



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOLOGIA E GEOQUÍMICA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 544

**ANÁLISE INTEGRADA DA MORFOLOGIA E
SEDIMENTOLOGIA DO BAIXO CURSO DO RIO XINGU**

Dissertação apresentada por:

ARIANE MARIA MARQUES DA SILVA
Orientador: Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto (UFPA)

BELÉM
2019

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

S586a Silva, Ariane Maria Marques da.
Análise integrada da morfologia e sedimentologia do baixo curso do rio Xingu / Ariane Maria Marques da
Silva, . — 2019.
69 f. : il. color.

Orientador(a): Prof. Dr. Nils Edvin Asp
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências,
Universidade Federal do Pará, Belém, 2019.

1. Marés. 2. Rias. 3. Preenchimento sedimentar. 4. Bacia Amazônica. 5. Tidal river. I. Título.

CDD 558.113



Universidade Federal do Pará
Instituto de Geociências
Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**ANÁLISE INTEGRADA DA MORFOLOGIA E
SEDIMENTOLOGIA DO BAIXO CURSO DO RIO XINGU**

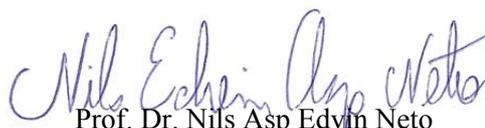
Dissertação apresentada por

ARIANE MARIA MARQUES DA SILVA

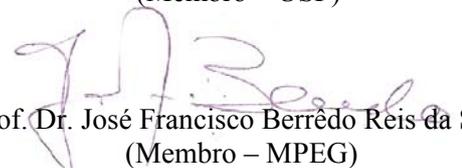
Como requisito parcial à obtenção de Grau de Mestre em Ciências na Área de GEOLOGIA.

Data de Aprovação: 28 / 01 / 2019

Banca Examinadora:


Prof. Dr. Nils Asp Edwin Neto
(Orientador – UFPA)


Prof. Dr. Eduardo Siegle
(Membro – USP)


Prof. Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
(Membro – MPEG)

Dedico este trabalho aos meus pais, pelo apoio incondicional.

AGRADECIMENTOS

Agradeço prioritariamente a Deus, por todas as vitórias conquistadas e por ter me dado forças para continuar diante de cada obstáculo surgido, até o presente momento.

Ao CNPq pela concessão da bolsa e financiamento do projeto, a qual contribuiu para a realização e conclusão deste trabalho.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Nils Asp. Obrigada por ter contribuído com meu processo de aprendizagem, compartilhado seus conhecimentos acadêmicos, pela dedicação e paciência.

Aos amigos do Laboratório de Geologia Costeira (LAGECO)- Paulo, Vando, Marlana, Jéssica, Giordana, Alessandra, Andrey, Amanda, Marcus, obrigada pela parceria nos trabalhos de campo e laboratoriais, momentos de descontração e companheirismo.

Aos companheiros de coleta- Afonso, Vando, Andrey, Thiago, Clauber, Jéssica, Lúcio, Pedro, Alessandra, Diego, e aos demais técnicos das embarcações que nos auxiliaram durante as campanhas, muito obrigada.

Ao Professor Dr. Eduardo Siegle e ao seu aluno Pedro Serrão pelo apoio e suporte durante a coleta realizada em Junho de 2018.

Ao Professor Dr. Marcelo Cancela Lisboa Cohen pelas contribuições como parecerista e apoio técnico-científico. Aos membros do Laboratório de Oceanografia Química e Laboratório de Dinâmica Costeira pelo auxílio com processamento das amostras.

Ao Professor Dr. Colin Beasley pelas contribuições nas análises estatísticas dos dados.

Aos meus familiares, meu papai Elso Coelho, minha mamãe Jesus Marques, minha vovó Nazaré Marques e aos meus irmãos Elciane Marques e José Alexandre. Obrigada pelo amor, confiança e por acreditarem que eu conseguiria chegar até o fim desta jornada.

Às amigas Brena Mendes e Bruna Mendes, assim como aos seus pais, por todo suporte, apoio e por terem sido minha família em Belém. Vocês tornaram meu objetivo possível de ser alcançado. Muito obrigada!

Aos meus amigos, Rodrigo Petry e Marcos Matos, por sempre estarem ao meu lado, me apoiando e ajudando, incondicionalmente, tanto em questões acadêmicas, quanto nas dificuldades pessoais.

Aos amigos que fiz durante o mestrado- Eduardo, Gabrielle, Arthur, Fernando, Karine, Clarissa e Evellyn, agradeço pelos bons momentos compartilhados.

A todos que contribuíram de maneira direta e/ou indiretamente para a elaboração e conclusão deste trabalho.

“O que sabemos é uma gota, o que ignoramos é um oceano”

(Isaac Newton)

RESUMO

O rio Xingu é um importante afluente do rio Amazonas contribuindo com 5% de sua vazão líquida, embora não contribua significativamente com sedimentos. O baixo rio Xingu é definido como uma ria, em função do afogamento de seu vale como resultado da Última Grande Transgressão marinha. Em função de uma influência substancial de maré, com alturas de maré de mais de 1 m na confluência, este setor fluvial corresponde ainda a um *tidal river*. O presente estudo visa analisar a morfologia e sedimentologia de fundo do baixo rio Xingu, estabelecendo correlação com os dados hidrodinâmicos, visando o entendimento dos processos de preenchimento sedimentar da ria, ainda em andamento. A área amostrada vai desde a confluência com o Amazonas (proximidades da cidade de Porto de Mós) até o estreitamento do lago de ria a montante, nas proximidades da cidade de Vitória do Xingu. Foram efetuados levantamentos sedimentológicos durante períodos de alta (fev/2016) e baixa (nov/2016) descarga de sedimentos. Para o período de alta descarga foram coletadas 109 amostras de sedimentos de fundo. Durante o período de baixa descarga, a amostragem foi repetida em 11 destas estações. No período de máxima descarga líquida do rio Amazonas (jun/2018), foram também monitorados os níveis d'água em diversos pontos ao longo do rio Xingu, assim como ocorreu nos períodos de coleta anteriores. Os dados morfológicos referem-se aos levantamentos batimétricos realizados pela Marinha do Brasil (CLSAOR/DHN). Os resultados demonstram forte correlação da sedimentologia com a morfologia, revelando um preenchimento do lago de ria tanto a partir do próprio rio Xingu, formando um proeminente delta de cabeceira, como a partir do rio Amazonas, onde as variações de maré têm transportado sedimentos a montante no rio Xingu. Por outro lado, grandes áreas de seção transversal na parte central da ria demonstram que volumes relativamente pequenos de sedimento alcançam aquela área, com dinâmica reduzida e sedimentação lamosa. Transversalmente, as areias estão mais associadas às margens e sua erosão por ação de ondas. Longitudinalmente, as areias são substancialmente mais frequentes na região de delta de cabeceira, e na região da confluência com o Amazonas, onde as áreas de seção transversal são notadamente menores. Os resultados sugerem ainda que a sedimentação nas proximidades da confluência com o rio Amazonas tem se reduzido ao longo do tempo, onde a combinação de variação da área da seção transversal com a vazão do próprio rio Xingu reduz o fluxo a montante a partir do rio Amazonas.

Palavras-chave- Marés. Ria. Preenchimento Sedimentar. Bacia Amazônica. *Tidal River*.

ABSTRACT

The Xingu River is an important tributary of the Amazon River, contributing with 5% of its total water discharge. Nevertheless, it does not contribute substantially with sediment load. The lower reaches of the Xingu River correspond to a Ria, as a result of the Holocene sea-level rise. It is also classified as a tidal river, where tides reach over 1 m at its confluence with the Amazon River. This study evaluated the morphology and sedimentology of the area, correlating it with hydrodynamics, aiming to understand the still ongoing infilling process of the Xingu Ria. The study area encompasses a stretch of about 180 km, from the Xingu-Amazon river confluence upward to the narrowing of the channel, near the city of Vitória do Xingu. During the maximum sediment discharge of the Amazon River (i.e., feb/2016) 109 bottom sediment samples were collected, whereas 11 of the sampling sites were re-sampled during the minimum water discharge period of both rivers (i.e., nov/2016). During the maximum water discharge period of the Amazon River (i.e., jun/2018), additional water level measurements were undertaken simultaneously in several locations along the Xingu River, as it was also performed during the other campaigns. The morphology was evaluated on the basis of the bathymetric surveys of the Brazilian Navy (CLSAOR/DHN), including about 20,000 points. The results showed that the infilling process of the ria lake has taken place from both 'ends' of the area- from the Xingu River itself, forming a prominent bay-head delta, as well as from the Xingu-Amazon River confluence, where tides have transported Amazon River sediments upstream into the Xingu Ria. Furthermore, there is a central portion of the ria lake with large cross-sectional areas, reached only by relatively small amounts of sediments, being a quiescent environment within muddy sedimentation. In a transversal perspective, sands seem to prevail along the margins, where local wave action seem to result in bluff erosion. Longitudinally, sands are substantially more frequent at the bay-head delta area, and at the confluence area, where cross-sections are clearly narrower. Results also suggest that the sediment input from the Amazon River into the Xingu ria has reduced over time, whereas the combination of cross-section area variation and the Xingu River water discharge itself reduce the sediment flux from the Amazon River into the Xingu River.

Key-words- Tides. Ria. Sediment Infilling. Amazon Basin. Tidal River.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- A Zona Costeira Amazônica (o retângulo vermelho marca a área de estudo).	3
Figura 2- Imagem de satélite da área de estudo. A figura (A) apresenta o contexto geral ao qual está inserido o rio Xingu, desaguando no rio Amazonas. A figura (B) evidencia o baixo curso do rio Xingu.	4
Figura 3- Em (A) Batimetria da área de estudo, (B) Imagem de satélite da área de estudo e em (C) Fotos da área de estudo evidenciando três áreas alvo do presente estudo.	5
Figura 4- Normas climatológicas do Brasil durante o período de 1961 a 1990. Precipitações mensais (mm) nos meses de Fevereiro e Julho (máxima e mínima, respectivamente) (Fonte- INMET, 1992).	6
Figura 5- Esquema mostrando os períodos de coletas de dados. Em cinza, a coleta realizada em Fevereiro/2016 e em verde, a coleta realizada em Novembro/2016 (modificado de Nittrouer <i>et al.</i> 1995).	13
Figura 6- Comparação das descargas médias mensais dos rios Amazonas, Tapajós e Xingu (modificado de Fricke <i>et al.</i> 2017).	13
Figura 7- Amostra de sedimento coletada com uso de draga busca-fundo (modelo Petersen).	14
Figura 8- Localização da área de estudo, evidenciando os pontos (em vermelho) onde foram realizadas as coletas de sedimentos durante as coletas realizadas em Fevereiro/2016 (A) e Março/2016 (B).	15
Figura 9- (A) Marégrafo e (B) Esquema de levantamento de dados com o ADCP.	15
Figura 10- (A) Equipamento utilizado para análise granulométrica, marca Shimadzu e modelo SALD-2201 e (B) Peneirador mecânico utilizado na análise.	17
Figura 11- Perfis transversais evidenciando a morfologia (perfis 1 a 19) e perfil longitudinal.	22
Figura 12- Representação gráfica da interação entre os dados de morfologia e hidrodinâmica no baixo curso do rio Xingu. A seta vermelha indica o perfil 4 que foi utilizado como “ponto de equilíbrio”, a partir do qual, a maré não sofre deformações significativas.	25
Figura 13- Comportamento da altura de maré durante as três campanhas amostrais.	25
Figura 14- (A) Mapa do levantamento batimétrico; (B) Concentrações de matéria orgânica ao longo do rio Xingu (Fevereiro/2016).	27

Figura 15- (A) Batimetria e pontos de coleta de sedimentos; (B) Distribuição textural dos sedimentos de fundo do baixo curso do rio Xingu; Distribuição espacial de (C) assimetria e (D) seleção dentro da área de estudo.	30
Figura 16- Relação ente diâmetro médio e grau de seleção das amostras de sedimento de fundo.	31
Figura 17- Relação ente diâmetro médio e assimetria das amostras de sedimento de fundo...31	
Figura 18- Classificação de Shepard (1954) para o lago de ria do Xingu referente ao períodos de alta (A) e baixa vazão do rio Amazonas (B).	32
Figura 19- Distribuição das amostras de acordo com as variáveis observadas e a relação entre os eixos 1 e 2.....	35
Figura 20- Peso das variáveis utilizadas em PCA no eixo 1.	36
Figura 21- Peso das variáveis utilizadas em PCA no eixo 2.	36
Figura 22- Dendrograma resultante da análise de agrupamento, incluindo variáveis granulométricas baseadas em Folk (1954), M.O., variáveis morfológicas e altura de maré (a primeira letra da etiqueta se refere aos setores confluência (C), ria (R) e delta de cabeceira (D); a segunda letra diferencia amostras do canal (C) e margens (M)).	40
Figura 23- Comparação das amostras coletas nos meses de Fevereiro e Novembro de 2016. 43	
Figura 24- Descrição das porcentagens das classes granulométricas nos três setores da área de estudo.	44
Figura 25- Divisão da área de estudo em setores(A); e Perfis transversais evidenciando a morfologia (B).....	45
Figura 26- Modelo deposicional esquemático evidenciando os processos de afogamento e preenchimento do lago de ria do baixo Xingu.	48
Figura 27- Etapa final do modelo deposicional esquemático, evidenciando as contribuições dos rios Amazonas e Xingu no processo de preenchimento/deposição do baixo Xingu.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Valores referentes às variações das áreas de inundação durante os períodos de coleta.....	21
Tabela 2- Valores da altura de maré obtidos nas campanhas amostrais.....	26
Tabela 3- Percentual das frações granulométricas das amostras de sedimentos durante o período de enchente do rio Xingu.....	28
Tabela 4- Contribuição de cada variável nos eixos de PCA.....	33
Tabela 5- Resultados da Análise de Componentes Principais (PCA).....	34
Tabela 6- Percentual das frações granulométricas das amostras de sedimentos dos períodos alta e baixa descarga de sedimentos no baixo curso do rio Xingu.....	41
Tabela 7- Comparação dos resultados das análises granulométricas dos sedimentos coletados nos períodos de alta descarga (A) e baixa descarga (B).	42

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	ix
LISTA DE TABELAS	xi
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 A ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA	2
1.2 ÁREA DE ESTUDO	4
1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E HIDROGRÁFICAS	5
1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO	6
1.5 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS	6
1.6 CARACTERIZAÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS	7
1.7 USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE	8
2 PROBLEMÁTICA	10
3 OBJETIVOS	11
3.1 OBJETIVO GERAL	11
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	11
4 MATERIAL E MÉTODOS	12
4.1 AQUISIÇÃO DE DADOS	14
4.2 ANÁLISE DA MORFOLOGIA	15
4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	16
4.3.1 Eliminação de matéria orgânica (M.O.)	16
4.3.2 Análise granulométrica por difração a laser	16
4.3.3 Análise por peneiramento	17
4.4 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS SEDIMENTOS	17

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO	19
5.1 MORFOLOGIA	19
5.2 ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA	26
5.3 ANÁLISE TEXTURAL	27
5.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)	33
5.5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO	36
5.6 PERÍODO DE BAIXA DESCARGA DE SEDIMENTOS.....	41
5.7 SETORIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	44
5.8 MODELO DEPOSICIONAL	46
6 CONCLUSÕES	49
REFERÊNCIAS	51

1 INTRODUÇÃO

As zonas costeiras são áreas de grande complexidade e diversas particularidades, onde efluentes são descarregados, recursos naturais são explorados e os sedimentos são erodidos, transportados e depositados. O resultado de toda essa atividade é que o desenvolvimento da costa resulta da interação entre processos naturais e antropogênicos, que podem ocorrer ou não em harmonia (French 1997).

A Zona Costeira Amazônica (ZCA), mais especificamente, a bacia Amazônia, representa um dos sistemas fluviais mais importantes do mundo. Um dos principais aspectos que tornam essa bacia de interesse particular para as pesquisas é a sua área de drenagem, com aproximadamente 6,5 milhões de km² (Silva *et al.* 1976).

Wells (1995) definiu o rio Amazonas como um *tidal river* devido ausência da maré salina, entretanto, sofrendo influência da maré dinâmica. Discussões sobre conceitos e processos associados aos *tidal rivers* são discutidos ao longo da dissertação.

O rio Xingu é um dos tributários da margem direita do rio Amazonas que, além de estar inserido no contexto da ZCA, na região do seu baixo curso, é definido como um *tidal river* com um importante lago de ria, o qual encontra-se em pleno processo de preenchimento (Irion *et al.* 2010, Wells *op.cit.*).

Com as variações do nível do mar, o afogamento das áreas adjacentes ao Amazonas influenciou na geometria fluvial, na hidrodinâmica e no transporte de sedimentos (até aproximadamente 2.500 km adentro das áreas próximas ao rio Amazonas), formando assim, riachos (Irion *et al. op.cit.*) e rias fluviais, como é o caso do rio Xingu.

Quanto à sedimentação desses ambientes, estes são caracterizados por reduzida carga de sedimentos. Conseqüentemente, o processo de preenchimento de seus vales ainda não foi finalizado e como regra geral, a foz desses rios são áreas muito largas e profundas, marcadas por fracas correntes (Junk 1982).

O entendimento dos processos de transporte, erosão e deposição dos sedimentos é fundamental nos estudos relacionados aos grandes rios. Os sedimentos têm relevante importância nas questões hidrodinâmicas, ecológicas e biogeoquímicas (Bayley 1995, Latrubesse *et al.* 2005, Mertes & Magadzire 2008).

É importante destacar que trabalhos similares foram realizados por diversos autores no baixo curso do rio Tapajós (Freitas 2017, Latrubesse *et al.* 2005, Irion *et al. op.cit.*). Entretanto, esses aspectos ainda não foram bem estudados e/ou compreendidos para o baixo Xingu.

A construção da usina hidrelétrica de Belo Monte contribuiu para intensificar os estudos no rio Xingu e regiões adjacentes, principalmente relacionados às questões econômicas, sociais e ambientais.

Assim, o presente trabalho visou estabelecer um modelo deposicional esquemático do baixo Xingu, buscando o esclarecimento dos processos morfológicos, sedimentológicos e hidrodinâmicos associados, uma vez que, estudos similares já foram realizados em outros rios da região. Além disso, é fundamental o conhecimento da dinâmica do baixo Xingu em situação “quase” natural, isto é, sem significativas modificações causadas pela UHE de Belo Monte.

1.1 A ZONA COSTEIRA AMAZÔNICA

A Zona Costeira (ZC), de modo geral, consiste na grande área afetada por processos que ocorrem entre as interfaces oceânica e continental (Garrison 2010). Rodríguez & Windevoxhel (1998) definiram a zona costeira como- *“o espaço delimitado pela interface entre o oceano e a terra, ou seja, a faixa terrestre que recebe influência marítima e a faixa marítima que recebe influência terrestre”*.

A Zona Costeira Amazônica Brasileira (figura 1) está localizada entre os paralelos 4° S e 5° N e os meridianos 43° W e 51° W, entre o Cabo Orange (Amapá) e a Ponta de Tubarão (Maranhão) (Souza Filho *et al.* 2005). Esta apresenta características particulares, tais como elevada precipitação anual (até 3.300 mm), altas temperaturas (superiores a 20 °C) com baixa variação térmica anual, extensa plataforma continental (aproximadamente 330 km), regime de macromarés, ampla área de manguezais (Pereira *et al.* 2009).

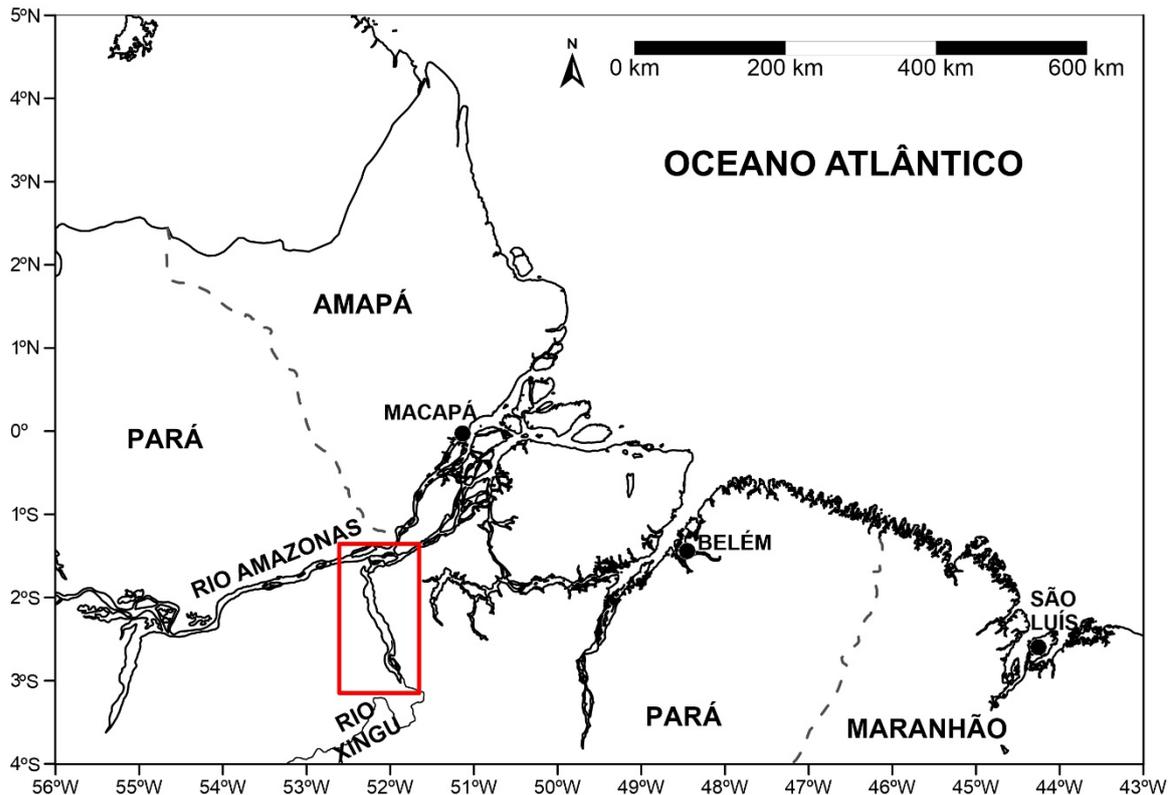


Figura 1- A Zona Costeira Amazônica (o retângulo vermelho marca a área de estudo).

Um dos aspectos mais singulares da Zona Costeira Amazônica são as extensas redes de drenagem, constituindo sistemas com grandes descargas fluviais, tendo como principal exemplo o rio Amazonas, drenando uma área de aproximadamente 4.690.000 km², área equivalente a um terço do continente Sul-Americano (Depetris *et al.* 1991).

