



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO Nº 543

**INFLUÊNCIA DO RIO AMAZONAS NOS SEDIMENTOS
DE FUNDO DO RIO XINGU: EVIDÊNCIAS
MINERALÓGICAS E GEOQUÍMICAS**

Dissertação apresentada por:

THIAGO PEREIRA DE SOUZA

Orientador: Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto (UFPA)

Coorientador: Prof. Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva (MPEG)

BELÉM
2018

**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)**

- S719i Souza, Thiago Pereira de.
Influência do rio Amazonas nos sedimentos de fundo do rio Xingu : evidências mineralógicas e geoquímicas / Thiago Pereira de Souza. — 2018.
xviii, 96 f. : il. color.
- Orientador(a): Prof. Dr. Nils Edvin Asp Neto
Coorientador(a): Prof. Dr. José Francisco Berrêdo Reis da Silva
Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2018.
1. Sedimentos. 2. Mineralogia. 3. Geoquímica. I. Título.

CDD 549.098115



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

**INFLUÊNCIA DO RIO AMAZONAS NOS SEDIMENTOS
DE FUNDO DO RIO XINGU: EVIDÊNCIAS
MINERALÓGICAS E GEOQUÍMICAS**

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

THIAGO PEREIRA DE SOUZA

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

Data de Aprovação: 27 / 12 / 2018

Banca Examinadora:

Prof. Nils Edvin Asp Neto
(Orientador - UFPA)

Prof. André Oliveira Sawakuchi
(Membro - USP)

Prof. Jean Michel Lafon
(Membro - UFPA)

*Aos meus avós Sebastiana Teresa, Manoel
Luiz e Joana Melo,
Aos meus pais, Regina e Bernardino e à
minha irmã Thais Elaine.
Dedico a vocês esse trabalho.*

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com o apoio da coordenação de aperfeiçoamento de pessoal de nível superior – Brasil (CAPES) – Código de financiamento 001

Primeiramente a Deus, pela infinita misericórdia e amor incondicional, assim como as diversas bênçãos que tenho recebido por meio dele.

A toda minha família, em especial às minhas tias Luzia Assunção, Conceição Assunção, irmã Thaís Elaine e primo Gabriel, que sempre me apoiaram em todos os momentos.

Em especial aos meus pais, Regina Pereira e Bernardino Melo, exemplos de pais devotados aos filhos, donos do meu amor incondicional, principais motivos da minha luta em prol de um futuro melhor.

As minhas avós Sebastiana Tereza, Joana Assunção, meu avô Manoel Luiz Pereira e minha tia Cristiane Assunção, por todo tempo que estiveram comigo, saibam que sempre amarei vocês.

Aos meus orientadores José Francisco Berrêdo e Nils Asp pela paciência, oportunidade e excelentes discussões.

A todos os amigos, bolsistas, colaboradores e pesquisadores do Museu Paraense Emílio Goeldi, Maridalva Mendes, Socorro Progene, Gustavo, Priscila Gozzi, por todos os momentos de descontração e contribuição durante a confecção deste trabalho.

A toda equipe do LAGECO (Vando, Ariane, Jéssica, Alessandra, Andrey, Lúcio, Afonso) pelo apoio durante as coletas.

Às minhas amigas do grupo GITH pelos incríveis momentos que já vivemos, por todas as risadas (e muitas), rolês, despedidas, reencontros e brigas. Obrigado a todos por essa amizade construída de forma tão bonita.

Aos meus amigos Alan Albuquerque e Alexandre De Siqueira pelo apoio fundamental em relação ao tratamento dos dados! MUITÍSSIMO OBRIGADO!

Em especial ao meu amigo Ademilton Júnior, pela companhia e ajuda com o tratamento dos dados, essencial para o meu sucesso nesse trabalho.

Ao corpo docente do Instituto de Geociências, em especial aos professores Marco Toro, Jean-Michel Lafon pelas dicas valiosas que contribuíram muito para a finalização desse trabalho.

RESUMO

O rio Xingu configura-se como um importante afluente do rio Amazonas em termos de descarga de água, destacando-se principalmente pela sua morfologia ímpar e dinâmica sedimentar diversificada. Estudos hidrodinâmicos registram o efeito da maré no baixo rio Amazonas e sua propagação em tributários como o rio Xingu e Tapajós, ambos classificados como *tidal rivers*. Esses estudos sustentam a hipótese de que o rio Amazonas é um agente regulador no transporte e deposição de sedimentos nesses ambientes, atuando ainda como fonte de sedimentos. Diante disso, este trabalho propôs determinar a possível área de influência do rio Amazonas no baixo rio Xingu através de análises granulométricas, mineralógicas e geoquímicas. Os pontos de coleta de sedimentos de fundo obedeceram a uma extensa malha amostral que abrangeu 109 pontos de coleta transversais e longitudinais de canais principais e secundários do rio Xingu. A determinação granulométrica foi realizada com um analisador de partículas a laser. As análises mineralógicas consistiram em dados de difração de raios-X (amostra total e fração argila) e descrição petrográfica de minerais pesados. As análises químicas totais foram realizadas em amostra total para quantificação dos elementos maiores, traços e terras raras, por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS). Os resultados demonstraram que os sedimentos do rio Amazonas e Xingu possuem teores variáveis de areia, silte e argila e extrema variabilidade textural. A heterogeneidade da composição textural é atribuída essencialmente às condições hidrodinâmicas de deposição dos sedimentos. A análise mineralógica constatou a presença de *trends* composicionais relacionados aos argilominerais e minerais pesados, com a associação entre caulinita e minerais ultraestáveis para amostras à montante do rio Xingu e altos teores de esmectita e minerais instáveis para amostras da região de confluência entre rio Xingu e Amazonas, característica similar às amostras do rio Amazonas. Mais além, as análises sugerem que as margens do lago de ria do Xingu atuam como uma terceira possível fonte de sedimentos. Apesar da diversidade de composições texturais, os sedimentos dos dois rios não apresentaram variações significativas de elementos maiores, traços e terras raras ao longo das estações de amostragem, porém os índices de alteração química (CIA) indicaram condições diferenciadas de intemperismo na área fonte dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. O tratamento estatístico dos elementos maiores, traços e terras raras por PCoA e PERMANOVA, confirmou a diferenciação de dois grandes grupos de amostras do rio Amazonas, com relativa similaridade as amostras da região de confluência com o rio Xingu e amostras à montante do rio Xingu, corroborando padrões já indicados pela distribuição

granulométrica e mineralógica. De acordo com as análises realizadas, ficou evidente a influência do rio Amazonas na composição dos sedimentos de fundo do rio Xingu em toda a área de confluência com o rio Amazonas.

Palavras-chave: Sedimentos. Mineralogia. Geoquímica.

ABSTRACT

The Xingu River is an important tributary of the Amazon River in terms of water discharge, mainly due to its unique morphology and diversified sedimentary dynamics. Hydrodynamic studies record the effect of the tide on the lower Amazon River and its spread on tributaries such as the Xingu and Tapajós rivers, both classified as tidal rivers. These studies support the hypothesis that the Amazon river is a regulating agent in sediment transport and deposition in these environments, acting as a sediment source. In view of this, this work proposed to determine the possible influence area of the Amazon river in the low Xingu river through granulometric, mineralogical and geochemical analysis. The collection points of the bottom sediments obeyed an extensive sampling network that covered 109 transverse and longitudinal collection points of the main and secondary channels of the Xingu River. The granulometric determination was performed with a laser particle analyzer. The mineralogical analyzes consisted of X-ray diffraction data (total sample and clay fraction) and petrographic description of heavy minerals. The total chemical analyzes were performed in total sample for quantification of major elements, traces and rare earth by inductively coupled plasma mass spectrometry (ICP-MS). The results showed that the sediments of the Amazon and Xingu rivers have varying levels of sand, silt and clay and extreme textural variability. The heterogeneity of the textural composition is attributed essentially to the hydrodynamic deposition conditions of the sediments. The mineralogical analysis verified the presence of compositional trends related to clay minerals and heavy minerals, with the association between kaolinite and ultra - stable minerals for samples upstream of the Xingu river and high levels of smectite and unstable minerals for samples from the confluence region between the Xingu and Amazonas , similar to the samples of the Amazon River. Further, the analyzes suggest that the banks of the Xingu estuary act as a third possible source of sediment. Despite the diversity of textured compositions, the sediments of the two rivers did not show significant variations of major elements, traces and rare earths along the sampling stations, but the chemical alteration indexes (CIA) indicated different weather conditions in the sediment source area of the Amazon and Xingu rivers. The statistical treatment of the larger elements, traces and rare earths by PCoA and PERMANOVA, confirmed the differentiation of two large groups of samples of the Amazon River, with similarity to samples from the confluence region with the Xingu River and samples upstream of the Xingu River, corroborating patterns already indicated by the granulometric and mineralogical distribution. According to the

analyzes, the influence of the Amazon River on the composition of the bottom sediments of the Xingu River was evident in the entire confluence area with the Amazon River.

Keyword: Sediments. Mineralogy. Geochemistry

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com os principais municípios das adjacências.	5
Figura 2 - Principais segmentos distensivo e direcional da região centro-norte Amazônica.....	9
Figura 3 - Compartimentação do Cráton Amazônico segundo o modelo de Santos (2003) e localização da área de estudo.	13
Figura 4 - Mapa geológico da região da área de estudo e suas principais unidades descritas nas adjacências.	17
Figura 5 - Diagrama de tipos de proveniência tectônica de Dickinson (1985).....	22
Figura 6 - A) Coleta de sedimentos com a draga Petersen. B) Rio Xingu nas proximidades de Porto de Moz. C) Margens do rio Xingu no município de Senador José Porfírio. D) Em detalhe, a embarcação de menor porte voadeira.	23
Figura 7 - Mapa de amostragem ilustrando a distribuição espacial das amostras coletadas....	24
Figura 8 - Direção do fluxo na região de confluência do rio Amazonas e rio Xingu.....	25
Figura 9 - Variação das porcentagens médias de areia, silte e argila nos sedimentos do rio Amazonas e Xingu.	30
Figura 10 - Diagrama triangular de Folk (1974) para a classificação de sedimentos finos (Areia x Silte x Argila) das amostras do rio Xingu e rio Amazonas. Legenda (A: Areia; Aa: Areia Argilosa; Al: Areia Lodosa; As: Areia Siltosa; A'a: Argila Arenosa; La: Lodo Ar.....	31
Figura 11- A) Carta de distribuição granulométrica segundo o método de Folk & Ward. Legenda de cores da escala textural: SMF (Silte muito fino), SF (Silte fino), SM (Silte médio), SG (Silte grosso), AMF (Areia muito grossa), AF (Areia fina), AM (Areia média), AG.....	32
Figura 12- Correlação entre parâmetros estatísticos Assimetria e Média para amostras do rio Amazonas e rio Xingu.	33
Figura 13- Correlação entre parâmetros estatísticos seleção e média para amostras do rio Amazonas e Xingu.	34
Figura 14- Dendograma das amostras dos rios Amazonas e Xingu com a individualização dos quatro grupos de amostras segundo suas características composicionais e cristalográficas.	37

- Figura 15- A) Difratoograma do Grupo 1 ilustrando a composição mineralógica baseada em quartzo, caulinita e anatásio. B) Difratoograma do Grupo 2, demonstrando a assembleia de minerais composta essencialmente por quartzo e caulinita. C) Difratoograma do Grupo 3 composto por quartzo, caulinita, esmectita. D) Difratoograma do grupo 4 exibindo a associação entre quartzo, caulinita, vermiculita, mica e albita. Legenda: Smc: Esmectita, Kln: Caulinita, Qtz: quartzo, Vrm: Vermiculita, Mca: Mica, Alb: Albita, Ant: Anatásio. 38
- Figura 16– Mapa de amostragem ilustrando as amostras escolhidas para o Drx-amostra total. 39
- Figura 17- Percentuais dos diferentes argilominerais identificados ao longo do rio Xingu. A amostra Amaz 06 encontra-se mais à jusante da área, enquanto a Amaz 91 está mais à montante..... 41
- Figura 18– Mapa de amostragem ilustrando a distribuição espacial das amostras selecionadas para a análise de Drx-fração argilomineral. 41
- Figura 19- Principais difratogramas da fração argila referentes às amostras do rio Xingu demonstrando a variabilidade mineralógica dos sedimentos estudados..... 42
- Figura 20- Mapa de amostragem das amostras usadas para a análise de minerais pesados. ... 45
- Figura 21- Distribuição dos principais minerais pesados não opacos por toda a extensão da área de estudo, referentes ao rio Amazonas e Xingu (valores médios entre as frações areia fina e muito fina em porcentagens). 45
- Figura 22- Gráfico com a frequência do zircão ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98) até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 48
- Figura 23- Gráfico com a frequência da turmalina ao longo do rio Xingu, partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 48
- Figura 24- Gráfico com a frequência do rutilo ao longo do rio Xingu, partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 49
- Figura 25- Gráfico com a frequência da estauroлита ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 50

- Figura 26- Gráfico com a frequência da cianita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2), localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 50
- Figura 27- Gráfico com a frequência da silimanita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 51
- Figura 28- Gráfico com a frequência da granada ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. ... 52
- Figura 29- Gráfico com a frequência da epidoto ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 52
- Figura 30- Gráfico com a frequência da andaluzita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 53
- Figura 31- Gráfico com a frequência do diopsídio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem 54
- Figura 32- Gráfico com a frequência do hiperstênio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 54
- Figura 33- Gráfico com a frequência do anfibólio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem 55
- Figura 34- Gráfico com a frequência da enstatita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem. 56
- Figura 35- Gráfico com a frequência do Topázio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem 56

- Figura 36- A) Variedades de grãos de zircão identificados os sedimentos estudados. B) Grãos prismáticos, tabulares e arredondados de turmalina. C) Grãos prismáticos e subarredondados de rutilo. D) Grãos angulosos e subarredondados de estauroлита. E) Grãos tabulares e prismáticos de cianita. F) Grãos prismáticos incolores de silimanita. G) Grãos irregulares de granada. H) Grãos irregulares de epidoto com evidências de corrosão. I) Fragmentos de diopsídio com terminações dentadas. J) Grãos prismáticos de hiperstênio. K) Grãos prismáticos de anfibólio. L) Grãos prismáticos e tabulares de enstatita. M) Grãos angulosos e subangulosos de topázio... 58
- Figura 37- Diagrama K_2O/Na_2O versus SiO_2/Fe_2O_3 . Plotagem das razões em comparação com os valores médios do PAAS e CCS. 60
- Figura 38- A) Elementos maiores dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao PAAS. B) Elementos maiores dos sedimentos do Amazonas normalizados ao CCS. C) Elementos maiores dos sedimentos do rio Xingu normalizados ao PAAS. D) Elementos maiores dos sedimentos do rio Xingu normalizados ao CCS..... 61
- Figura 39- Mapa de amostragem com a distribuição das amostras selecionadas para a análise química..... 63
- Figura 40- A) Elementos traço dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao PAAS. B) Elementos traço dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao CCS. C) Elementos traço dos sedimentos rio Xingu normalizados ao PAAS. D) Elementos traço do rio Xingu normalizado ao CCS..... 65
- Figura 41- A) Elementos terras raras dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao PAAS. B) Elementos terras raras dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao CCS. C) Elementos terras raras dos sedimentos rio Xingu normalizados ao PAAS. D) Elementos terras raras do rio Xingu normalizados ao CCS..... 68
- Figura 42- Representação esquemática das granulometrias predominantes ao longo do rio Xingu 71
- Figura 43- Representação esquemática das principais características mineralógicas (minerais leves, argilominerais e pesados) dos sedimentos do rio Xingu..... 73
- Figura 44- Análises do primeiro e segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos minerais pesados identificados nas amostras e o mapa de amostragem ilustrando os locais de coleta das amostras utilizadas..... 76
- Figura 45- Diagrama de dispersão de Al_2O_3/SiO_2 versus Fe_2O_3/SiO_2 indicando as possíveis fases minerais enriquecidas durante os processos de transporte e deposição fluvial dos sedimentos estudados..... 78
- Figura 46- Diagramas de dispersão dos elementos maiores versus diâmetro médio dos grãos nos sedimentos de fundo do rio Amazonas e Xingu. 80

- Figura 47- Diagrama AC-N-K com valores de CIA para os sedimentos do rio Amazonas e Xingu, ilustrando os trends intempéricos para cada conjunto de amostra e sua comparação com o valor do PAAS e CCS..... 82
- Figura 48 - Análises do primeiro e do segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos elementos maiores dos sedimentos do rio Xingu e Amazonas e seus respectivos locais de coleta. 84
- Figura 49- Análises do primeiro e do segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos elementos traço dos sedimentos do rio Xingu e Amazonas e seus respectivos locais de coleta. 85
- Figura 50- Análises do primeiro e do segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos elementos terras raras dos sedimentos do rio Xingu e Amazonas e seus respectivos locais de coleta..... 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Principais unidades morfoestruturais e regiões geomorfológicas da região integração Xingu	9
Tabela 2 - Classificação textural dos grãos de acordo com as escalas Krumbein e Wentworth	18
Tabela 3 - Parâmetros granulométricos e suas interpretações possíveis.....	19
Tabela 4 - Ordem de estabilidade dos minerais pesados segundo diversos autores.....	21
Tabela 5 - Relação das amostras analisadas, regiões de coleta e os principais minerais identificados.	36
Tabela 6 - Relação da mineralogia detectada nos difratogramas para amostra total e fração argila nas amostras estudadas. Legenda: Smc: Esmeclita, Ill: Ilita, Kln: Caulinita, Qtz, Quartzo, Vrm: Vermiculita, Mca: Mica, Alb: Albita, Ant: Anatósio.....	40
Tabela 7 - Contagem dos grãos dos minerais pesados transparentes e opacos identificados na área de estudo, referentes à fração fina (0,125-0,062) mm e fração grossa (0,250- 0,125) mm. Zr (zircão); Tur (turmalina); Rt (rutilo); Est (estauroilita); Cia (Cianita); Sil (Silimanita); Gran (Granada), Epi (Epidoto), And (Andaluzita), Diop (Diopsídio), Hipers (Hiperstênio), Anf (anfíbólio), Enst (Enstatita), top (Topázio); Tot. Transp (Total de transparentes); Tot. op (Total de opacos)	44
Tabela 8 - Índice ZTR e ZTRE dos sedimentos estudados. Valores médios em porcentagem relativa. F.F = Fração fina; F.G= Fração grossa.	46
Tabela 9 - Relação de proporção entre minerais pesados opacos e não opacos (valores em porcentagem) e o total de grãos contados para cada amostra.	47
Tabela 10 - Comparação dos valores médios dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu com os valores médios do PAAS e CCS. Valores em porcentagem em peso.	59
Tabela 11 - Composição química dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. Valores em porcentagem em peso (%) referentes aos elementos maiores.....	62
Tabela 12 - Composição química dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. Valores em ppm referentes aos elementos traço.....	66
Tabela 13 - Composição química dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. Valores em ppm referentes aos elementos terras raras.	69
Tabela 14 - Estágios de alteração de rochas da crosta continental superior e seus produtos principais.....	81

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	iv
AGRADECIMENTOS.....	v
RESUMO	vi
ABSTRACT	viii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.....	x
LISTA DE TABELAS	xv
1 INTRODUÇÃO.....	1
1.2 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA	2
2 OBJETIVOS	4
3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO	5
4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA REGIÃO DE ESTUDO	6
4.1 CLIMA.....	6
4.2 HIDROGRAFIA E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS	6
4.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL	7
4.4 GEOMORFOLOGIA.....	9
4.5 ESTRATIGRAFIA	10
4.5.1 Província Transamazonas.....	11
4.5.2 Província Amazônia Central.....	11
4.5.2 Bacia do Amazonas	13
4.5.3 Cordilheira dos Andes.....	15
5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	17
5.1 ASPECTOS GERAIS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	17
5.1.1 Escalas granulométricas.....	17
5.1.2 Parâmetros estatísticos.....	18
5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE MINERALÓGICA EM SEDIMENTOS	20
5.2.1 Minerais pesados	20
5.2.2 Minerais essenciais	22
6 MATERIAIS E MÉTODOS	23
6.1 MATERIAIS.....	23
6.1.1 Planejamento de campo e Amostragem.....	23

6.2 MÉTODOS.....	25
6.2.1 Preparação das amostras	25
6.2.2 Análise Granulométrica	25
6.2.3 Análises mineralógicas	26
6.2.3.1 Identificação Mineralógica por Difração de Raios-X	26
6.2.3.2 Preparação das Lâminas de Minerais Pesados.....	26
6.2.3.3 Descrição Mineralógica, Textural e Análise Quantitativa dos Minerais Pesados	27
6.2.4 Análises Químicas Totais	27
6.2.5 Elaboração das cartas de distribuição granulométrica.....	28
6.2.6 Tratamento estatístico dos dados.....	28
7 RESULTADOS ANALÍTICOS	30
7.1 GRANULOMETRIA.....	30
7.1.1 Classificação Textural.....	30
7.1.2 Variação Textural e dos parâmetros estatísticos.....	31
7.2 CONTEÚDO MINERALÓGICO.....	35
7.2.1 Minerais detríticos leves.....	35
7.2.1.1 Descrição dos minerais leves.....	35
7.2.2 Argilominerais.....	40
7.2.3 Minerais pesados	43
7.2.3.1 Análise quantitativa.....	43
7.2.3.2 Descrição dos minerais pesados.....	47
7.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA	59
7.3.1 Elementos maiores.....	59
7.3.2 Elementos traço	64
7.3.3 Elementos terras raras	67
8 DISCUSSÃO	70
8.1 GRANULOMETRIA.....	70
8.2 MINERALOGIA	71
8.2.1 Análise estatística multivariada aplicada à assembleia de minerais pesados.....	75
8.3 GEOQUÍMICA.....	77

8.3.1 Considerações sobre o intemperismo e composição da área fonte	81
8.3.2 Análise estatística multivariada aplicada à composição química	82
8.4 RELAÇÃO GRANULOMETRIA-MINERALOGIA-GEOQUÍMICA	87
9 CONCLUSÃO	88
REFERÊNCIAS	90

1 INTRODUÇÃO

A bacia hidrográfica Amazônica é caracterizada por sua grande descarga sedimentar, devido principalmente aos seus numerosos afluentes, tornando-a a maior em termos de captação de sedimentos do mundo. Alguns desses afluentes estão listados dentre os maiores rios do mundo (*Megarivers*), com descargas superiores a 17.000 m³/s (Latrubesse & Franzinelli 2002).

