Curaí. (Pará, Brésil). 2006. 304 f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica das Águas Continentais) - Universidade Paul Sebastier- Toulouse III, França, 2006.

BARTELLI, G. **Estudo do transporte de sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do Arroio Garapiá – Maquiné–RS**. 2012. 63 f. Trabalho de Conclusão de curso (Graduação em engenharia ambiental) - Centro Universitário Univates, Rio Grande do Sul, 2012.

BAUMGARTEN, M. G.; WALLNER-KERSANACH, M.; NIENCHESKI, L. F. **Manual de análises em oceanografia química**. Rio Grande - RS – Ed. FURG/Pallotti, 1996. 142 p.

BRADLEY, E.; PHILIP, B. A comparative study of nutrient behavior along the salinity gradient of tropical and temperate estuaries. **Estuaries**. v. 22, p. 313- 326, 1999.

BORBA, T. A. C. **Modelagem hidrodinâmica aplicada ao estuário amazônico: uma abordagem em malha flexível**. 2014. 47 f. Dissertação (Mestrado em Geofísica) - Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Belém, 2014.

BUCHARD, H.; BAUMERT, H. The formation of estuarine turbidity maxima due to effects in the salt wedge. **Journal of Physical**, v. 28, p. 309-321, 1998.

CALLEDE, J.; GUYOT, J. L.; RONCHAIL, J.; L'HOTE, Y.; NIEL, H.; OLIVEIRA, E. Evolution of the river Amazon's discharge at Óbidos from 1903 to 1999. **Hydrological Sciences–Journal–des Sciences Hydrologiques**, v. 49, n.1, p. 85-97, Fév. 2004.

CARVALHO, N. de O. **Hidrossedimentologia prática**. Rio de Janeiro: Interciência, 2008. 600f.

CARBONELL, R. M. Bionomics of the rice water weevil *lissorhoptrus brevirostris* (SFFR) in Cuba. **Int. Rice Res. Newsl.**, v.7, n.5, p.20, 1982.

CHAPMAN, D.; KIMSTACH, V. The selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Org.). **Water quality assessments: a guide to the use of biota, sediments and water in environmental monitoring**. Cambridge: Ed. Cambridge University Press, p.51-117, 1992.

COLBY, B. R. Relationship of unmeasured sediment discharge to mean velocity. Transactions, **American Geophysical Union**, v. 38, n.5, pp. 708-719, 1957.

COSTA, M. S. **Aporte hídrico e de material particulado em suspensão para a Baía do Marajó**: contribuições dos rios Jacaré Grande, Pará e Tocantins. 2014. 83 f. Dissertação (Mestrado em Geologia e Geoquímica) - Universidade Federal do Pará, Centro de Geociências, Belém, 2014.

COSTA, M. S.; ROLLNIC, M.; PRESTES, Y. O.; ROSÁRIO, S. P.; BORBA, T. A. C. Runoff and sediment transport of Portel- Melgaço water system in an Amazonian estuarine System. **Journal of Coastal Research**, n. 75, p. 18- 22, 2016.

DUNNE T.; MERTES L. A. K; MEADE R. H, RICHEY J. E, FORSBERG B. R. Exchanges of sediment transport between the floodplain and channel of the Amazon river in Brazil. **Geological Society of America Bulletin**, v. 110, p. 450-467, 1998.

DYER, K. R. Sediment transport processes in estuaries. In: PERILLO, G.M.E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. Amsterdam, Neterlands: Elsevier Science BV, 1995. p. 423-449. (Developments in Sedimentology. 53).

ESPINOZA, J. C; RONCHAIL, J; GUYOT, J. L; FILIZOLA, N; NORIEGA, L; ORDONEZ, J. J; POMBOSA, R; ROMERO, H. Spatio-temporal rainfall variability in the Amazon Basin Countries (Brazil, Peru, Bolivia, Colombia and Ecuador). **International Journal of Climatology**, França, v. 29, p. 1574- 1579, 2007.

FERNANDES, L. D. F. **Transporte de poluentes em estuários**). 2001. 40f. Trabalho Final de Curso (Graduação em Engenharia do Ambiente) - Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2001.