O rio Amazonas é o maior do mundo em termos de extensão e volume de água, com descarga de, aproximadamente, 6,3 trilhões m³/ano, o que representa 16% do total de água doce lançada nos oceanos (Oltman 1968 *apud* Pereira, 2007). A carga sedimentar do rio Amazonas é de $1,3 \times 10^9$ ton/ano, aproximadamente, sendo considerada a segunda maior do mundo, dos quais apenas 15 a 20% atingem a zona costeira (Meade *et al.* 1985).

Inserido neste contexto da Zona Costeira Amazônica, encontra-se o rio Xingu, que é o foco do presente estudo, sendo este um importante afluente do rio Amazonas, contribuindo com cerca de 5% de sua vazão líquida (Amorim 2006), pertencendo ao grupo dos rios de águas claras, pobres em sedimentos (Ayres 1995).

1.2 ÁREA DE ESTUDO

A bacia do rio Xingu possui mais de 500.000 km² e ocupa 24,5% do território do estado do Pará (figura 2). O rio Xingu é um dos tributários da margem direita do rio Amazonas. Nasce no estado do Mato Grosso, na área da Serra do Roncador, aproximadamente 200 km de Cuiabá, e desemboca logo após de Porto de Moz e Gurupá, no estuário do rio Amazonas. Possui mais de 1.600 km de comprimento e corre, na maior parte do seu curso, no sentido S-N, sendo o seu maior afluente o rio Iriri, que nasce a aproximadamente 100 km ao SW de Altamira (Ibama 2008).

A região denominada de "baixo Xingu" corresponde ao trecho situado na jusante da Volta Grande do Xingu até a foz no rio Amazonas (figura 3). O baixo Xingu caracteriza-se pela ria, cujas condições ecológicas são diferenciadas do restante do rio Xingu (Eletrobras 2009a).

A morfologia do baixo curso do rio Xingu é caracterizada por corredeiras em canais múltiplos retilíneos que correm sobre sistemas de fraturas e convergem para um canal único largo com morfologia de ria fluvial (Archer 2005). O trecho de canais múltiplos retilíneos é conhecido como Volta Grande do rio Xingu (Souza 2015). As declividades deste trecho foram fundamentais para a localização do Empreendimento Hidrelétrico de Belo Monte, segundo o relatório de impacto ambiental de Belo Monte (Eletrobras 2009b).

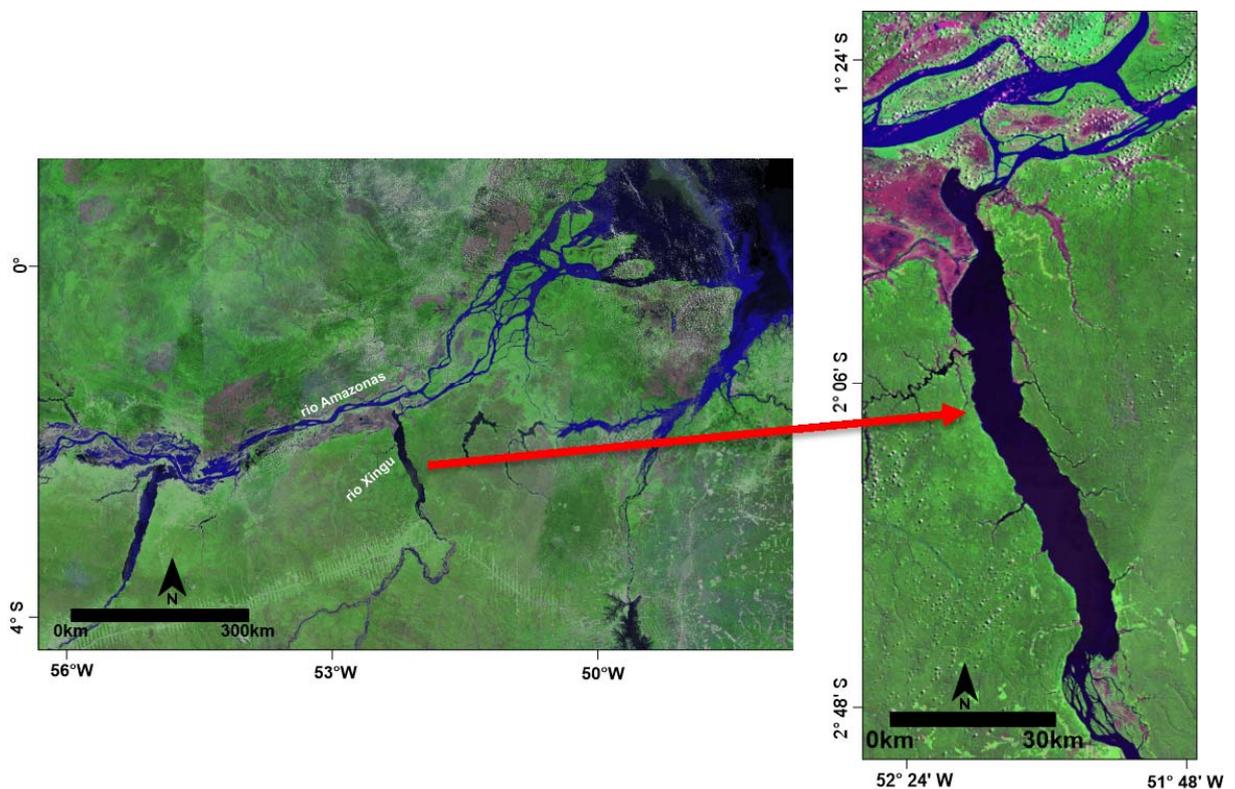


Figura 2- Imagem de satélite da área de estudo. A figura (A) apresenta o contexto geral ao qual está inserido o rio Xingu, desaguardo no rio Amazonas. A figura (B) evidencia o baixo curso do rio Xingu.

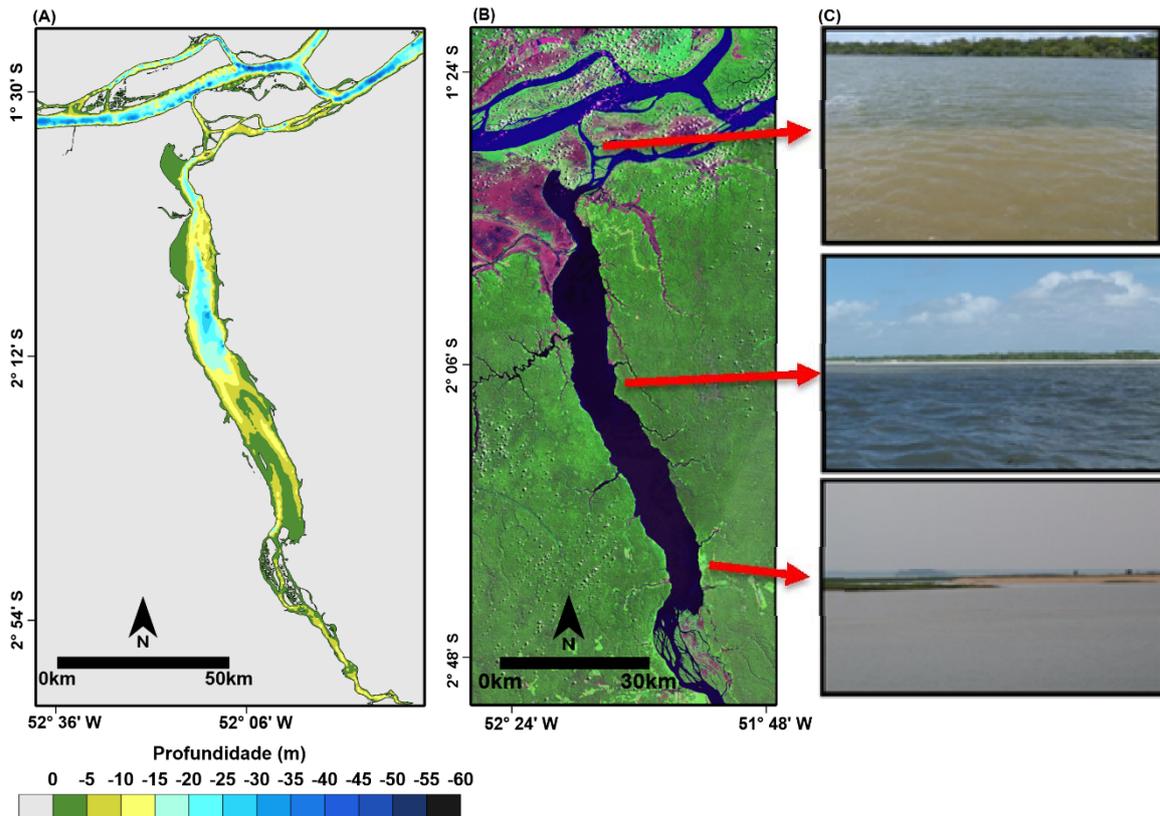


Figura 3- Em (A) Batimetria da área de estudo, (B) Imagem de satélite da área de estudo e em (C) Fotos da área de estudo evidenciando três áreas alvo do presente estudo.

No que se refere à cobertura vegetal, na margem direita, no baixo curso do rio Xingu, predomina floresta ombrófila densa e floresta ombrófila aluvial. No eixo propriamente dito prevalecem remanescentes de florestas ombrófilas e fragmentos em diferentes estágios sucessionais em meio a extensas áreas de uso antrópico. Quanto à fauna, a região amazônica, de modo geral, apresenta grande biodiversidade e endemismo, fator que justifica a importância da preservação e conservação da área (Eletrobras 2009a).

1.3 CARACTERÍSTICAS CLIMÁTICAS E HIDROGRÁFICAS

A temperatura média da região da bacia de drenagem do rio Xingu varia entre 26° C no verão e 28° C no inverno. Essa região se caracteriza pela forte sazonalidade da pluviosidade, com precipitações de 420 mm mensais no verão e abaixo de 10 mm mensais no inverno (Inmet 1992). Como resultado dessa sazonalidade da precipitação, há grande variação anual do nível do rio e de sua vazão. O nível do rio Xingu varia cerca de 6 m por ano na região de Altamira, atingindo o nível máximo entre março e abril, sendo o nível mínimo em setembro a outubro (Souza *op.cit.*) (figura 4).

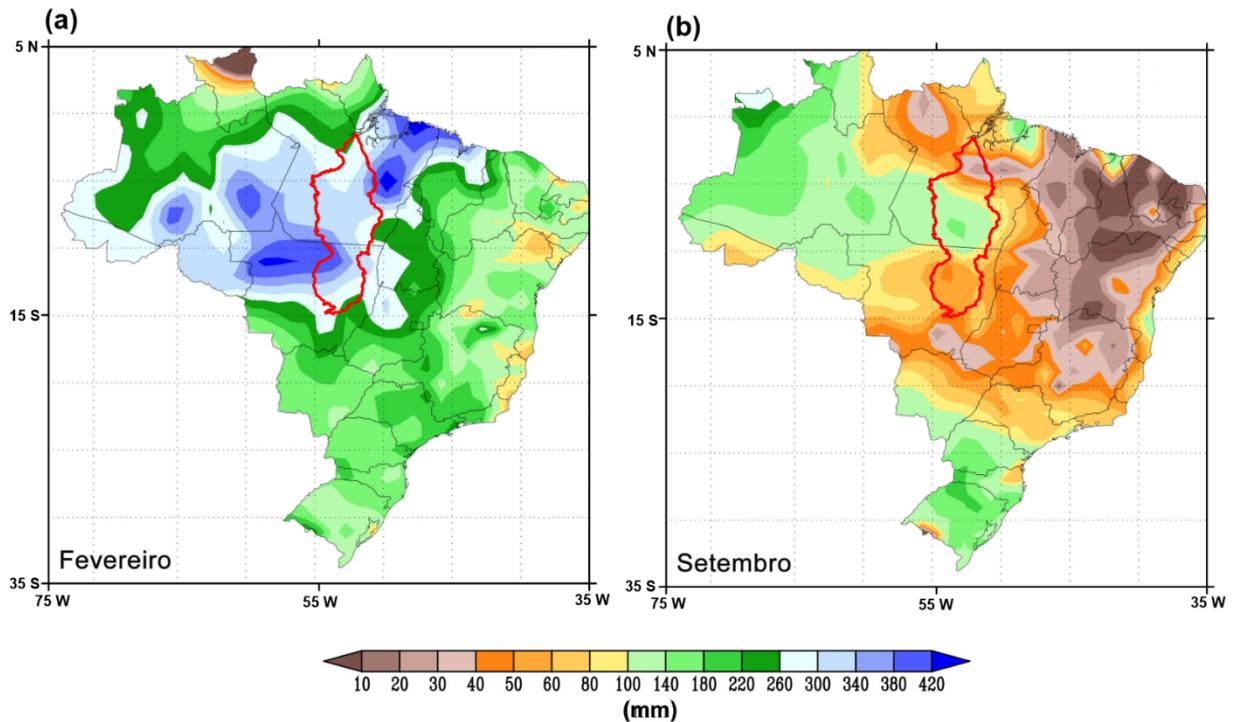


Figura 4- Normas climatológicas do Brasil durante o período de 1961 a 1990. Precipitações mensais (mm) nos meses de Fevereiro e Julho (máxima e mínima, respectivamente) (Fonte- INMET, 1992).

1.4 CONTEXTO GEOLÓGICO

Segundo Tassinari & Macambira (2004), o Cráton Amazônico possui superfície que abrange 4.300.000 km², constituindo uma das maiores áreas cratônicas do mundo, ocorrendo na porção norte da América do Sul. É dividido em dois escudos, o do Guaporé e das Guianas, separados pelas rochas sedimentares da Bacia paleozoica do Amazonas. A área cratônica é limitada cinturões orogênicos neoproterozóicos Tucavana, na Bolívia, Araguaia-Cuiabá e Tocantins, no Brasil (Tassinari *et al.* 2000).

A área de estudo é pertencente à Província Amazônia Central (2,5 Ga) (Tassinari *et al.* 1999), definida como a crosta continental mais antiga do Cráton Amazônico. Dall'Agnol *et al.* (1999) dividiram a província em dois domínios principais- o Bloco Mineral Carajás (localizada no Sudeste do cráton, sendo este amplamente estudado) e o Bloco Xingú-Iricoumé (abrange a região oeste da Província Carajás até o Estado de Roraima, geologicamente pouco conhecido).

1.5 CARACTERÍSTICAS GEOMORFOLÓGICAS

A complexidade dos processos morfodinâmicos exerce grande influência na modelagem costeira, uma vez que, os ambientes de sedimentação costeira são altamente mutáveis devido

a sua localização geográfica e processos costeiros associados às ondas, correntes, marés e ao aporte sedimentar (Baptista Neto *et al.* 2004).

Segundo Freitas (2012), assim como os estuários de maneira geral, os *tidal rivers* (rios com maré), mostram-se tão ou mais difíceis de se identificar. Kjerfve & Magill (1989) referiram-se a *tidal river* como um vale fluvial afogado, com o mar invadindo seu baixo curso durante a subida do nível do mar holocênica, contendo apenas água doce, porém sujeito a ação da maré dinâmica com setores registrando a reversão de correntes.

Freitas *et al.* (*op. cit.*) definiram *tidal river* como- “*um ambiente fluvial sujeito a ação ‘exclusiva da maré dinâmica’, sem deságue direto no oceano, se comportando como um tributário de um sistema estuarino principal, especialmente os com domínio de macromaré (e.g. estuário da Baía de Marajó/Rio Pará), estendendo-se desde sua foz fluvial até a Zona Limite da Maré (ZLM) ”.*

Devido às suas características hidrodinâmicas e morfológicas, em associação com as variações do nível do mar no Quaternário e a influência da maré, o baixo curso do rio Xingu se configura como um *tidal river* (Wells 1995), com um importante lago de ria, onde o processo de preenchimento sedimentar está em pleno curso (Irion *et al.* 2010).

Rias fluviais consistem em lagos formados pelas drenagens de tributários com padrão dendrítico que foram bloqueados por agradação acelerada nas proximidades da desembocadura com o rio principal (HOLZ *et al.* 1979). Sua origem ainda é discutível, porém, mais comumente tem-se atribuído sua origem a oscilações eustáticas pós-glaciais (Irion *op. cit.*).

A característica mais importante das rias é a de apresentar rios com a foz totalmente afogada (França 2005). Os lagos de ria existentes na Bacia Amazônica apresentam águas pretas ou claras, pois são abastecidos por pequenos rios da bacia de drenagem local com estes tipos de água, ao longo das diferentes estações do ciclo hidrológico (D’angelo 2016).

O baixo curso do rio Xingu apresenta morfologia de ria fluvial, sendo caracterizado por canal único largo (até 13 km) e retilíneo, com margens formando falésias fluviais e com estreitamento do canal à montante (Souza *op. cit.*). Este trecho é caracterizado principalmente como um ‘lago de ria’, de águas claras (*clearwater river*) com extensão de aprox. 115 km (Sioli 1984).

1.6 CARACTERIZAÇÃO E TRANSPORTE DE SEDIMENTOS

A análise da sedimentação fluvial na Amazônia é fundamental para a ciência, uma vez que os rios amazônicos têm relevante importância para a biodiversidade (Silva *et al.* 2005).

Carvalho (2008) definiu sedimentos como-

“partículas derivadas da rocha, ou agentes biológicos, que podem ser transportados por um fluido. Estas partículas provêm da fragmentação das rochas por processos físicos ou químicos e transportadas pela água ou pelo vento do lugar de origem até rios e locais de deposição, ou seja, é o material sólido em suspensão na água ou depositado no leito”.

Estudos sobre a dimensão das partículas de sedimentos são importantes indicadores dos processos de deposição e erosão, haja vista que por meio da análise do tamanho das partículas é possível identificar o agente deposicional, o tipo de transporte e os ambientes deposicionais (Dias 2004).

O aumento de carga sedimentar pode resultar de processos naturais e/ou antrópicos, como- descarga fluvial, a descarga de sedimento terrígeno após períodos de chuvas intensas, a erosão da linha de costa e a ressuspensão do sedimento de fundo durante tempestades, sendo esses os processos naturais (Loya 1976; Rogers 1990). O principal fator antrópico são os efeitos da drenagem e da ocupação humana na região costeira (Dodge & Vainsnys 1977; Hodgson & Dixon 2000).

O transporte de sedimentos é processado nos cursos da água, sendo que ocorre em maior quantidade nas épocas chuvosas. Cerca de 70 a 90% de todo o sedimento transportado ocorre nestes períodos, principalmente nos grandes eventos pluviométricos (Carvalho, *op. cit.*). A capacidade de transporte de um rio pode variar em função da vazão, características do material disponível e intensidade de turbulência do fluxo (Schumm 1981).

Caracterizar e entender como ocorre o transporte de sedimentos no baixo curso do rio Xingu, é fundamental para o entendimento de sua associação à morfologia e hidrodinâmica. É importante destacar ainda que, apesar da influência da construção de Belo Monte já ter afetado os processos hidrodinâmicos, sua interferência nos processos sedimentares ainda não foi concluída, já que para este caso é necessário mais tempo para que as mudanças substancialmente perceptíveis.

1.7 USINA HIDRELÉTRICA DE BELO MONTE

O projeto de construção da Usina Hidrelétrica de Belo Monte teve início em 1975, por meio dos Estudos de Inventário Hidrelétrico da Bacia Hidrográfica do Rio Xingu. Devido às fortes pressões sociais, o projeto foi abandonado pelo governo, sendo retomado em julho de 2005, apresentando alterações em relação à sua concepção original (Bermann 2012).

A construção da usina teve início em julho de 2010, sendo considerada a terceira maior hidrelétrica do mundo, com previsão para gerar mais de 11.000 MW/hora (Fleury & Almeida 2013).

Os impactos causados pela construção envolvem as questões sociais, ambientais, econômicas e políticas (Fearnside 2006; Hall & Brandford 2012; Cunha & Ferreira 2012).

Bermann (*op.cit.*) aponta que o potencial máximo da usina só será alcançado durante três meses, sendo que, 90% do ano, a usina estará parada, como por exemplo, setembro e outubro em que a vazão do rio é considerada baixa.

O baixo curso do rio Xingu já vem sofrendo os impactos da construção da usina. No que se refere aos aspectos hidrodinâmicos, estima-se que a vazão do rio está/será reduzida, assim como a velocidade do fluxo.

Em relação à sedimentologia, as barragens da hidrelétrica de Belo Monte poderão ocasionar alterações do ciclo secular a milenar de formação de praias e crescimento de ilhas (Souza *op.cit.*).

2 PROBLEMÁTICA

O rio Xingu é a quarta maior bacia hidrográfica da Amazônia (cerca de 7% em área) e um dos maiores rios de águas claras que drena os planaltos cristalinos e planícies sedimentares do Escudo Brasileiro, sendo responsável por cerca de 5% da vazão do rio Amazonas (Reis 2013).

Com o desenvolvimento do estudo apresentado será possível um melhor entendimento da dinâmica e circulação deste setor amazônico, incluindo conhecimentos acerca do transporte de sedimentos e regime hidrodinâmico dominante.

Na referida área de estudo, o transporte sedimentar envolve não só componentes fluviais, mas também componentes de maré. Com a conclusão da construção e fechamento da Usina Hidrelétrica de Belo Monte, todos os processos hidrodinâmicos e sedimentares foram (e ainda serão) alterados. Desta forma, a caracterização da sedimentologia de fundo e compreensão de sua dinâmica quase natural (isto é, sem significativas alterações) é fundamental, onde o presente estudo pretende contribuir substancialmente.

O baixo curso do rio Xingu apresenta morfologia de ria fluvial. O trecho correspondente ao “lago de ria” possui grande área de seção transversal, com suas extremidades estreitas. Diante dessas características, as principais perguntas que direcionam o presente estudo e que ao final da análise e discussão dos dados devem ser respondidas são-

- Como ocorre a distribuição de sedimentos ao longo do baixo curso do rio Xingu?
- Como as variações de corrente afetam o transporte de sedimentos e determinam a sedimentologia de fundo?
- As variações de corrente são causadas pela propagação da maré ou pela variação da área da seção transversal?

3 OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste estudo é elaborar um modelo deposicional esquemático do baixo curso do rio Xingu com base na distribuição espacial de sedimentos de fundo, correlacionando com a morfologia e hidrodinâmica local para explicar os padrões observados, suas causas e consequências de eventuais alterações.

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Mapear texturalmente os sedimentos de fundo do baixo curso do rio Xingu;
- Determinar a variação longitudinal da morfologia do baixo curso do rio Xingu em termos da geometria da seção transversal (relação largura x profundidade e área);
- Medir a variação sazonal da geometria e da sedimentologia do baixo curso do rio Xingu;
- Estimar os padrões hidrodinâmicos no “lago de ria” do rio Xingu e a importância relativa das vazões fluviais e da influência de maré e suas variações temporais;
- Comparar os efeitos da morfologia e da hidrodinâmica na explicação dos padrões de distribuição de sedimentos de fundo na área;
- Elaborar um modelo deposicional esquemático para a área, que explique os padrões de deposição, os processos de transporte e fontes de sedimentos no baixo Xingu.