Os primeiros estudos de proveniência e transporte de sedimentos da bacia Amazônica constataram a intensa contribuição de rochas andinas como fonte de sedimentos dos principais rios e tributários da bacia Amazônica (Sioli 1968), assim também como estudos mais recentes (Filizola 1999, Guyot 2007, Lima 2013), desenvolvidos principalmente em rios como Solimões, Madeira, e o próprio Amazonas, com ênfase em seu alto curso e sua foz (Allègre *et al.* 1996, McDaniel *et al.* 1997, Millot *et al.* 2004). Apesar disso, ainda são escassos trabalhos dessa natureza na área do baixo curso do rio Amazonas e seus principais tributários relacionados, como por exemplo os rios Tapajós e Xingu, que drenam áreas essencialmente cratônicas.

O rio Xingu configura-se como um importante afluente do rio Amazonas em termos de descarga de água, percorrendo uma área de drenagem total de 520.000 km² desde sua nascente no Planalto do Mato Grosso, na parte ocidental da Serra da Roncadora, até sua foz na margem direita do rio Amazonas. Esse rio destaca-se principalmente pela sua morfologia e dinâmica sedimentar diversificada, gerando zonas dominadas por barras arenosas longitudinais, canais múltiplos retilíneos, assim como um canal largo único com fisiografia de afogamento, especialmente em seu baixo curso, configurando um lago de ria (Mineli 2013).

Além das características citadas, estudos hidrodinâmicos apontam o efeito da maré no baixo rio Amazonas e sua propagação em tributários como os rios Xingu e Tapajós, ambos classificados como *tidal rivers*, que podem configurar o rio Amazonas como agente regulador no transporte e deposição de sedimentos nesses ambientes, principalmente em períodos de alta descarga (Freitas *et al.* 2017).

A compreensão das interações do rio Xingu com o rio Amazonas é de fundamental importância para explicar os padrões de deposição do baixo curso do rio Xingu até a zona de confluência, pois o estudo puro da hidrodinâmica e dinâmica sedimentar respondem apenas parcialmente questões relacionadas ao transporte, origem e retrabalhamento dos sedimentos de fundo desse ambiente.

Diante dessa problemática, a identificação de padrões texturais, assinaturas geoquímicas e mineralógicas, mais especificamente de minerais pesados, leves e argilominerais têm se mostrado bons indicadores na investigação da distribuição, mistura e transporte de sedimentos em rios e poderão ser utilizados como ferramentas em estudos que possibilitem compreender mais profundamente aspectos como a hidrodinâmica e os padrões de deposição e mistura de sistemas fluviais (Ferreira 2013, Martins 2010, Medeiros Filho *et al.* 2016, Minelli 2013, Rosseto 2013).

1.2 PROBLEMÁTICA E JUSTIFICATIVA

Irion (1984) e Irion *et al.* (2010) identificaram depósitos lamosos, na foz do rio Tapajós, relacionados a períodos de alta descarga do rio Amazonas ou mesmo em regimes de maré alta, sempre associados a períodos de alta vazão do rio Amazonas. Segundo dados da ANA (Agência Nacional de Águas), medições em estações próximas a Alter do Chão registraram uma vazão média de 6.560 m³/s, enquanto no rio Amazonas a vazão média é da ordem de 120.000 m³/s, cerca de 18 vezes maior, sugerindo retenção de aporte sedimentar proveniente do rio Tapajós e consequente deposição da carga sedimentar do rio Amazonas na foz de seus afluentes, ou até mesmo no interior desses rios. Todos esses dados reforçam a influência do rio Amazonas na composição sedimentar de fundo do rio Tapajós, conforme já foi demonstrado nos trabalhos de Medeiros Filho *et al.* (2016) e Freitas *et al.* (2017).

Partindo desse princípio, a suspeita da influência e possíveis implicações do encontro dos rios Amazonas e Xingu (este último similar em gênese, características hidrodinâmicas e morfológicas ao rio Tapajós) também pode ser levantada. Vital & Stattegger (2000) atesta que o rio Xingu vem sendo inundado e transformado em um estuário-ria com a gradual elevação do nível de base, principalmente devido ao registro sísmico de corredores de areia na região da confluência deste rio com o Amazonas.

A relativa proximidade da zona costeira (fato que potencializa a influência da maré) em relação ao rio Tapajós e presença de dois canais de entrada, um deles com cerca de 3 km de largura, reforçam a hipótese que o rio Amazonas também influencia na composição de fundo do rio Xingu de modo similar ao que ocorre no rio Tapajós.

Segundo Vital & Stattegger (2000), a altura de maré no rio Amazonas próximo ao rio Xingu chegaria a 2 m. Resultados de Silva (2018) encontrou valores de 1,23 m de altura de maré já na foz do rio Xingu. Ao mesmo tempo, Kosuth *et al.* (2009) demonstram que a variação sazonal de nível do rio Amazonas em Almeirim (38 km a montante da confluência do rio Xingu) é de 2 m. Desta forma, o estudo desta área é especialmente relevante, mas

também especialmente complexo, com marés e variação sazonal de nível na mesma magnitude.

Neste contexto se insere a justificativa dessa dissertação, que se propõe a registrar os impactos da interação desses dois grandes rios, propondo-se a determinar a área de influência e entender os processos de mistura que ocorrem naturalmente através da discriminação de assinaturas granulométricas, mineralógicas e geoquímicas. Apesar de não caracterizar um estudo de impacto ambiental, este trabalho se propõe a registrar das condições naturais pelos quais esse processo ocorre, e se torna necessário principalmente para efeitos de comparação com os impactos ambientais futuros relacionados à instalação da Usina de Belo Monte.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como principal objetivo avaliar a influência do rio Amazonas sobre os sedimentos de fundo do rio Xingu, principalmente sua atuação na dinâmica deposicional do baixo curso do rio Xingu e determinar a possível área de abrangência através de dados granulométricos, mineralógicos e geoquímicos.

Especificamente, pretende-se:

- Identificar os principais constituintes mineralógicos (minerais leves e pesados) dos sedimentos de fundo do baixo rio Xingu e do rio Amazonas.
- Determinar a composição química dos sedimentos de fundo.
- Correlacionar a mineralogia e a composição química dos sedimentos de fundo do baixo curso rio Xingu e rio Amazonas com as rochas das regiões adjacentes.
- Elaborar cartas de distribuição sedimentológica do baixo curso do rio Xingu.
- Estabelecer as possíveis variações de padrões texturais e mineralógicos e associa-los aos padrões geoquímicos.

3 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo corresponde a um trecho de 320 km do rio Amazonas, as margens de cidades como Prainha e Almeirim e grande parte do baixo curso do rio Xingu e sua foz no rio Amazonas (Figura 1).

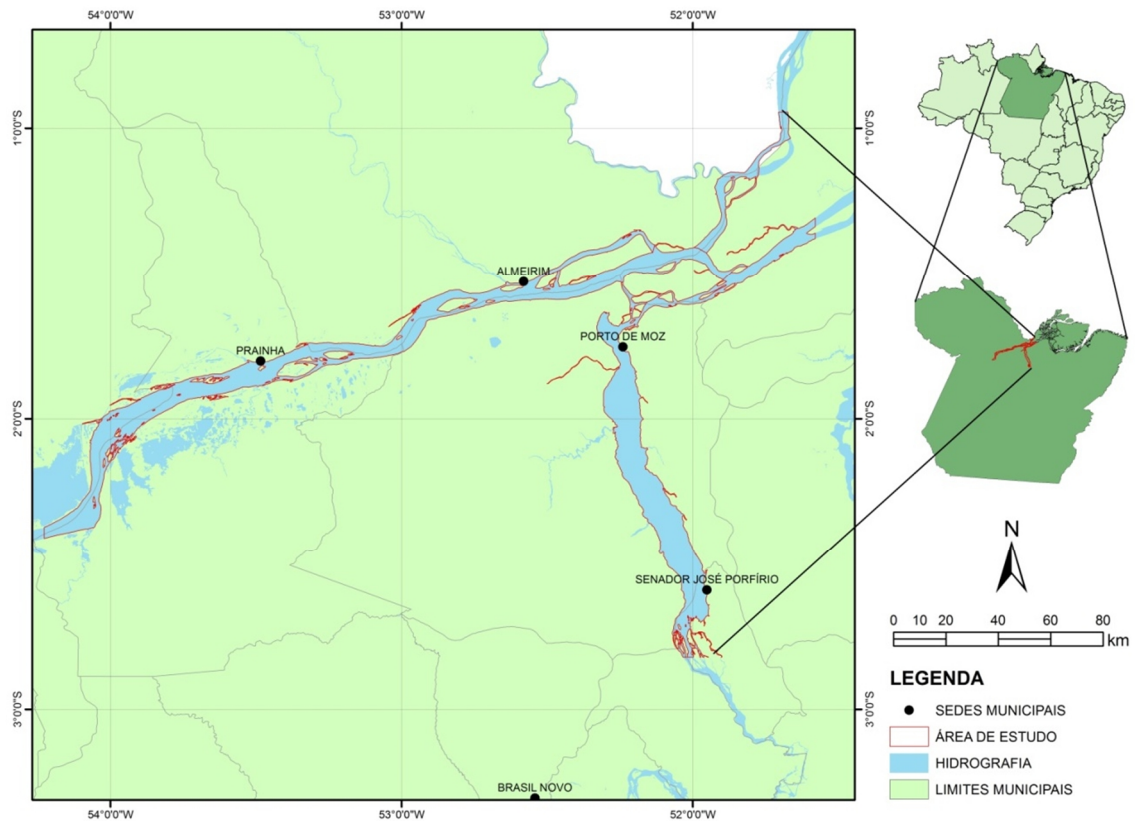


Figura 1 - Mapa de localização da área de estudo com os principais municípios das adjacências.

4 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS E GEOLÓGICOS DA REGIÃO DE ESTUDO

4.1 CLIMA

O clima do estado do Pará é tipicamente equatorial com alta umidade e média térmica situada entre 24°C e 26°C, apresenta alto índice pluviométrico nas proximidades do rio Amazonas. Predomina o subtipo climático Afl, que corresponde à faixa de maior precipitação pluviométrica do Estado, com média anual superior a 3.000 mm (Bastos & Pacheco 2005).

Em relação à bacia hidrográfica do rio Xingu, o clima nessa região é tropical, com precipitação média anual em torno de 1.485 e 2.547 mm. Seu período chuvoso tem início em novembro e fim no mês de abril, acompanhado de intenso escoamento superficial, cheia de rios e inundação de planícies. O período de estiagem começa em maio e se prolonga até outubro. As temperaturas anuais variam entre 21,6°C e 26,5°C (Reis 2013).

4.2 HIDROGRAFIA E PARÂMETROS HIDRODINÂMICOS

A bacia hidrográfica do rio Amazonas configura-se como a maior do mundo em termos de extensão ($6,1 \times 10^6 \text{ km}^2$), atingindo dimensões continentais, englobando cerca de nove países. É responsável pelo aporte de 16% a 20% de águas doces continentais do globo terrestre, constituindo importante reserva de água potável do planeta (Molinier *et al.* 1994, Ab'Saber 2003). Essa bacia é composta por numerosas bacias hidrográficas menores e dentre elas, configura-se a bacia do rio Xingu, considerada a quarta maior (cerca de 7% da área total), desenvolvida essencialmente sobre rochas cristalinas e planícies sedimentares do escudo cristalino e responsável por cerca de 5 % da vazão total do rio Amazonas (Reis 2013).

A bacia hidrográfica do rio Xingu possui área de aproximadamente 531.250 km^2 , com nascente no estado do Mato grosso, a partir da junção dos rios Curuene e Sete de Setembro, no Planalto dos Guimarães e desembocadura no trecho final do rio Amazonas, nas proximidades da cidade de Porto de Moz e Gurupá (Costa 1991). Possui disposição orientada na direção norte-sul, de forma similar aos rios Tapajós e Tocantins. É delimitada ao sul e leste pela bacia do Tocantins/Araguaia, a oeste pela bacia do rio Tapajós e a sudoeste pela bacia do rio Paraguai (Costa 1991).

Seus principais afluentes são (de montante para jusante) o Suiá-Miçu, Auaiá-Miçu, Comandante Fontoura, Fresco e Bacajá pela margem direita; e Curisevo, Pardo, Iriri e Acarai,

pela margem esquerda. O rio Iriri, principal afluente do município de Altamira, destaca-se pelo porte, com uma área de drenagem de 142.082 km² (Santos *et al.* 2015).

As flutuações de maré observadas em alguns dos principais rios amazônicos, a exemplo do rio Tapajós, Xingu e Tocantins são diretamente influenciados pelo sistema costeiro amazônico, caracterizado pela alta vazão fluvial, grande dinâmica de marés e sazonalidade na precipitação, formando assim um grande sistema maré-rio (Freitas *et al.* 2017).

Em relação às flutuações de maré, sua propagação não se restringe apenas a regiões mais próximas da foz do rio Amazonas, propagando-se por centenas de quilômetros em direção ao seu interior, atingindo quase 6 metros, favorecidos principalmente pela baixa inclinação da bacia de drenagem e dimensões consideráveis dos canais. Segundo Archer (2005) as flutuações de maré do rio Amazonas podem ser detectadas até 800 km de sua foz, próximo à cidade de Óbidos.

Freitas *et al.* (2017) e Medeiros Filho *et al.* (2016) apontam a relativa influência da maré no baixo curso do rio Amazonas e seus impactos em alguns dos seus principais tributários (i.e., rio Tapajós e rio Xingu). No rio Tapajós, os efeitos de maré podem ser percebidos até 320 km adentro desse afluente (Freitas *et al.* 2017). Em relação ao rio Xingu, suspeita-se que essa influência seja potencializada, uma vez que a altura de maré na foz do rio Xingu seria cerca de 10 vezes aquela observada na foz do rio Tapajós.

4.3 ARCABOUÇO ESTRUTURAL

A grande característica dos grandes rios amazônicos reside na herança de estruturas que compõem o arcabouço tectônico da região, com visível reativação no Mesozóico e Cenozóico, relacionando assim, alinhamentos de drenagem com alinhamentos estruturais (Costa *et al.* 1996). Segundo Costa (1991) são reconhecidos dois pulsos de movimentação transcorrente; o primeiro Mioceno/Plioceno e o último no Pleistoceno Superior/Recente, ambos responsáveis por uma gama de processos de estruturação, morfogênese e sedimentação ainda em vigor.

Costa *et al.* (1996) afirmam que a evolução tectono-estrutural da rede de drenagens da bacia Amazônica passou por quatro estágios principais;

- 1) Paleozóico superior: O regime distensivo era o atuante nesse período, com a existência das bacias do Amazonas (Médio e baixo), separadas da paleodrenagem do Solimões pelo Arco do Purus, de direção NW-SE.

- 2) Regime extensional no Mesozóico: Modificações estruturais geraram a formação de lineamentos de direção N-S, relacionados à separação da placa da América do Sul e África, originando novas calhas de drenagens.
- 3) Terciário inferior médio: O soerguimento dos Andes gerou a reorganização de rios que migravam para leste, formação de um grande lago na base da cadeia de montanhas e posterior associação da rede de drenagem com o arco do Purus.
- 4) Final do Pleistoceno: Houve nova reorganização da rede de drenagem em decorrência de falhas transcorrentes de várias direções. Nesse contexto houve o aparecimento de rias em decorrência de segmentos transtrativos e transpressivos. Os mesmos autores admitem, entretanto, que a ria do rio Xingu teve origem durante a transgressão Flandriana, diferente de outras rias como o exemplo do rio Tapajós e Negro.

O rio Xingu apresenta diversas configurações ao longo de seus diversos setores (alto, médio e baixo curso), com ocorrência de trechos encachoeirados, canais múltiplos e retilíneos que se cruzam, a extrema variação da largura, podendo chegar até 12 km na região da sua ria o que demonstra um dos maiores controles estruturais fluviais do cenário Amazônico (Gatto *et al.* 2010, Minelli 2013).

Próximo a cidade de Porto de Moz, o canal se torna largo e com morfologia de afogamento, Costa *et al.* (1996), interpretam tal característica como junção tríplice do tipo T-T-R, atribuída ao Quaternário, agrupando um segmento distensivo de direção NNW-SSE, marcado por falhas normais de alto ângulo que controlam o baixo curso do rio Xingu e também um segmento direcional de direção NE-SW composto por vários feixes de falhas transcorrentes dextrais que se interligam através de falhas normais de direção ENE-WSW e E-W (Figura 2).

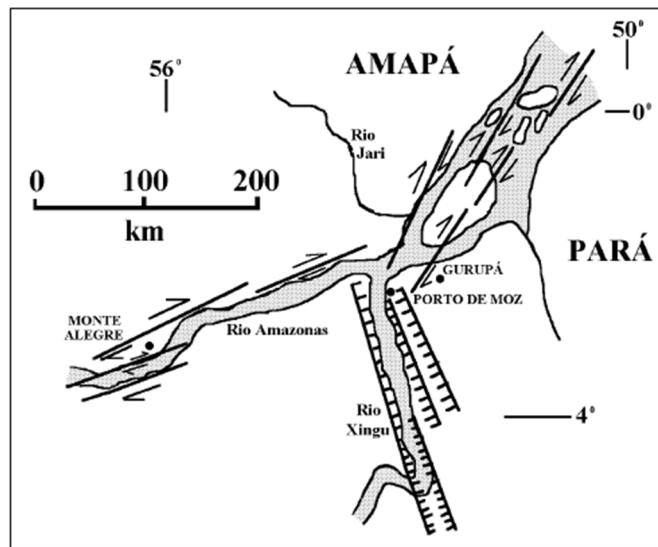


Figura 2 - Principais segmentos distensivos e direcionais da região centro-norte Amazônica. Fonte: Costa *et al.* (1996).

4.4 GEOMORFOLOGIA

Segundo Gatto *et al.* (2010), na área de estudo são identificados três domínios morfoestruturais principais: Depósitos sedimentares quaternários, Bacias e Coberturas sedimentares fanerozóicas e Crátons neoproterozóicos, dentre esses podem ser distinguidos cinco regiões geomorfológicas distintas e 19 unidades geomorfológicas, dentre as quais serão citadas apenas as mais expressivas na área de estudo (Tabela 1)

Tabela 1 - Principais unidades morfoestruturais e regiões geomorfológicas da região integração Xingu

UNIDADES MORFOESTRUTURAIS	Regiões Geomorfológicas
Depósitos sedimentares quaternários	Planície Amazônica
Bacias e Coberturas sedimentares Fanerozóicas	Sequências sedimentares mesozóicas Xingú- Tapajós
	Planalto da bacia Sedimentar Paleozóica do Amazonas
Crátons Neoproterozóicos	Coberturas da Amazônia Meridional
	Embasamentos da Amazônia Meridional

Fonte: Gatto *et al.* (2010).

De acordo com Gatto *et al.* (2010), as unidades geomorfológicas mais expressivas na área do baixo curso do rio Xingu são: Planície Amazônica, tabuleiros do Xingu- Tocantins, Planalto Meridional da bacia sedimentar do Amazonas e Patamar dissecado do Xingu- Pacajázinho, descritas a seguir:

- 1) Planície Amazônica: Corresponde aos terraços contínuos e descontínuos denominados historicamente de planície e terraço fluvial. São planícies fluviais inundáveis periodicamente formadas por aluviões holocênicos fluviais. Contêm diques, paleocanais, canais anastomosados, dentre outras feições deposicionais.
- 2) Tabuleiros do Xingu-Tocantins: Essa unidade encontra-se em ambas as margens do rio Xingu, desde sua foz até onde o largo canal se estreita. Possui superfície pediplanada, dissecada por processos erosivos, revelando relevos tabulares e convexos. Está assentada sobre arenitos e siltitos da Formação Alter do Chão.
- 3) Planalto Meridional da Bacia Sedimentar do Amazonas: Dispõe-se segundo forma de cuevas e altimetria variável entre 50 m e 220 m e superfície pediplanada do tipo degradado inumado. Está desenvolvida sobre diversas litologias, desde calcários, arenitos, dolomitos e folhelhos das Formações Trombetas, Maecuru, Ererê, Monte Alegre, Curuá e Itaituba.
- 4) Patamar dissecado do Xingu- Pacajázinho: O relevo nessa unidade caracteriza-se por variações no processo de dissecção, devido a variedade de formas de topos, desde convexos, até tabulares. Desenvolveu-se essencialmente sobre gnaisses de composição granodiorítica do Complexo Bacajá.

4.5 ESTRATIGRAFIA

A área de estudo comporta basicamente duas macro-estruturas, referentes ao cráton amazônico e cobertura fanerozóica, representada pela bacia do Amazonas, onde está assentada a maior parte do baixo curso do rio Xingu. O Cráton Amazônico constitui uma das maiores áreas cratônicas do mundo e ocorre na porção norte da América do Sul, com superfície de aproximadamente 4.300.000 km². É dividido em dois escudos, o do Guaporé e das Guianas, separados pelas rochas sedimentares da Bacia paleozóica do Amazonas. O Cráton Amazônico é representado por uma placa litosférica continental constituída de núcleo arqueano bordejado por faixas orogênicas paleo a mesoproterozóicas, estabilizado a cerca de (1,0 Ga), (Schobbenhaus & Brito Neves 2003).

Segundo Santos (2003), o Cráton Amazônico pode ser dividido em sete províncias geocronológicas: Sunsás (1450-1000 Ma), Rio Negro (1820-1520 Ma), Rondônia-Juruena (1850-1540 Ma), Amazônia- Central (1900-1860 Ma), Tapajós-Parima (2030-1860 Ma), Transamazonas (2260-1990 Ma), Carajás (3000-2500 Ma). Essa compartimentação é umas das mais usadas, assim como a de Tassinari & Macambira (2004), apenas com diferenças em relação a limites demarcados para as províncias (Vasquez & Rosa Costa 2008). Em relação à área de estudo, serão comentadas somente a Província Transamazonas e Amazônia Central, que estão mais próximas à área de estudo (Figura 3).

4.5.1 Província Transamazonas

Segundo Santos (2003), a Província Transamazonas representa um extenso orógeno datado do paleoproterozóico com íntima evolução relacionada ao Ciclo Transamazônico. Sua área cobre desde o nordeste do escudo central, porção setentrional do escudo das Guianas, Guiana Francesa, Suriname, Guiana e leste da Venezuela. Basicamente é composto por terrenos juvenis paleoproterozóicos margeados por segmentos retrabalhados do Arqueano (Vasquez & Rosa-Costa 2008). É composto pelo bloco Amapá, Domínio Carecuru, Domínio Paru, Domínio Bacajá e Domínio Santana do Araguaia. Dentre os seus diversos domínios, o domínio Bacajá corresponde a umas das principais áreas fontes de sedimentos para o baixo e médio curso do rio Xingu, compostos basicamente por granitoides e charnockitos do Complexo Xingu (Vasquez & Rosa-Costa 2008) (Figura 3).