FILIZOLA JR, N. P. **O fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Bacia Amazônica**. 1997. 84f. Dissertação (Mestrado em Geologia Regional) – UnB, Centro de Geociências de Brasília, Brasília, 1997.

FILIZOLA, N. **Transfert sédimentaire actuel par les fleuves Amazoniens**. 2003. 273 f. Tese (Doutorado) - Université de Toulouse III - Paul Sabatier, Toulouse, 2003.

FILIZOLA, N.; GUYOT J. L. Suspended sediment Yield in the Amazon basin: an assessment using Brazilian National data set, **Hydrological Processes**, v. 23, p. 3207- 3215. oct. 2009.

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

GEYER, W. R. Influence of wind on dynamics and flushing of shallow estuaries. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 44, p. 713-722, 1997.

GEYER, W. R.; HILL, P. S.; KINEKE, G. C. The transport, transformation and dispersal of sediment by buoyant coastal flows. **Continental Shelf Research**, v. 24, p. 927-949, 2004.

HU, M.; STALLARD, R. F.; EDMOND, J. M. Major ion chemistry of some large Chinese rivers. **Nature**, v. 298, p. 550- 553, 1982.

INSTITUTO DE DESENVOLVIMENTO ECONÔMICO, SOCIAL E AMBIENTAL DO PARÁ (IDESP). **Estatística municipal de Almeirim e Gurupá**. Belém, 2014. p. 7-8.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Dados históricos sobre clima das principais cidades brasileiras**. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br>>. Acesso em: 10/ 03/ 2016.

IRION, G; JUNK, W. J.; DE MELLO, A. S. N., The large central Amazonian river floodplains near Manaus: geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects. In: JUNK, W. J. (Ed). **The central Amazon floodplain, ecological studies**, Germany: Springer, 1997. v. 126, p. 23-46. (Ecological Studies, 126).

KINEKE, G. C.; STERNBERG, R. W. Measurements of high concentration suspended sediments using the optical backscatterance sensor. **Marine Geology**, v.108, p. 253–258, 1992.

KINEKE, G. C.; STERNBERG, R. W. Distribution of fluid mud on the Amazon continental shelf. **Marine Geology**, v.125, p .193-233,1995.

KLINGE, H.; JUNK, W. J.; REVILLA, C. J. Status and distribution of forested wetlands in tropical South America. **Forest Ecology Management**, v. 33-34, p. 81-101, 1990.

MANNING, A. J.; BASS, S. J.; DYER, K. R. Floc properties in the turbidity maximum of a mesotidal estuary during neap and spring tidal conditions. **Marine Geology**, v. 235, p. 193–211, 2006.

MANTOVANELLI A. **Caracterização da dinâmica hídrica e do material particulado em suspensão na Baía de Paranaguá e em sua bacia de drenagem**. 1999. 152f. Dissertação (Mestrado em Geologia) - Universidade Federal do Paraná, Paraná, 1999.

MELACK, J. M.; HESS, L. L.; GASTIL, M.; FORSBERG, B. R.; HAMILTON, S. K.; LIMA, I. B. T.; NOVO, E. M. L. M. Regionalization of methane emissions in the Amazon Basin with microwave remote sensing. **Global Change Biology**, v. 10, p. 530-544, 2004.

MEYBECK, M.; CARBONNEL, J. P. Chemical transport by the Mekong river. **Nature**, v. 27, p. 249-265, 1975.

MOLINIER, M.; GUYOT, J. L.; GUIMARÃES, V.; OLIVEIRA, E.; FILIZOLA, N. Hydrologie du Bassin Amazonien. In: THÉRY, H. (ed.). **Environnement et développement en Amazonie Brésilienne**, Belin: Paris, 1997. 400 p.

MONTEIRO, S. M. **Dinâmica dos parâmetros abióticos na zona de mistura do estuário do rio Paracauari, ilha do Marajó-Pa**. 2009. 151f. Dissertação (mestrado em Geologia e Geoquímica). Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

PAPHITIS, D.; COLLINS, M. B. Sediment resuspension events within the (microtidal) coastal waters of Thermaikos Gulf, northern Greece. **Continental Shelf Research**, v. 25, p. 2350-2365, 2005.