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados foram coletados em duas campanhas, sendo a primeira realizada no período de alta vazão do rio Amazonas (entre os dias 21 e 27 de Fevereiro de 2016) e a segunda durante o período de baixa vazão do rio Amazonas e baixa descarga de sedimentos (entre os dias 13 e 18 de Novembro de 2016) (figura 5). É importante destacar que a descarga máxima do rio Xingu ocorre 2 a 3 meses antes do pico de descarga do rio Amazonas. Assim, quando ocorre o pico de descarga do rio Amazonas, os níveis de descarga do rio Xingu já se encontram em declínio (figura 6).

Em Junho de 2018 foi realizada uma campanha amostral objetivando obtenção de dados hidrodinâmicos. Nos resultados da presente dissertação, utilizou-se apenas dados referentes à altura de maré, com intuito de analisar a relação do comportamento dessa variação com a morfologia.

Foram ainda utilizados na discussão os resultados batimétricos obtidos pela Diretoria de Hidrografia e Navegação (Marinha do Brasil) e das elevações digitais coletadas pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM).

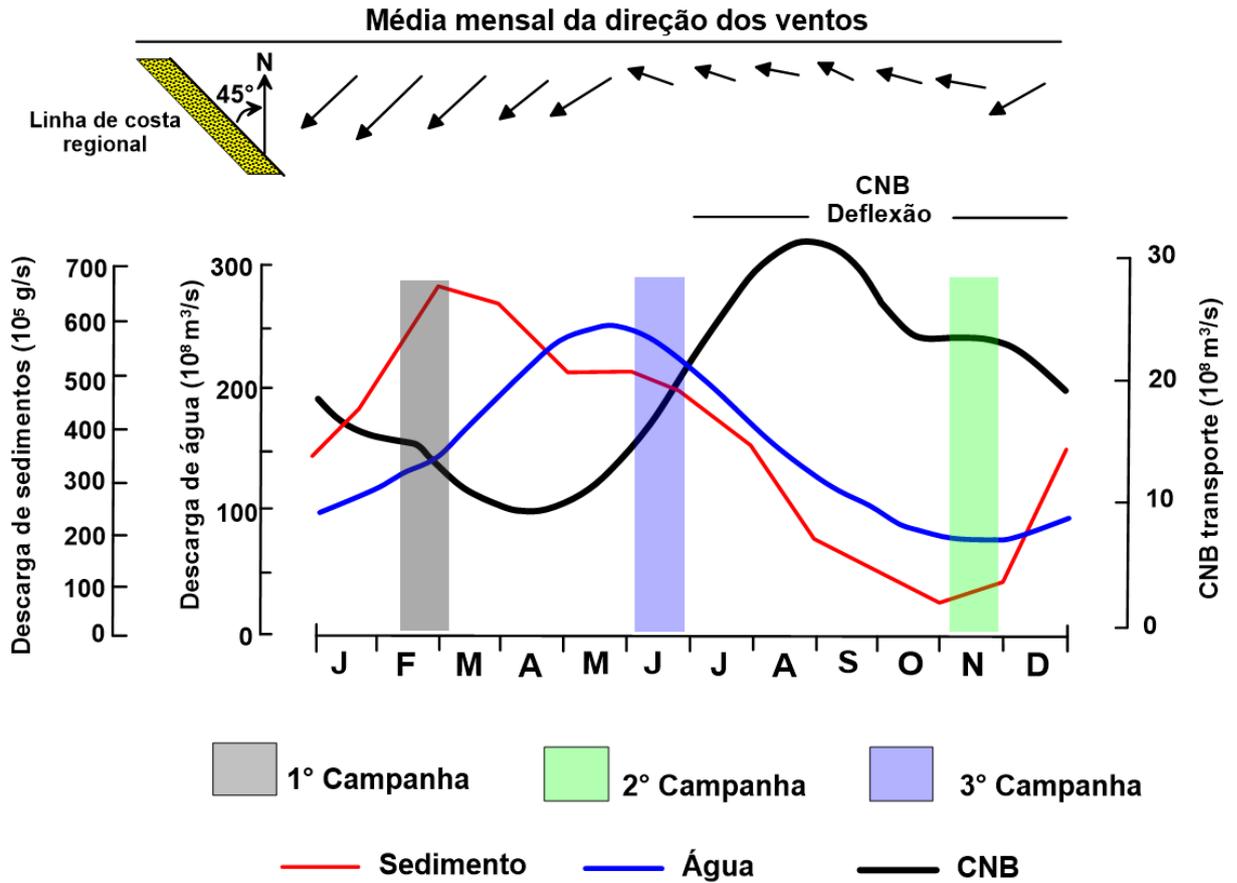


Figura 5- Esquema mostrando os períodos de coletas de dados. Em cinza, a coleta realizada em Fevereiro/2016 e em verde, a coleta realizada em Novembro/2016 (modificado de Nittrouer *et al.* 1995).

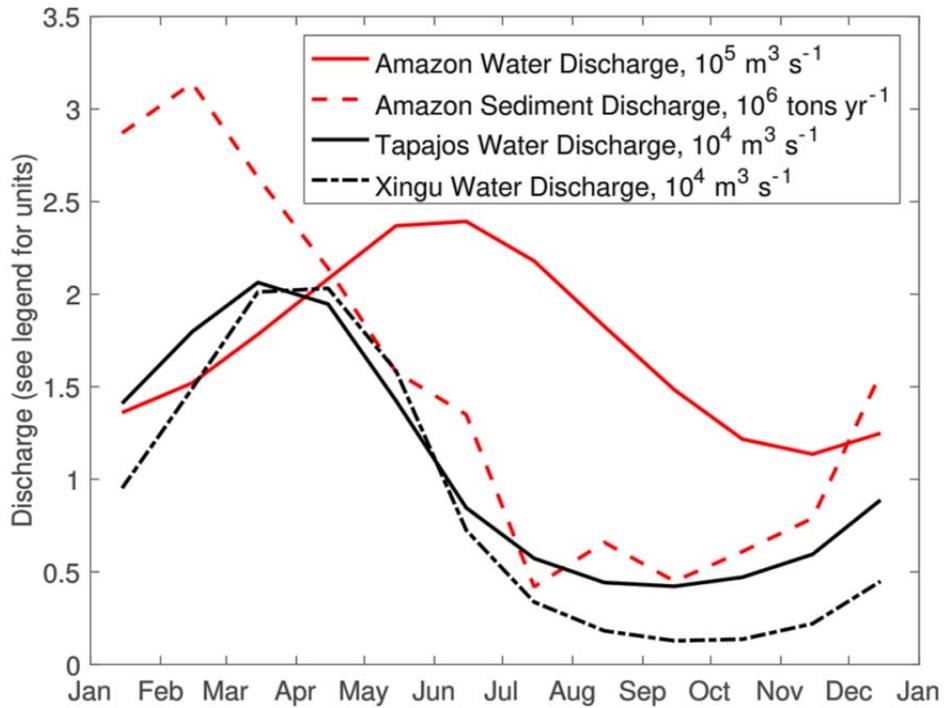


Figura 6- Comparação das descargas médias mensais dos rios Amazonas, Tapajós e Xingu (Fonte- Fricke *et al.* 2017).

4.1 COLETA DE DADOS

Os dados sedimentológicos no baixo rio Xingu foram obtidos através de embarcação de médio porte, GPS e draga busca-fundo (modelos Petersen e Shepack) (figura 7).

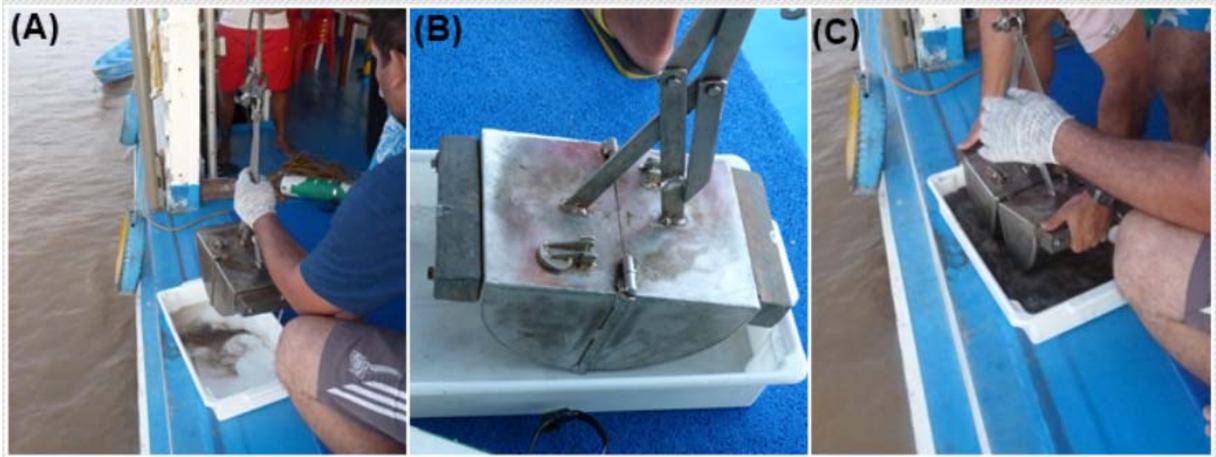


Figura 7- Amostra de sedimento coletada com uso de draga busca-fundo (modelo Petersen).

Durante a primeira campanha (Fevereiro/2016), foram coletadas e posicionadas 109 amostras de sedimentos de fundo, incluindo 9 perfis transversais, além de algumas amostras difusas em setores estreitos do canal, sendo que se incluiu minimamente amostras próximas de cada margem, uma no talvegue principal do rio (canal), e outras adicionais em posições intermediárias, dependendo da largura do canal. A área amostrada vai desde a confluência com o Amazonas (proximidades da cidade de Porto de Mós), até o estreitamento do lago de ria a montante, nas proximidades da cidade de Senador José Porfírio, referindo-se a uma área de 100 (longitudinalmente) por 10 (transversalmente) km (figura 8 - A).

Na segunda campanha, referente ao período de baixa vazão do rio Amazonas, foram coletadas 11 amostras, em pontos previamente escolhidos com auxílio dos resultados preliminares da coleta anterior, objetivando verificar se houve variação sazonal (figura 8 - B).

O controle da variação de nível d'água foi realizado através de instalação longitudinal de marégrafos do tipo sensores de pressão, modelo Onset/HOBO[®] U20-002-Ti (figura 9 - A).

Para os levantamentos transversais, os dados de velocidade de correntes e vazão foram medidos com um perfilador acústico de corrente ADCP (*Acoustic Doppler Current Profiler*) modelo *workhorse monitor* (1.200 kHz) Teledyne[®]. Os dados coletados foram processados com uso do *software WinRiver II*. Foram realizados perfis transversais (de margem a margem) continuamente em intervalos de 30 min (figura 9 - B).

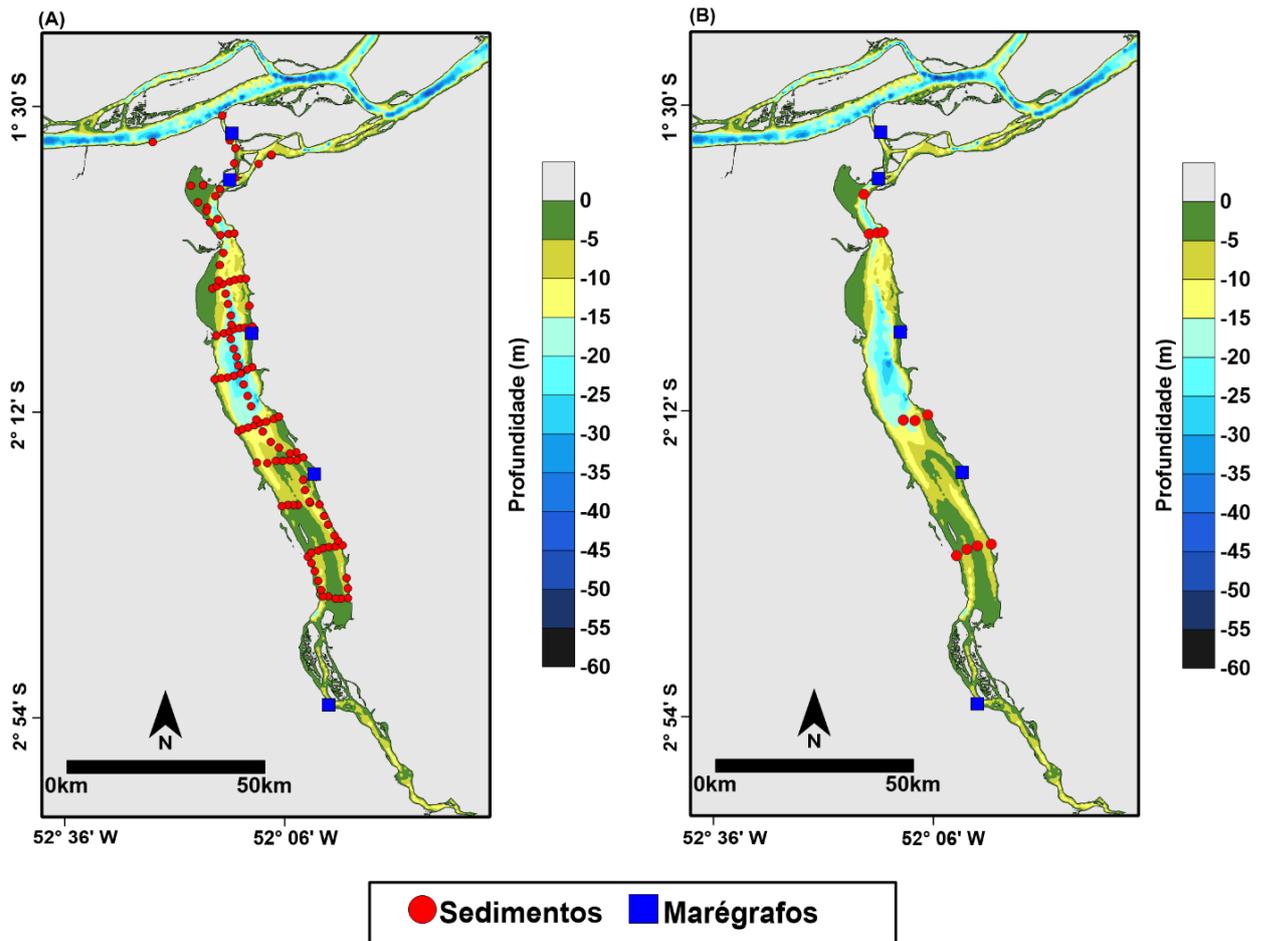


Figura 8- Localização da área de estudo, evidenciando os pontos (em vermelho) onde foram realizadas as coletas de sedimentos durante as coletas realizadas em Fevereiro/2016 (A) e Março/2016 (B).

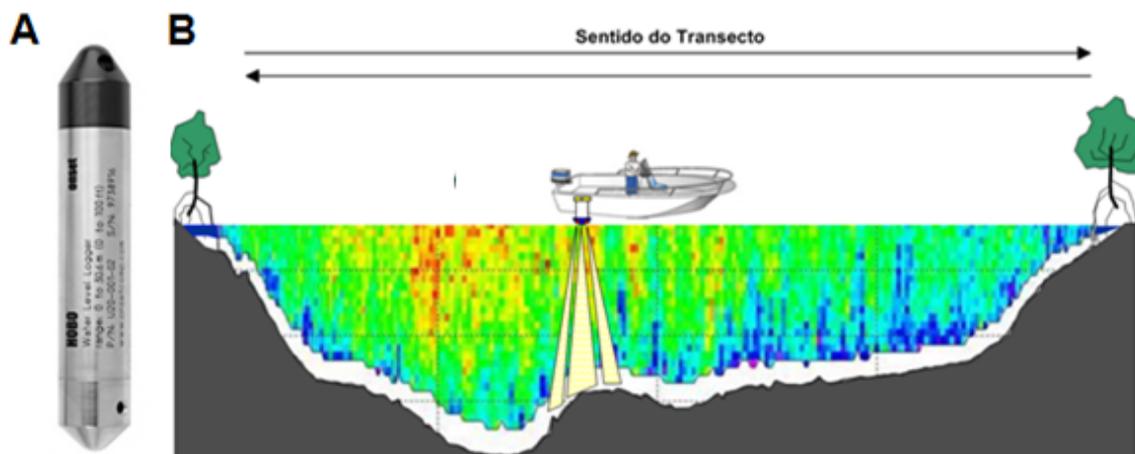


Figura 9- (A) Marégrafo e (B) Esquema de levantamento de dados com o ADCP.

4.2 ANÁLISE DA MORFOLOGIA

As análises da morfologia da área foram realizadas utilizando dados batimétricos da Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha do Brasil (DHN) e das elevações digitais

coletadas pela *Shuttle Radar Topography Mission* (SRTM). Os limites de bacia hidrográfica, cursos e profundidades de talvegue foram estabelecidos com base em imagens de satélite Landsat 5 TM e dados SRTM.

Esses conjuntos de dados foram integrados e usados para construir um modelo de elevação digital (DEM) usando o *Golden Software Surfer 11*, permitindo a extração de perfis batimétricos/topográficos e cálculos de área e volume.

4.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

4.3.1 Eliminação de matéria orgânica (M.O.)

As amostras de sedimentos foram lavadas com água para eliminação de sais e levadas para secagem em estufa a 60 °C. Logo após este processo foi feito o quarteamento da amostra total, no qual se retirou 100 g de cada amostra, para serem tratadas com peróxido de hidrogênio (H₂O₂), para a eliminação de matéria orgânica, diluído com água, na proporção de 3/1, ou seja, 75% de água e 25% de H₂O₂, deixando descansar por 24h. Na etapa seguinte, as amostras foram tratadas com peróxido de hidrogênio puro por mais 24h.

Após a eliminação da matéria orgânica, o material foi lavado e seco em estufa a 60 °C, e posteriormente pesado para obtenção do percentual de matéria orgânica de cada amostra.

4.3.2 Análise granulométrica por difração a laser

A análise granulométrica foi realizada com auxílio de granulômetro a laser modelo SALD-2201 da marca Shimadzu, com faixa de medida de 0,120 a 1.000 µm. Os dados foram processados com auxílio do *software Wing- 1 (Standard data processing)* (figura 10 – A).

Por este método, as partículas são dispersas num fluido em movimento causando discontinuidades no fluxo do fluido, que são detectadas por uma luz incidente, e correlacionadas com o tamanho de partícula. Ao atingir uma quantidade de partículas, a luz incidente sofre uma interação segundo quatro diferentes fenômenos (difração, refração, reflexão e absorção) formando um invólucro tridimensional de luz (Papini & Leal Neto 2006). O índice de refração relativo da partícula no meio dispersante, pelo comprimento de onda da luz, e pelo tamanho e formato da partícula acabam por afetar o formato e o tamanho do invólucro e então detectores convenientemente posicionados medem a intensidade e o ângulo da luz espalhada.

Esses dados são enviados para *softwares* matemáticos que os convertem em tamanho da partícula (Ribeiro 2014). O formato e o tamanho deste invólucro são afetados pelo índice de

refração relativo da partícula no meio dispersante, pelo comprimento de onda da luz, e pelo tamanho e formato da partícula. Detectores estrategicamente posicionados medem a intensidade e o ângulo da luz espalhada. O sinal dos detectores é então convertido para a distribuição de tamanho de partícula através de algoritmos matemáticos (Allen 1993).

4.3.3 Análise por peneiramento

A análise por peneiramento consiste na separação do material em classes que diferem entre si de acordo com o tamanho dos grãos. Isto é, o tamanho das malhas das peneiras seleciona o sedimento, permitindo que este seja classificado (Ribeiro *op. cit.*).

O peneiramento seco das amostras foi realizado com auxílio de um peneirador mecânico (figura 10 – B), utilizando peneiras de malhas de aço, apresentando as seguintes aberturas- 4; 2,8; 2; 1,7; 1,4; 1,18; 1; 0,850; 0,710; 0,600; 0,500; 0,425; 0,355; 0,300; 0,250; 0,212; 0,180; 0,150; 0,125; 0,106; 0,090; 0,075 e 0,063 mm, correspondendo a intervalos de 0,25 Φ (phi), sendo colocadas verticalmente da maior para a menor abertura.

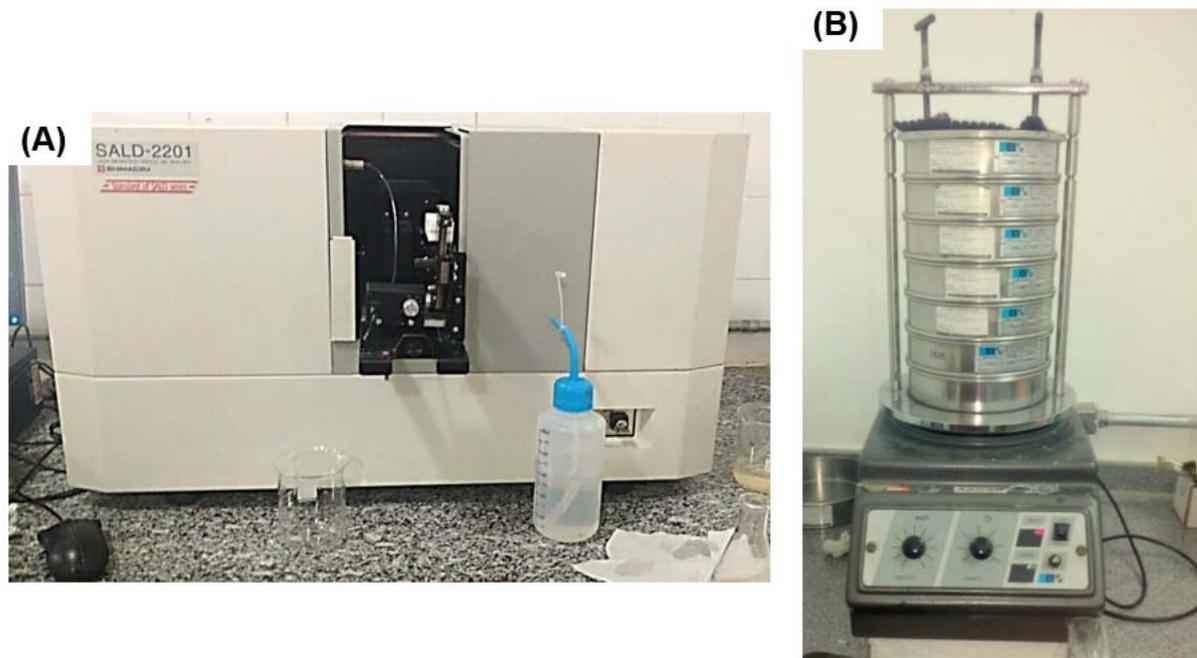


Figura 10- (A) Equipamento utilizado para análise granulométrica, marca Shimadzu e modelo SALD-2201 e (B) Peneirador mecânico utilizado na análise.