4.5.2 Província Amazônia Central

Segundo Vasquez & Rosa (2008), a Província Amazônia Central é a que possui o núcleo mais antigo do Cráton Amazônico e pode ser dividida basicamente em dois grandes domínios: O domínio Iriri-Xingu e domínio Erepecuru-Trombetas. Sua principal característica é a associação vulcano-plutônica de idade Orosiana e caráter intracontinental.

Na região de estudo referente ao baixo curso do rio Xingu, as unidades dessa província são representadas principalmente por gnaisses tonalíticos, granitóides, granodioritos, migmatitos e granulitos do Complexo Xingu, com marcante alinhamento no sentido WNW-ESSE, datados do Arqueano (Reis 2013).

Apresentam também unidades metavulcanossedimentares do Arqueano formados por Actinolita xistos, mica xistos, anfíbolitos, rochas metavulcânicas e formações ferríferas bandadas. Estas unidades são cortadas por suítes intrusivas do Riaciano (Suíte Intrusiva Igarapé Urucu) e do Orosiano (Suíte Intrusiva Parauari), compostas por monzogranitos, granodioritos e sienitos, apresentando comportamento calcioacalino e assinatura pós-orogênica (Vasquez & Rosa-Costa 2008).

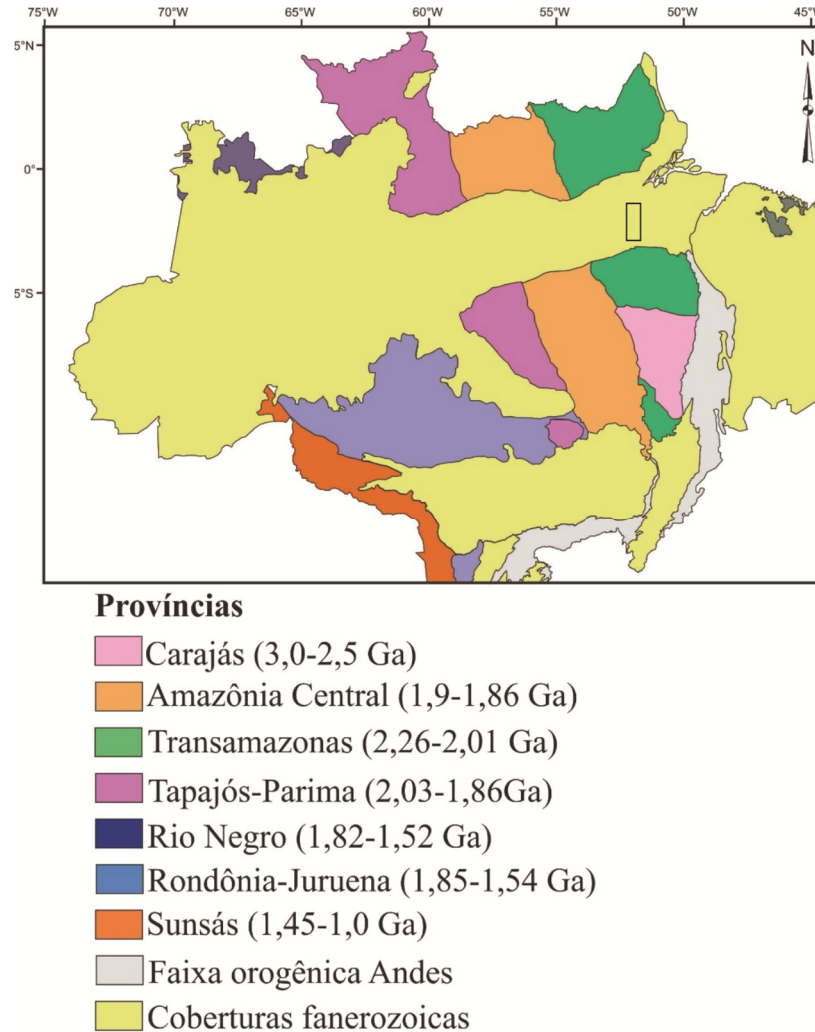


Figura 3 - Compartimentação do Cráton Amazônico segundo o modelo de Santos (2003) e localização da área de estudo. Fonte: Modificada de Vasquez & Rosa-Costa (2008).

4.5.2 Bacia do Amazonas

Instalada sobre as rochas do Cráton Amazônico, abrange parte dos estados do Amazonas e Pará, porção setentrional do Brasil, com área de aproximadamente 500.000 km², (Cunha *et al.* 1994). Suas rochas sedimentares dividem o Cráton Amazônico em dois escudos, a sul, o escudo denominado Brasil Central e a norte, o das Guianas. O arcabouço estratigráfico é dividido segundo quatro sequências deposicionais (Abinader 2008)

Um dos modelos propostos para instalação da Bacia do Amazonas está relacionado a processos de rifteamento com preenchimento posterior de sedimentos flúvio-lacustre (Almeida *et al.* 2000, Cunha *et al.* 1994). Outra proposta sugere que sua origem da bacia

estaria relacionada à Orogênese Brasileira, atuante na Faixa de Dobramentos Paraguai-Araguaia (Abinader 2008).

O início da deposição na bacia ocorreu em ambientes continental e marinho (Almeida *et al.* 2000). Na coluna estratigráfica proposta por Cunha *et al.* (1994), os grupos paleozoicos foram classificados em Grupo Trombetas, composto pelas Formações Autás-Mirim (arenitos e folhelhos neríticos neo-ordovicianos), Nhamundá (arenito neríticos e depósitos glaciênicos), Pitinga (folhelhos e diamictitos marinhos) e Manacapuru (arenitos, pelitos neríticos e litorâneos).

No Grupo Urupadi ocorrem as Formações Maecuru (arenitos e pelitos neríticos deltaicos) e Ererê (siltitos, folhelhos, arenitos neríticos e deltaicos). O Grupo Curuá é constituído pelas Formações Barreirinha (folhelho negro), Curiri (diamictitos, folhelhos e siltitos de ambientes glaciais), Oriximiná (arenitos e pelitos fluviais regressivos) e Faro (arenitos flúvio-deltaicos).

Já o Grupo Tapajós é constituído pelas Formações Monte Alegre (arenitos eólicos intercalados com siltitos, folhelhos interdunas e lagos de ambiente desértico gradando para marinho raso), Itaituba e Nova Olinda (calcários de inframaré e evaporitos do tipo planície de sabkha), por fim a Formação Andirá apresenta litologias como (siltitos, arenitos e folhelhos avermelhados).

Segundo Zalán (2004), a colisão final dos continentes Gondwana e Eurásia (Orogenia Herciniana) no Neopermiano-Eotriássico, afetou a Bacia do Amazonas, gerando esforços de direção N-S que podem também ter afetado o Escudo das Guianas. Após a deposição paleozóica e a orogenia que originou o Pangeia houve a ruptura da placa durante o Neotriássico ao Eojurássico, sendo caracterizado por esforços distensionais E-W. Este cenário resultou na formação de estruturas N-S, preenchidas por vulcanismo básico, na forma de diques e soleiras associados, afetando sedimentos paleozoicos (Cunha *et al.* 1994, Zalán 2004).

Após o evento distensivo, a região NW da placa sul americana foi submetida a esforços compressivos, cuja origem está relacionada, ao início da convergência da placa do Oceano Pacífico com a placa Sul Americana (Abinader 2008), permitindo a deposição do Grupo Javari (Cunha *et al.* 1994). Este grupo corresponde a Formação Alter do Chão (arenitos e pelitos avermelhados bioturbados) e a Formação Solimões. Com o decorrer da Orogenia Andina iniciou-se o processo de subducção da Placa do Caribe sob a Sul-Americana gerando uma compressão de direção E-W que causou soerguimento da cordilheira (Abinader 2008).

A Formação Alter do Chão ocorre por uma extensa área na Bacia do Amazonas e é onde está encaixada a quase totalidade do baixo curso do rio Xingu, área de estudo desse trabalho (Figura 4). Essa Formação é tradicionalmente descrita por arenitos avermelhados, conglomerados e brechas intraformacionais atribuídos à deposição em ambientes fluviais e lacustre/deltaico (Daemon 1975). Estudos de perfis elétricos e sísmica refinaram as suas características e detectaram duas sucessões sedimentares na Formação Alter do Chão, evidenciando variações na composição das áreas fontes e mudança na seleção granulométrica durante o transporte e deposição, corroborada principalmente através da união de trabalhos sedimentares, palinoestratigráficos e geoquímicos (Dino *et al.* 1999, Horbe *et al.* 2006) (Figura 4).

4.5.3 Cordilheira dos Andes

A cordilheira dos Andes está localizada no limite entre a placa oceânica pacífica e a placa sul-americana. Pode ser subdividido em Andes do Norte, Central e do Sul. Especificamente em sua parte central, estende-se por uma faixa estreita ao longo de toda América do Sul, central e término na América do Norte pelo nome de montanhas rochosas (Medina 2014).

As etapas iniciais da formação da cordilheira dos Andes e o início da subducção andina datam do Paleozóico superior, com início de deformações originadas por fraturas associadas a grandes falhas do tipo desgarre, inversas e transformantes. A subducção propriamente dita só começa a ocorrer durante a abertura do oceano Atlântico, datada entre 180 e 130 M.a. O megacontinente Gondwana era formado pela África, Oceania, Índia e Antártica, sua ruptura deu lugar à abertura do oceano Atlântico e início do soergimento da cordilheira dos Andes (Medina 2014).

Em sua parte central, recorta os limites de países como Peru, Bolívia e Chile e possui intensa interação e impactos no modelamento do relevo Amazônico, principalmente a Cordilheira dos Andes do território Peruano. As rochas mais antigas do território peruano são do Pré-Cambriano, porém são difíceis de serem estudadas, devido ao seu intenso grau de metamorfização, apagando características importantes como ciclos sedimentares e episódios orogênicos (Palacios 1995).

Em território Peruano, as rochas pré-cambrianas, compõem o embasamento cristalino, formado por rochas metamórficas e ígneas, principalmente corpos graníticos alcalinos e

subordinadamente corpos básicos e ultrabásicos. Nas rochas paleozoicas são conhecidas as orogenias Caledônicas e à noroeste Hercínica, com dois ciclos sedimentares (Paleozóico inferior e superior) cada. A série do Paleozóico inferior compreende sequências marinhas, pelíticas e arenosas. Já o Paleozóico superior, que compreende o Carbonífero e Permiano inclui sequências predominantemente marinhas do Grupo Ambo, Tarma e Copacabana. O ciclo andino engloba as rochas cenozoicas e mesozoicas e compreende vários ciclos de sedimentação e fases de deformação (Medina 2014). O Quaternário foi marcado pela deposição de sedimentos de diversas origens, dentre elas vulcânicas, glaciais, aluviais, lacustres, marinhos e eólicos. A presença de vulcanismo quaternário e levantamento de terraços e decorrente atividade sísmica classificam os Andes como um cinturão sísmico ativo (Chacón 2015).

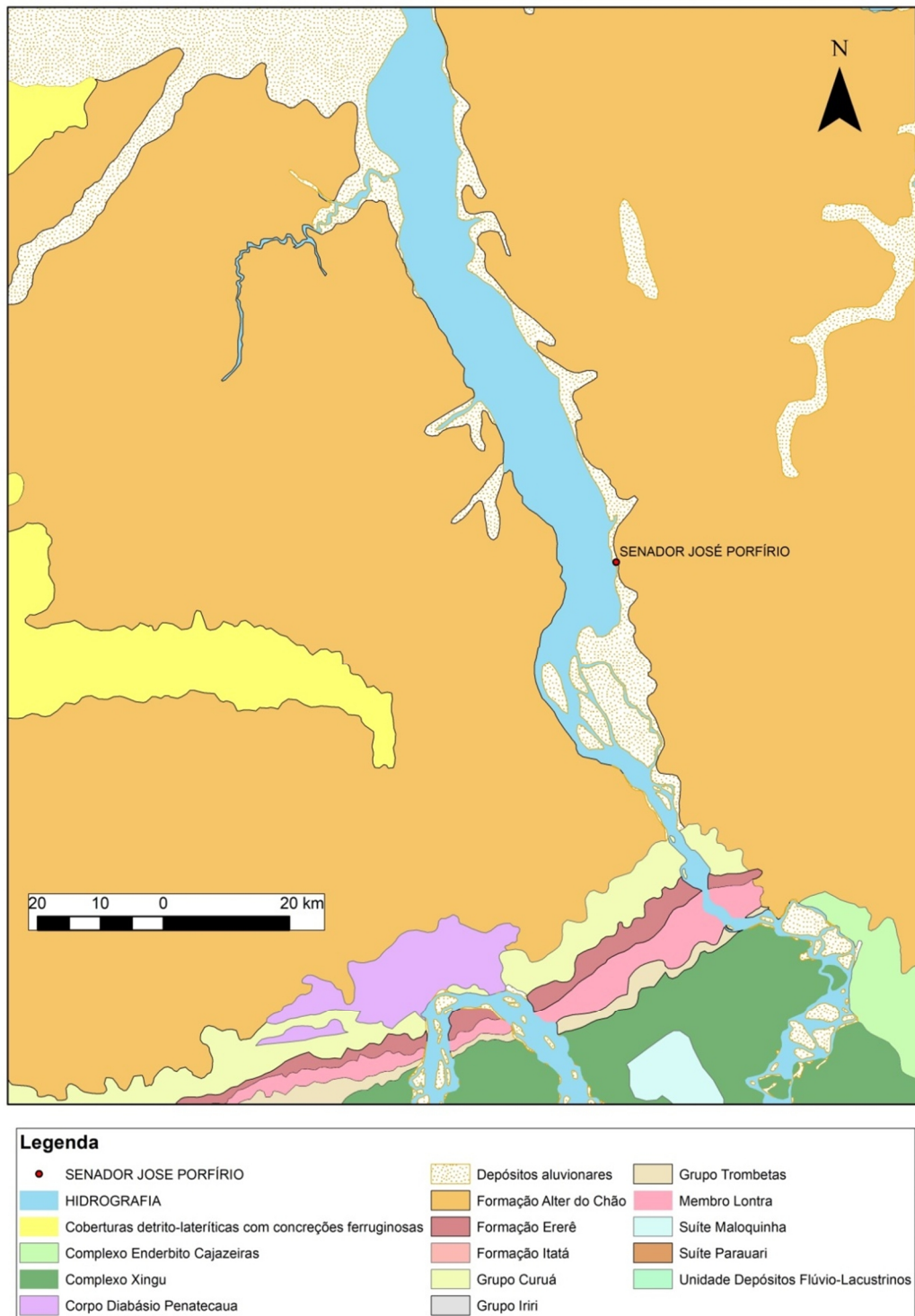


Figura 4 - Mapa geológico da região da área de estudo e suas principais unidades descritas nas adjacências.

5 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

5.1 ASPECTOS GERAIS DA ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A análise granulométrica por definição consiste na determinação das dimensões das partículas que constituem os sedimentos e no tratamento estatístico das informações obtidas por ela (Dias 2004). A importância da análise granulométrica está relacionada principalmente a necessidade de uma descrição mais precisa e unificada dos sedimentos, que auxilia na distinção de determinados ambientes deposicionais e fornece informações sobre processos físicos e hidrodinâmicos atuantes durante a deposição (Suguio 1973).

Dentre os diversos usos da análise granulométrica, alguns estudos reforçam o uso do estudo da granulometria como importante componente na interpretação ambiental, com base na distribuição granulométrica de depósitos sedimentares (Luz 2011). A identificação de ‘tendências granulométricas’ em sedimentos de fundo de ambientes fluviais é baseada na observação das variações longitudinais dos parâmetros estatísticos ao longo do curso fluvial (Luz 2011, McLaren 1981). Um exemplo de tendência granulométrica refere-se à diminuição do tamanho médio dos sedimentos fluviais da montante em direção à jusante, característica largamente encontrada nos mais diversos cursos fluviais, controlados por diversos fatores, dentre eles; variação da energia do ambiente, morfologia do leito fluvial, distância do transporte e principalmente a proveniência do material transportado.

Outro uso da análise granulométrica está relacionado ao estudo de proveniência, pois o tamanho das partículas de uma determinada unidade geológica em análise é determinado em primeiro lugar, pelo tamanho das partículas das áreas de alimentação, ou seja, condicionado primariamente por sua proveniência, porém, deve-se considerar sempre a existência de um conjunto de fatores relacionados aos processos que podem influenciar a seleção de frações granulométricas e conseqüentemente a curva de distribuição (Diniz & Castilho 2014)

5.1.1 Escalas granulométricas

Várias escalas granulométricas foram propostas ao longo do tempo, por diversos autores de diferentes áreas (geólogos, agrônomos, engenheiros) o que dificultou a elaboração de uma escala unificada e aceita universalmente. A grande problemática envolvida ainda se refere aos limites dimensométricos das classes texturais que constituem cada escala (Dias

2004). Um dos poucos limites aceitos de forma unânime refere-se à classe textural inferior à areia. A primeira escala confeccionada com o intuito de medir o tamanho dos grãos foi feita por Udden, em 1898 possuindo base geométrica e posteriormente modificada por Wentworth em 1922, agora de base logarítmica e assemelhando-se a uma distribuição normal, típica da grande maioria dos sedimentos. A proposta de Wentworth e também a de Krumbein (1934), revelaram-se mais eficazes na medição do diâmetro dos grãos e são ainda hoje, largamente utilizadas (Suguio 1973).

Tabela 2 - Classificação textural dos grãos de acordo com as escalas Krumbein e Wentworth. Fonte: Dias (2004)

Classe textural		Phi (Krumbein, 1934)	Escala - mm (Wentworth, 1922)
	Muito grossa	0	1
Areia	Grossa	1	0,5
	Média	2	0,25
	Fina	3	0,125
	Muito fina	4	0,062
Silte	Grosso	5	31 μm
	Médio	6	15,6 μm
	Fino	7	7,8 μm
	Muito fino	8	3,9 μm
Argila	Grossa	9	2,0 μm
	Média	10	0,98 μm
	Fina	11	0,49 μm
	Muito fina	12	0,24 μm
Colóide		13	0,12 μm

5.1.2 Parâmetros estatísticos

Um dos assuntos mais debatidos em relação à análise granulométrica diz respeito aos conceitos de classificação dos sedimentos de acordo com o tamanho de seus grãos componentes (tamanho versus classificação). Essa ligação é feita através de parâmetros estatísticos (principalmente da curtose e assimetria), que são variáveis dependentes das diferenças entre o tamanho dos grãos (Gutierrez 2009). Essas propriedades são determinadas matematicamente pelo método dos momentos ou graficamente através da leitura de percentis na curva cumulativa gerada. A aplicação dos parâmetros estatísticos pode auxiliar na interpretação de fácies e reconstituição dos mecanismos sedimentares, sempre calculados

sobre as distribuições dimensionais dos sedimentos (Alves 1999). Os principais parâmetros granulométricos estudados são; média ou diâmetro médio, grau de seleção ou desvio padrão, assimetria e curtose.

Tabela 3 - Parâmetros granulométricos e suas interpretações possíveis. Fonte: (Gutierrez 2009, Neves 2013, Alves 1999)

Parâmetros granulométricos	Informações obtidas
Média (Diâmetro médio)	A média corresponde diretamente ao tamanho do grão e sua interpretação indica no geral revela informações sobre as características da fonte do material, processo de deposição e velocidades das correntes do agente de transporte (Gutierrez 2009, Neves 2013)
Grau de seleção (Desvio padrão)	Este parâmetro mede principalmente a irregularidade dos níveis energéticos do agente de transporte do material transportado (variações de velocidade e turbulência), além de ser indicador de maturidade textural (Alves 1999).
Assimetria	Do ponto de vista sedimentológico, este parâmetro analisa o enriquecimento da distribuição granulométrica em partículas grossas (assimetria negativa) ou partículas finas (assimetria positiva) (Neves 2013).
Curtose	Valores extremos de curtose (muito altos ou muito baixos) indicam que o material estudado foi realocado de ambiente de alta energia capaz de transportar o mesmo para outro ambiente sem alterações das características. Esse parâmetro pode também indicar que o sedimento pode ainda ter se misturado com outro sedimento selecionado em diferentes condições (Gutierrez 2009)

5.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE ANÁLISE MINERALÓGICA EM SEDIMENTOS

Segundo Brandão (2015), as variáveis que controlam a produção de sedimentos são, clima, tipo de solo, geologia da área e topografia. A característica das fases mineralógicas encontradas em sedimentos depende primordialmente da composição da área-fonte, que controla a presença ou ausência de determinado mineral. A atuação do intemperismo age como um filtro, lixiviando e reduzindo a proporção de minerais menos resistentes às condições superficiais e acumulando minerais mais resistentes. Além das características citadas, o fator abrasão, proveniente do transporte sedimentar, é listado como importante modificador, agente de acumulação e/ou ausência de determinada espécie, pois interfere diretamente no tamanho/forma do grão e conseqüentemente na competência do agente de transporte em carrear espécies mineralógicas de densidades discrepantes (minerais pesados e leves) (Rosseto 2013).

Devido à capacidade dos sedimentos de reterem características físicas e químicas do seu local de origem, os mesmos são capazes de fornecer informações sobre proveniência, assim como subsidiar dados para a avaliação de impactos ambientais, configurando usos preciosos da análise mineralógica (Brandão 2015). Um dos principais minerais usados tanto para estudos de proveniência, como de contaminação por poluentes são os argilominerais, principalmente devido à sua sensibilidade ao intemperismo químico, uma vez que a composição mineral das argilas indica condições climáticas (precipitação e temperatura) e o contexto geológico (litologia e morfologia) de sua origem, permitindo assim a determinação da proveniência de sedimentos nos mais diversos ambientes (Mello *et al.* 2016).