PÉREZ, M. A. P. **Biogeoquímica da várzea do lago grande de Curuai, rio Amazonas, Pará, Brasil**: caracterização, origem, ciclagem e destino do material orgânico e inorgânico. 2008. Tese (Doutorado em Geoquímica Ambiental). Universidade Federal de Fluminense, Niterói, 2008.

PERILLO G. M. E. Definitions and geomorphologic classification of estuaries. In: *Geomorphology and Sedimentology of Estuaries*. **Developments in sedimentology**, v. 53, p. 17-47, 1995.

SCHALLER, H.; VASCONCELOS, D. N.; CASTRO, J. C. Estratigrafia preliminar da bacia sedimentar da foz do rio Amazonas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 25., 1971, São Paulo. **Anais...** São Paulo: SBG, 1971. v. 3, p. 189-202.

SCHOELHAMER D. H. Influence of Salinity, bottom topography, and tides on locations of estuarine turbidity maxima in northern San Francisco bay. **Elsevier Science**, v. 3, p. 343-357, 2001.

SCHOELLHAMER, D. H. Comparison of basin-wide effect of dredging and natural estuarine processes on suspended-sediment concentration. **Estuaries**, v. 25, p. 488-495, 2002.

SIOLI, H. Hidrogeochemistry and geology in the brazilian Amazon region. **Amazoniana**, v. 1, p. 267-277, 1968.

SIOLI, H. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon region. **Amazoniana**, v. 1, p. 74-83, 1984.

SIPPEL, S. J.; HAMILTON, S. K.; MELACK, J. M.; NOVO, E. M. M., Passive microwave observations of inundation area and the area/stage relation in the Amazon River floodplain. **International Journal of Remote Sensing**, v. 19, n. 16, p. 3055-3074, 1998.

SOUZA, C. R. **Sensor de turbidez**. Universidade Estadual de Campinas. p. 5. 2008. Disponível em: <[http://www.infobrasil.inf.br/userfiles/26-05-S3-4-65657-Sensor%20de%20Turbidez\(1\).pdf](http://www.infobrasil.inf.br/userfiles/26-05-S3-4-65657-Sensor%20de%20Turbidez(1).pdf)>. Acessado em: 19/11/2015.

STRASSER, M. A. **Estudo da geometria das formas de fundo no curso médio do rio Amazonas**. 2002. 113f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2002.

TANCREDI, A. C. F. N. S. **Hidrogeologia da região oriental da Ilha de Marajó**. Local: Instituto de Desenvolvimento Econômico-Social do Pará, 1986. 97 p.

UNCLES R. J.; BARTON M.L.; STEPHENS J. A. Seasonal variability of fine-sediment concentrations in the turbidity maximum region of the Tamar estuary. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 38, p. 19-39, 1994.

UNIVERSITY CORPORATION FOR ATMOSPHERIC RESEARCH (UCAR). Disponível em: <[file:///E:\Nino%20SST%20Indices%20\(Nino%20+2,%203,%203.4,%204;%20ONI%20and%20TNI\)%20_%20NCAR%20-%20Climate%20Data%20Guide.html](file:///E:\Nino%20SST%20Indices%20(Nino%20+2,%203,%203.4,%204;%20ONI%20and%20TNI)%20_%20NCAR%20-%20Climate%20Data%20Guide.html)>. Acesso em 10/03/2016.

UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (USEPA). **Volunteer stream monitoring**: a methods manual, 1997. Disponível em: <<http://www.epa.gov/volunteer/stream/stream.pdf>>. Acesso em: 15/01/2016.

VALERIANO, M. M.; MIRANDA, M. C. C.; ROSSETTI, D. F.; GOES, A. M. Quaternary tectonics in a passive margin: Marajo Island, northern Brazil. **Journal of Quaternary Science**, v. 22, p. 1–15, 2007.

WELLS, J. T. Tide-dominated estuaries and tidal rivers. In: PERILLO, G. M. E. (Ed.). **Geomorphology and sedimentology of estuaries**. New York: [s.n.], 1995. p. 179-205. (Developments in Sedimentology, v. 53).