4.4 CLASSIFICAÇÃO E ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS SEDIMENTOS

A análise de classificação dos dados foi realizada com auxílio do *software* SYSGRAN seguindo as regras de nomenclatura de Folk (1954) e classificação de Folk & Ward (1957). A

escala milimétrica de Wentworth (1922) foi utilizada para facilitar a aplicação dos métodos estatísticos. A classificação dos grãos foi obtida com base nos parâmetros de tamanho médio, grau de seleção e assimetria.

Os dados sedimentológicos foram tratados estatisticamente no *software* R, sendo aplicadas as técnicas de Análise de Agrupamento (*Cluster*) e Análise de Componentes Principais (*Principal Component Analysis* – PCA). No referido programa, foram utilizados os seguintes pacotes- *vegan*, *MVar.pt*, *psych*, *ggplot2* e *grid*.

A Análise de Componentes Principais (PCA) é uma das mais importantes ferramentas da análise multivariada. A PCA revela a existência de relações entre as variáveis medidas e de relações ou agrupamentos entre as amostras (Silva Lyra *et al.* 2010).

Neste caso, as variáveis utilizadas foram relacionadas a granulometria (matéria orgânica, tamanho médio dos grãos, seleção, assimetria e porcentagens de cascalho, areia, silte e argila) e morfologia (distância da confluência, profundidade, área de seção transversal) e hidrodinâmica (altura de maré).

O objetivo da Análise de Agrupamento (*Cluster Analysis*) é avaliar as similaridades entre as amostras formando grupos. Assim, esses grupos redefinidos são homogêneos e são representados por pontos num espaço n dimensional em um número conveniente de grupos, relacionando-os através de coeficientes de similaridade ou de distância (Landim, 2000).

Para agrupar os valores de acordo com suas semelhanças sedimentológicas, os descritores selecionados foram analisados segundo o coeficiente do quadrado da distância euclidiana. Assim, quanto menor for o valor da distância, maior será a similaridade entre as amostras (Vieira *et al.* 2008). Um dendrograma foi utilizado visando representar os grupos e subgrupos formados após a análise.

Para a Análise de Agrupamento (*Cluster*) as variáveis utilizadas foram- tamanho médio dos grãos, matéria orgânica, distância da confluência, profundidade, área de seção transversal e altura de maré. Essas variáveis foram escolhidas com base nos resultados da PCA, verificando quais das 12 variáveis apresentavam maiores pesos nos eixos 1 e 2.

Foram definidas etiquetas para representação das amostras, objetivando identificá-las quanto a sua localização longitudinal e transversal. Assim, elas foram classificadas, longitudinalmente, como pertencentes aos setores de confluência, lago de ria ou delta de cabeceira. Transversalmente, foram identificadas como coletadas na margem ou canal.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1 MORFOLOGIA

A morfologia reflete diretamente nas velocidades das correntes e na deposição dos sedimentos. No geral, os setores de menores áreas transversais são caracterizados por baixa hidrodinâmica (velocidades de correntes menos intensas) e sedimentos lamosos (predisposição para deposição).

A partir dos dados do levantamento batimétrico, foram extraídos 19 perfis que evidenciam, de forma detalhada, as variações das áreas de seção transversal e profundidades ao longo do baixo Xingu (figura 11). O perfil longitudinal torna mais clara a observação da variação de profundidade ao longo da área, assim como da área da seção transversal.

Notou-se que os perfis numerados de 1 a 4, situados próximos à confluência com o rio Amazonas, apresentam um comportamento similar ao perfil 19, destacando que esse perfil é exclusivamente influenciado pelo rio Xingu. Nos referidos perfis, observou-se que as áreas são caracterizadas fortemente pelo estreitamento da área de seção transversal e, conseqüentemente, há o aumento das velocidades de correntes, maior efeito de erosão e predominância de sedimentos arenosos, uma vez que os sedimentos finos permanecem em suspensão.

No caso dos perfis 1 a 4, devido a abrupta redução da área de seção transversal, a altura de maré sofre processo de atenuação, que, associada a alta hidrodinâmica, intensificam o escavamento do setor, aumentando a profundidade. O perfil 1, por exemplo, apresenta menor área de seção transversal (23.000 m²), já o perfil 2 representa uma das regiões de elevada profundidade, mesmo comparada com as demais regiões de toda área estudada.

Os perfis 5 a 8 compartilham similaridades com os perfis 12 a 18. Observou-se que, nesses casos, há formação de canais duplos com fluxo bidirecional de correntes, onde um canal favorece o fluxo de enchente, sendo o outro caracterizado pelo fluxo de vazante. No caso dos perfis 5 a 8, notou-se que esses dois canais são profundos e a área é grande demais para o fluxo atual. Desta forma, podemos sugerir que isso remete à possibilidade de ser uma “feição relíquia” dos canais duplos associados a influência de maré na época do afogamento da ria (8-5 mil anos AP), sendo esta muito maior que hoje.

Entretanto, nos perfis 15 a 18 os canais duplos são resultados da formação de deltas de cabeceiras. Em geral, a presença de deltas de cabeceira ocorre quando há predomínio da atuação fluvial devido ao processo de regressão marinha. Conseqüentemente, há deposição de sedimentos lamosos e arenosos, formando um ambiente deltaico (Dalrymple *et al.* 1992;

Nichols, 1999). Nessa situação, a altura de maré demonstra uma relação inversa com a morfologia, isto é, a altura de maré amplifica à medida que há redução de área.

Os perfis 9 a 11 são representantes da porção mais interna do baixo Xingu. As principais características desses perfis são as maiores áreas de seção transversal (perfil 11 com área de 188.000 m²) e maiores profundidades (perfil 10 com profundidade acima de 35 m). A principal característica desse setor é a baixa dinâmica (velocidades de correntes mais baixas). O reflexo dessas características são as baixas condições hidrodinâmicas, altura de maré se propagando sem deformações significativas e deposição de sedimentos finos (silte e argila).

Os resultados nos permitem afirmar que nas áreas mais profundas, com maior área de seção transversal, a dinâmica é mais baixa, proporcionando a deposição de sedimentos finos (silte e argila) no fundo. Em áreas mais rasas, com menor área de seção transversal, como na confluência e região à jusante, a dinâmica é mais alta, fazendo com que os sedimentos mais finos permaneçam em suspensão, havendo deposição dos sedimentos mais grossos.

As flutuações do nível da água e as flutuações da descarga do rio são dois aspectos relacionados aos processos de armazenamento e liberação de água induzidos pelas marés. O armazenamento ocorre quando a descarga a montante é maior do que a descarga a jusante (assumindo que os afluentes menores são insignificantes) e pode ser calculada integrando as diferenças entre descargas a montante e a jusante durante o período em questão. Outra maneira de estimar esse volume é calcular o volume entre os dados de maré alta e maré baixa (Kosuth *et al.* 2009).

Esse armazenamento gera alterações na geometria da área inundada. Estimou-se que há aumento de cerca de 2 m do nível d'água, durante os períodos de baixa e alta descarga do rio (figura 11). Kosuth *et al.* (*op.cit.*) evidenciaram que essas flutuações de armazenamento provavelmente têm um impacto sobre o transporte de sedimentos em suspensão através da segregação do tamanho do grão e da concentração de sedimentos de fundo.

Similar ao que ocorre no rio Tapajós (Freitas *et al.* 2017), a ausência de planície de inundação é um forte indício para afirmar que o rio Xingu é um rio juvenil. Entretanto, no caso do rio Tapajós, o nível d'água aumenta cerca de 5 m durante todas as estações chuvosas (Kosuth *et al.* *op.cit.*).

Diante das discussões já realizadas sobre a relação largura, profundidade e área, é evidente que as variações sazonais do volume de água atuam efetivamente nos processos sedimentares de erosão e deposição. As áreas que mais sofrem alterações estão localizadas nas regiões do lago de ria e à jusante, devido apresentarem maiores larguras, assim, a variação da área inundada é maior.

A tabela a seguir apresenta os valores da área da seção transversal em m² tanto nas condições de baixa vazão quanto em alta vazão.

Tabela 1- Valores referentes às variações das áreas de inundação durante os períodos de coleta.

Perfil	Área inundada (m²)	
	Baixa vazão	Alta vazão
Perfil 1	23.000	25.000
Perfil 2	38.000	40.000
Perfil 3	29.000	34.000
Perfil 4	56.000	65.000
Perfil 5	61.000	70.000
Perfil 6	82.000	97.000
Perfil 7	100.000	123.000
Perfil 8	124.000	147.000
Perfil 9	135.000	150.000
Perfil 10	186.000	201.000
Perfil 11	189.000	209.000
Perfil 12	151.000	171.000
Perfil 13	99.000	119.000
Perfil 14	85.000	107.000
Perfil 15	72.000	89.000
Perfil 16	50.000	67.000
Perfil 17	55.000	71.000
Perfil 18	43.000	58.000
Perfil 19	21.000	24.000
Longitudinal	205.000	231.000

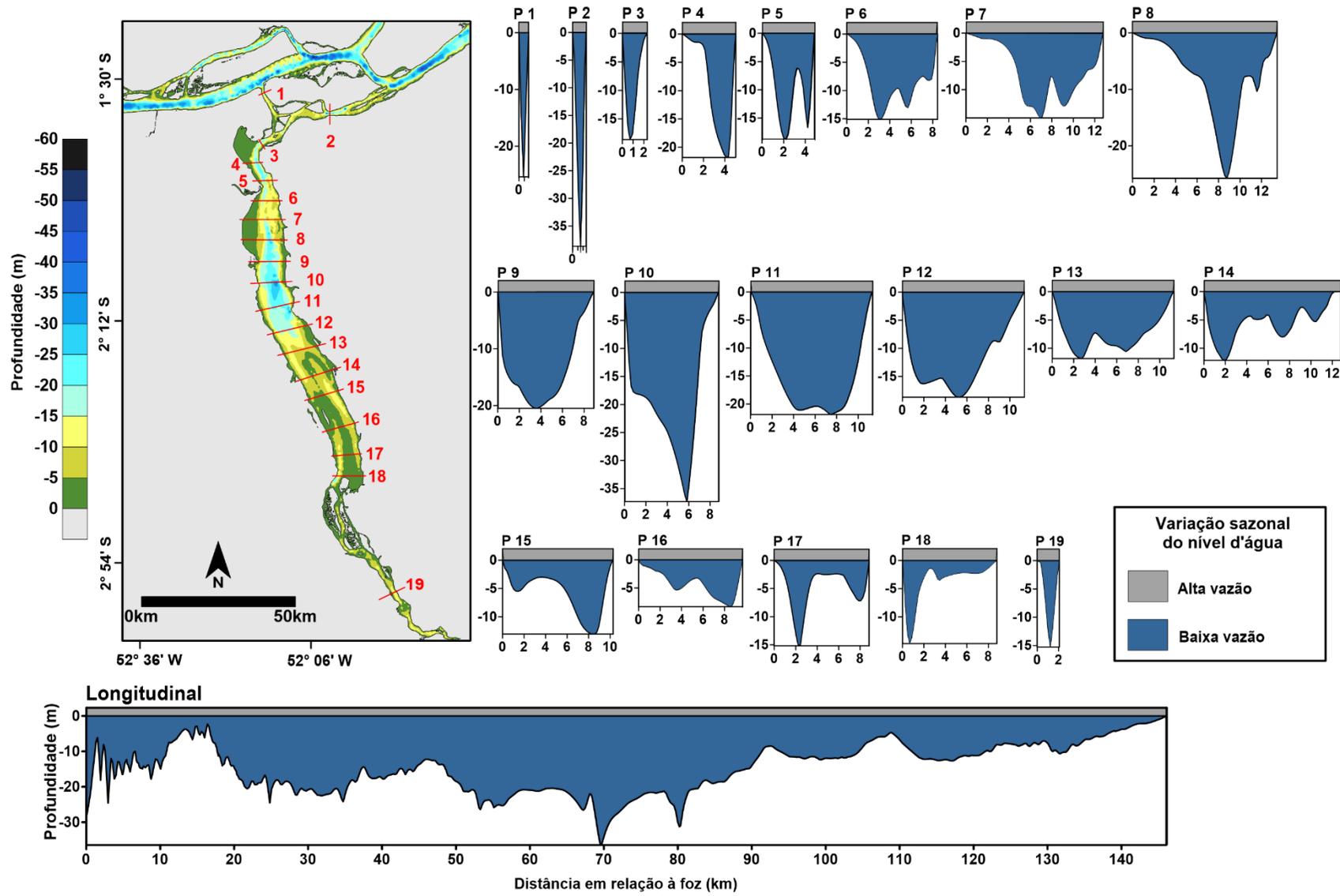


Figura 11- Perfis transversais evidenciando a morfologia (perfis 1 a 19) e perfil longitudinal.

Com base nos perfis morfológicos é possível estimar os espaços de acomodação sedimentar (tendência deposicional) e tendência erosiva ainda existentes. Ressalta-se que o modelo estimado abaixo foi calculado utilizando valores obtidos durante o período de baixa vazão do rio Amazonas.

No que se refere aos sistemas fluviais, supõe-se que se desenvolva um equilíbrio entre a sedimentação e a erosão durante as fases de alta e baixa vazão da água. Isto foi observado nas áreas estudadas intensivamente a norte e sul do rio Solimões, entre a junção Manacapuru e Solimões / Negro e para os lagos de ria da Uatuma e Rios Juruti (Irion *et al.* 1992 *apud* Irion *et al.* 2010). Desta forma, partimos do princípio que o rio Xingu se encontra em equilíbrio no que se refere às tendências erosivas e deposicionais, ressaltando ainda que, essa afirmação vale para os três setores analisados (confluência, ria e delta de cabeceira).

Nos km iniciais da área de confluência, isto é, à medida que a maré adentra o sistema do baixo Xingu, é esperado que a altura de maré sofra atenuação. Os dados apontam que, inicialmente, a altura de maré é de 1,2 m (durante o período de baixa vazão) atenuando-se para 0,4 m aproximadamente 30 km distância em relação à foz. Nos km seguintes, observa-se apenas manutenção da altura de maré, uma vez que a área do setor é ampla o suficiente para que não haja efeitos constrição ou fricção.

Utilizando essas observações, escolheu-se o perfil 4 (figura 12) como um “divisor” ou “ponto de equilíbrio”, haja visto que a partir deste determinado local a maré não sofre modificações significativas, isto é, não perde energia por atrito. O referido ponto encontra-se localizado nas proximidades do município de Porto de Mós, onde o marégrafo instalado registrou altura de maré de 0,412 m durante o período de baixa vazão fluvial (Novembro/2016).

Notou-se que no limite de ~35 km (até o perfil 4 – figura 12) a presença dos diques marginais do rio Amazonas ocasiona constrição do fluxo da maré juntamente com o fluxo fluvial, favorecendo a erosão das margens. Os diques marginais atuam concentrando o fluxo da corrente no canal que margeia o mesmo (França, *op.cit.*). Isto ocorre porque, apesar desses depósitos estarem submetidos a constante deposição de sedimentos, devido ao estreitamento da seção transversal, as condições hidrodinâmicas são altas/fortes o suficiente para resultarem em processos erosivos de margem.

Estima-se que os trechos situados entre 35 km a 114 km, aproximadamente, sejam os espaços suficientes para eventuais acomodações de sedimentos. A referida área corresponde ao lago de ria, onde foram encontrados, predominantemente, sedimentos lamosos (resultados

apresentados e discutidos a posteriori), que nos permite corroborar a ideia deste setor ser hegemonicamente uma zona deposicional.

Os lagos de ria são relíquias de antigos sistemas de rios profundamente incisos (Gourou, 1950). Todos os lagos de ria apresentam um alto grau de preenchimento, no entanto, destaca-se que os lagos de ria só ocorrem nos vales dos rios com baixa carga de sedimentos (Irion *et al.* 2010).

A figura nos mostra que a área de seção transversal encontrada é muito superior à área estimada (calculada) para fluxo em equilíbrio do rio e maré. As condições hidrodinâmicas e morfológicas nos permitem afirmar que esta área consiste em uma grande zona deposicional, onde calcula-se ser possível acomodação de, aproximadamente, 5,5 bilhões m³ de sedimentos.

Os deltas de cabeceira são facilmente apontados por possuírem sedimentos arenolamosos com grãos finos e médios, constituindo uma área de planície de maré (Nichol *et al.* 1997). Nos perfis sem influência da maré, situados acima de 114 km, há tendência de deposição secundária, onde a área de seção transversal encontrada é relativamente superior à área de equilíbrio estimada.

Ao analisarmos os dados da altura de maré durante os três períodos de coleta, notou-se um comportamento padrão de atenuação nos km iniciais. Em Novembro/16, a altura de maré foi mais elevada na área de confluência, quando comparada aos demais meses. Esse resultado é explicado devido aos baixos índices de precipitação (período seco), bem como, a redução da influência do rio Xingu, permitindo que as águas do rio Amazonas, juntamente com o fluxo de maré, adentrem ainda mais no baixo curso. Apesar de Novembro também representar o período de menor descarga líquida e sólida do rio Amazonas (Nittrouer *et al.* 1995) (figura 13 e tabela 2), a entrada da maré é mais significativa durante este mês.

Em contraponto ao que foi discutido anteriormente, em Junho/18 a altura de maré registrada foi a mais baixa. Isso porque esse período é caracterizado como máxima vazão líquida do rio Amazonas, fazendo com que a influência da maré seja menor devido à grande quantidade de água proveniente do próprio rio Amazonas.



Rio Xingu (baixa descarga): Interação morfologia e dinâmica

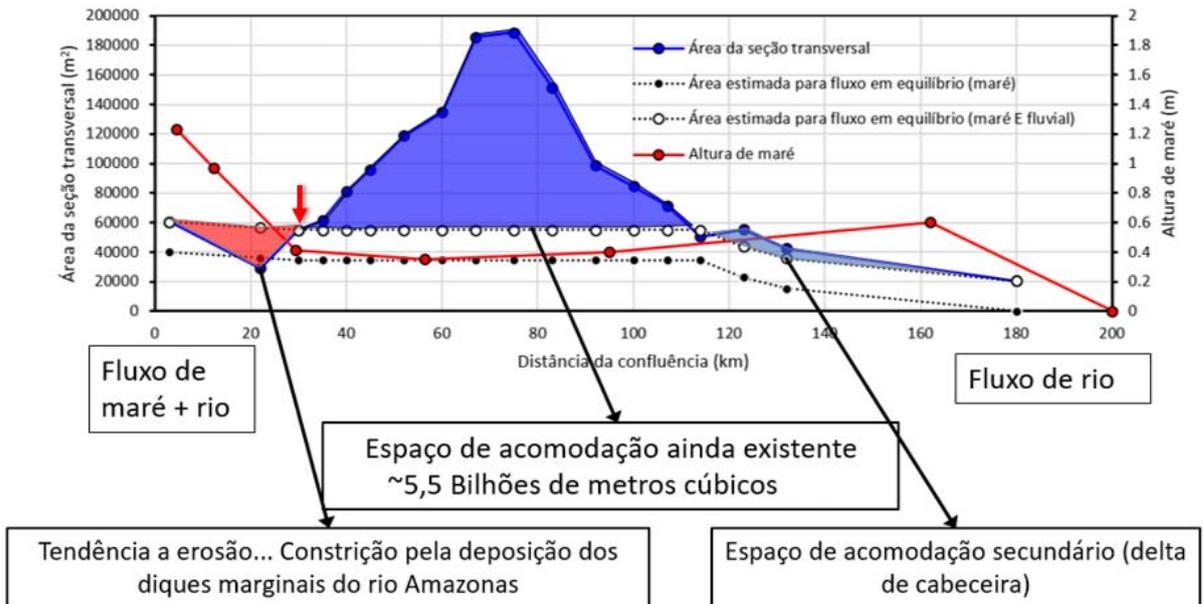


Figura 12- Representação gráfica da interação entre os dados de morfologia e hidrodinâmica no baixo curso do rio Xingu. A seta vermelha indica o perfil 4 que foi utilizado como “ponto de equilíbrio”, a partir do qual, a maré não sofre deformações significativas.

Altura de maré - baixo Xingu - sazonal

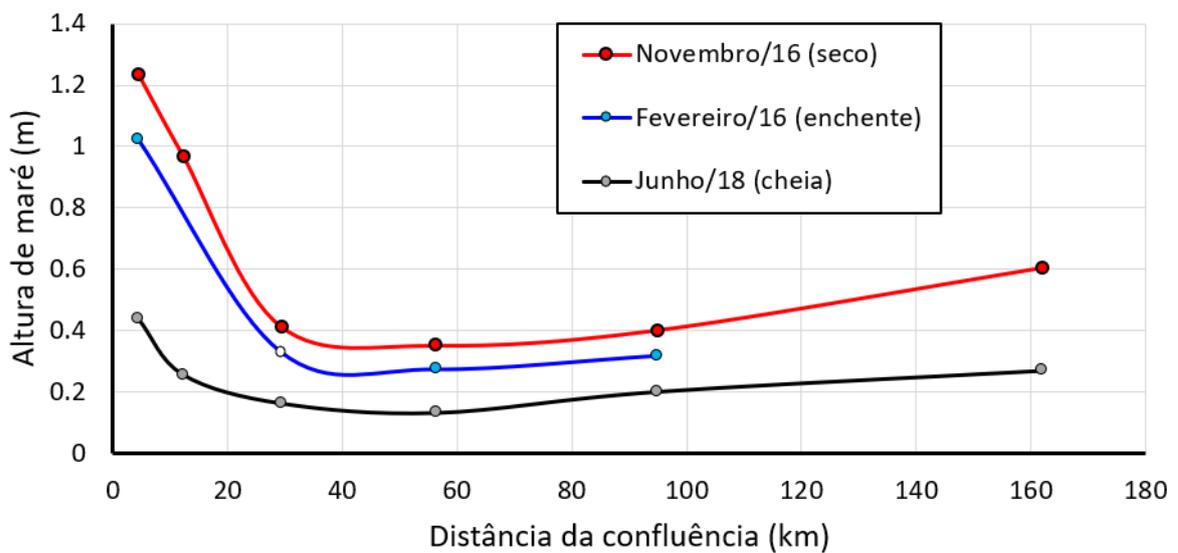


Figura 13- Comportamento da altura de maré durante as três campanhas amostrais.

Tabela 2- Valores da altura de maré obtidos nas campanhas amostrais.