5.2.1 Minerais pesados

Os minerais pesados são espécies mineralógicas com densidade superior a $2,85 \text{ g/cm}^3$, em geral presentes em sedimentos arenosos, devido às condições hidrodinâmicas propícias à deposição desses minerais em conjunto com frações granulométricas mais grosseiras. Consistem de minerais acessórios erodidos de rochas ígneas, sedimentares e metamórficas, comumente perfazendo menos de 1% dos sedimentos, mas que podem se acumular em quantidades apreciáveis, dependendo do ambiente, e formar depósitos minerais (*placers*). Como são constituídos de minerais acessórios, que por vezes correspondem a paragêneses

restritas de determinados tipos de rochas, a abundância, forma e tipos de minerais pesados podem ser correlacionados diretamente a proveniência de grupos de rochas restritos.

Apesar de consistirem de um amplo número, os minerais pesados mais comuns não ultrapassam 12 espécies, devido principalmente ao efeito do intemperismo químico, responsável pela alteração da composição mineral diretamente resultante da erosão das rochas, que altera o sinal mineralógico primário da maioria dos sedimentos. Somando-se a isso, há a possibilidade do efeito da seleção hidráulica durante o transporte desses minerais. Para contornar esse fato, é recomendável a utilização de determinados índices de minerais pesados, originados da razão entre tipos específicos de minerais pesados (Zti, Est/ZTR+ Est, dentre outros).

Mesmo com essas ressalvas, os estudos de proveniência utilizando esta ferramenta vêm crescendo em conjunto com o avanço de novas tecnologias, que propiciam um nível de precisão maior na elucidação da proveniência sedimentar. Cascalho & Reis (2014) defendem o uso de técnicas analíticas complementares como métodos de análise composicional e/ou estatística multivariada, como meio de organizar e correlacionar as diversas variáveis envolvidas, assim como técnicas mais sofisticadas que vão desde a utilização de análise química por microsonda eletrônica, difração de raios-X, fluorescência de raios-X até microscopia eletrônica de varredura como meio de determinar a proveniência (Lopes 2016, Souza 2015, Teixeira 2013).

Tabela 4 - Ordem de estabilidade dos minerais pesados segundo diversos autores. Fonte: Lima (2013).

Estabilidade	Minerais
Muito instável	Olivina.
Instável	Horblenda, Diopsídio, Hiperstênio, Andaluzita.
Moderadamente estáveis	Epidoto, Cianita, Granada (Fe), Silimanita.
Estáveis	Apatita, Granada, Estauroлита.
Ultraestáveis	Rutilo, Zircão, Turmalina, Anatásio.

5.2.2 Minerais essenciais

Dependendo do ambiente tectônico ao qual pertencem, os sedimentos podem ou não apresentar alta diversidade mineralógica, mas na maioria dos ambientes sedimentares, são constituídos basicamente de quartzo, feldspatos e fragmentos de rocha, em especial aqueles de clima tropical, a exemplo da região amazônica (Rosseto 2013). Com base nisso, Dickinson (1985) propôs um diagrama ternário relacionando o ambiente tectônico com as porcentagens calculadas dos teores de quartzo (Q), feldspato (F) e fragmentos de rocha (L), permitindo a identificação de assinaturas composicionais dos grandes principais ambientes tectônicos de áreas fontes correspondentes a; crátons estáveis, rifts alimentados pelo soerguimento de blocos do embasamento, arcos magmáticos, e cinturões orogênicos com reciclagem de rochas sedimentares e metassedimentares), através de diagramas ternários combinados que permitem caracterizar cada caso, suas gradações e sua evolução (Dickinson 1985) (Figura 5).

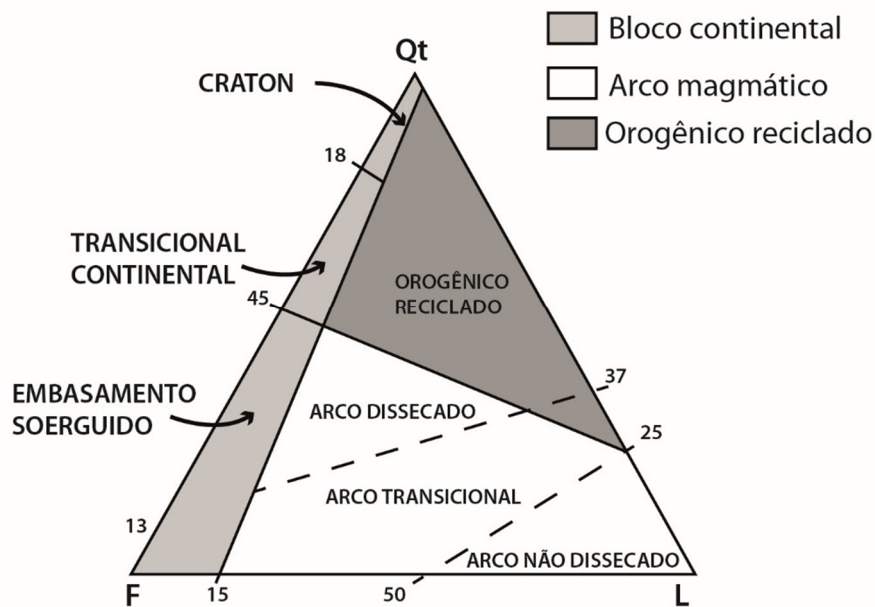


Figura 5 - Diagrama de tipos de proveniência tectônica de Dickinson (1985)

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 MATERIAIS

6.1.1 Planejamento de campo e Amostragem

O trabalho de campo ocorreu no período de 20 – 26 de Fevereiro de 2016, com o auxílio de uma embarcação de médio porte e outra menor, utilizada como suporte (voadeira), com o total de nove integrantes envolvidos diretamente na coleta dos sedimentos de fundo (Figura 6).

A escolha prévia dos pontos de coleta de sedimentos de fundo foi realizada com auxílio da carta batimétrica do rio Amazonas e baixo curso do rio Xingu e obedeceu a uma extensa malha amostral que abrangeu diversos pontos transversais e longitudinais aos canais do rio Xingu.

As coletas dos sedimentos de fundo foram realizadas com o auxílio de uma draga Petersen, com o total de 109 pontos amostrados (Figura 7) e aproximadamente 0,5 kg de sedimentos.

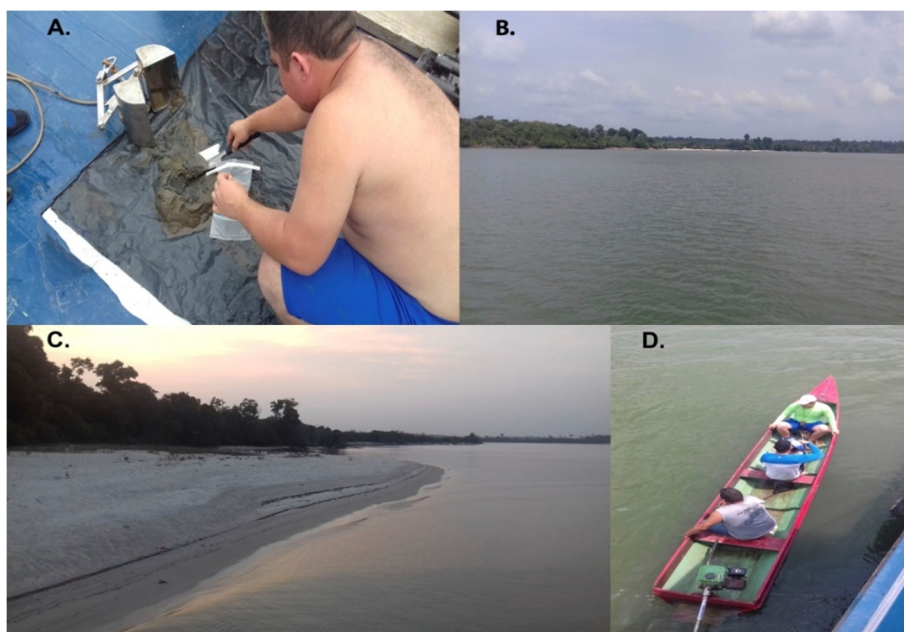


Figura 6 - A) Coleta de sedimentos com a draga Petersen. B) Rio Xingu nas proximidades de Porto de Moz. C) Margens do rio Xingu no município de Senador José Porfírio. D) Em detalhe, a embarcação de menor porte voadeira.

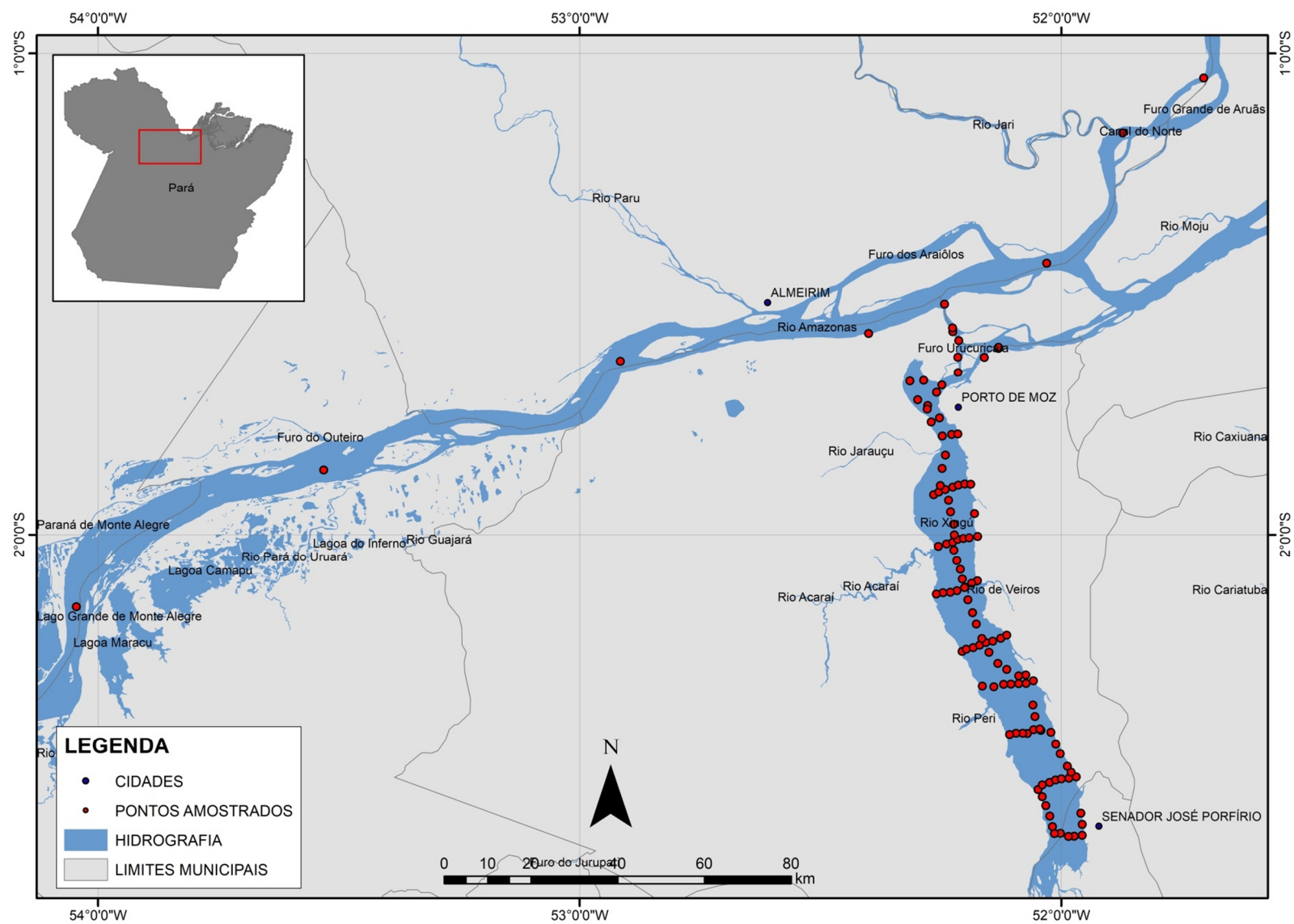


Figura 7 - Mapa de amostragem ilustrando a distribuição espacial das amostras coletadas.

Observando o mapa de amostragem, nota-se a relativa extensão da área de trabalho, englobando grande parte do baixo curso do rio Xingu e um trecho de 320 km do rio Amazonas. É importante ressaltar que a região de confluência do rio Xingu possui dois canais de ligação com o rio Amazonas, porém segundo o trabalho de Vital (1996), apenas um canal efetivamente transporta sedimentos e descarga d'água unicamente do rio Xingu, conforme a figura 8 abaixo.

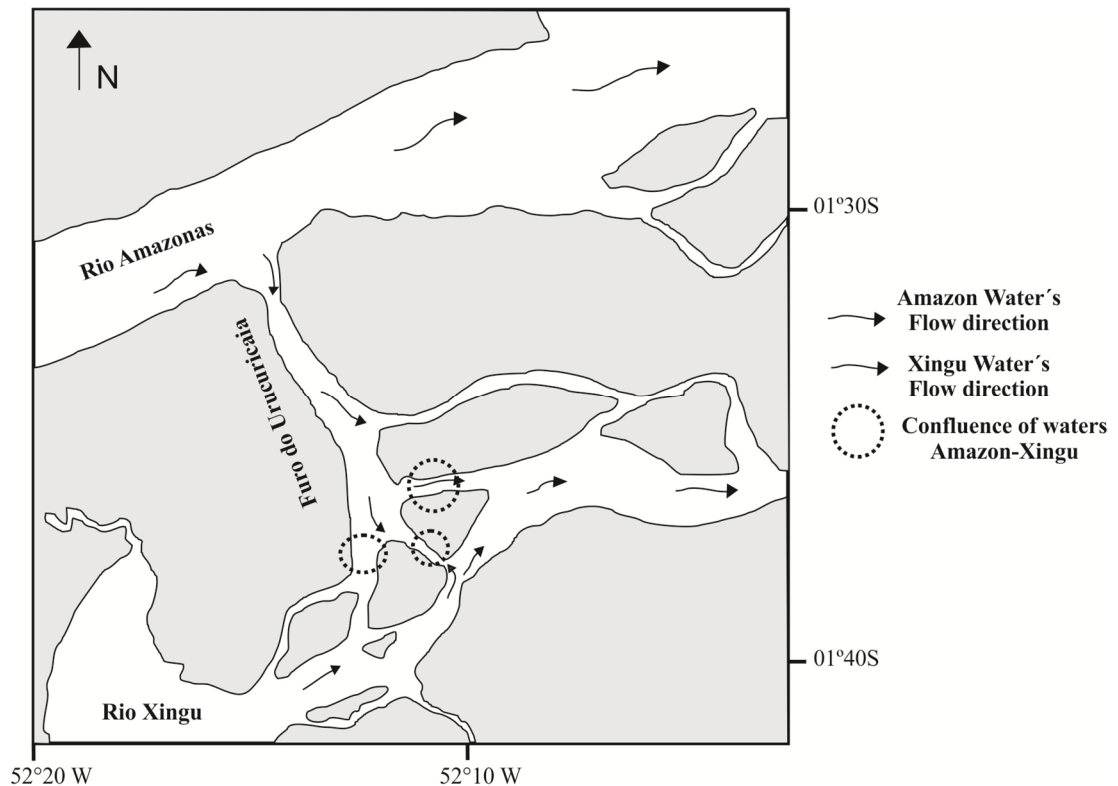


Figura 8 - Direção do fluxo na região de confluência do rio Amazonas e rio Xingu. Fonte: Adaptada de Vital (1996).

6.2 MÉTODOS

6.2.1 Preparação das amostras

As amostras foram previamente secas em estufa a 50° C por 24h, homogeneizadas, quarteadas e divididas para as diversas análises relacionadas a seguir.

6.2.2 Análise Granulométrica

Inicialmente as amostras foram submetidas a ataque com peróxido de hidrogênio para a remoção de matéria orgânica e posterior análise. Do material livre da matéria orgânica foi

retirado uma alíquota de 5g. A determinação granulométrica foi realizada com um analisador de partículas à laser (modelo Laser Diffraction SALD 2101-marca Shimadzu), pertencente ao Laboratório de Oceanografia Química do Instituto de Geociências da UFPA. As classificações foram efetuadas de acordo com diagrama triangular de Folk (1974) baseado nos percentuais de argila (<0,004 mm), silte (0,004 - 0,062 mm) e areia (0,062 - 2 mm), definidos por Wentworth (1922).

O tratamento estatístico dos dados dos sedimentos foi realizado com o programa SYSGRAN 3.0, assim como a determinação dos parâmetros estatísticos; média (Mz), desvio padrão (σ), curtose e assimetria (Ski).

6.2.3 Análises mineralógicas

6.2.3.1 Identificação Mineralógica por Difração de Raios-X

As análises mineralógicas foram realizadas no Laboratório de Raios-X do Instituto de Geociências da UFPA, utilizando difratômetro Philips, modelo PW 3710, com anodo de cobre ($Cu_{K\alpha 1} = 1,54060 \text{ \AA}$) ajustado a 45 kV e 40 mA. As amostras foram identificadas por difratometria pelo método do pó, para minerais totais, e em lâminas orientadas através do método “pipette-on-glass” (Thorez 1976) para a caracterização dos argilominerais, sendo preparados três tipos de lâminas: normal, etileno-glicol e sob aquecimento a 550°C por 2 horas.

Os registros foram realizados no intervalo de 5°C a 65°C, com leituras de 2°C para as amostras totais pulverizadas e no intervalo 3°C a 36°C para amostras de argilominerais. As identificações dos minerais serão feitas com auxílio do software HIGHSCORE PLUS x-pert, com banco de dados do ICDD – International Center for Diffraction Data. A determinação semiquantitativa dos argilominerais foi feita com base no método de Gomes (1988), onde o percentual de cada fase foi calculado pela área do pico da reflexão basal, dividido pelos respectivos poderes refletores. Os quocientes obtidos foram convertidos em percentuais relativos considerando sua soma igual a 100%.

6.2.3.2 Preparação das Lâminas de Minerais Pesados

As amostras foram lavadas via úmida utilizando peneira com abertura de 0,062 mm e ultrassom por aproximadamente 10 minutos, para desagregação e eliminação das frações silte

e argila, finalizando esta primeira etapa com secagem em estufa a 50°C. Para a retirada de películas de óxidos e hidróxidos de ferro, a fração livre de silte e argila foi imersa em uma solução de HCl com concentração de 10% e depois novamente levada à estufa. Do resíduo seco livre de películas de óxido e hidróxido de ferro, foram retirados aproximadamente seis gramas das frações granulométricas 0,250-0,125 mm (areia fina) e 0,125-0,062 mm (areia muito fina) e em seguida imersas em bromofórmio (CHBr₃), visando a separação por densidade dos minerais leves e pesados. Após este processo foi utilizado lâmina, lamínula e Bálsamo do Canadá (n=1,54) e posterior montagem das lâminas delgadas com os minerais pesados.

6.2.3.3 Descrição Mineralógica, Textural e Análise Quantitativa dos Minerais Pesados

A fase posterior correspondeu ao exame, descrição das propriedades texturais e mineralógicas e identificação dos minerais pesados transparentes mediante luz natural e polarizada em microscópio petrográfico (Carl Zeiss Standard 25) no Laboratório de Microscopia Ótica do Museu Paraense Emílio Goeldi. A quantificação estatística foi feita através da contagem de aproximadamente 300 grãos e a estimativa percentual dos grãos dos diferentes minerais realizada segundo o método Line Counting de Galehouse (1971). A obtenção de imagens foi realizada no Laboratório de petrografia da Pós-graduação de Geologia e Geoquímica, do Instituto de Geociências da UFPA.

6.2.4 Análises Químicas Totais

As análises químicas totais foram realizadas em amostra total para SiO₂, Al₂O₃, TiO₂, Fe total (como Fe₂O₃), P₂O₅, Na₂O, MgO, CaO, K₂O e elementos-traço realizadas no laboratório comercial ALS, além da Perda ao Fogo (1000°C). As determinações foram feitas por espectrometria de massa com plasma indutivamente acoplado (ICP-MS) para os elementos traço e terras raras e ICP- AES para os elementos maiores. Os elementos maiores foram utilizados para avaliar o grau de intemperismo químico com base no índice de alteração intempérica, CIA (*Chemical Index of Alteration*), deduzido por Nesbitt & Young (1982) e no cálculo da proporção molecular de Al₂O₃-Na₂O+CaO-K₂O contida nos sedimentos. Os resultados foram plotados em diagrama ternário A-CN-K (Fedo *et al.* 1995; Nesbit & Young

1982) para relacionar a influência do intemperismo na história composicional dos sedimentos. A distribuição dos ETRs nos sedimentos foi utilizada como indicador de proveniência e para identificar sua relação com a composição das possíveis rochas fontes.

6.2.5 Elaboração das cartas de distribuição granulométrica.

O método de interpolação de krigagem para criação de cartas de distribuição espacial das classes granulométricas mostra-se eficiente e bastante representativo em diversas regiões.

Os dados foram agrupados em planilhas e ordenados por colunas da seguinte forma: X (latitude), Y (longitude) e Z (classificação de acordo com o parâmetro analisado), posteriormente foram devidamente organizados em arquivos no formato Excel (.xls) e Surfer 9.0 (.dat). A partir das coordenadas geográficas dos pontos de coleta, e dos valores assumidos pela variável Z nesses pontos, sendo assim gerado o mapa de distribuição espacial desta, mediante a utilização do algoritmo de interpolação de krigagem do software Surfer 9.0.

6.2.6 Tratamento estatístico dos dados

A análise estatística multivariada consiste em uma técnica exploratória de dados e ferramenta eficaz na elucidação de problemas que envolvam muitas variáveis. Seu principal papel é entender as relações entre as várias variáveis e ilustrar padrões até então não percebidos, através da redução de dados, ordenação, agrupamento e investigação da dependência entre as variáveis (Pereira 2001). Os métodos utilizados neste tipo de análise são de cunho exploratório, cujos resultados devem ser posteriormente validados pela aplicação de outros métodos estatísticos, principalmente testes estatísticos de significância (PERMANOVA, dentre outros) em conjunto, para confirmar a veracidade das hipóteses levantadas (Everitt 1980).

Existem diferentes modelos e métodos, com diferentes hipóteses para os mais diversos casos estudados, dentre os tipos de métodos multivariados destacam-se: Métodos de unidade (regressão, análise de correlação canônica, análise de discriminante e etc), métodos de interdependência (análise de componentes principais, análise de cluster, análise de coordenadas principais, dentre outros) e métodos estruturais (modelos de equações estruturais) (Cuádras 2018). Os métodos usados neste trabalho consistiram em análise de cluster, análise de coordenadas principais e o teste de significância PERMANOVA.