Marégrafos	Distância (km)	Altura de Maré (m)		
		Fevereiro/16	Novembro/16	Junho/18
M1	4,5	1,02	1,23	0,44
M2	12,3	----	0,96	0,25
Porto de Mós	29,4	0,33	0,41	0,16
M3	56,4	0,27	0,35	0,13
M4	95	0,31	0,40	0,20
Vitória do Xingu	162	----	0,60	0,27

5.2 ANÁLISE DA MATÉRIA ORGÂNICA

Suguio (1998) define matéria orgânica como “*um composto carbonoso resultante de mudanças diagenéticas de substâncias orgânicas, que transformam uma matéria orgânica imatura (rica em substâncias voláteis) em matéria orgânica matura (pobre em voláteis)*”.

Segundo Sommaruga & Conde (1990), a concentração de matéria orgânica é afetada por muitas variáveis oceanográficas, como a profundidade da coluna de água, a hidrodinâmica local, o diâmetro das partículas e outros. Substratos ricos em silte e argila, em geral, apresentam maior teor de matéria orgânica. Entretanto, Oliveira & Mochel (1999) mostraram que áreas muito impactadas, com intensa atividade antrópica, apresentam elevados teores de matéria orgânica, independente do substrato.

Após análise, verificou-se que as maiores concentrações de matéria orgânica foram obtidas próximas às áreas mais profundas do Xingu, fato que pode ser comprovado ao comparar o mapa batimétrico e o mapa de distribuição da matéria orgânica (figura 14). Esse resultado pode ser observado em ambas as coletas, entretanto, os resultados do período de alta vazão do rio Amazonas tornam-se mais evidentes, uma vez que o número amostral foi consideravelmente superior.

Como já apresentado anteriormente, a variação da área da seção transversal, associada à profundidade, também contribui para explicar os resultados encontrados, corroborando com a afirmação de que morfologia, hidrodinâmica e sedimentologia estão correlacionados.

As áreas que apresentam seções transversais mais largas possuem hidrodinâmica mais baixa, favorecendo a deposição de sedimentos finos (silte e argila), desta forma, a matéria orgânica ficou retida nesses sedimentos, justificando assim, suas maiores concentrações nesses trechos do baixo curso do rio Xingu.

O estudo realizado por Conrath *et al.* (2010), na Baía da Babitonga (SC), mostrou que há diversos fatores que agem nos sedimentos superficiais da baía, sendo a profundidade um

fator considerável, além da hidrodinâmica. No referido trabalho, os locais de baixa profundidade possuíam maiores concentrações de sedimentos, sendo este resultado explicado pela proximidade de um canal que traz sedimento terrígeno. Os resultados de matéria orgânica estão fortemente relacionados com os dados da caracterização granulométrica dos sedimentos, que serão apresentados e discutidos a seguir.

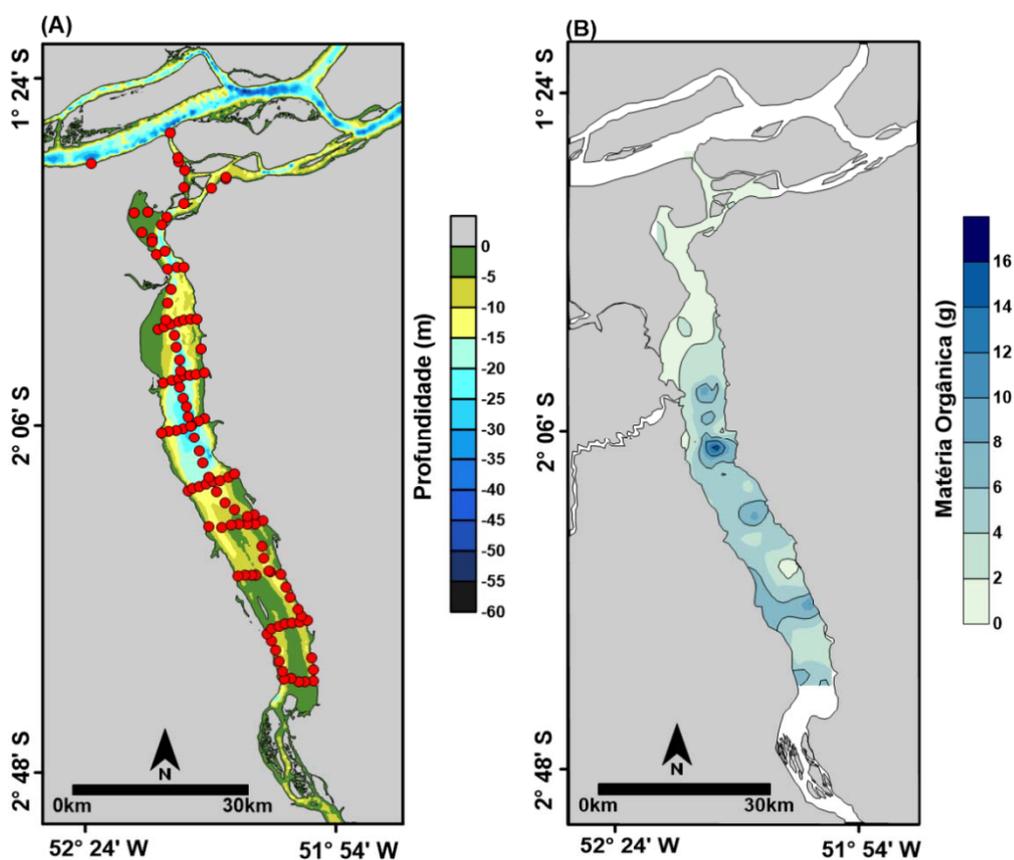


Figura 14- (A) Mapa do levantamento batimétrico; (B) Concentrações de matéria orgânica ao longo do rio Xingu (Fevereiro/2016).

5.3 ANÁLISE TEXTURAL

A distribuição e o caráter dos sedimentos nas regiões de Tapajós e Xingu sugerem que o sedimento é proveniente tanto do rio tributário (Tapajós ou Xingu) quanto do rio Amazonas. Contudo, Fricke *et al.* (2017) sugeriram que estes tributários atuariam como “sumidouros” de sedimentos, durante todo o Holoceno, ao invés de se comportarem como tributários clássicos.

No trecho estudado, os sedimentos de fundo variam desde silte muito fino a areia muito grossa. Com base na classificação de Folk (*op.cit.*) foram identificadas na área nove classes granulométricas descritas na tabela 3. A maioria dos sedimentos de fundo do baixo curso do rio Xingu é classificada como silte fino (44), seguido por silte muito fino (24).

Os valores de diâmetro médio sofrem alterações tanto longitudinalmente quanto transversalmente. Os sedimentos mais finos associam-se às áreas mais profundas, enquanto os sedimentos mais grossos estão relacionados às margens e menor área de seção transversal (figura 15 – B). A tabela a seguir contém a frequência absoluta e relativa de cada classe granulométrica observada-

Tabela 3- Percentual das frações granulométricas das amostras de sedimentos durante o período de enchente do rio Xingu.

Classe granulométrica	Frequência Absoluta	Frequência Relativa (%)
Areia muito grossa	1	0,92
Areia grossa	1	0,92
Areia média	3	2,75
Areia fina	10	9,17
Areia muito fina	12	11,01
Silte grosso	5	4,59
Silte médio	9	8,26
Silte fino	44	40,37
Silte muito fino	24	22,02
Total	109	100

Com base na frequência relativa das classes granulométricas verifica-se que a ocorrência de areias média e grossa é muito pequena quando comparada às demais classes. Percentuais de cascalho foram encontrados em poucas amostras, sendo que as concentrações destes foram inferiores a 1%, portanto, estas foram consideradas insignificantes diante dos percentuais totais e da malha amostral.

Longitudinalmente, os sedimentos arenosos são substancialmente mais frequentes no setor 1, devido o estreitamento da seção transversal e maiores velocidades de correntes. Transversalmente, as areias estão mais associadas às margens e sua erosão por ação de ondas.

Os resultados de frequência e assimetria revelam uma franca tendência deposicional em toda a área de estudo. O grau de assimetria de um sedimento é indicado pelo afastamento do diâmetro médio da mediana. Em uma distribuição simétrica, o diâmetro médio e a mediana coincidem e, portanto, não existe assimetria. Se a assimetria for negativa, a média será menor que a mediana e a distribuição se achará desviada para os valores 0 menores ou para as partículas grosseiras. Por outro lado, se a assimetria for positiva 0 maiores ou para as partículas mais finas (Jesus & Andrade, 2013). Além, disso, a assimetria está relacionada aos processos erosivos e deposicionais, além de correlacionar-se ao diâmetro médio das partículas

de sedimentos. Os sedimentos que apresentam assimetria positiva, em geral, são mais finos e relacionam-se à deposição. Em oposição, os sedimentos grossos são de assimetria negativa, sendo associados à erosão (Folk, *op.cit.*).

A assimetria no lago de ria do Xingu variou entre valores de 0,6652 (muito positiva) e -0,4673 (muito negativa). No total, cerca de 50% das amostras são classificadas como “aproximadamente simétrica”, sendo que o restante, em sua maioria, apresenta valores superiores a 0, consideradas como “assimetria positiva” e alguns casos, “muito positiva”. Os valores negativos de assimetria são inferiores a 4%, totalizando 3 amostras como “assimetria negativa” e 2 amostras como “muito negativa” (figura 15 – C).

Na área de confluência houve predominância de sedimentos grossos, por exemplo, “areia fina”. A presença destes sedimentos grossos é resultado da contribuição do deságue de pequenos tributários, erosão da margem, devido ao estreitamento da área de seção transversal e ao aumento da hidrodinâmica, impedindo a deposição de sedimentos finos carregados pelo rio Amazonas. O setor denominado de “delta de cabeceira” apresentou granulometria mais grossa, com valores de assimetria “aproximadamente simétrica” tendendo a assimetria “negativa”.

Amorim *et al.* (2009), em estudo na Várzea do Lago Grande de Curuaí verificaram que, de modo geral, os sedimentos da referida área de estudo são siltosos, sendo este material fino oriundo da erosão dos Andes (transportados pelo rio Amazonas). Os sedimentos arenosos são restritos às áreas influenciadas por igarapés de terra firme.

Segundo Folk (1974), os sedimentos praias derivados de uma mesma fonte serão mais bem selecionados do que sedimentos fluviais, devido à atuação dos agentes costeiros. Suguio (1973) associou o grau de seleção aos mecanismos de transportes das partículas sedimentares. De acordo com o referido autor, o grau de seleção aumenta com o transporte, conseqüentemente, há um decréscimo das classes granulométricas mais finas em locais de alta hidrodinâmica e maior capacidade de transporte.

O grau de seleção das amostras variou de muito bem selecionado a muito pobremente selecionado, havendo predominância de sedimentos pobremente selecionados (78 amostras, aproximadamente 72%). O percentual de material bem selecionado é de aproximadamente 1% (figura 15 – D).

A predominância de sedimentos pobremente selecionados é justificada pela intensa mistura de areia e lama. O material bem selecionado está restrito à confluência com o rio Amazonas, uma vez que, a alta hidrodinâmica atua diretamente nesse processo de seleção impedindo a deposição de sedimentos lamosos. Em contraponto, no restante da área de

estudo, apesar do predomínio de sedimentos finos com assimetria positiva, as variações das condições hidrodinâmicas, associadas à morfologia, ocasionam a mistura dos sedimentos finos e grossos, influenciando nos resultados de seleção.

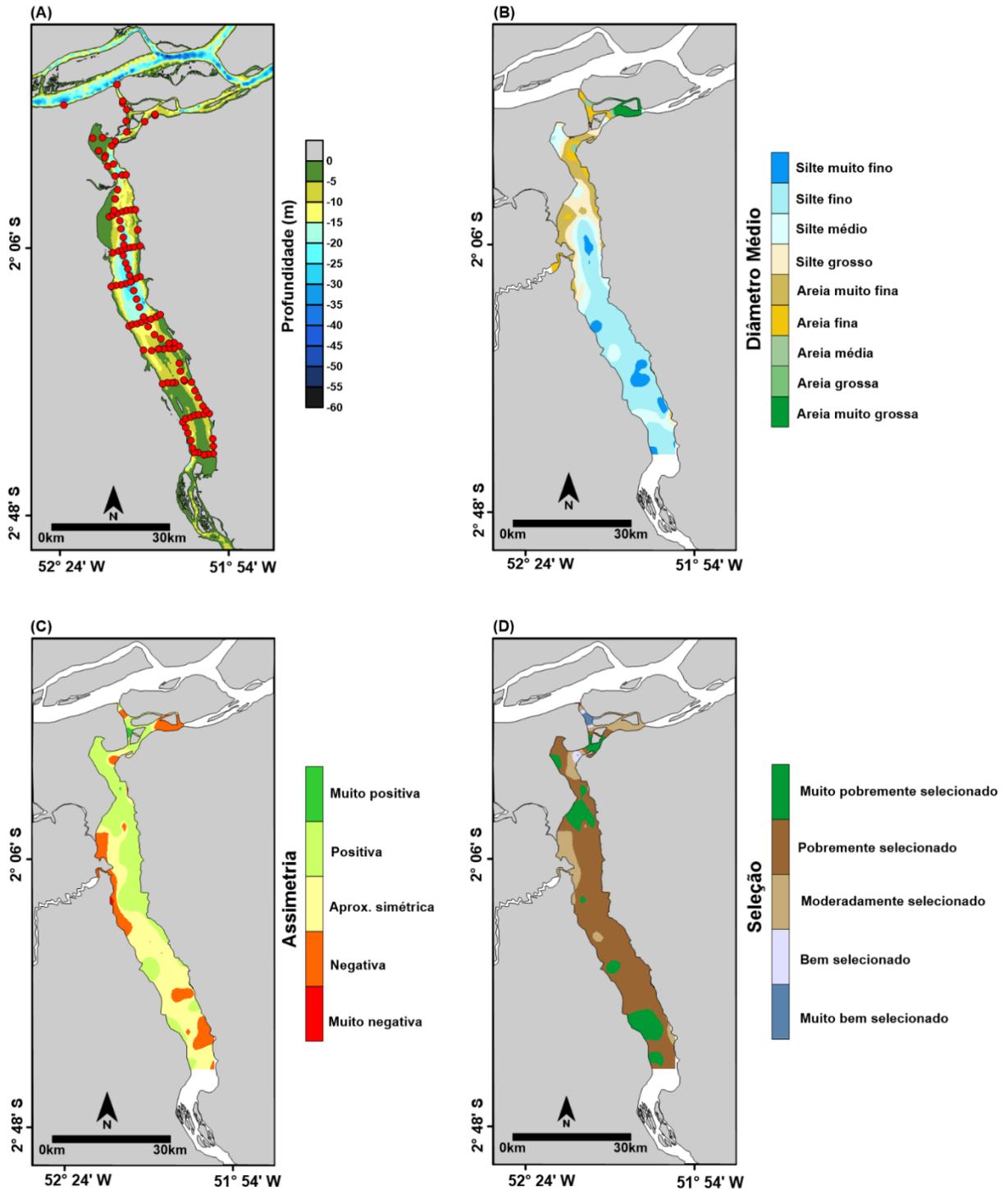


Figura 15- (A) Batimetria e pontos de coleta de sedimentos; (B) Distribuição textural dos sedimentos de fundo do baixo curso do rio Xingu; Distribuição espacial de (C) assimetria e (D) seleção dentro da área de estudo.

Oliveira (2004) aponta que a relação entre o diâmetro médio e o grau de seleção pode auxiliar na interpretação das condições hidrodinâmicas do ambiente, assim como em relação as prováveis fontes de sedimento. A relação entre média e seleção evidencia o predomínio de mal selecionados. Os sedimentos mais grossos e melhores selecionados encontrados, desta forma, estão mais dispersos e associados aos setores 1 e 3 (figura 16).

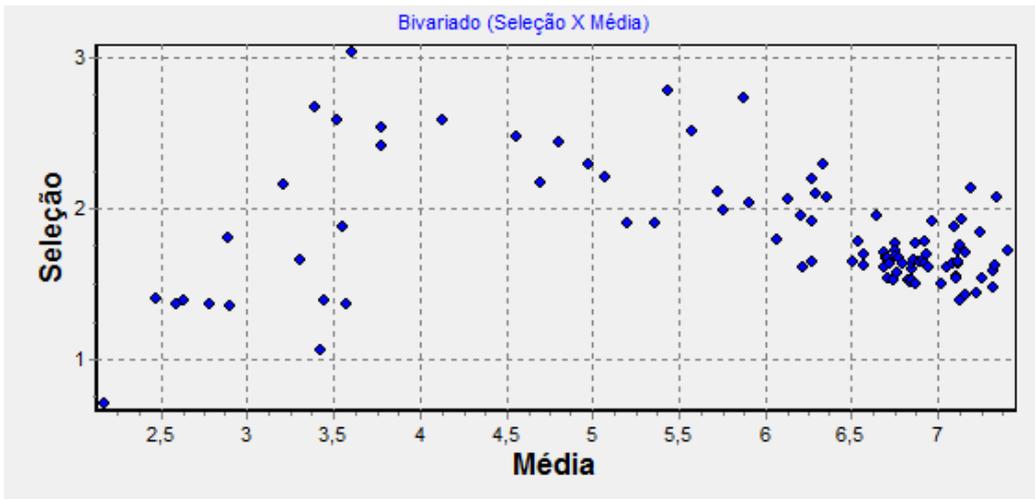


Figura 16- Relação ente diâmetro médio e grau de seleção das amostras de sedimento de fundo.

Entretanto, os dados de assimetria foram mais significativos quando comparados com os dados de seleção. Desta forma, a relação média x assimetria (figura 17) nos fornece informações mais evidentes sobre o caráter da distribuição dos sedimentos ao longo do baixo curso do rio Xingu. Como já foi apresentado anteriormente, há predominância de sedimentos com assimetria positiva, com valores variando entre 0 e 0,3.

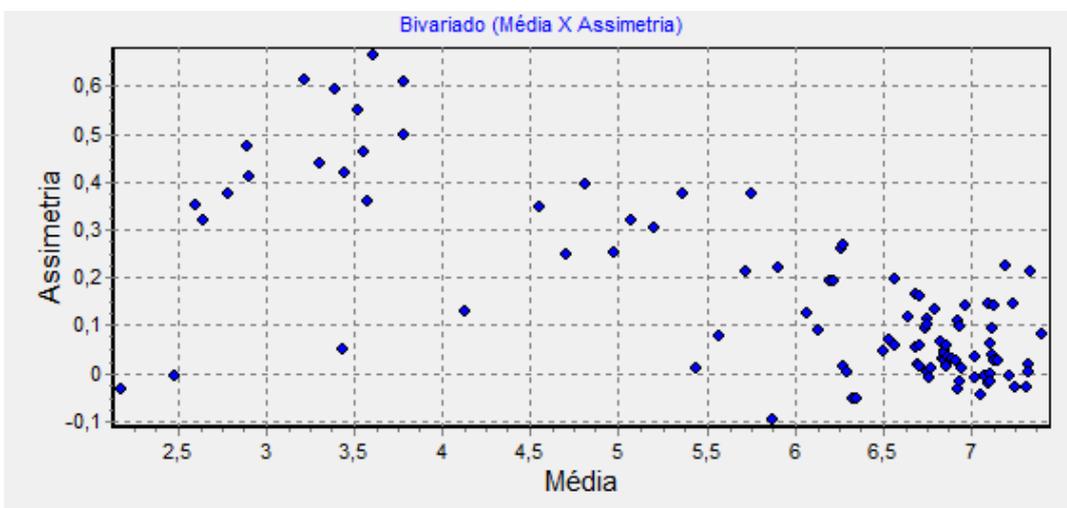


Figura 17- Relação ente diâmetro médio e assimetria das amostras de sedimento de fundo.

Segundo a classificação de Shepard (1954), os teores de areia e lama mostraram-se heterogêneos, isto é, com distribuição variada ao longo do lago de ria. Foram observadas seis classes granulométricas (figura 18), sendo estas- silte argiloso-arenoso, silte argiloso, areia ou arenito, areia síltica, silte arenoso e silte ou siltito. As amostras coletadas durante o período seco acompanham esta distribuição, apresentando poucas variações referentes ao percentual de cada classe.

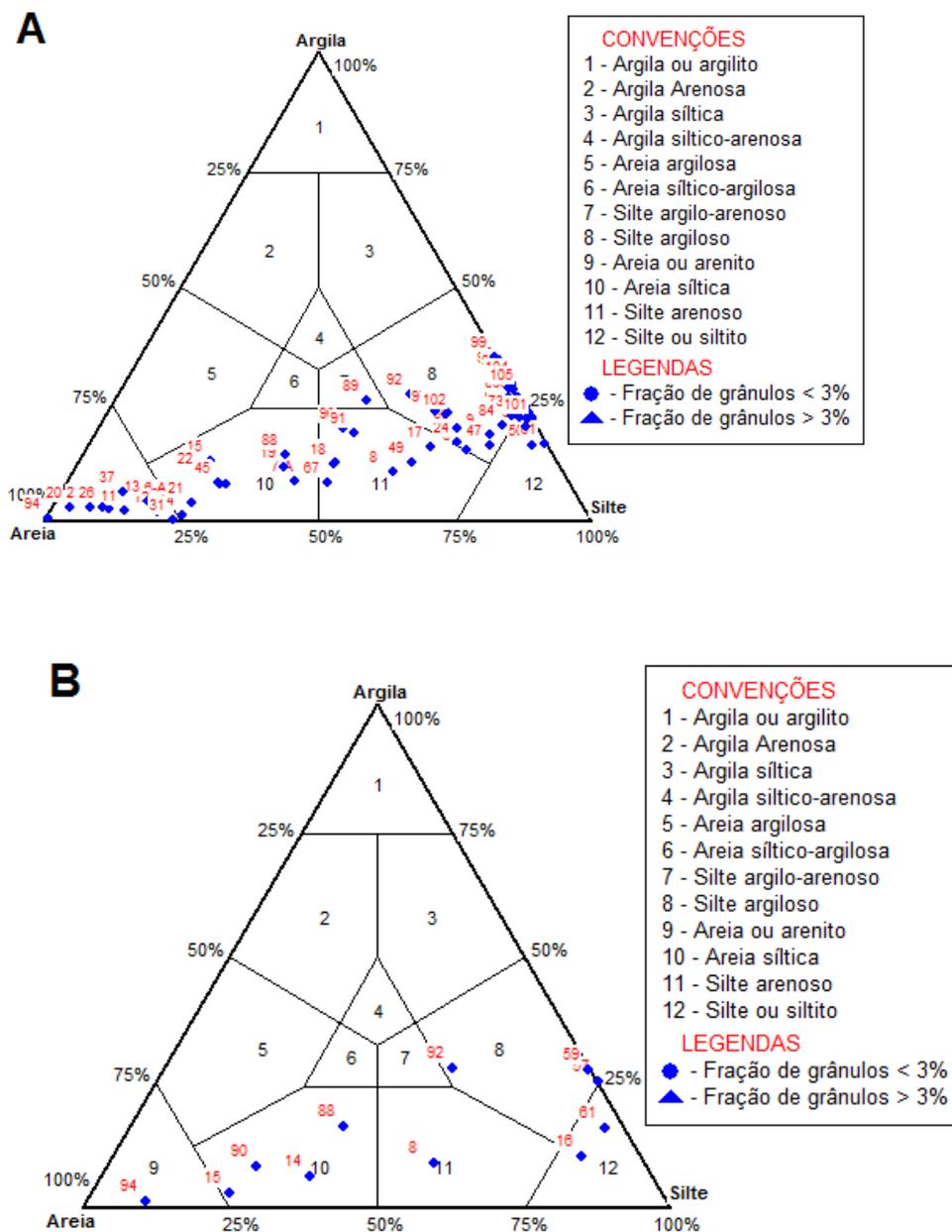


Figura 18- Classificação de Shepard (1954) para o lago de ria do Xingu referente ao períodos de alta (A) e baixa vazão do rio Amazonas (B).

5.4 ANÁLISE DE COMPONENTES PRINCIPAIS (PCA)

Na PCA foram usados os dois primeiros eixos que explicam 70% da dispersão da nuvem dos pontos (tabelas 4 e 5), autores afirmam que os dois primeiros eixos são os mais utilizados para explicar a correlação entre os dados (Silva Lyra *et al. op.cit.*; Vieira *et al. op.cit.*; Ladim, *op.cit.*). Os demais eixos apresentam-se como características secundárias, que em geral, servem para confirmar as relações estabelecidas pelos eixos 1 e 2 (Vieira *et al. op.cit.*).

As distribuições e correlações entre amostras e eixos estão representadas na figura 19. O peso de cada variável analisada foi relacionado aos eixos 1 e 2. Com relação ao eixo 1 (55%), as variáveis de maior influência positiva (apresentando valores acima de 0,5) foram- % argila, média, silte, profundidade, matéria orgânica, área e distância. A correlação positiva entre as variáveis destacadas indica a relação do referido eixo com os sedimentos finos. Em contraponto, % cascalho, altura e % areia apresentaram valores abaixo de -0,5, caracterizando correlação negativa com o eixo 1 (figura 20).

No eixo 2 (16%), assimetria e seleção foram as únicas variáveis que apresentaram correlação positiva (acima de 0,5). Apesar de as variáveis como altura, % silte e % areia possuírem peso positivo, o valor variou entre 0 e 0,5, sendo, portanto, menos significativos. No caso das correlações negativas, notou-se novamente pouca influência destas variáveis, com destaque da variável % cascalho (valor ~ -0,5) (figura 21).

Tabela 4- Contribuição de cada variável nos eixos de PCA.

VARIÁVEL	PC1	PC2
Média	0,911	0,195
Assimetria		0,849
Seleção	0,448	0,569
% Cascalho	-0,520	-0,480
% Areia	-0,829	0,232
% Silte	0,901	0,321
% Argila	0,924	0,200
Distância da confluência	0,726	-0,373
Área da seção transversal	0,729	-0,324
Altura de maré	-0,644	0,383
Profundidade	0,858	
M.O.	0,856	

Tabela 5- Resultados da Análise de Componentes Principais (PCA).

	PC1	PC2
<i>Eigenvalues</i>	6,602	1,915
<i>Proportion of variance</i>	55,0	16,0
<i>Cumulative Proportion</i>	0,550	0,710

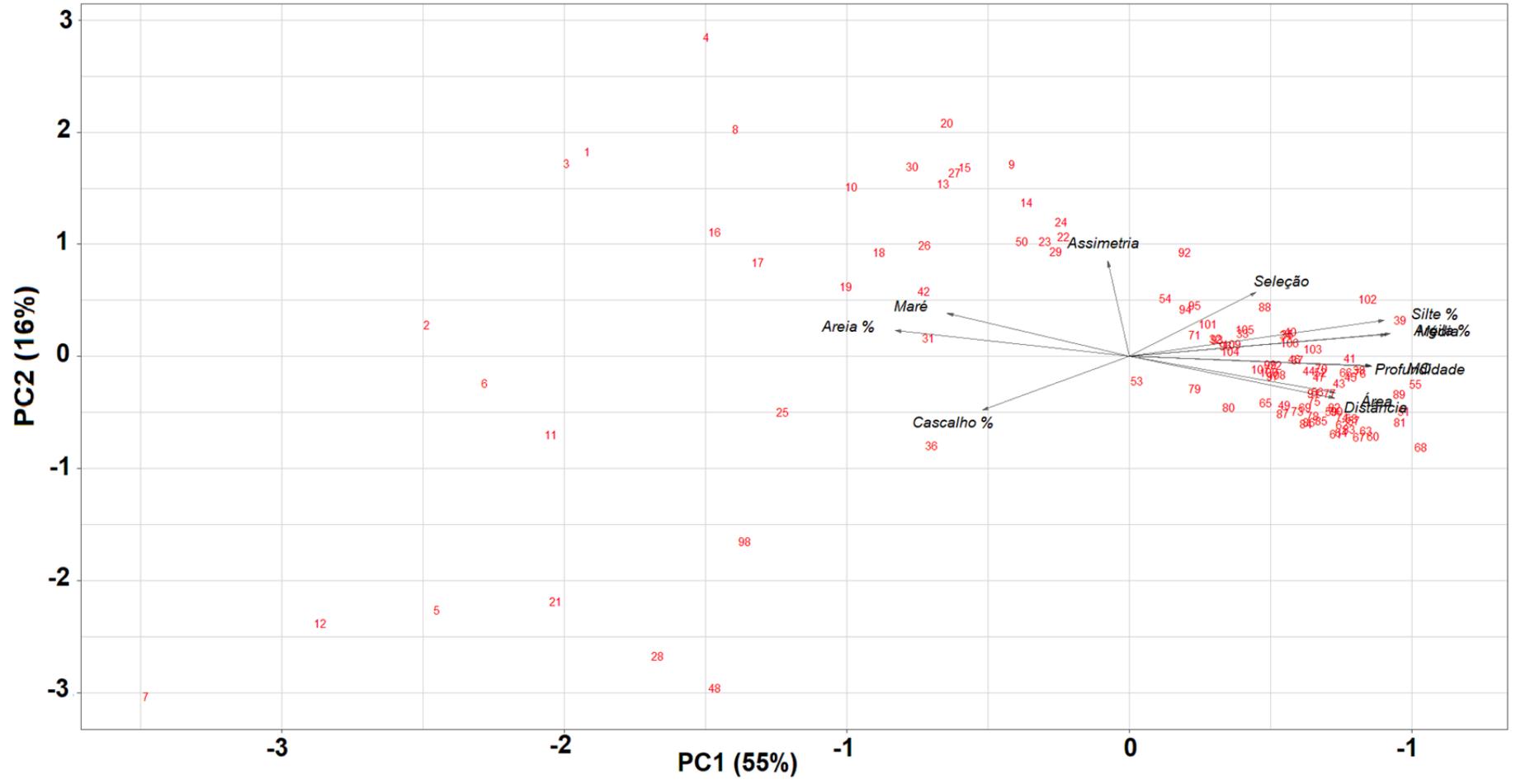


Figura 19- Distribuição das amostras de acordo com as variáveis observadas e a relação entre os eixos 1 e 2.

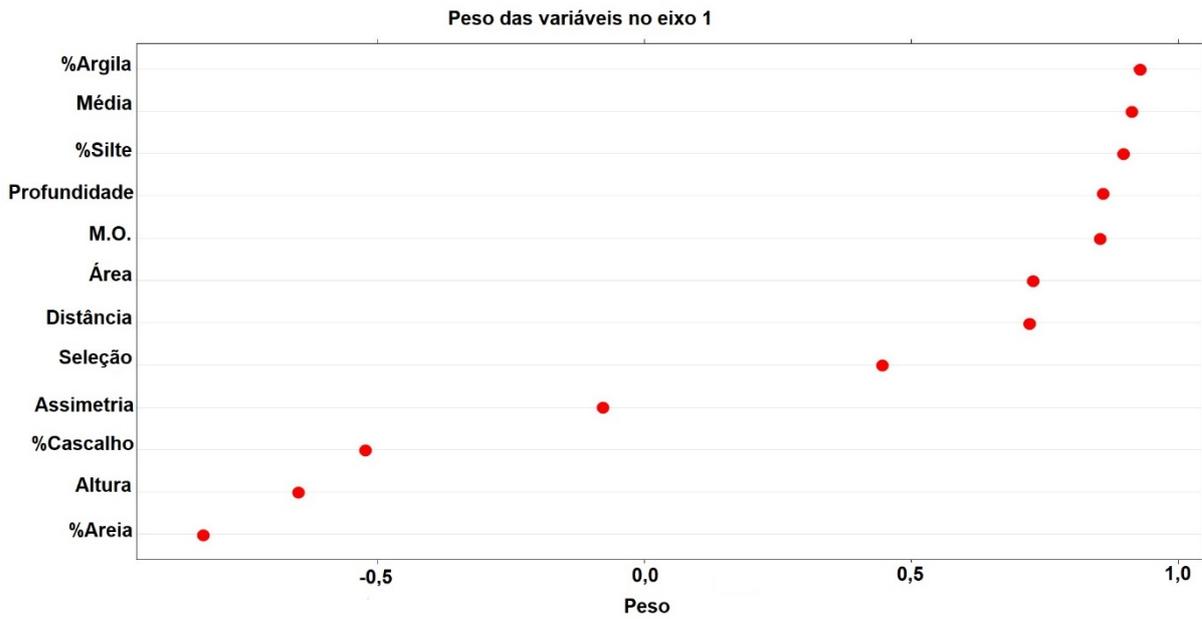


Figura 20- Peso das variáveis utilizadas em PCA no eixo 1.

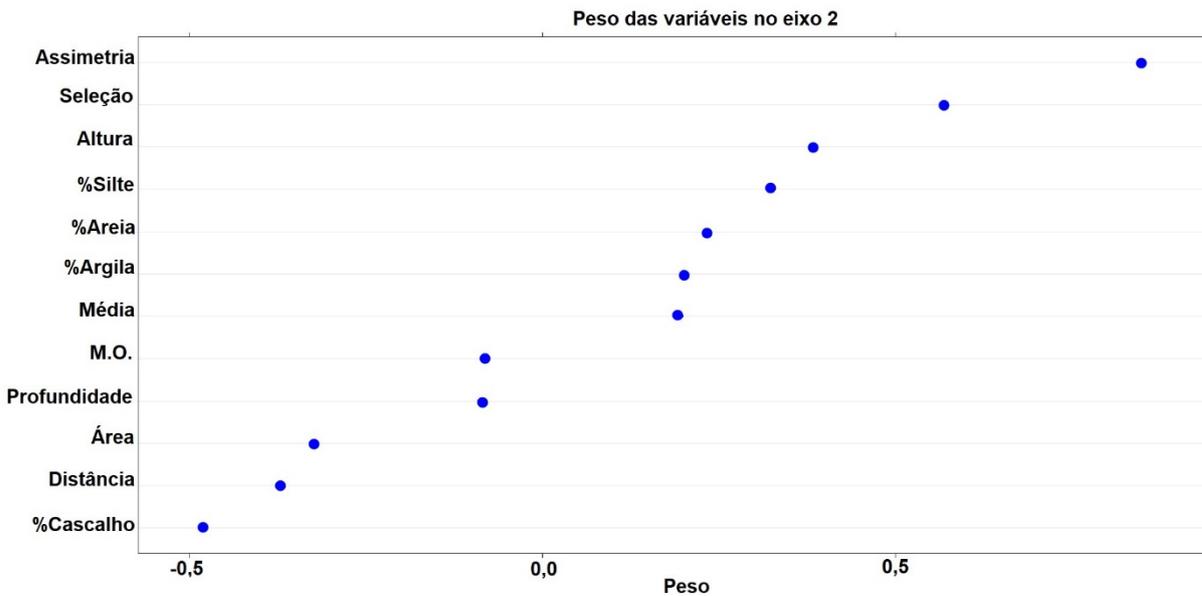


Figura 21- Peso das variáveis utilizadas em PCA no eixo 2.

5.5 ANÁLISE DE AGRUPAMENTO

As similaridades entre as variáveis observadas separaram os dados em dois grandes grupos. O diferencial das amostras do grupo 1 é a característica arenosa dos sedimentos compartilhando similaridades com as demais variáveis de amostras lamosas.

No geral, as variáveis que mais influenciaram no agrupamento das amostras foram tamanho médio, setor e área de seção transversal. As variáveis profundidade e matéria orgânica apesar de estarem inclusas na análise não tiveram efetiva significância.

A seguir, há uma breve descrição de cada subgrupo dos resultados da análise de agrupamento (*cluster*).

Grupo 1 – A- amostras do setor de confluência com o rio Amazonas que compartilham a mesma área de seção transversal ($\sim 29.000 \text{ m}^2$) e mesma altura de maré ($\sim 0,65 \text{ m}$). Há predominância de sedimentos arenosos, variando entre areia muito fina e areia muito grossa. É possível encontrar amostras de silte, porém, em menores proporções.

Grupo 1 – B- é composto por quatro amostras exclusivamente da confluência, sendo três coletadas da margem e definidas como areia fina (apenas uma amostra foi coletada no canal, sendo classificada como areia muito fina). Essas amostras pertencem aos primeiros pontos de coleta do setor de confluência, consequentemente, apresentam maior altura de maré ($\sim 1,30 \text{ m}$) devido essas amostras apresentarem menor área de seção transversal ($\sim 60.000 \text{ m}^2$) quando comparadas com o grupo 1 – A, anteriormente apresentado.

Grupo 1 – C- formado por amostras unicamente localizadas no lago de ria. Quanto a granulometria, variam entre silte grosso a areia fina, uma vez que foram coletadas tanto no canal quanto na margem do lago. Outra similaridade que essas amostras compartilham entre si são a mesma área de seção transversal (61.000 m^2) e mesma altura de maré ($\sim 0,41 \text{ m}$).

Grupo 1 – D- compartilha similaridades com o grupo anterior, porém, neste caso, uma das sete amostras pertence ao setor do delta de cabeceira, ficando classificada neste grupo por apresentar valores de área e altura de maré próximos aos valores das demais amostras (50.000 m^2 e $0,61 \text{ m}$). As seis amostras restantes pertencem ao primeiro setor intermediário do lago de ria, sendo mais próximo do setor de confluência com o rio Amazonas. Os valores de área de seção transversal e altura de maré são, respectivamente, 55.000 m^2 e $0,48 \text{ m}$.

Grupo 1 – E- amostras de silte que foram coletadas unicamente na margem do setor de delta de cabeceira, possuem mesma distância em relação à confluência com o rio Amazonas ($\sim 92 \text{ km}$), mesma área de seção transversal (98.000 m^2) e mesma altura de maré ($0,43 \text{ m}$).

Grupo 1 – F- composto por amostras exclusivamente do segundo setor intermediário do lago de ria, sendo mais próximas do delta de cabeceira, com predominância de sedimentos siltosos. Além disso, compartilham mesma área de seção transversal ($\sim 95.000 \text{ m}^2$) e mesma altura de maré ($\sim 0,31 \text{ m}$).

Grupo 1 – G- todas as amostras pertencem ao setor do delta de cabeceira, compartilhando assim a mesma distância ($\sim 107 \text{ km}$). São classificadas como silte, variando de muito fino a fino. Também compartilham mesma área de seção transversal ($\sim 71.000 \text{ m}^2$) e mesma altura de maré ($\sim 0,56 \text{ m}$), isso reflete um importante aspecto que pode ser visualizado

nas discussões sobre o gradual estreitamento da área de seção transversal e o efeito de amplificação da altura de maré.

Grupo 1 – H- um pequeno grupo formado por duas amostras de silte fino, coletadas no canal do lago de ria. Além de compartilharem mesmo setor, tamanho médio, esse grupo também apresenta semelhanças de altura de maré (0,35 m) e área de seção transversal (81.000 m²).

Grupo 1 – I- predominam amostras de margem (exceção de 2 amostras do canal) da região de delta de cabeceira, sendo classificadas como silte (exceto 1 amostra arenosa). Novamente, é possível notar nesse grupo amostras que correspondem às observações da relação entre área de seção transversal e altura de maré. Neste caso, os valores são de 84.000 m² e 0,50 m para área de seção transversal e altura de maré, respectivamente.

No grupo 2 encontram-se amostras exclusivamente de silte que se associam entre si principalmente por apresentarem mesma área de seção transversal e/ou estarem localizadas no mesmo setor.

Grupo 2 – A- amostras pertencentes ao lago de ria, variando de silte muito fino a fino, aproximadamente simétricas. Para essas amostras, a área e seção transversal é a mesma, com valor de 185.000 m² e altura de maré de 0,28 m.

Entretanto, no que se refere a localização, destaca-se uma importante diferença, quando comparamos esse grupo com os grupos 1 – C, 1 – D (com área de seção transversal de entre ~50.000 m² a ~61.000 m²) e 1 – F (com área de seção transversal de 95.000 m²). Apesar de estarem localizadas no mesmo setor, isto é, no lago de ria, os grupos apresentam particularidades que os diferenciam.

Como citado anteriormente, o setor lago de ria apresenta três subdivisões (duas áreas intermediárias e uma área com máximas largura e profundidade). As amostras dos grupos 1 – C e 1 – D representam o primeiro subsetor intermediário e as amostras do grupo 1 – F constituem o segundo subsetor intermediário. Por fim, o grupo 2 – A e 2 – B são pertencentes ao subsetor mais largo e profundo.

Essas observações de área de seção transversal, juntamente com a variação da altura de maré justificam o fato de todas essas amostras não estarem em um único agrupamento por pertencerem ao mesmo setor.

Grupo 2 – B- compartilha de algumas características já descritas no grupo 2 – A. Porém, as amostras presentes neste grupo são unicamente de silte, variando entre muito fino a grosso. Neste caso, a área da seção transversal é de 189.500 m², sendo a altura de maré de ~0,31 m.

Grupo 2 – C- as amostras deste grupo representam uma transição entre lago de ria e delta de cabeceira. Apresentam tamanho médio similares, sendo classificadas como silte, variando de muito fino a fino. A altura de maré é de 0,36 m e a área de seção transversal é de $\sim 151.000 \text{ m}^2$.

Grupo 2 – D- formado por três amostras de silte fino coletadas no canal do lago de ria. Compartilha mesma distância da confluência com o rio Amazonas ($\sim 52 \text{ km}$), mesma área de seção transversal ($\sim 119.000 \text{ m}^2$) e altura de maré de 0,27 m.

Grupo 2 – E- amostras exclusivamente do setor lago de ria que compartilham distância aproximada com o grupo 2 – D, sendo neste caso $\sim 60 \text{ km}$, por isso dividem o clado. Além disso, compartilham entre si mesma área de seção transversal ($\sim 134.000 \text{ m}^2$) e mesma altura de maré ($\sim 0,26 \text{ m}$).

Todos os esses grupos estão sendo representados na figura 22, representando um dendrograma agrupando as similaridades das amostras.

5.6 PERÍODO DE BAIXA DESCARGA DE SEDIMENTOS

Em comparação ao período de alta descarga, neste período, os percentuais de lama (silte e argila) foram relativamente mais elevados. Houve redução do percentual de sedimentos grossos (areia e cascalho) nas amostras coletadas em Novembro. Quanto à M.O., apesar dos valores médios serem próximos, observou-se que nas amostras localizadas na área de confluência com o rio Amazonas (FEV – 008 e FEV – 014) houve aumento considerável da quantidade de M.O., enquanto que nas demais amostras, a concentração foi menor (tabela 6).

Tabela 6- Percentual das frações granulométricas das amostras de sedimentos dos períodos alta e baixa descarga de sedimentos no baixo curso do rio Xingu.

Coletas	M.O.	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
Alta descarga	2,59	0,08	42,60	43,85	13,46
Baixa descarga	2,88	0	36,90	49,36	13,74

Na análise textural comparativa entre os dados obtidos em Fevereiro e Novembro, observou-se que houve alteração no tamanho médio de seis amostras, sendo que em quatro destas, o tamanho médio aumentou (sedimentos mais grossos) e em duas houve redução do tamanho médio (sedimentos mais finos). Essas mudanças no tamanho médio foram refletidas nos demais parâmetros, como assimetria e seleção. Por exemplo, a amostra FEV – 016, em condição de alta descarga, foi agrupada como "areia média", já no período de baixa descarga, passou a ser denominada como "silte médio", evidenciando redução no tamanho médio. Por consequência, quanto à assimetria, a amostra FEV – 016 que apresentou assimetria "negativa" em Fevereiro (alta descarga) foi classificada como "muito positiva" em Novembro (baixa descarga).

Os valores de seleção também sofreram alterações, algumas amostras com moderada seleção passaram a ser classificadas como “pobremente selecionadas” (tabela 7).

Tabela 7- Comparação dos resultados das análises granulométricas dos sedimentos coletados nos períodos de alta descarga (A) e baixa descarga (B).**(A)**

Amostras	Classificação	Seleção	Assimetria	M.O.	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
Fev - 008	Silte médio	Pobrememente selecionado	Muito positiva	0,00	0,00	30,92	58,63	10,45
Fev - 014	Areia muito fina	Pobrememente selecionado	Muito positiva	1,35	0,00	73,81	24,59	1,60
Fev - 015	Areia muito fina	Muito pobrememente selecionado	Muito positiva	1,10	0,00	63,02	24,20	12,78
Fev - 016	Areia média	Moderadamente selecionado	Negativa	0,35	0,89	98,52	0,59	0,00
Fev - 057	Silte fino	Pobrememente selecionado	Aprox. simétrica	4,51	0,00	0,00	76,85	23,15
Fev - 059	Silte fino	Pobrememente selecionado	Aprox. simétrica	4,63	0,00	0,00	78,73	21,27
Fev - 061	Silte fino	Pobrememente selecionado	Positiva	5,56	0,00	0,00	83,42	16,58
Fev - 088	Silte grosso	Muito pobrememente selecionado	Muito positiva	5,60	0,00	48,76	36,83	14,41
Fev - 090	Silte médio	Muito pobrememente selecionado	Aprox. simétrica	3,35	0,00	35,46	44,69	19,85
Fev - 092	Silte fino	Muito pobrememente selecionado	Aprox. simétrica	3,83	0,00	19,43	53,50	27,07
Fev - 094	Areia fina	Moderadamente selecionado	Aprox. simétrica	1,35	0,00	98,72	0,36	0,92

(B)

Amostras	Classificação	Seleção	Assimetria	M.O.	% Cascalho	% Areia	% Silte	% Argila
Nov - 008	Silte médio	Pobrememente selecionado	Positiva	2,30	0,00	35,83	55,21	8,96
Nov - 014	Silte grosso	Pobrememente selecionado	Muito positiva	2,80	0,00	58,21	35,40	6,39
Nov - 015	Areia fina	Muito pobrememente selecionado	Muito positiva	0,90	0,00	73,49	23,58	2,93
Nov - 016	Silte médio	Pobrememente selecionado	Muito positiva	3,50	0,00	9,76	79,97	10,27
Nov - 057	Silte fino	Pobrememente selecionado	Aprox. simétrica	2,70	0,00	0,00	75,01	24,99
Nov - 059	Silte muito fino	Pobrememente selecionado	Aprox. simétrica	3,00	0,00	0,00	72,45	27,55
Nov - 061	Silte fino	Pobrememente selecionado	Muito positiva	4,30	0,00	2,89	81,00	16,11
Nov - 088	Silte grosso	Muito pobrememente selecionado	Muito positiva	1,90	0,00	47,53	36,13	16,34
Nov - 090	Areia muito fina	Muito pobrememente selecionado	Muito positiva	2,80	0,00	66,32	25,15	8,53
Nov - 092	Silte fino	Muito pobrememente selecionado	Negativa	3,10	0,00	23,31	49,01	27,68
Nov - 094	Areia média	Pobrememente selecionado	Muito positiva	1,20	0,00	88,52	10,02	1,45

Quando se compara as amostras coletadas em cada seção, (confluência com o rio Amazonas, lago de ria e delta de cabeceira) em Fevereiro e em Novembro de 2016, nota-se que a variação foi pequena na porção central (baixa dinâmica) e maior nas porções da confluência e cabeceira (maior dinâmica e maior variação sazonal). Como esta variação foi substancialmente maior na região da confluência, entende-se que as variações de maré e do próprio regime hídrico do rio Amazonas são mais importantes do que a variação do próprio Xingu na hidrodinâmica e, conseqüentemente, no transporte de sedimentos (figura 23).