O método de cluster classifica objetos por observação de semelhanças e dessemelhanças entre elas. Essa característica é desvendada e organizada em grupos relativamente homogêneos. Neste tipo de análise não deverá existir dependência entre as variáveis, ou seja, os grupos configuram-se sem ser necessário definir uma relação causal entre as variáveis utilizadas (Vicini 2005). Esse método é largamente utilizado nos mais diversos estudos de diferentes áreas do conhecimento.

A análise de coordenadas principais (PCoA) corresponde a um método flexível baseado na ordenação restrita com base a qualquer medida de distância ou dessemelhança, o qual irá exibir uma nuvem de pontos multivariados por referência a uma hipótese a priori específica. Consiste também em uma generalização do PCA (análise de componente principal) e a sua principal vantagem é a possibilidade de ser aplicada entre as variáveis não lineares. Outros pressupostos e modos de interpretação são bastante similares ao do PCA (Prado *et al.* 2002)

O teste estatístico de significância PERMANOVA (análise de variância multivariada permutacional) é um teste estatístico não paramétrico usado para comparar grupos de objetos e testar a hipótese nula. A confirmação da similaridade ou distinção entre grupos (hipótese) é dada através da comparação com o resultado real do teste F, originado através de inúmeras permutações aleatórias entre os objetos do grupo (Anderson 2006). Os dados de mineralogia (minerais pesados) e geoquímica foram tratados com base nos métodos citados e gerados pelo software R, versão 3.5.0.

7 RESULTADOS ANALÍTICOS

7.1 GRANULOMETRIA

7.1.1 Classificação Textural

Em relação aos sedimentos do rio Amazonas existe a predominância das frações areia (84,5%), seguidas pelas frações silte (12,1%) e argila (3,4%) (Figura 9). Tais percentuais demonstram o claro domínio de sedimentos grossos em detrimento das frações finas. Quando plotados no diagrama de Folk (1974), as amostras são classificadas basicamente como areias (50%) e areias siltosas (50%) (Figura 8). As amostras do rio Xingu são compostas pelas frações silte (56,0%), areia (24,0%) e argila (20%) (Figura 9). Percebe-se a predominância das frações finas (silte + argila). Segundo o diagrama de Folk (1974), as amostras desse rio abrangem um amplo espectro textural, variando desde areias (7,4%) siltes arenosos (17,5%), siltes (57%), lodo arenoso (1,8%) até lodo (5,2%) (Figura 10).

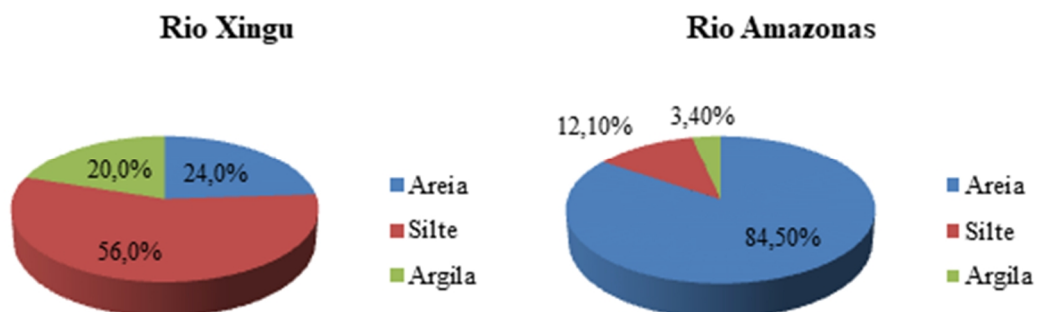


Figura 9 - Variação das porcentagens médias de areia, silte e argila nos sedimentos do rio Amazonas e Xingu.

De modo geral, os sedimentos do rio Amazonas, representados pelo setor Amazonas são tipicamente grossos, com a fração areia dominantes, assim como a região de confluência localizada nas proximidades da cidade de Porto de Moz. Observa-se no rio Xingu a abundância na quantidade de sedimentos finos, com destaque para a fração silte e de forma subordinada, a classe argila.

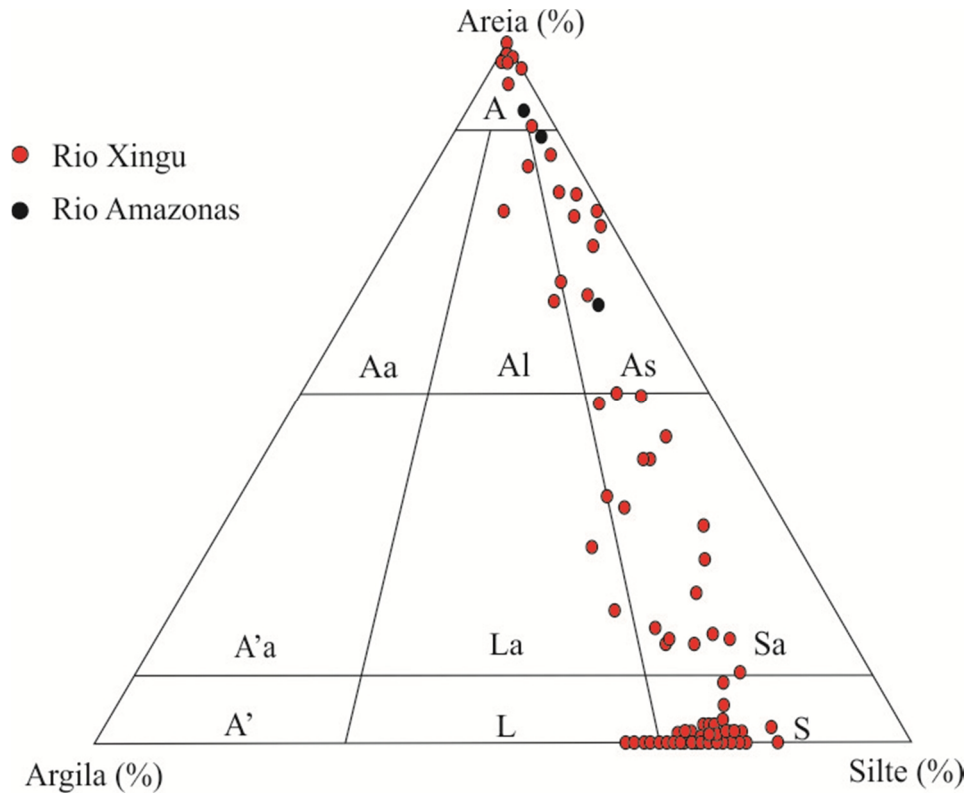


Figura 10 - Diagrama triangular de Folk (1974) para a classificação de sedimentos finos (Areia x Silte x Argila) das amostras do rio Xingu e rio Amazonas. Legenda (A: Areia; Aa: Areia Argilosa; Al: Areia Lodosa; As: Areia Siltosa; A'a: Argila Arenosa; La: Lodo Ar

7.1.2 Variação Textural e dos parâmetros estatísticos

A distribuição textural dos sedimentos do rio Xingu indicou o predomínio da classe silte (silte fino, silte muito fino e grosso) e de forma subordinada as classes areia e argila. Quando observada a variação textural dos sedimentos em perfil longitudinal, nota-se que há o predomínio da classe silte (fino e médio) no rio Xingu, gradando para sedimentos predominantemente arenosos em direção à confluência com o rio Amazonas (Figura 11).

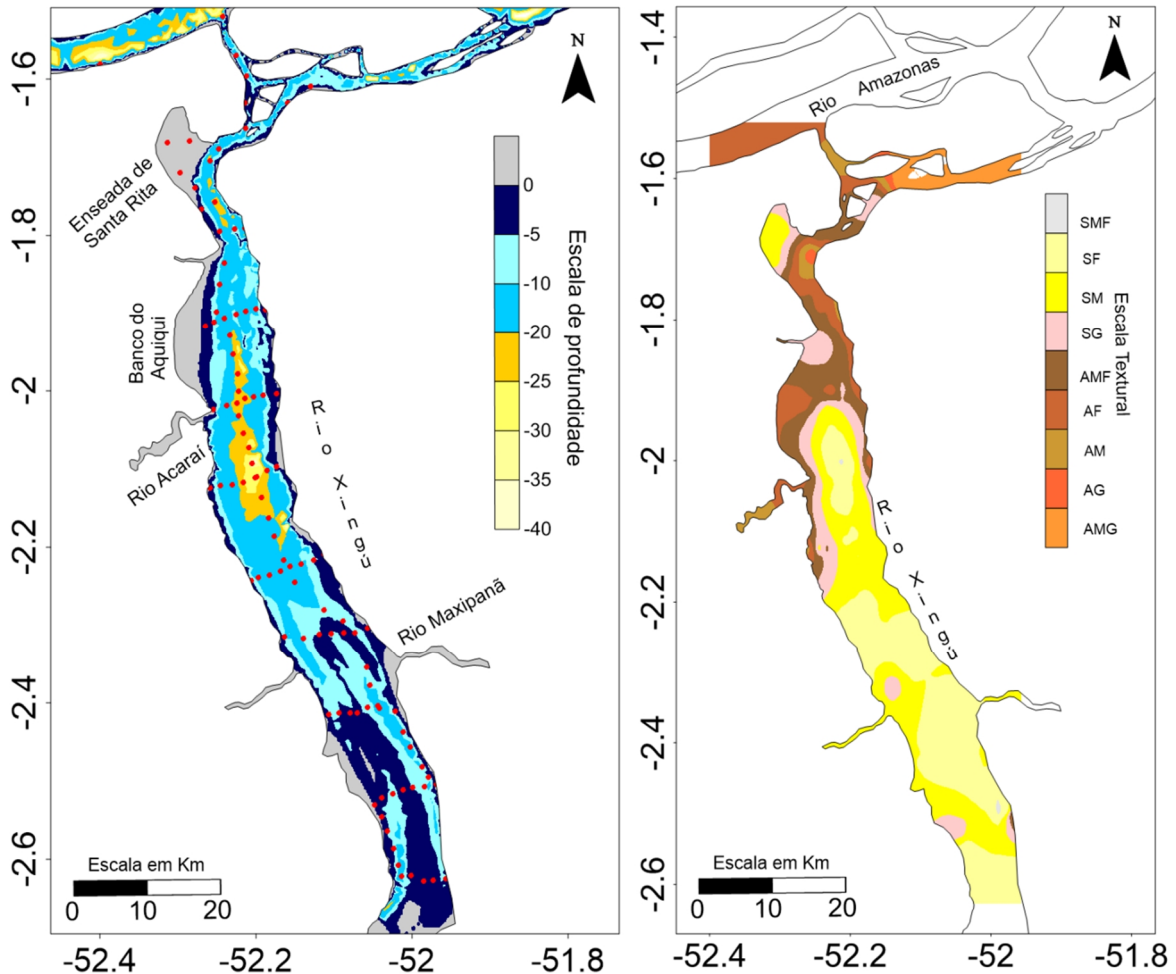


Figura 11- A) Carta de distribuição granulométrica segundo o método de Folk & Ward (1974). Legenda de cores da escala textural: SMF (Silte muito fino), SF (Silte fino), SM (Silte médio), SG (Silte grosso), AMF (Areia muito grossa), AF (Areia fina), AM (Areia média), AG

Analisando a carta granulométrica obtida, em conjunto com o mapa batimétrico da área de estudo, é possível notar que em porções mais a jusante do rio Xingu, com destaque para a região de confluência, a classe areia fina e muito fina de modo geral preenchem tanto bancos (caracterizados por isóbatas de até 5 metros) e canais. A composição granulométrica dos canais deste trecho do rio Xingu é variável, com a presença de porções variando de areia média até grossa (Figura 11).

No início do canal largo e afogado, descrito efetivamente com a “ria” do rio Xingu, a classe silte grosso, areia fina e areia muito fina preenchem bancos (que se dispõe paralelamente às margens do rio) e fundos de canais, caracterizando a porção com maior variabilidade granulométrica, gradando logo em seguida, para sedimentos mais homogêneos da classe silte fino e grosso, que preenchem os canais mais profundos da área de estudo (Figura 11).

Nos quilômetros finais da “ria” do rio Xingu, próximo à cidade de Porto de Moz, a granulometria apresenta-se mais homogênea variando de silte fino a médio, disseminados tanto em bancos como canais da área. Neste setor os bancos apresentam-se mais individualizados, ocupando tanto as margens quanto a parte central do rio Xingu (Figura 9).

Não foi possível a confecção da carta granulométrica para o rio Amazonas devido à baixa densidade da malha amostral e grande distância entre as amostras, inviabilizando, portanto, esse tipo de tratamento dos dados.

Quando correlacionados em um diagrama de dispersão, os parâmetros assimetria e média demonstram que os sedimentos do setor Amazonas exibem amostras diferenciadas entre si, com fraca correlação. De modo similar as amostras do Amazonas, algumas amostras do rio Xingu são bastante distintas, porém a grande totalidade das amostras deste rio são similares e individualizam um grande grupo (Figura 12).

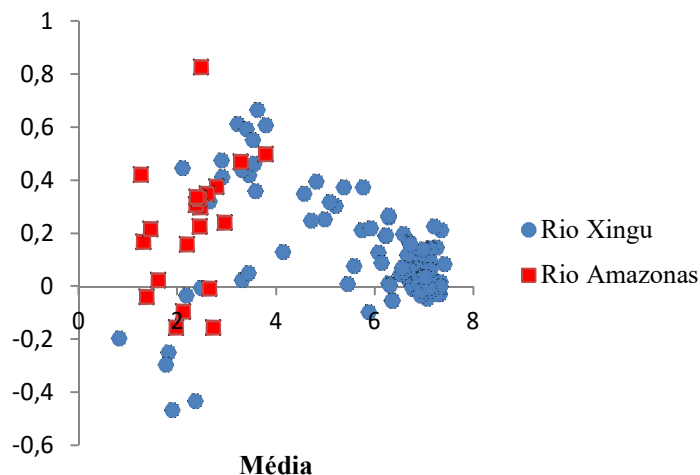


Figura 12- Correlação entre parâmetros estatísticos Assimetria e Média para amostras do rio Amazonas e rio Xingu.

Quando correlacionados os parâmetros média e desvio padrão (Figura 11), os sedimentos do setor Amazonas repetem a mesma configuração observada no diagrama anterior de dispersão anterior (Figura 13). Algumas amostras do rio Xingu são distintas entre si e fracamente correlatas, porém há grande grupo de amostras extremamente homogêneas.

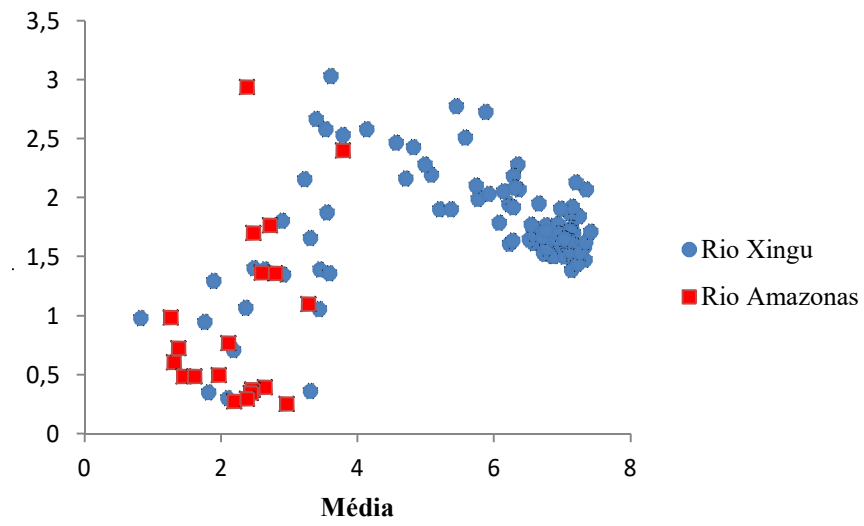


Figura 13- Correlação entre parâmetros estatísticos seleção e média para amostras do rio Amazonas e Xingu.

7.2 CONTEÚDO MINERALÓGICO

O conteúdo mineralógico identificado na área de estudo (rio Amazonas e Xingu) apresentou características morfológicas, texturais e composicionais similares, porém em relação à variabilidade, não há ocorrência restrita de determinado tipo de mineral ou grupo de minerais em uma região específica (rio Amazonas ou Xingu) e devido a isso, houve a descrição comum das características das espécies de minerais detríticos leves, minerais pesados e argilominerais identificados.

7.2.1 Minerais detríticos leves

As análises difratométricas para amostras totais realizadas em 25 amostras demonstraram que os sedimentos da área de estudo (rio Amazonas e Xingu) são compostos essencialmente por quartzo, muscovita, feldspatos e argilominerais. As amostras do rio Amazonas apresentaram como fases principais quartzo, caulinita, feldspatos e esmectita, enquanto as amostras do rio Xingu registraram essencialmente picos de quartzo, caulinita, mica, feldspatos e traços de esmectita e vermiculita.

7.2.1.1 Descrição dos minerais leves

- Quartzo

Os grãos de quartzo observados na fração areia, por lupa binocular, são predominantemente angulosos a subangulosos, alguns subarredondados a arredondados, apresentando brilho vítreo a leitoso e fraturas conchoidais. Alguns grãos são cobertos por películas de óxidos de ferro e/ou argila.

- Feldspatos

Consistem em minerais em baixíssimas proporções nos sedimentos estudados. A albita foi detectada apenas como restritos picos de pouca intensidade em difratogramas de amostras do rio Amazonas e Xingu. Em lupa binocular, consistem em grãos incolores predominantemente subangulosos a subarredondados.

- Muscovita

A muscovita é um mineral comum e frequente nos sedimentos da região estudada. Mostra-se sob a forma de grãos subangulosos a angulosos, de hábito placoso. Em algumas amostras é possível sua detecção a olho nu devido ao tamanho das placas e abundância encontrada nos sedimentos.

Tabela 5 - Relação das amostras analisadas, regiões de coleta e os principais minerais identificados.

	Amostras	Mineralogia (Drx total)
Rio Amazonas	Am10-02, Am-10-06, Am10-14, Am10-19, PR-02	Quartzo, caulinita, esmectita, mica, feldspatos.
Rio Xingu	Amaz 10, Amaz 13, Amaz 17, Amaz 29, Amaz 38, Amaz 39, Amaz 49, Amaz 51, Amaz 53, Amaz 62, Amaz 63, Amaz 74, Amaz 75, Amaz 78, Amaz 81, Amaz 82, Amaz 86, Amaz 91, Amaz 103.	Quartzo, caulinita, feldspatos, mica e esmectita e vermiculita.

Posteriormente à identificação das principais fases minerais, foi realizado o tratamento pela técnica de cluster em todas as amostras (rio Amazonas e Xingu). Esse tratamento agrupa amostras por semelhanças cristalográficas e composicionais, usando análise estatística multivariada. O objetivo foi verificar o grau de correlação entre as amostras e possíveis grupos de amostras com características mineralógicas semelhantes.

Como resultado do tratamento, as amostras foram agrupadas em quatro grupos com características distintas. O grupo 1 apresenta comportamento homogêneo e amostras com características mais similares (maior grau de correlação) dentre todos os grupos. É composto unicamente por amostras do rio Xingu, coletadas em estações à montante do rio Xingu. Segundo os difratogramas, sua composição é marcada essencialmente por caulinita, quartzo e anatásio (Figura 14).

O grupo 2 individualizou apenas duas amostras, ambas coletadas próximas as margens do rio Xingu. O grupo 3 é constituído somente por amostras do rio Amazonas, mais heterogêneas (menor grau de correlação entre si) que os dois grupos já descritos e assembleia mineralógica composta por quartzo, mica, feldspatos e esmectita (Figura 14). O grupo 4 é caracterizado como o mais heterogêneo entre todos os grupos descritos, com maiores

distâncias euclidianas (menor grau de correlação) entre as amostras e com os outros grupos. É composto por quartzo, caulinita, mica esmectita e vermiculita e reúne amostras da região de confluência e início do canal largo e afogado do rio Xingu (Figura 14).

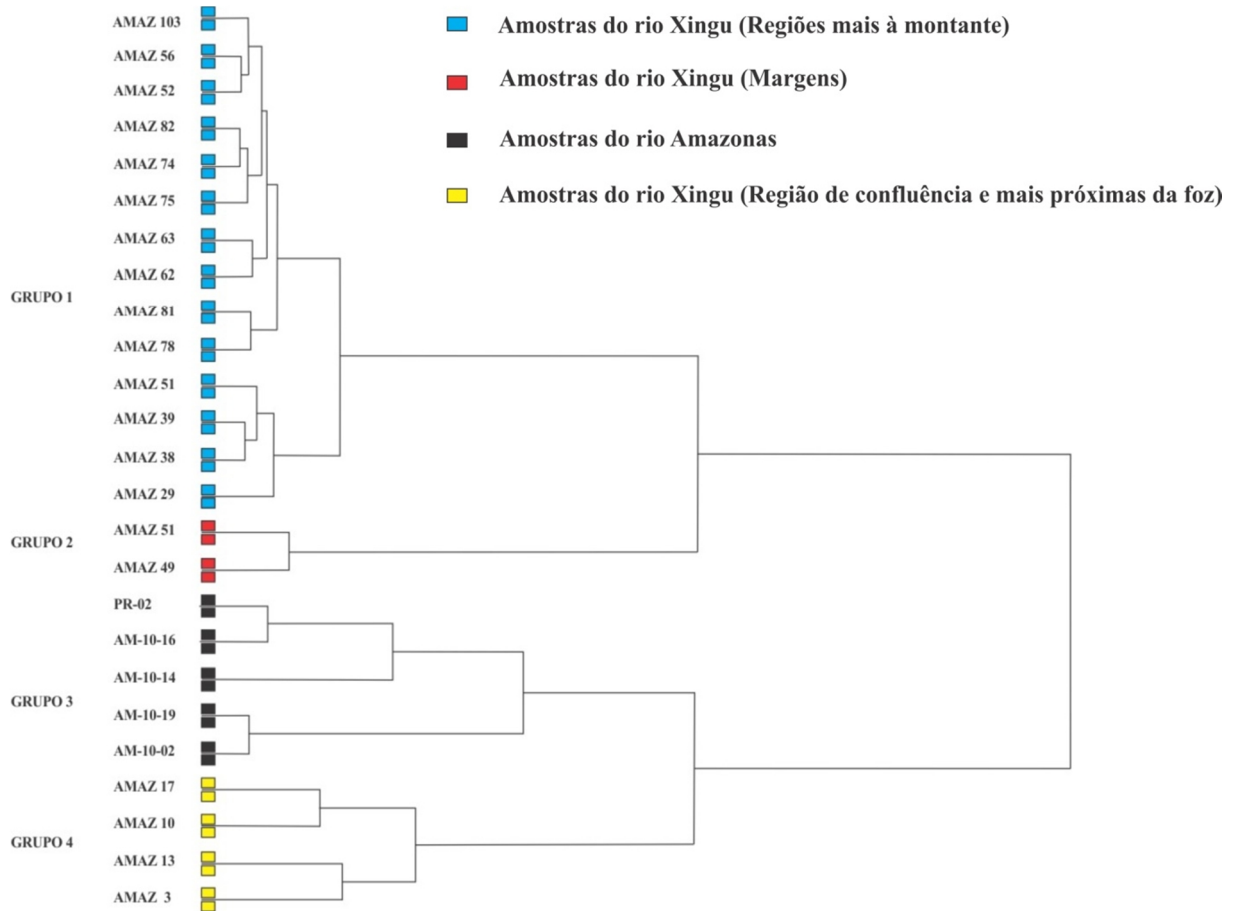


Figura 14- Dendrograma das amostras dos rios Amazonas e Xingu com a individualização dos quatro grupos de amostras segundo suas características composicionais e cristalográficas.

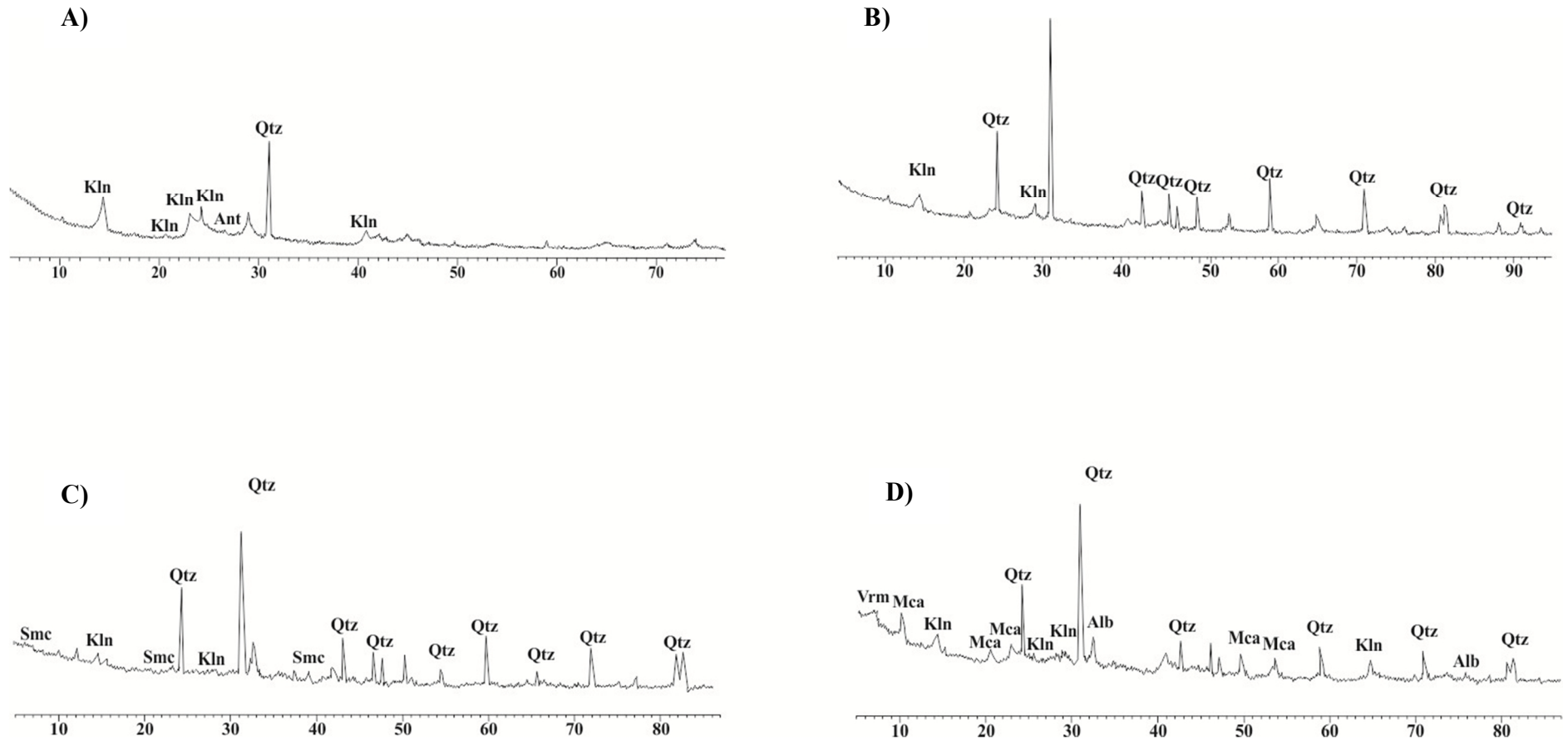


Figura 15- A) Difratoograma do Grupo 1 ilustrando a composição mineralógica baseada em quartzo, caulinita e anatásio. B) Difratoograma do Grupo 2, demonstrando a assembleia de minerais composta essencialmente por quartzo e caulinita. C) Difratoograma do Grupo 3 composto por quartzo, caulinita, esmectita. D) Difratoograma do grupo 4 exibindo a associação entre quartzo, caulinita, vermiculita, mica e albita. Legenda: Smc: Esmectita, Kln: Caulinita, Qtz: quartzo, Vrm: Vermiculita, Mca: Mica, Alb: Albita, Ant: Anatásio.

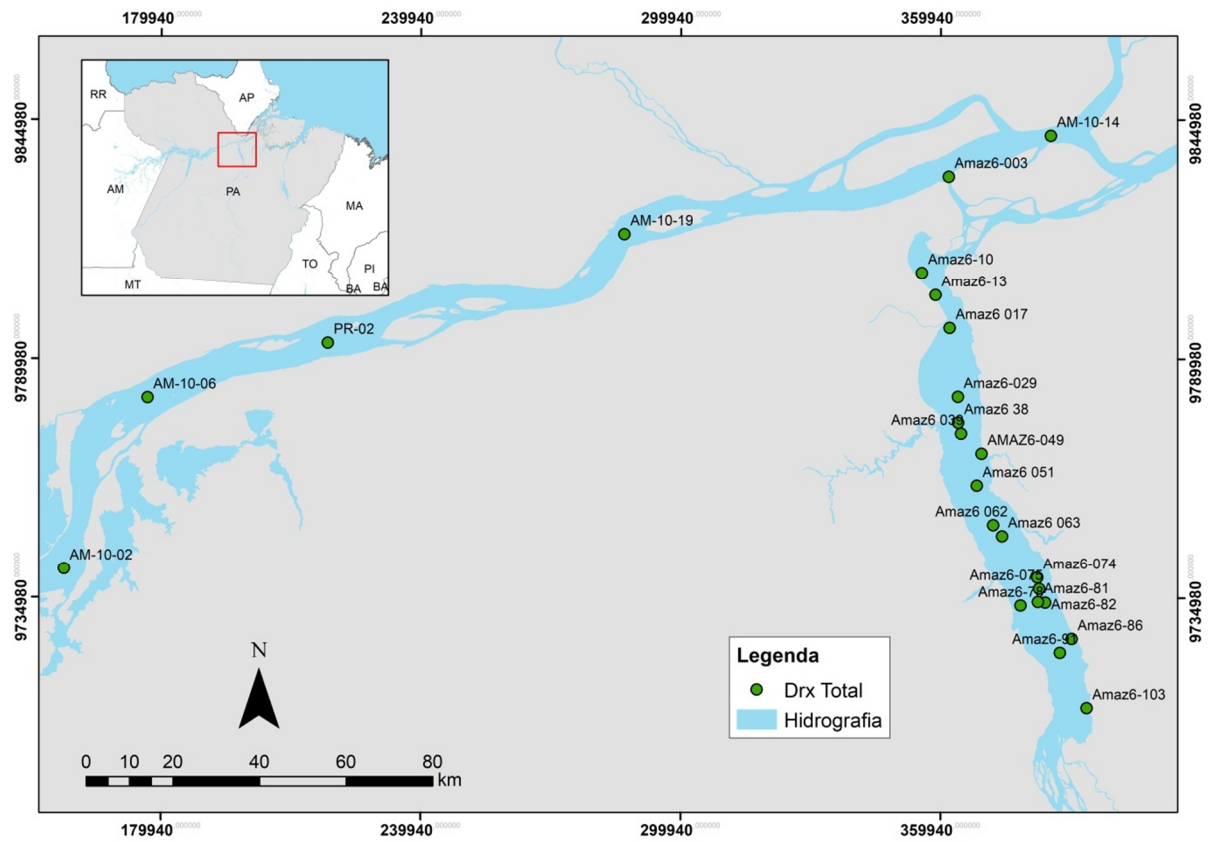


Figura 16– Mapa de amostragem ilustrando as amostras escolhidas para o Drx-amostra total.

7.2.2 Argilominerais

As análises difratométricas para argilominerais realizadas demonstraram que os argilominerais do rio Xingu são compostos basicamente por caulinita, esmectita, ilita. Devido à granulometria das amostras do rio Amazonas (essencialmente areia), a análise de drx da fração argila foi inviabilizada para este conjunto de amostras. A assembleia de argilominerais do rio Xingu é similar à descrita nos trabalhos de Guyot (2007) e Teódulo (2017) para os sedimentos do baixo rio Amazonas (Tabela 6).

As amostras do rio Xingu apresentam um *trend* composicional em direção a sua foz no rio Amazonas. De montante para jusante, há o predomínio dos percentuais de caulinita em relação ao conteúdo de esmectita e ilita (Figura 17).

Tabela 6 - Relação da mineralogia detectada nos difratogramas para amostra total e fração argila nas amostras estudadas. Legenda: Smc: Esmectita, Ill: Ilita, Kln: Caulinita, Qtz, Quartzo, Vrm: Vermiculita, Mca: Mica, Alb: Albita, Ant: Anatásio.

Amostra	Drx- Amostra Total	Drx- Fração Argila
Amaz 3	Qz, Ab, Mca	-
Am10-02	Qz, Ab, Mca	-
Am10-06	Qz, Ms, Mca	-
Am10-14	Qz, Ab, Mca	-
Am10-19	Qz, Ab, Mca	-
Pr-02	Qz, Ab, Mca	-
Amaz 10	Qz, Ab, Mca, Kln, Vrm	Smc, Ill, Kln
Amaz 13	Qz, Ab, Mca, Kln	-
Amaz 17	Qz, Ab, Kln	-
Amaz 29	Qz, Ms, Kln	Smc, Ill, Kln
Amaz 38	Qtz, Kln	Smc, Ill, Kln
Amaz 39	Qtz, Kln	-
Amaz 46	Qtz	Smc, Ill, Kln
Amaz 51	Qtz, Kln	-
Amaz 52	Qtz, Kln	Ill, Kln
Amaz 62	Qtz, Kln	-
Amaz 63	Qtz, Kln	Smc, Ill, Kln
Amaz 74	Qtz, Kln	Ill, Kln
Amaz 75	Qz, Kln	-
Amaz 78	Qz, Kln, Ant	Ill, Kln
Amaz 81	Qz, Kln	Smc, Ill, Kln
Amaz 82	Qz, Kln	Kln
Amaz 86	Qz, Kln, Ant	Kln
Amaz 91	Qz, Kln	Smc, Ill, Kln
Amaz 103	Qz, Kln	Kln

Já as amostras próximas à foz do rio Amazonas encontram-se altos conteúdos de esmectita. Os teores de illita permanecem relativamente constantes ao longo do rio Xingu.

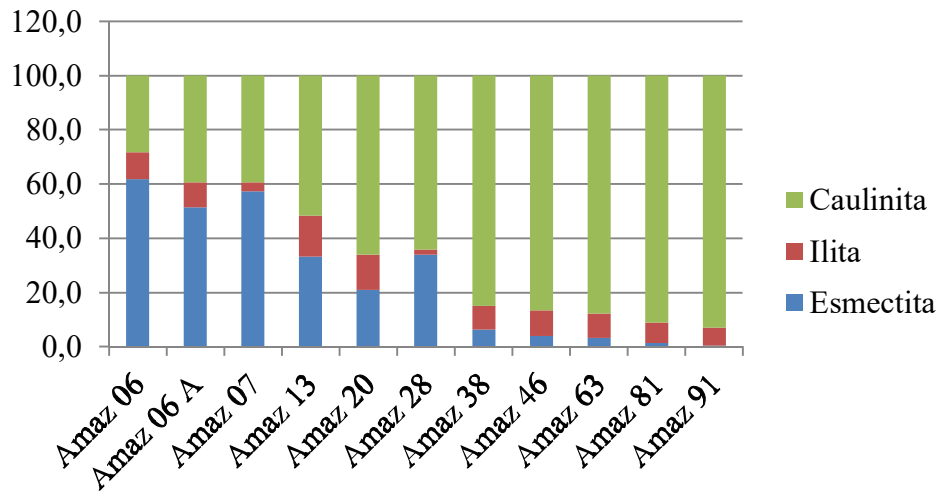


Figura 17- Percentuais dos diferentes argilominerais identificados ao longo do rio Xingu. A amostra Amaz 06 encontra-se mais à jusante da área, enquanto a Amaz 91 está mais à montante.

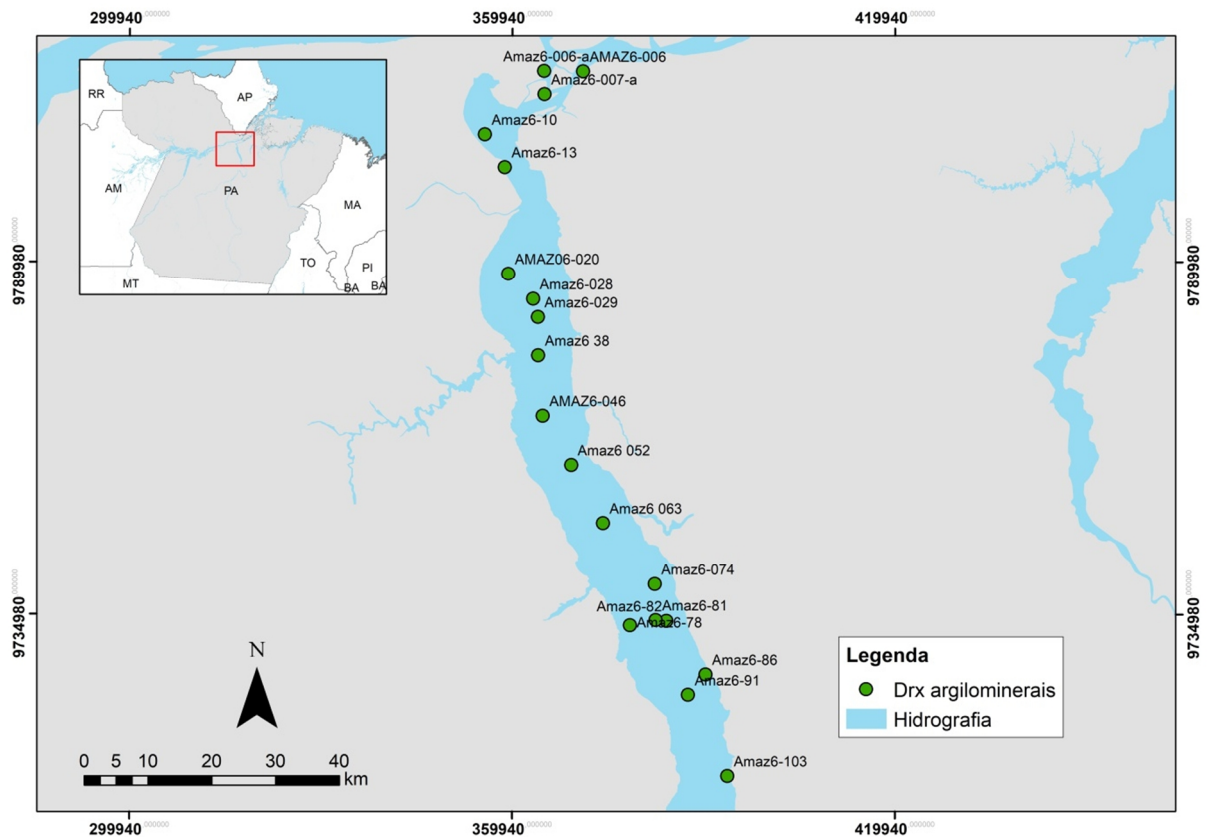


Figura 18– Mapa de amostragem ilustrando a distribuição espacial das amostras selecionadas para a análise de Drx-fração argilomineral.

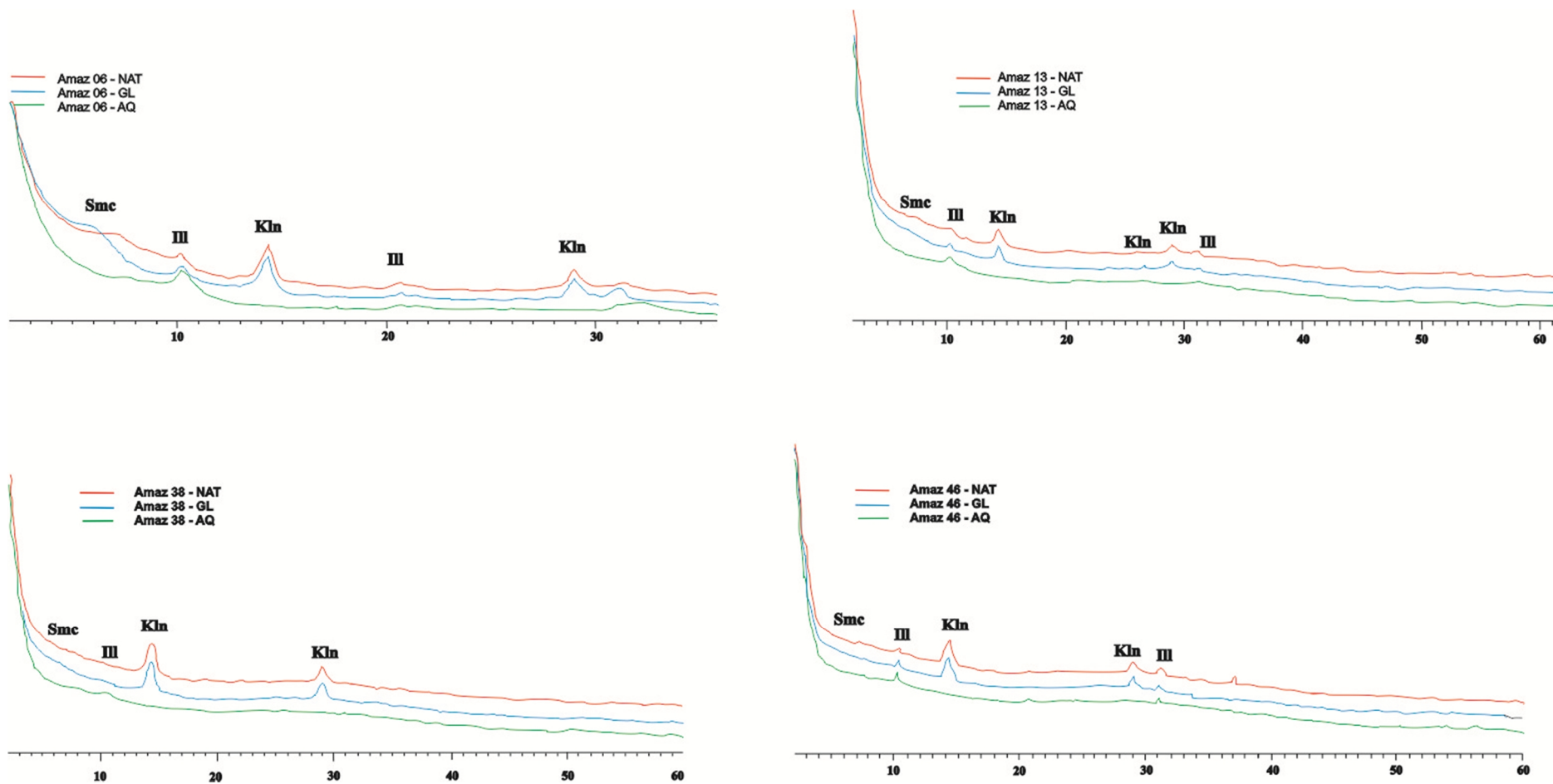


Figura 19- Principais difratogramas da fração argila referentes às amostras do rio Xingu demonstrando a variabilidade mineralógica dos sedimentos estudados.

7.2.3 Minerais pesados

Os minerais pesados da região de estudo (rio Amazonas e rio Xingu) estão presentes, preferencialmente em duas frações; areia fina, ou fração grossa (0,250-0,125 mm) e areia muito fina ou fração fina (0,125-0,062 mm). Ocorrem em proporções diferenciadas, porém nota-se a concentração preferencial na fração areia fina em detrimento da fração areia muito fina varia de 0,1- 0,9% nas amostras analisadas.

Quanto às variedades mineralógicas, foram identificadas 14 diferentes minerais pesados transparentes, com espécies de ampla distribuição representadas por zircão, turmalina, cianita, granada, epidoto, estauroлита e de distribuição restritas como rutilo, silimanita, andaluzita, diopsídio, hiperstênio, anfibólio, enstatita e topázio (Figura 36).

7.2.3.1 Análise quantitativa

Os sedimentos do rio Amazonas apresentaram distribuição equilibrada dentre as 14 variedades detectadas, com ocorrência de minerais ultraestáveis, moderadamente estáveis e instáveis. Já os sedimentos do rio Xingu demonstraram uma assembleia mais restrita, com relativa concentração de minerais ultraestáveis e estáveis, além de diminutos registros de minerais instáveis.

De acordo com a análise quantitativa, os sedimentos do rio Amazonas registram como minerais mais abundantes (valores médios) na fração fina; epidoto (20%), zircão (15%), turmalina (13%), anfibólio (11%), estauroлита (11%) e granada (8%), enquanto na fração grossa; epidoto (24%), anfibólio (22%), zircão (10%), turmalina (10%). Subordinados aos minerais mais frequentes encontram-se rutilo, silimanita, andaluzita, diopsídio, hiperstênio, enstatita e topázio.