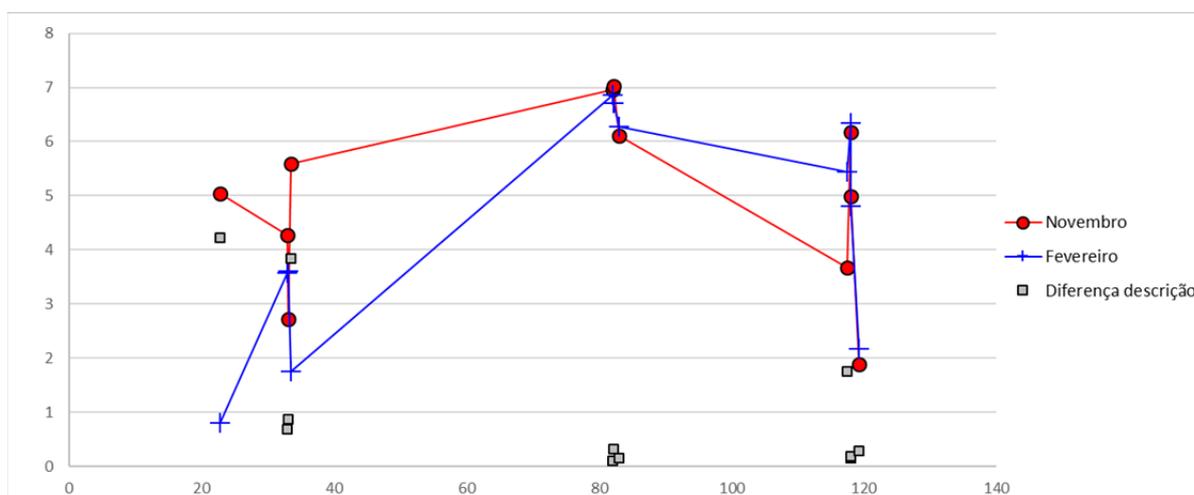


Figura 23- Comparação das amostras coletas nos meses de Fevereiro e Novembro de 2016.

Ao analisar separadamente os setores, verifica-se que na área de confluência com o rio Amazonas, há maior predominância de areia (66,72%), durante alta descarga de sedimentos. Entretanto, ao comparar com o período de baixa, observou-se que o percentual de areia diminuiu (44,32%), aumentando a porcentagem de silte (passou de 27,06% durante a alta para 48,54% durante a baixa descarga). Esse resultado é justificado pela redução da vazão fluvial do rio Xingu, aumentando assim, a contribuição/influência do rio Amazonas.

No lago de ria, em ambos os períodos, há predominância de silte, apresentando valores superiores a 70%. Destaca-se apenas que, no período de baixa descarga, foram obtidas amostras arenosas, totalizando menos de 1%.

No setor do delta de cabeceira ocorre o inverso do que foi observado na área de confluência. Para este caso, no período de alta descarga a concentração de areia é de 50,59%, sendo esta relativamente inferior ao ser comparada com o período de baixa descarga (56,42%) (figura 24).

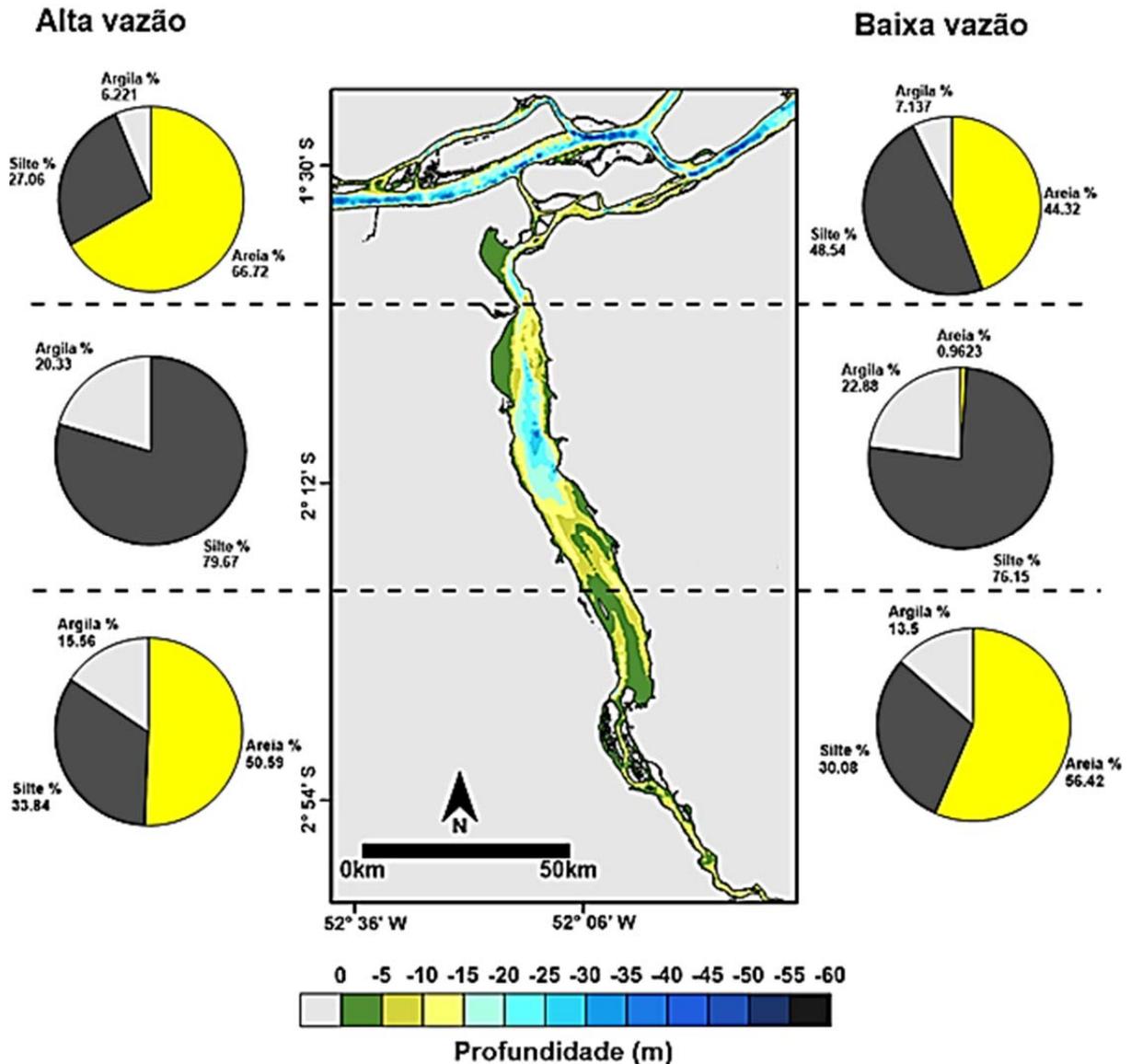


Figura 24- Descrição das porcentagens das classes granulométricas nos três setores da área de estudo.

5.7 SETORIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Após análise dos dados de morfologia, sedimentologia e hidrodinâmica (referentes à altura de maré) sugere-se no presente trabalho uma setorização do baixo curso do rio Xingu em três divisões principais (figura 25)-

Setor 1- refere-se à área de confluência com o rio Amazonas. É caracterizado por altas velocidades de correntes, abrupto estreitamento da área da seção transversal, elevadas profundidades (resultadas do escavamento pelas condições hidrodinâmicas). Neste setor, predominam sedimentos arenosos, uma vez que as condições hidrodinâmicas impedem a deposição de sedimentos finos, fazendo com que eles permaneçam em suspensão.

Setor 2- é o setor do lago de ria é caracterizado por um amplo espaço de acomodação, onde a maré consegue se propagar sem sofrer significativos efeitos de constricção. No setor 2, com base na figura 12, há três subdivisões, onde observa-se duas áreas intermediárias (a primeira entre 40-60 km e a segunda entre 90-110 km) que demarcam os limites das influências dos rios Amazonas e Xingu, respectivamente. O terceiro subsetor corresponde a área mais profunda e mais larga que não é modificada pelo rio Amazonas ou pelo próprio Xingu. Ao longo deste setor, há predominância de sedimentos lamosos, resultados das condições de baixa dinâmica. Os sedimentos arenosos encontram-se restritos a margem, devido a ação erosiva das ondas e/ou presença de pequenos de tributários que deságuam no baixo Xingu.

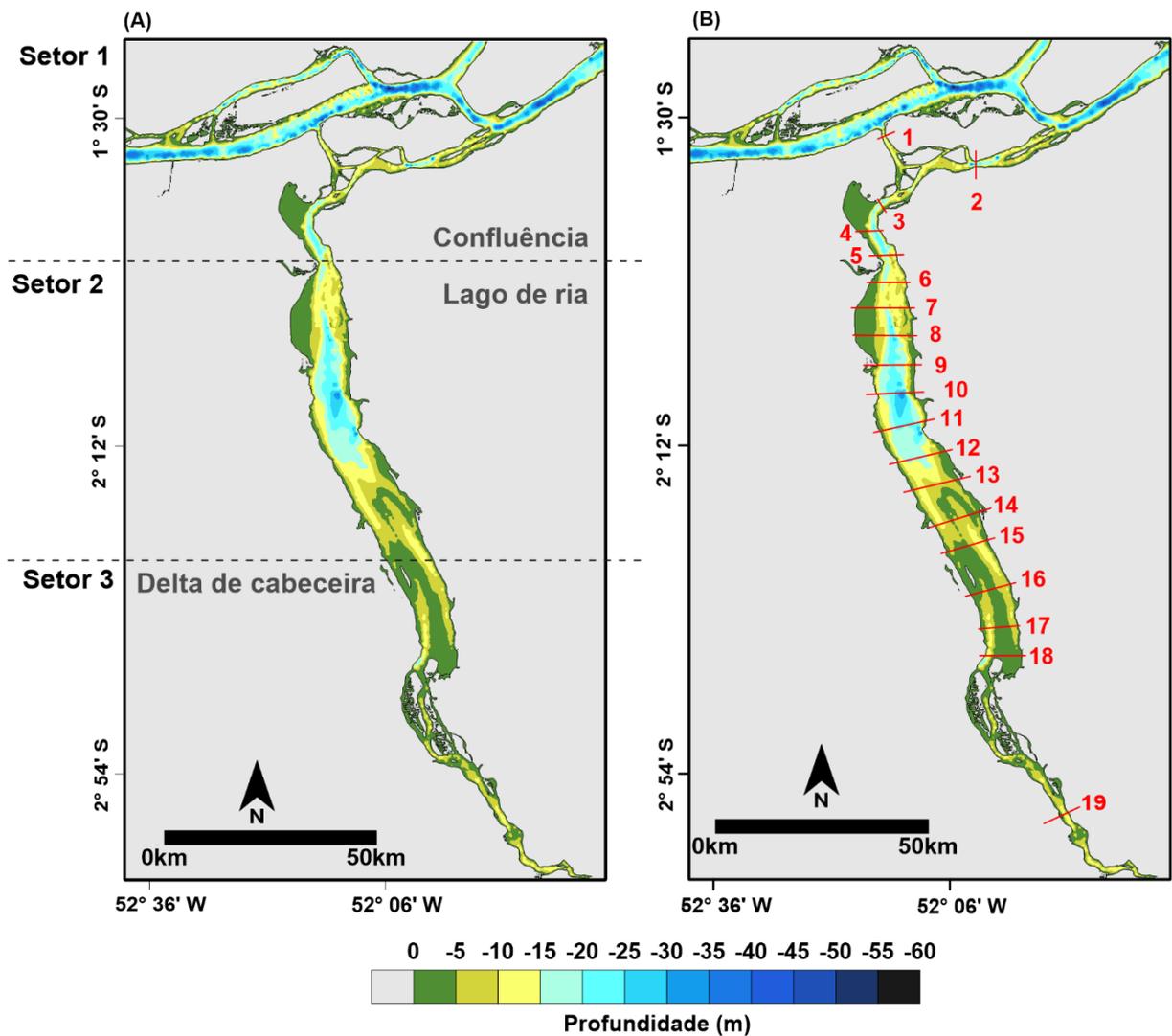


Figura 25- Divisão da área de estudo em setores(A); e Perfis transversais evidenciando a morfologia (B).

Setor 3- corresponde ao setor à montante do baixo Xingu. A gradual redução da área da seção transversal ocasiona amplificação da altura de maré, há uma tendência deposicional secundária resultante da formação de delta de cabeceira. A maior contribuição do próprio Xingu (quando comparada com a contribuição do Amazonas ao longo de toda área) fornece predominância de sedimentos arenosos no referido setor.

Ressalta-se que essa setorização aqui sugerida também é resultado dos testes nas análises de componentes principais e agrupamento (*cluster*) de cada variável analisada.

5.8 MODELO DEPOSICIONAL

O modelo deposicional proposto no presente trabalho descreve que os processos deposicionais do baixo Xingu são regulados pela variação da morfologia, levando em consideração o aporte sedimentar carregado para dentro do sistema por contribuições dos rios Amazonas e Xingu.

Em uma situação ideal, a tendência seria que o lago de ria do baixo Xingu fosse gradualmente preenchido com sedimentos de ambos os lados (confluência e cabeceira). Destacando que, com a construção da usina, a influência do Amazonas seria mais efetiva, consequentemente, maiores quantidades de silte entrariam no sistema.

Contudo, os dados obtidos por Silva (2018) mostram que a descarga de sedimentos para o Amazonas é maior, nos três períodos coletados, do que a entrada de sedimentos, no baixo Xingu, provenientes do Amazonas. Desta forma, há maiores quantidades de sedimentos sendo exportados do que importados para o baixo Xingu.

A integração dos dados obtidos em ambos os trabalhos nos permite afirmar que a morfologia é a responsável por controlar, de modo geral, esse comportamento deposicional, de forma que, a influência da maré é menos significativa no setor do lago de ria devido à grande área de seção transversal associada a profundidade.

O esquema de modelo deposicional proposto no presente trabalho é dividido em 4 fases. A primeira fase (figura 26 – A) representa a etapa de formação de vales incisos, que ocorreu durante o Último Máximo Glacial, onde o rio Amazonas escavou um vale profundo, com uma profundidade aproximada de 120 m, até o paleo-litoral, que hoje é a plataforma continental (Vital & Stattegger, 2000; Irion *et al.* 2010).

Na segunda fase, representada pela figura 26 – B, nota-se o processo de afogamento das planícies costeiras e vales dos rios, como consequência do aumento do nível do mar, durante a Transgressão Flandriana, ocorrida há 15 mil anos atrás (Kowsmann *et al.* 1977).

Essas duas etapas são razoavelmente bem compreendidas para todo o baixo Amazonas. Durante o Último Máximo Glacial, o rio Amazonas teve seu vale escavado, devido a diminuição do nível do mar. Posteriormente, com a subida do nível do mar, ocorreu o afogamento dos vales incisos, formando assim, as rias.

A figura 26 – C e D evidencia esse processo de preenchimento, mostrando o sentido das contribuições do rio Amazonas (juntamente com a maré) e do rio Xingu.

No preenchimento de uma ria tradicional, o rio deposita sedimentos gradualmente, de forma que, com o passar do tempo, a ria vai sendo preenchida. No caso da ria do Xingu, há dois componentes importantes contribuindo para o preenchimento- o próprio rio Xingu, depositando sedimentos na região de delta de cabeceira, e a maré carreando sedimentos do rio Amazonas para dentro do lago de ria.

A figura 26 – C mostra a fase inicial do preenchimento, com a região de confluência mais aberta, há maior influência da maré e do rio Amazonas na região à jusante, bem como, forte influência do rio Xingu preenchendo a parte mais à montante da ria. Isso é comprovado no trabalho de Teódulo (2017) a partir dos dados de análise isotópica.

Com o avançar do preenchimento do baixo Amazonas (figura 26 – D) houve maior constrição da confluência que, seguido pelo alargamento posterior da área, reduziram a influência da maré no transporte de sedimento para dentro da ria, embora o transporte do Xingu tenha continuado na mesma intensidade.

Assim, podemos afirmar que a morfologia, por meio do abrupto estreitamento seguido de um alargamento da área de seção transversal, atua regulando o processo de preenchimento atual, uma vez que, a maré se torna ineficiente no transporte de sedimento devido à redução de sua energia.

Na figura 27 é possível verificar de forma mais detalhada como está ocorrendo esse processo de preenchimento do lado de ria do Xingu. O mais importante de destacar são as áreas onde não está havendo as contribuições nem do rio Amazonas e nem do rio Xingu, correspondendo a região mais interna do lago de ria, que foi demarcada nos perfis 9 a 11 (apresentados anteriormente na figura 11).

Além disso, essa figura reforça as fases C e D do modelo deposicional apresentado anteriormente, apontando que, anteriormente, com base no trabalho de Teódulo (2017), usando análises isotópicas, a influência do rio Amazonas era maior.

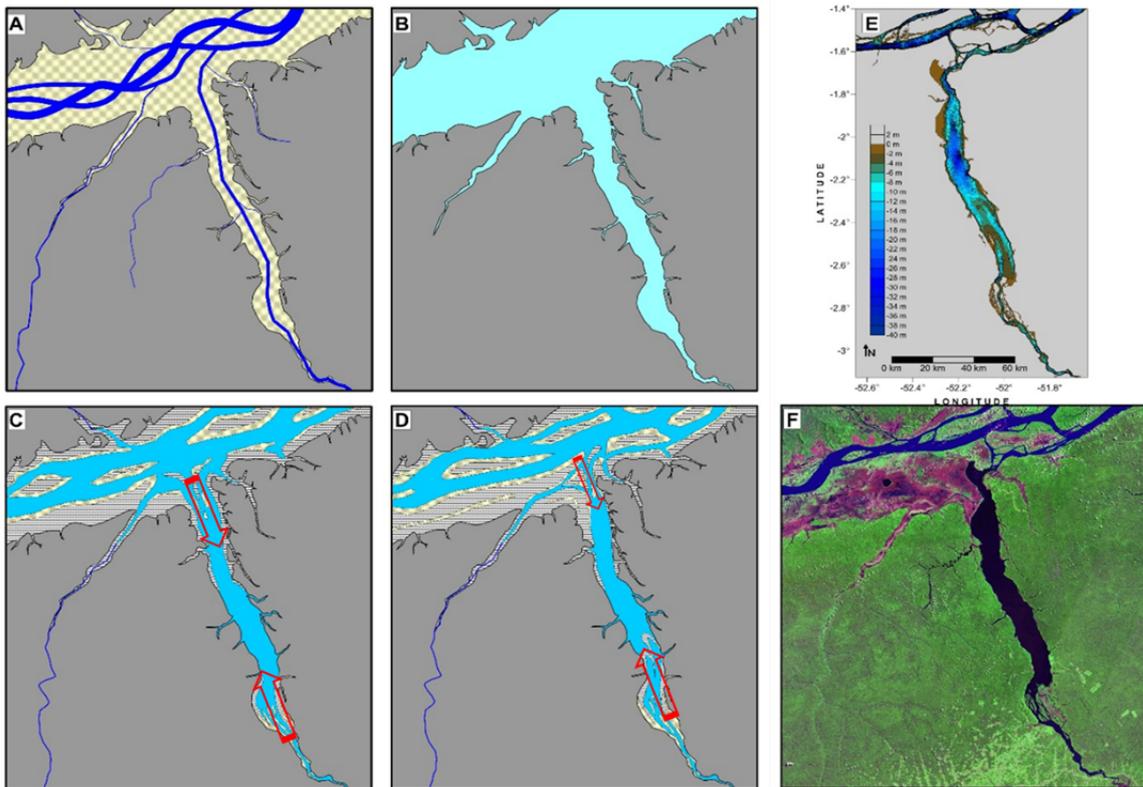


Figura 26- Modelo deposicional esquemático evidenciando os processos de afogamento e preenchimento do lago de ria do baixo Xingu.