A assembleia de minerais pesados do rio Xingu apresenta como minerais mais frequentes na fração fina; zircão (39%), turmalina (19%), topázio (13%), cianita (8%), granada (8%). A fração grossa apresenta como minerais mais abundantes; zircão (29%), turmalina (20%), topázio (11%), epidoto (10%) e estauroлита (10%). De forma secundária, ocorrem em concentrações reduzidas; rutilo, silimanita, andaluzita, diopsídio, hiperstênio e enstatita.

De modo comum, o rio Amazonas e Xingu apresentam minerais ultraestáveis como zircão e turmalina dentre os mais abundantes, porém a principal diferença é a presença de minerais como anfibólio e epidoto entre os minerais mais abundantes na assembleia de minerais pesados do rio Amazonas, que realça um caráter mais imaturo.

Tabela 7 - Contagem dos grãos dos minerais pesados transparentes e opacos identificados na área de estudo, referentes à fração fina (0,125-0,062) mm e fração grossa (0,250-0,125) mm. Zr (zircão); Tur (turmalina); Rt (rutilo); Est (estauroлита); Cia (Cianita); Sil (Silimanita); Gran (Granada), Epi (Epidoto), And (Andaluzita), Diop (Diopsídio), Hipers (Hiperstênio), Anf (anfibiólio), Enst (Enstatita), top (Topázio); Tot. Transp (Total de transparentes); Tot. op (Total de opacos)

Amostra	Zr		Tur		Rt		Est		Cia		Sil		Gran		Epi		And		Diop		Hipers		Anf		Enst		Top		Tot. Transp		Tot. op	
	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F	G	F.F	F.G	F.F	F.G
Amaz 01	20	31	18	26	3	20	15	16	5	26	2	0	15	18	30	65	2	10	8	21	1	23	5	65	1	3	0	0	125	324	175	276
Amaz 02	29	18	22	21	13	3	19	5	10	8	6	1	7	12	30	51	2	0	1	6	9	10	33	45	5	3	0	0	186	183	164	167
Máxima	29	31	22	26	13	20	19	16	10	26	6	1	15	18	30	65	2	10	8	21	9	23	33	65	5	3	0	0	-	-	-	-
Média	25	24,5	20	24	8	12	17	11	7,5	17	4	0,5	11	15	30	58	2	5	4,5	14	5	17	19	55	3	3	0	0	-	-	-	-
Mínima	20	18	18	21	3	3	15	5	5	8	2	0	7	12	30	51	2	0	1	6	1	10	5	45	1	3	0	0	-	-	-	-
Amaz 04	55	26	30	29	2	5	2	8	0	3	1	0	11	12	26	38	0	0	2	3	5	3	2	9	0	0	11	29	136	136	164	214
Amaz 06A	49	44	14	19	2	4	6	20	10	18	1	0	9	30	22	41	0	10	16	7	4	9	15	27	6	2	0	0	154	231	196	369
Amaz 07	30	40	17	21	8	15	17	11	40	29	0	0	33	39	35	58	1	3	10	19	17	31	18	45	1	4	0	0	227	315	373	285
Amaz 18	31	28	27	34	1	1	4	11	3	14	0	1	1	5	2	6	0	0	0	0	0	0	0	7	0	0	0	18	69	107	231	193
Amaz 43	51	31	19	30	10	7	1	17	1	16	1	0	5	9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	0	0	0	1	12	90	110	210	90
Amaz 90	35	61	20	37	1	2	3	3	10	3	1	4	2	8	14	9	0	0	0	0	0	0	0	16	0	0	39	11	86	143	214	86
Amaz 97	25	29	18	12	0	3	0	0	17	6	0	0	17	1	5	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	17	4	82	53	218	247
Amaz 98	33	17	4	8	0	2	0	13	3	4	0	0	3	9	0	0	0	0	0	0	0	0	2	2	0	0	20	11	65	55	235	245
Máxima	55	61	30	37	10	15	17	20	40	29	1	4	33	39	35	58	1	10	16	19	17	31	18	45	6	4	39	29	-	-	-	-
Média	39	34,5	19	24	3	4,9	4,1	10	11	12	0,5	0,6	10	14	13	19	0,1	1,6	3,5	4,1	3,3	5,4	4,9	13	0,9	0,8	11	11	-	-	-	-
Mínima	25	17	4	8	0	1	0	0	0	3	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-	-	-	-

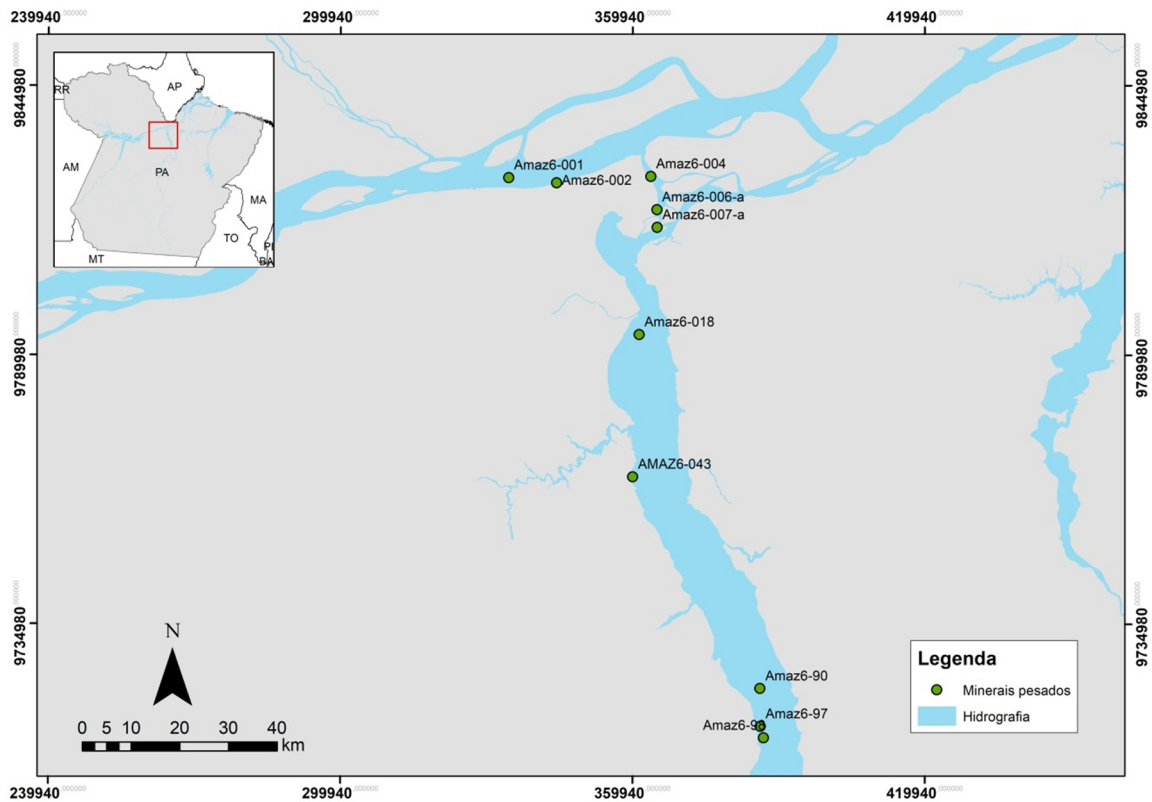


Figura 20- Mapa de amostragem das amostras usadas para a análise de minerais pesados.

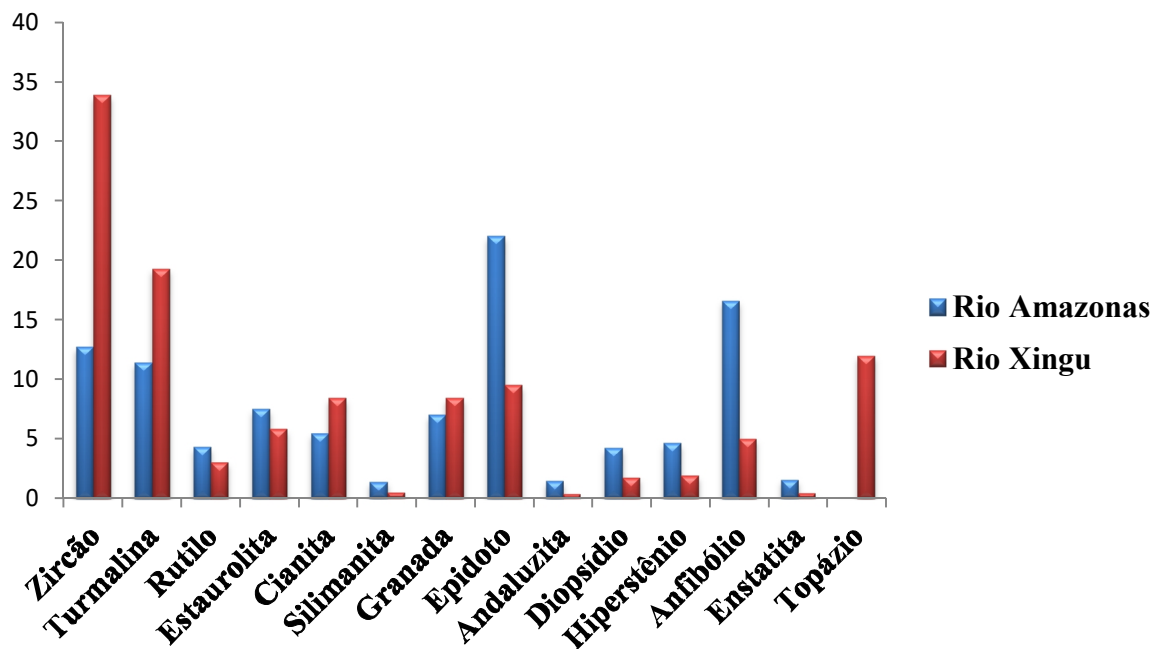


Figura 21- Distribuição dos principais minerais pesados não opacos por toda a extensão da área de estudo, referentes ao rio Amazonas e Xingu (valores médios entre as frações de areia fina e muito fina em porcentagens).

A distribuição preferencial dos minerais pesados instáveis e estáveis pode ser observada através dos índices ZTR e ZTRE, que dentre outros parâmetros, define o grau de maturidade de sedimentos e de rochas sedimentares. Inicialmente proposto por Hubert (1962), este índice é expresso em porcentagem relativa, correspondente à soma das frequências numéricas de zircão (Z), turmalina (T) e rutilo (R), os quais são considerados minerais de alta estabilidade. Os valores de referências são: 0-10%, sedimentos com superabundância de minerais instáveis; 10-40%, abundância de minerais instáveis; 40-60%, igualdade de minerais instáveis e estáveis; 60-90%; abundância de minerais estáveis (Suguio 1973).

Tabela 8 - Índice ZTR e ZTRE dos sedimentos estudados. Valores médios em porcentagem relativa. F.F = Fração fina; F.G= Fração grossa.

	ZTR		ZTRE	
	F.F	F.G	F.F	F.G
Rio Amazonas	53	60	69,5	70
Rio Xingu	60	63	64	74

De acordo com a análise dos índices ZTR e ZTRE, de modo geral e comum, tanto os sedimentos do rio Amazonas como rio Xingu apresentam frações com igualdade de minerais estáveis e instáveis quanto com abundância de minerais estáveis.

A assembleia de minerais pesados do rio Amazonas é rica em minerais pesados moderadamente estáveis, como o epidoto e instáveis como a horblenda e apresenta maior quantidade de minerais pesados transparentes (51%). Cerca de 51% dos minerais pesados transparentes são compostos por epidoto, horblenda e zircão. Turmalina, estaurolita e granada perfazem 26% deste total. Os 23% restantes são compostos por minerais instáveis e moderadamente instáveis como andaluzita, diopsídio, hiperstênio, enstatita, silimanita, granada e cianita.

Já a assembleia de minerais pesados do rio Xingu é notadamente rica em minerais pesados ultraestáveis (zircão, turmalina e rutilo), que perfazem 56% do total de minerais pesados transparentes e apresenta maior quantidade de minerais pesados opacos (65%). Cianita, granada, epidoto e topázio representam 38% do total e o restante (6%) são compostos por minerais instáveis e moderadamente instáveis como andaluzita, diopsídio, hiperstênio, anfibólio, enstatita e silimanita.

Nos sedimentos do rio Amazonas a proporção entre minerais pesados opacos e transparentes é equilibrada, com percentual de 51% de minerais pesados transparentes em detrimento dos minerais pesados opacos (49%). A assembleia de minerais pesados do rio Xingu apresenta maior porcentagem de minerais pesados opacos (65%) em relação aos transparentes (35%) (Tabela 9).

Tabela 9 - Relação de proporção entre minerais pesados opacos e não opacos (valores em porcentagem) e o total de grãos contados para cada amostra.

Amostras		Transparentes	Opacos	Total de grãos
Rio Amazonas	Amaz 01	50	50	900
	Amaz 02	53	47	700
Rio Xingu	Amaz 04	42	58	650
	Amaz 06A	41	59	950
	Amaz 07	45	55	1200
	Amaz 18	29	71	600
	Amaz 43	40	60	500
	Amaz 90	43	57	529
	Amaz 97	23	78	600
	Amaz 98	20	80	600

7.2.3.2 Descrição dos minerais pesados

- Zircão

O zircão é um dos minerais mais comuns dos sedimentos analisados (34% da fração fina e 25% da fração grossa), presente em todas as amostras analisadas. Seus grãos ocorrem segundo grãos de hábito prismático curto ou alongados, alguns com terminações bipiramidais bem desenvolvidas e outros com bordas desgastadas. Há a ocorrência de grãos arredondados à subarredondados e mais raramente angulosos e subangulosos com bordas fraturadas e corroídas. A maioria dos grãos são incolores, seguidos de marrons e róseos. Geralmente apresentam zoneamento e inclusões aciculares de minerais opacos, rutilo e apatita. (Figura 36-A)

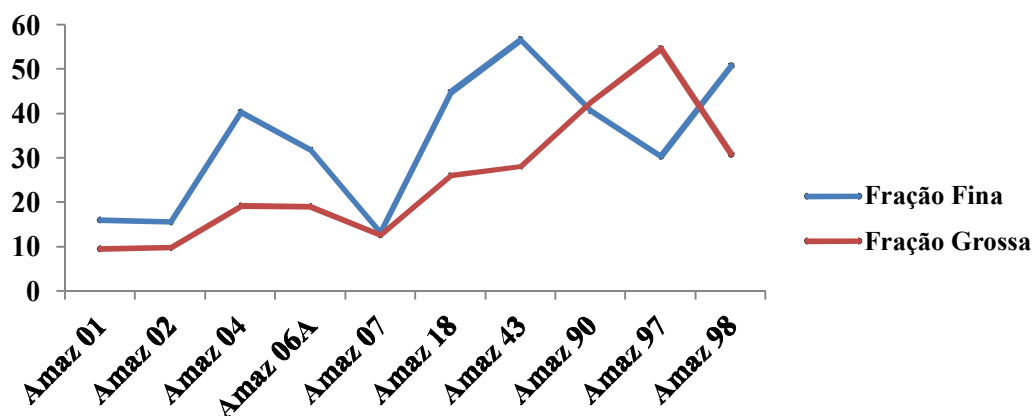


Figura 22- Gráfico com a frequência do zircão ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98) até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Turmalina

A turmalina é um mineral de ocorrência frequente em todas as amostras analisadas e corresponde a 18% do total de minerais pesados na fração fina e 19% na fração grossa. Está presente sob a forma de grãos de hábito prismático curto (modo predominante), grãos prismáticos alongados com terminações arredondadas e mais raramente bipiramidais, assim como grãos tabulares. Em alguns grãos prismáticos alongados são comuns feições como estrias longitudinais e inclusões de minerais opacos. Há também a ocorrência de grãos angulosos, subangulosos e arredondados. Em relação a coloração, exibem grãos verdes, marrons, azuis, castanho-avermelhados. (Figura 36-B).

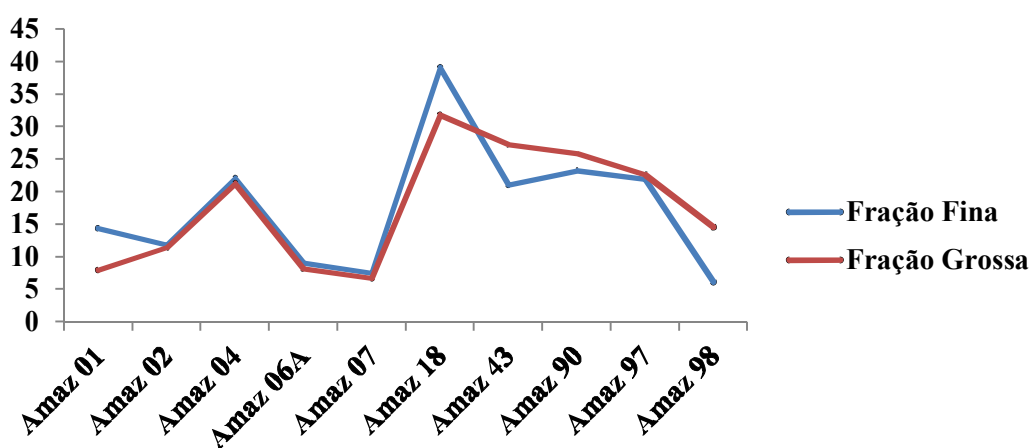


Figura 23- Gráfico com a frequência da turmalina ao longo do rio Xingu, partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Rutilo

O rutilo de modo geral é um mineral pouco frequente em todas as amostras analisadas, com percentuais de 3% do total de minerais na fração fina e 4% na fração grossa. Encontra-se frequentemente sob a forma de grãos prismáticos e tabulares de terminações arredondadas e subordinadamente como grãos angulosos e subangulosos ou mais raramente arredondados. Apresenta tonalidades que variam de vermelho, castanho e amarelo-amarronzado. (Figura 36-C).

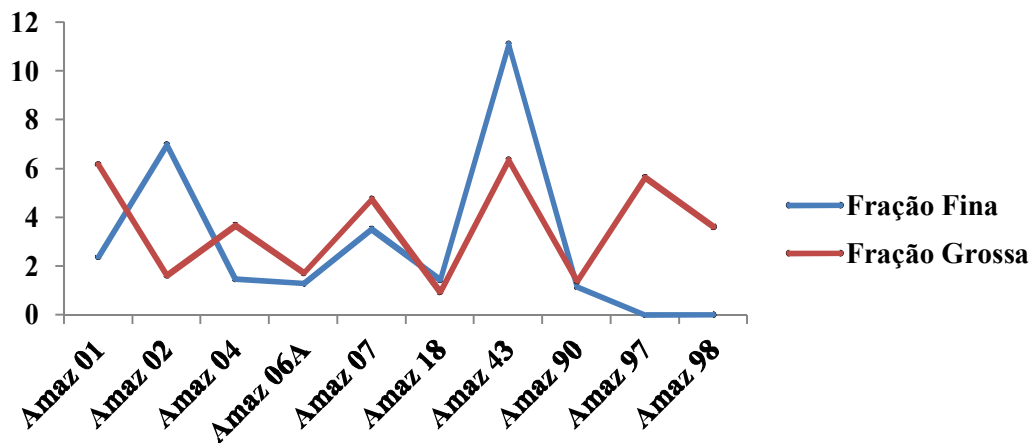


Figura 24- Gráfico com a frequência do rutilo ao longo do rio Xingu, partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Estauroлита

A estauroлита é um mineral de proporções reduzidas na maioria das amostras analisadas e corresponde a 5% do total de minerais na fração fina e 8% na fração grossa. Ocorre frequentemente segundo hábito irregular, com grãos arredondados, angulosos e subangulosos e mais raramente prismáticos. Alguns grãos apresentam fraturas conchoidais características. Suas cores variam de castanho, castanho amarelado e castanho-avermelhado. (Figura 36-D)

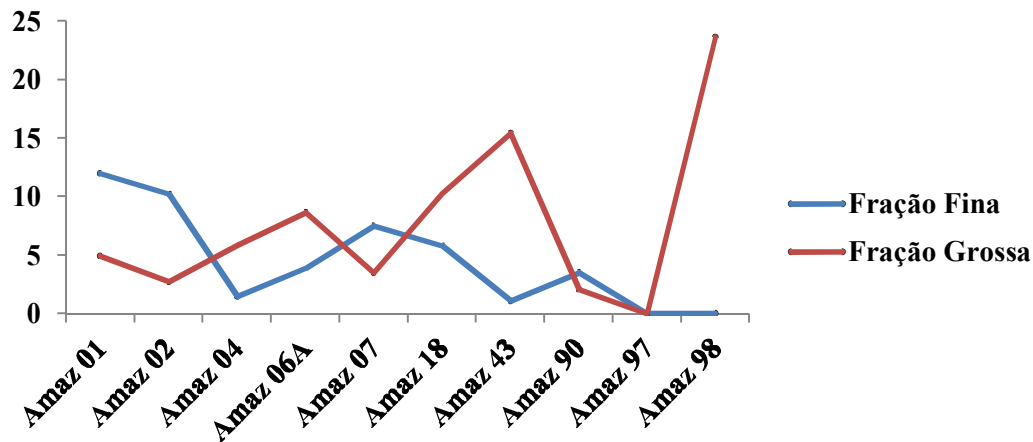


Figura 25- Gráfico com a frequência da estauroлита ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Cianita

A cianita ocorre em proporções relativamente baixas em grande parte das amostras, com percentuais de 8% do total de minerais pesados da fração fina e 8% na fração grossa. Exibe grãos incolores de hábito prismáticos irregulares, assim como tabulares curtos ou alongados. A principal característica desse mineral é intensa ocorrência de feições de corrosão ao longo dos planos de clivagem, assim como a presença de vacúolos e inclusões de minerais opacos. (Figura 36-E)

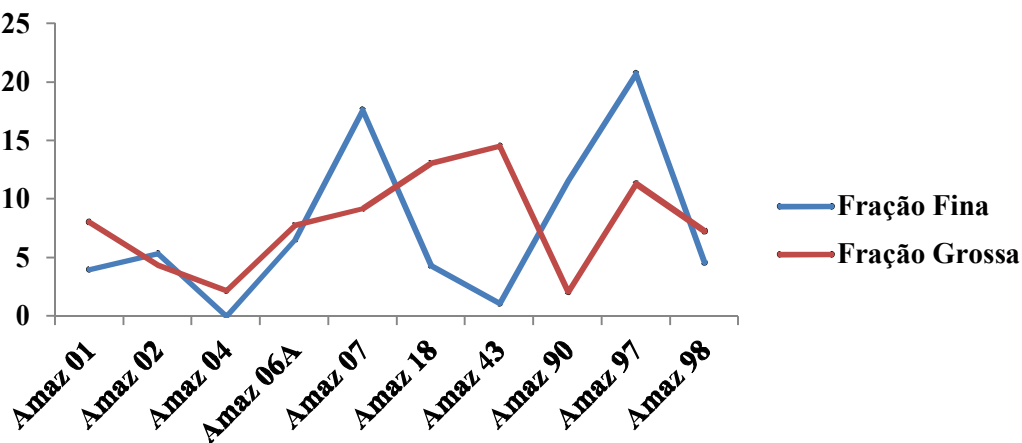


Figura 26- Gráfico com a frequência da cianita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2), localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Silimanita

A silimanita ocorre em proporções bastante reduzidas em todas as amostras, com percentuais de 1% do total de minerais pesados na fração fina e 0,4% na fração grossa. Apresenta-se basicamente sob a forma grãos incolores prismáticos alongados, assim como aciculares, com feições de corrosão e inclusão de minerais opacos. (Figura 36-F).