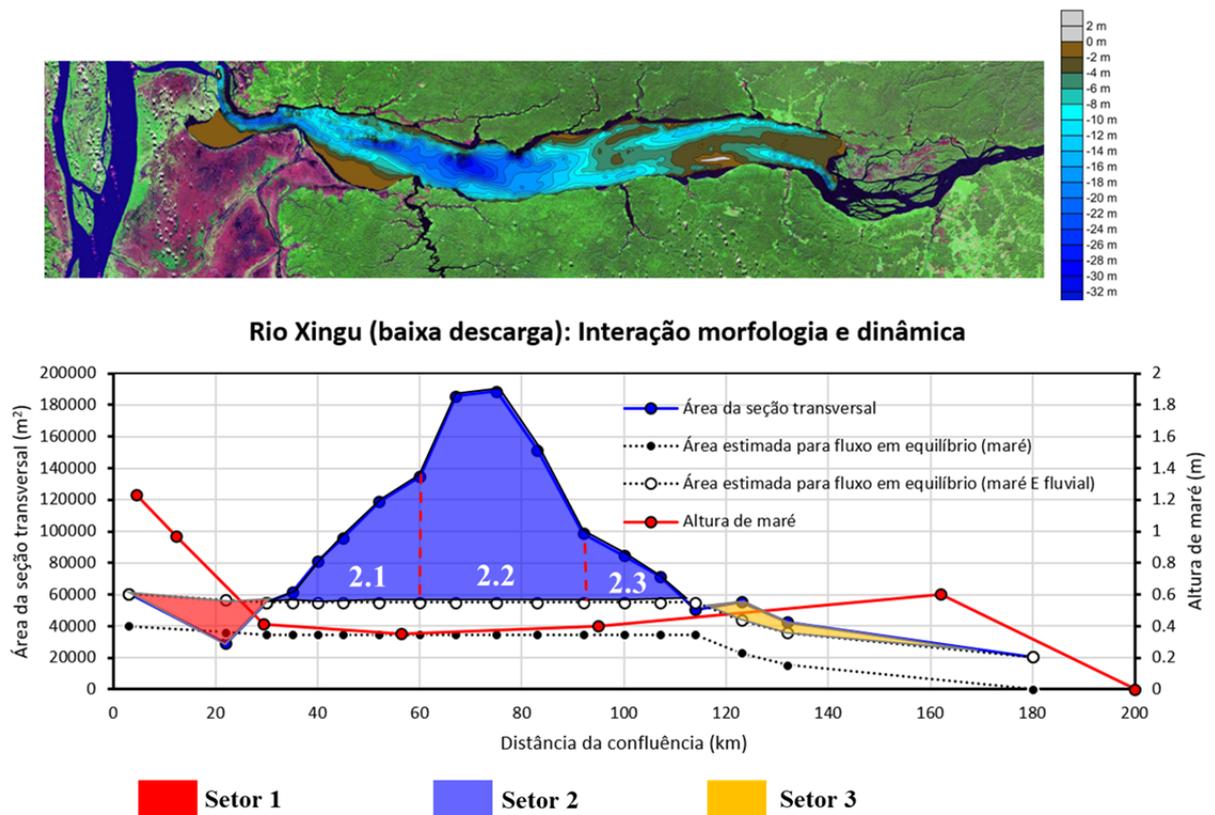


Figura 27- Etapa final do modelo deposicional esquemático, evidenciando as contribuições dos rios Amazonas e Xingu no processo de preenchimento/deposição do baixo Xingu.

6 CONCLUSÕES

O baixo curso do rio Xingu apresenta morfologia de ria fluvial intrinsecamente relacionada à combinação particular da hidrodinâmica e evolução recente da área, que se reflete na sedimentologia.

A Transgressão Flandriana resultou no afogamento do baixo rio Xingu, juntamente com todo baixo Amazonas, configurando um grande lago de ria. Por outro lado, a substancial influência de maré nesta área a configura como um *tidal river*. Os dados combinados de morfologia e sedimentologia demonstram que o preenchimento desta ria está em franco avanço, mas muito longe de sua conclusão, onde um espaço de acomodação da ordem de $5,5 \cdot 10^9 \text{ m}^3$ foi calculado.

Tanto a morfologia quanto a sedimentologia demonstram que o preenchimento tem ocorrido a partir dos dois extremos do lago de ria, mas majoritariamente a partir da extremidade a montante, onde o rio Xingu tem construído um delta de cabeceira bastante proeminente, com uma grande porção subaquosa que somente pode ser revelada pelos dados batimétricos.

No extremo a jusante, na confluência Xingu-Amazonas, o preenchimento tem se dado principalmente pela forçante de maré. Porém, a avaliação da propagação da maré em relação às variações da área da seção transversal, em comparação com resultados de trabalhos anteriores em hidrodinâmica, geoquímica isotópica e mineralogia, sugerem que este transporte de maré a montante no Xingu, de sedimentos oriundos do rio Amazonas, era substancialmente maior no passado e tem se reduzido principalmente pela conjunção de um grande estreitamento, seguido de um grande alargamento do canal a montante, na área da confluência, determinando uma atenuação e amortecimento da maré.

Os resultados demonstraram ainda que existe uma porção central que tem recebido pequenas quantidades de sedimento, seja a partir do Amazonas, ou a partir do próprio Xingu. Neste setor são encontradas áreas de seção transversal da ordem de $200 \cdot 10^3 \text{ m}^2$, sendo cerca de 8 vezes a área da seção transversal na confluência ou no próprio rio Xingu, além da influência de maré.

A tendência natural é que quanto mais distante da área de confluência, menor seja a influência da maré no baixo Xingu. Entretanto, observou-se que a largura da área de seção transversal regula o comportamento da altura de maré, sendo perceptíveis efeitos de atenuação, manutenção e amplificação à medida que a maré adentra no baixo curso do rio Xingu.

Quanto à sedimentologia, cascalhos e areias estão dispostos nas margens e extremidades do lago de ria. A distribuição de silte e argila ocorre em áreas mais profundas e mais largas. Os dados da sedimentologia demonstram forte tendência deposicional na área, com predominância de assimetria positiva. As variações espaciais e temporais indicam a importante influência da maré e do rio Amazonas adentro da ria do Xingu.

A repetição de alguns pontos amostrais durante o período seco mostrou que houve pouca variação textural sedimentar, destacando que na confluência e no lago de ria, houve predominância de sedimentos mais finos. No entanto, na região de delta de cabeceira predominaram sedimentos mais grossos.

REFERÊNCIAS

- Allen T. 1993. *Particle Size Measurement*, 4a. ed. Londres- Chapman and Hall.
- Amorim M. A. 2006. *Estudo da sedimentação recente na várzea do Lago Grande do Curuai, Pará, Brasil*. MS Dissertation, Departamento de Geoquímica, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 150 p.
- Amorim M.A., Moreira-Turcq P.F., Turcq B.J. , Cordeiro R.C. 2009. Origem e dinâmica da deposição dos sedimentos superficiais na Várzea do Lago Grande de Curuai, Pará, Brasil. *Acta Amazonica*, **39**- 165-171.
- Archer A. W. 2005. Review of Amazonian depositional systems. *In-* Blim M.D. *et al.*(ed.). *Fluvial sedimentology VII*. Oxford, UK, p. 17-39.
- Ayres J. M. 1995. *As matas de várzea do Mamirauá- médio Solimões*. 2. ed. Brasília-CNPq/Sociedade Civil Mamirauá, 123p.
- Baptista Neto J. A., Ponzi V. R. A., Sichel S. E. (orgs.). 2004. *Introdução à geologia marinha*. Rio de Janeiro, Editora Interciência, 279p.
- Bermann C. 2012. O projeto da usina hidrelétrica Belo Monte- a autocracia energética como paradigma. *Novos Cadernos NAEA*, **15**(1)-5-23.
- Carvalho N. O. 2008. *Hidrossedimentologia prática*. 2ª ed. Rio de Janeiro, Interciência. 600p.
- Conorath D. G., Mazzer A. M., Lorenzi L., Becker F., Nass D. H. 2010. Variação sazonal dos sedimentos de fundo na baía da Babitonga em um Transecto próximo à Ilha da Rita - São Francisco do Sul, Santa Catarina. *In-* 16 ° Anais do Encontro Nacional dos Geógrafos, Porto Alegre. *Anais...* Disponível em- <http://www.agb.org.br/evento/download.php?idTrabalho=631>. Acesso em- 13 fev. 2017.
- Cunha D A. & Ferreira L V. 2012. Impacts of the Belo Monte hydroelectric dam construction on pioneer vegetation formations along the Xingu River, Pará State, Brazil. *Brazilian Journal of Botany*, **35**(2)-159-197.
- Dall'Agnol R., Costi H.T., Leite A.A., Magalhães M.S., Texeira N.P. 1999. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research*, **95** (1-2)-9-39.
- Dalrymple R. W., Zaitlin B. A., Boyd R.1992. Estuarine facies models- conceptual basis e stratigraphic implications. *Journal of Sedimentary Petrology*, Canadá, **62** (6)-1130-1146.
- D'angelo R.A. 2016. O uso de esteróis, n-alcanos e fenóis da lignina como marcadores de fontes de matéria orgânica sedimentar em lagos de ria e lagos de várzea na bacia amazônica central (Brasil). MS Dissertation, Instituto de Química, Universidade Federal Fluminense, 2016. Disponível em- <http://www.repositorio.uff.br/jspui/bitstream/1/2609/1/Tese%20Raffaella%20Araujo%20Dangelo.pdf>. Acesso em- 21 fev. 2017.
- Depetris P.J., Paolini J. E. 1991. Biogeochemical aspects of South American Rivers- The Paraná and the Orinoco. *In-* Degens E.T., Kempe S., Ritchie J.E. (eds.). *Biogeochemistry of the Major World Rivers*, Chichester, England, John Wiley and Sons, p. 105-122.

- Dias J. A. 2004. A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos. Disponível em- http://www.oceanografia.ufba.br/ftp/Sedimentologia/Bibliografia/Alverino_Dias_Analise%20Sedimentar%20Sistemas%20Marinhos_2004.pdf. Acesso em- 07 fev. 2017.
- Dodge R. E. & Vaisnys J. R. 1977. Coral populations and growth patterns- response to sedimentation and turbidity associated with dredging. *Journal of Marine Research*, New Haven, Connecticut, **35** (4)-715-730.
- Eletrobrás. AAI - Avaliação Ambiental Integrada da Bacia do rio Xingu. 2009b. Disponível em- <http://www.eletrobras.gov.br/ELB/data/documentos/storedDocuments/%7BA75346D4-8DCD-4ADF-AB2A89A3CB5629C%7D/%7B1BF6069A-2E51-4C7C-91F7BC21CA1BCF0D%7D/Sumario%20AAI%20Xingu.pdf>. Acesso em- 06 fev. 2017.
- Eletrobrás. Aproveitamento hidrelétrico de Belo Monte - relatório de Impacto Ambiental - RIMA. 2009a. 100p. Disponível em- http://norteenergiasa.com.br/site/wp-content/uploads/2011/04/NE.Rima_.pdf. Acesso em- 08 fev. 2017.
- Fearnside P. M. 2006. Dams in the Amazon- Belo Monte and Brazil's hydroelectric development of the Xingu River Basin. *Environmental management*, **38** (1)-6 p.
- Fleury L. C. & Almeida J. 2013. A construção da usina hidrelétrica de Belo Monte- conflito ambiental e o dilema do desenvolvimento. *Ambiente & Sociedade*, **16**(4)-141-158.
- Folk R. L. 1954. The distinction between grain size and mineral composition in sedimentary rock nomenclature. *Journal of Geology*, Chicago, **62** (4)-344-359.
- Folk R.L. 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Austin, U.S.A., Hemphills Publishing. 185 p.
- Folk R.L. & Ward W.C. 1957. Brazos river bar- a study in the significance of grain size parameters. *Journal of Sedimentary Petrology*, Canadá, **27** (1)-3-26.
- França A.M.S. 2005. *Aplicação de sensoriamento remoto no estudo da influência da dinâmica sazonal do rio Amazonas sobre a morfologia dos sistemas lacustres*. MS Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisa Espaciais (INPE), São José dos Campos, SP, 2005. Disponível em-http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/dissertacao_andreia_franca.pdf. Acesso em 21 fev. 2017.
- Freitas P. T. A. 2017. *Hidrodinâmica e sedimentologia de um grande tributário do rio Amazonas sob influência da maré (rio Tapajós – Amazônia brasileira)*. Thesis. Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança, 94p.
- Freitas P. T. A.; Asp, N.E.; Silveira, O.F.M. 2012. Tide distortion and attenuation in an Amazonian tidal river. *Brazilian Journal of Oceanography*, São Paulo, **60** (4)-429-446.
- Fricke A. T., Nittrouer C. A., Ogston A. S., Nowacki D. J., Asp N. E., Souza Filho P. W., Silva M.S., Jalowska A.M. 2017. River tributaries as sediment sinks- Processes operating where the Tapajós and Xingu rivers meet the Amazon tidal river. *Sedimentology*, **64**(6)-1731-1753.

Fricke A. T., Nittrouer C. A., Ogston A. S., Nowacki D. J., Asp N. E., Souza Filho P. W. 2018. Morphology and dynamics of the intertidal floodplain along the Amazon tidal river. *Earth Surface, Processes and Landforms*. <https://doi.org/10.1002/esp.4545>

Garrison Tom. 2010. *Fundamentos de oceanografia*. Tradução por Cintia Miyaji *et al.* 4 ed. São Paulo- CENGAGE Learning, 2010. 426 páginas.

Gourou P. 1950. Observações geográficas na Amazônia. *Revista Brasileira de Geologia, IBGE*, 2- 171-250.

Hall A., Branford S. 2012. Development, dams and Dilma- the saga of Belo Monte. *Critical Sociology*, 38(6)-851-862.

Hodgson G., Dixon J.A. El Nido Revisited- Ecotourism, Logging and Fisheries. In- Herman S.J. Cesar (ed.). *Collected Essays on the Economics of Coral Reefs*. Sweden, v. 1. Disponível em- https://www.researchgate.net/profile/Marcus_Oehman/publication/236628219_Economic_valuation_of_an_integrated_terrestrial_and_marine_protected_area_Jamaica's_Portland_Bight/links/0046352cfd6c99c2d5000000.pdf#page=53. Acesso em- 28 nov. 2017.

Holz R. K., Baker V. R., Sutton S. M., Penteado-Orellana M. M. 1979. South American river morphology and hydrology. In- *Apollo-Soyuz Test Project, Vol 2- earth observations and photography*. US NASA, Lyndon B. Johnson Space Center, Houston, Texas, NASA-SP-412-Vol-2, 1979.

Instituto brasileiro do meio ambiente e dos recursos naturais renováveis (IBAMA). Diagnóstico ambiental da AHE – Belo Monte – Médio e Baixo Xingu – Ictiofauna e Pesca. Universidade Federal do Pará / Museu Paraense Emílio Goeldi. Belém, p. 434. 2008.

Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). *Normais Climatológicas do Brasil- 1961-1990*. Disponível em- <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisclimatologicas>. Acesso em- 08 fev 2017.

Irion G., Mello J.A.S.N. de, Morais J., Piedade M.T.F., Junk W.J., Garming, L. 2010. Development of the Amazon Valley During the Middle to Late Quaternary- Sedimentological and Climatological Observations. In- Junk W.J. *et al.* (eds.), *Amazonian floodplain forests*. Dordrecht, Springer, p. 27-42.

Jesus L.V & Andrade A.C.S. 2013. Parâmetros granulométricos dos sedimentos da praia dos Artistas-Aracaju-SE. *Scintia Plena*, Sergipe, 9 (5)-1-11.

Kjerfve B. & Magill K.E. 1989. Geographic and hydrodynamic characteristics of shallow coastal lagoons. *Marine geology*, Amsterdam, 88 (3-4)-187-199.

Kosuth P., Callède J., Laraque A., Filizola N., Guyot J. L., Seyler P., Fristsch J.M, Guimaraes V. 2009. Sea-tide effects on flows in the lower reaches of the Amazon River. *Hydrological Processes*, Aberdeen, 23 (22)-3141-3150.

Kowsmann R. O., Costa M. P. D. A., Vicalvi M. A., Coutinho M. G. D. N., Gambôa L. A. P. 1977. Modelo da sedimentação holocênica na plataforma continental sul brasileira. *Rlgeo*, <http://rigeo.cprm.gov.br/jspui/handle/doc/17228>.

Landim, Paulo M. Barbosa. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. 2000. Rio Claro- UNESP, p. 20.

Loya Y. Effects of water turbidity and sedimentation on the community structure of Puerto Rican corals 1976. *Bulletin of Marine Science*, Miami, Florida, **26** (4)-450-466.

Meade R. H., Dunne T., Richey J. E., Santos U. D. M., Salati E. 1985. Storage and remobilization of suspended sediment in the lower Amazon River of Brazil. *Science*, **228** (4698)- 488-490.

Nichol S. L., Zaitlin B. A., Thom B. G. 1997. The upper Hawkesbury River, New South Wales, Australia- a Holocene example of an estuarine bayhead delta. *Sedimentology*, **44** (2)- 263-286.

Nichols G. 1999. *Sedimentology and Stratigraphy*. Blackwell, 355 p.

Nittrouer C.A., Kuehl S.A., Sternberg R.W., Figueiredo Jr A.G. & Faria L.E.C. 1995. Introduction to the geological significance of sediment transport and accumulation on the Amazon continental shelf. *Marine Geology* **125**- 177-192.

Oliveira D. A. G. 2004. Caracterização bio-sedimentológica e proposta de setorização das lagunas de Camacho & Garopaba do Sul e Santa Marta, Santa Catarina, Brasil. MS Dissertation, Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 103 p.

Oliveira V.M., Mochel F. R. 1999. Macrofauna bentônica de substratos móveis de um manguezal sob impacto das atividades humanas no sudoeste da Ilha de São Luís, Maranhão, Brasil. *Boletim do Laboratório de Hidrobiologia*, 12- 75-93.

Oltman R. E. 1968. *Reconnaissance investigation of discharge and water quality of the Amazon River*. Washington D.C, US. Geological Survey, 16p.

Papini C. J., Leal Neto R. M. 2006. Análise granulométrica de pós metálicos por difração de laser via seca. In- CBECIMat ,17º Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, Foz do Iguaçu. Disponível em- < <https://www.ipen.br/biblioteca/2006/cbecimat/12576.pdf> > Acesso em- 25 ago. 2017.

Pereira L. C. C. 2007. Zona Costeira Amazônica Brasileira- Limite e Características. Simpósio Zona Costeira Amazônica. In- 59ª Reunião Anual Da SBPC, Belém. *Anais...* Disponível em- < <http://sbpcnet.org.br/livro/59ra/pdf/Luci.pdf> > Acesso em- 30 nov. 2017.

Pereira L.C.C., Dias J.A., Carmo J.A., Pollete, M. 2009. The Brazilian Amazon Coastal Zone. *Journal of Integrated Coastal Zone Management*, Lisboa, 9 (2)-3-7.

Reis R.E. 2013. Estudo consolidado e integrado dos trabalhos de campo com ênfase nos ecossistemas aquáticos e biodiversidade. Brasília, OTCA/GEF/PNUMA. Relatório técnico. Disponível em- <http://otca.info/gef/uploads/documento/330c5ATIVID.II.1.1_III.1.1_ROBERTO.E.REIS_RELATORIO_4_FNL.pdf> Acesso em 21 fev. 2017.

Ribeiro I. 2014. Análise de Solos Tropicais com Granulômetro a Laser. Projeto Final, Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Goiás, Anápolis, GO. 2014. Disponível em- <

http://www.abms.com.br/links/bibliotecavirtual/cobramseg/2014/599711_80_ANALISE_GRANULOMETRICA_DE_SOLOS_TROPICAIS_COM_GRANULOMETRO_A_LASER.pdf
>. Acesso em 08 fev. 2017

Rodríguez J.J., Windevoxhel, N.J. 1998. Análisis Regional de la Situación de la Zona Marina Costera Centroamericana. Banco Inter-Americano de Desenvolvimento BID. Washington, D.C. No. ENV - 121.

Rogers C.S. 1990. Response of coral reefs and reef organisms to sedimentation. *Marine Ecology Progress Series*, **62** (1-2)-185-202.

Schumm, S.A., 1981. Evolution and response of the fluvial system, sedimentological implications. In- Ethridge, F.G., Flores, R.M. (Eds.), *Recent and Nonmarine Depositional Environments. SEPM (Society for Sedimentary Geology)*, Special Publication 31, Tulsa, OK, p.19–29.

Shepard F. P. 1954. Nomenclature based on sand-silt-clay ratios. *Journal of Sedimentary Research*, **24** (3)- 151-158.

Silva D.D., Prunk F.F., Schaefer C.R.G.R., Amorim R.S.S., Paixa K.W.N. 2005. Efeito da cobertura nas perdas de solo em um Argissolo Vermelho-Amarelo utilizando simulador de chuva. *Engenharia Agrícola*, Viçosa, Minas Gerais, **25** (2)-409-419.

Silva Lyra W., da Silva E. C. de Araújo M. C. U., Fragoso W. D. & Veras G. 2010. Classificação periódica- um exemplo didático para ensinar análise de componentes principais. *Quim. Nova*, **33** (7)-1594-1597.

Silva J.N.S. 2018. *Hidrodinâmica e transporte de sedimentos em suspensão no setor da confluência entre o rio Xingu e o rio Amazonas*. MS Dissertation, Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança. 48p.

Sioli H. 1984. The Amazon and its main affluents- Hydrography, morphology of the river courses, and river types. In- Sioli, H. (Ed.), *The Amazon*. DR W. Junk Publishers, Dordrecht, p. 127-166.

Sommaruga R. & Conde D. 1990. Distribución de matéria orgânica em los sedimentos recientes de la Laguna de Rocha (Rocha, Uruguay). *Atlântica*, Rio Grande, **12**, (1)-35-44.

Souza D.F. 2015. *Evolução sedimentar do Tabuleiro do Embaubal, Baixo rio Xingu*. MS Dissertation, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 68 p.

Souza Filho P.W.M.; Paradella, W.R.; Silveira, O.F.M. 2005. Synthetic Aperture Radar for Recognition of Coastal Features in the Wet Tropics- Applications in the Brazilian Amazon Coast. *Boletim do Museu Paraense Emílio Goeldi*, Ciências Naturais, Belém, **1** (1)-201-207.

Suguio K. 1973. *Introdução a sedimentologia*. São Paulo. Ed. Edgard Blucher. EDUSP, 317p.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 1999. Geochronological provinces of the Amazonian Craton. *Episodes*, **22**-174-182.

Tassinari C.C.G., Bettencourt J.S., Geraldes, M.C., Macambira, M.J.B., Lafon, J.M. 2000. The Amazonian Craton. *In-* Cordani U.G.; Milani E.J.; Filho A.T.; Campos D.A. (eds.) *Tectonic Evolution of South America*. Rio de Janeiro. p.41-95.

Tassinari C.C.G., Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. p.471-485. *In-* Mantesso-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. de. 2004. *Geologia do Continente Sul-Americano; evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida*. São Paulo- Beca, 2004. 573p.

Teódulo M.J.R. 2017. *Geoquímica elemental, mineralogia e isótopos de Sr, Nd e Pb em sedimentos de fundo no baixo curso do rio Amazonas e tributários- considerações sobre proveniência e mistura de sedimentos*. DR Thesis, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém. 209p.

Vieira C. V., Horn Filho N. O., Bonetti C. V. D. H. C., Bonetti J. 2008. Caracterização morfosedimentar e setorização do complexo estuarino da Baía da Babitonga/SC. *Boletim Paranaense de Geociências*, **62** (1)-85-105.

Vital H. & Stattegger K., 2000. Lowermost Amazon river- evidence of late quaternary sea-level fluctuations in a complex hydrodynamic system. *Quaternary International*, **72**(1)-53–60.

Wells J.T. 1995. Tide-dominated estuaries and tidal rivers. *In-* Perillo G.M.E. (ed.). *Geomorphology and sedimentology of estuaries*. New York, Elsevier, p. 179-205. (Developments in Sedimentology, **53**).

Wentworth C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*, **30** (5)-377-392.