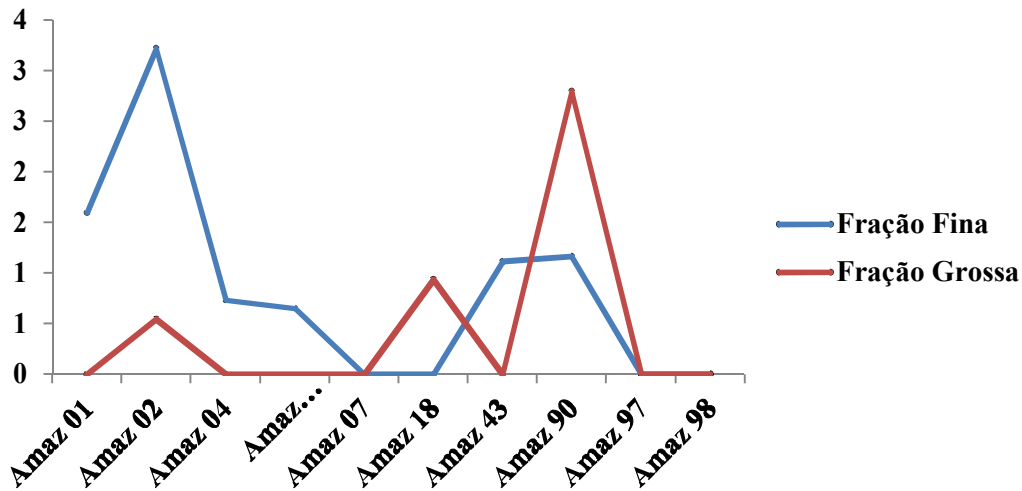


Figura 27- Gráfico com a frequência da silimanita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Granada

A granada está presente de forma escassa em todas as amostras analisadas, com percentuais médios de 8% na fração fina e 8% na fração grossa. É representada por grãos irregulares, angulosos e subangulosos, em maioria incolores, mas com alguns grãos com tonalidades de rosa e castanho claro. (Figura 36-G)

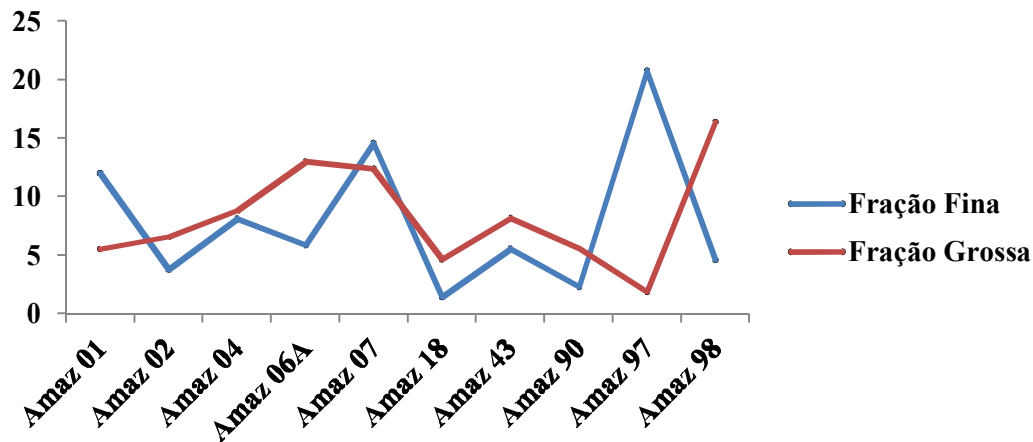


Figura 28- Gráfico com a frequência da granada ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Epidoto

O epidoto é um mineral de concentrações consideráveis em todas as amostras analisadas, em especial as amostras do rio Amazonas. Apresenta percentuais médios de 11% dos minerais pesados da fração fina e 13% da fração grossa. É encontrado nos sedimentos como grãos irregulares, angulosos e subangulosos e mais raramente grãos prismáticos. Apresenta superfícies com aspecto rugoso e botroidal devido ao intenso aspecto corroído da maioria dos seus grãos. Exibe tonalidades de verde acinzentado, verde pálido e mais raramente cinza. (Figura 36-H)

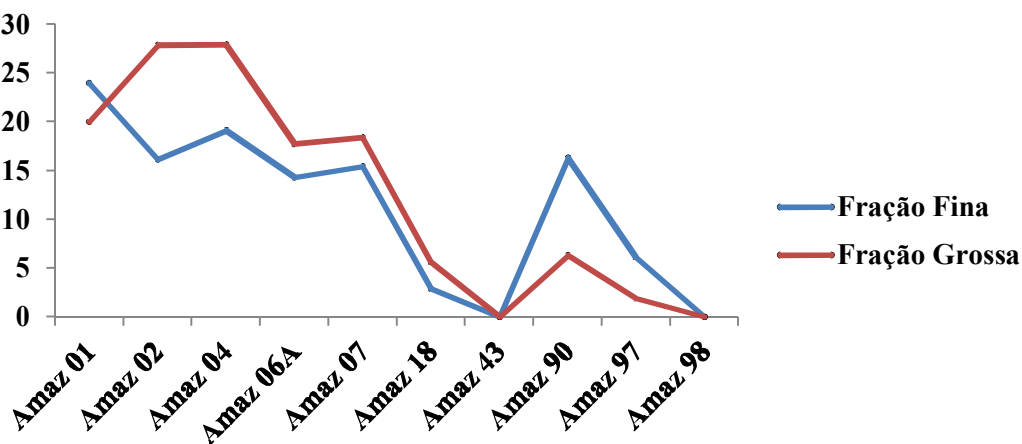


Figura 29- Gráfico com a frequência da epidoto ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Andaluzita

A andaluzita é um mineral com as menores concentrações em todas as amostras. Seu percentual médio dentre os minerais pesados na fração fina é de 0,3% e na fração grossa 1%. Exibe grãos irregulares, frequentemente angulosos e subangulosos, assim como grãos prismáticos alongados. Alguns grãos possuem fraturas conchoidais. Suas tonalidades variam de castanho a castanho pálido.

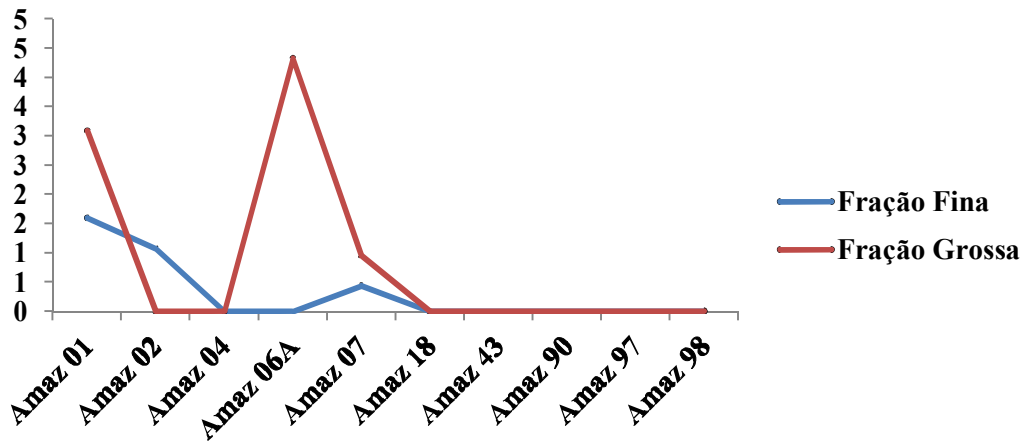


Figura 30- Gráfico com a frequência da andaluzita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Diopsídio

O diopsídio é um mineral em quantidades reduzidas nos sedimentos estudados, com percentual médio de 2,3% dos minerais pesados na fração fina e 2,1% na fração grossa. É representado por grãos irregulares, angulosos, subangulosos e mais raramente tabulares e prismáticos, com terminações corroídas. Alguns grãos apresentam inclusões de minerais incolores e opacos ao longo dos planos de clivagens. São encontradas segundo tonalidades de verde, verde acinzentado e verde-amarelado. (Figura 36-I)

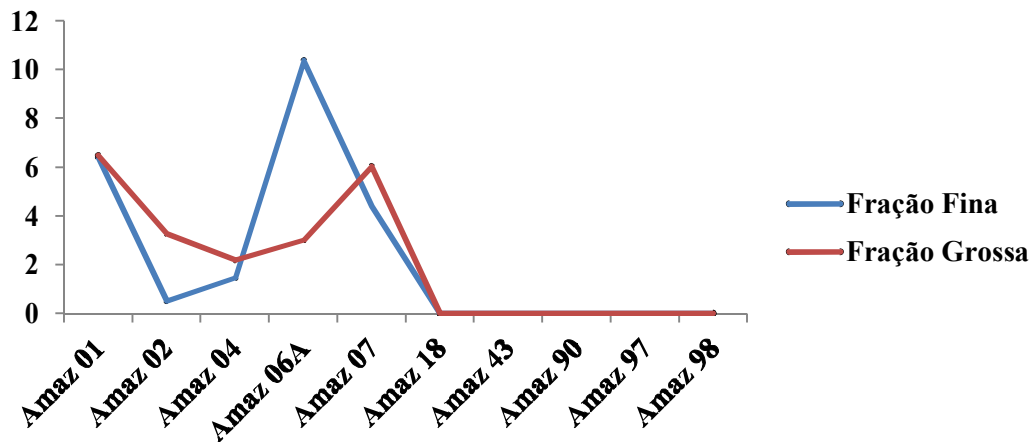


Figura 31- Gráfico com a frequência do diopsídio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem

- Hiperstênio

O hiperstênio apresenta concentrações reduzidas na maioria dos sedimentos estudados, com percentuais médios de 2% dos minerais pesados da fração fina e 3% da fração grossa. Exibe grãos prismáticos curtos e alongados e mais raramente fragmentos angulosos e subangulosos com aspecto serrilhado. Apresenta-se nos sedimentos segundo tonalidades verde, verde amarelado e amarelo acinzentado. (Figura 36-J)

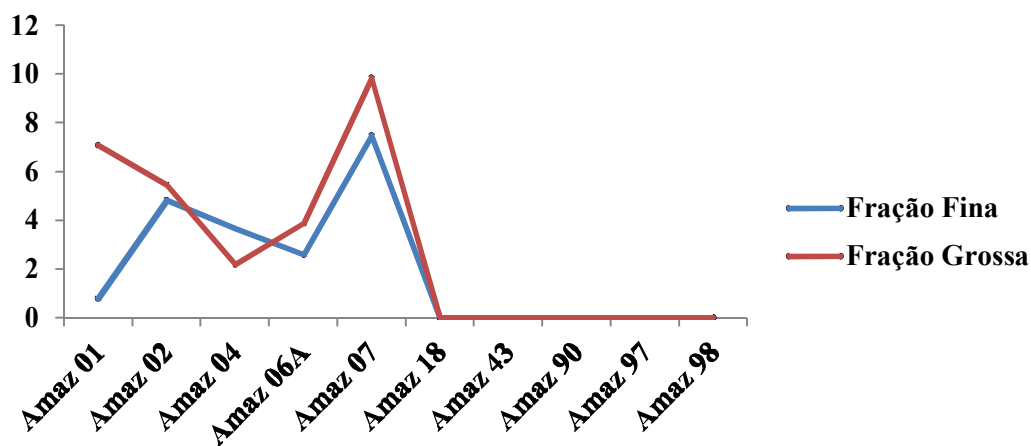


Figura 32- Gráfico com a frequência do hiperstênio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Anfibólio

O anfibólio é um mineral com concentrações medianas em grande parte dos sedimentos estudados, com percentuais médios de 11% na fração fina e 8% na fração grossa. Apresentam-se preferencialmente como grãos prismáticos, alongados e curtos e subordinadamente fragmentos angulosos a subangulosos com bordas serrilhadas, produzidas por efeito de dissolução. Suas tonalidades variam basicamente de verde, verde pálido e verde amarelado. (Figura 36-K)

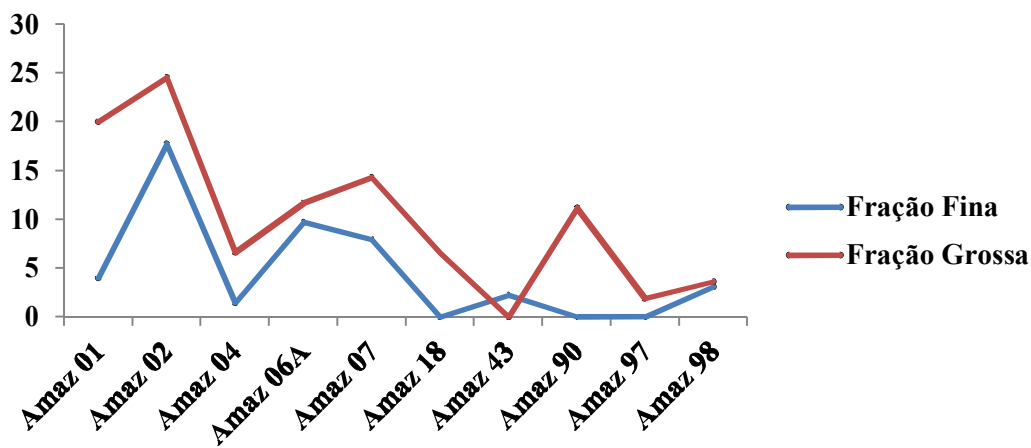


Figura 33- Gráfico com a frequência do anfibólio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em percentagem

- Enstatita

A enstatita é um mineral com concentrações baixíssimas em todas as amostras analisadas, seu percentual médio dentre os minerais pesados da fração fina é 1% e 0,5% na fração grossa. Exibem de modo predominante, grãos prismáticos alongados e mais raramente tabulares, assim como fragmentos angulosos e subangulosos. Suas tonalidades variam de verde acinzentando e cinza. (Figura 36-L)

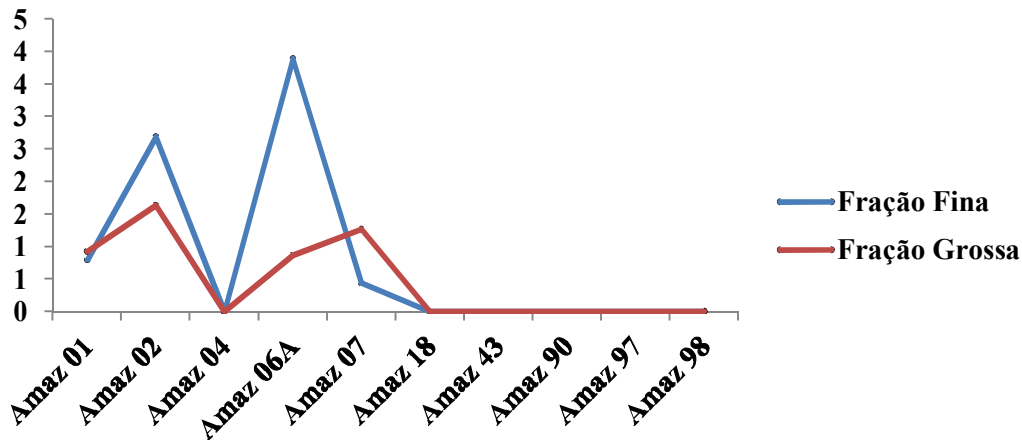


Figura 34- Gráfico com a frequência da estatita ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem.

- Topázio

O topázio é um mineral com concentrações medianas nos sedimentos da área de estudo, com ênfase nos sedimentos do rio Xingu. Seu percentual médio na fração fina é de 11% e na fração grossa corresponde a 8% do total de minerais pesados. É representado por grãos incolores angulosos e subangulosos e mais raramente arredondados. (Figura 36-M).

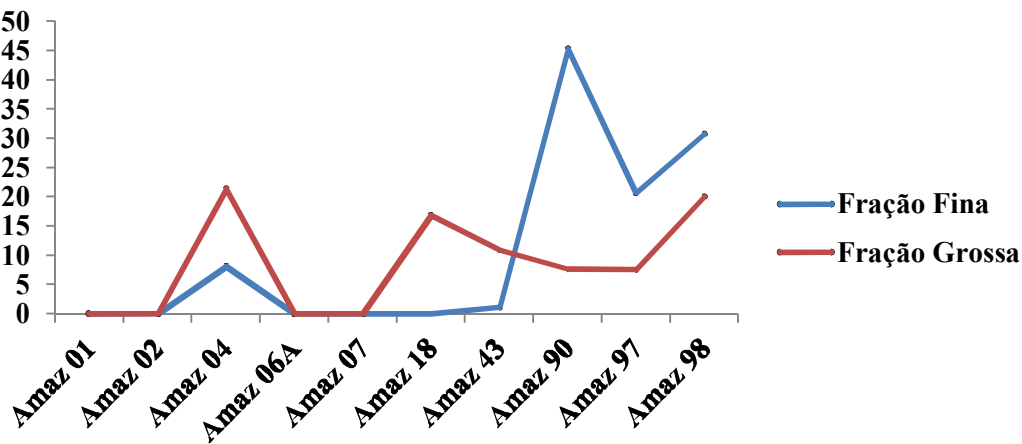


Figura 35- Gráfico com a frequência do Topázio ao longo do rio Xingu partindo de amostras à montante (Amaz 98), até amostras localizadas mais à jusante (Amaz 01 e Amaz 2) localizadas na foz do Xingu no rio Amazonas. Valores médios em porcentagem

Analisando os gráficos de frequência de todos os minerais identificados ao longo da área percebe-se que as concentrações de minerais como turmalina, rutilo, granada, epidoto, hiperstênio e anfibólio apresentam valores aproximados nas duas frações (fina e grossa),

gerando padrões relativamente similares. Já minerais como zircão, cianita, silimanita, andaluzita, diopsídio, enstatita e topázio registraram concentrações menos similares nas duas frações.

De modo geral para as duas frações foram observados que minerais como zircão, turmalina, cianita e topázio apresentam diminuição de suas concentrações em direção à foz no rio Amazonas. De modo inverso, epidoto, hiperstênio, anfibólio e enstatita aumentam suas concentrações em relação à foz. Rutilo, estaurolita e silimanita apresentam concentrações constantes e variáveis ao longo do rio Xingu e também em sua foz no rio Amazonas.



Figura 36- A) Variedades de grãos de zircão identificados os sedimentos estudados. B) Grãos prismáticos, tabulares e arredondados de turmalina. C) Grãos prismáticos e subarredondados de rutilo. D) Grãos angulosos e subarredondados de estauroлита. E) Grãos tabulares e prismáticos de cianita. F) Grãos prismáticos incolores de silimanita. G) Grãos irregulares de granada. H) Grãos irregulares de epidoto com evidências de corrosão. I) Fragmentos de diopside com terminações dentadas. J) Grãos prismáticos de hiperstênio. K) Grãos prismáticos de anfibólio. L) Grãos prismáticos e tabulares de enstatita. M) Grãos angulosos e subangulosos de topázio.

7.3 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

7.3.1 Elementos maiores

Os sedimentos da área de estudo (rio Amazonas e Xingu), de forma comum, são constituídos majoritariamente por SiO_2 , Al_2O_3 e Fe_2O_3 como óxidos mais abundantes, de forma subordinada TiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O , MgO e mais restritamente MnO , P_2O_5 .

Os sedimentos do rio Amazonas revelam de modo predominante, altas variações nas concentrações dos elementos maiores. Dentre os elementos que se destacam por suas variações, observam-se SiO_2 (84,1 – 53,8 %) e Fe_2O_3 (16,6 – 2,9%). Não foi verificado o aumento/diminuição da concentração de quaisquer elementos em direção à jusante ou montante quando analisado o conjunto das amostras. Os sedimentos do rio Xingu repetem a mesma tendência, com variações maiores registradas nos óxidos; SiO_2 (84,3 – 44,0%), Al_2O_3 (23,9 – 1,93%) e Fe_2O_3 (8,92 – 0,79%) e os demais óxidos com variações menores.

Em comparação com valores crustais, relatados por Taylor & McLennan (1985) (PAAS) e Rudnick & Gao (2003) (CCS), as composições médias os sedimentos do rio Amazonas apresentaram-se enriquecidos em SiO_2 , Fe_2O_3 e TiO_2 , e empobrecidos em Al_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O . Já os sedimentos do rio Xingu são enriquecidos em Fe_2O_3 e P_2O_5 e são marcados principalmente pelo empobrecimento na maioria dos elementos maiores, dentre eles; SiO_2 , TiO_2 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O . (Tabela 10)

Tabela 10 - Comparação dos valores médios dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu com os valores médios do PAAS e CCS. Valores em percentagem em peso.

Óxidos	Rio Amazonas	Rio Xingu	PAAS	CCS
SiO_2	72,77	56,26	62,8	66,6
Al_2O_3	7,89	17,39	18,9	15,4
Fe_2O_3	8,14	6,99	-	5,04
TiO_2	3,07	0,65	1,00	0,64
CaO	1,19	0,30	1,3	3,59
MgO	0,12	0,40	2,2	2,48
Na_2O	0,93	0,23	1,2	3,27
K_2O	1,31	1,06	3,7	2,8
P_2O_5	0,15	0,17	0,16	0,15

Com base nas relações de K_2O/Na_2O e SiO_2/Al_2O_3 é possível notar que os sedimentos do rio Amazonas e algumas amostras do rio Xingu apresentam razões similares aos padrões PAAS e CCS. A razão SiO_2/Al_2O_3 mantém-se com média de 9,0 para os sedimentos do rio Amazonas, e média de 3,1 para os do rio Xingu, com o primeiro bem mais elevado em comparação com PAAS (3,3) e CCS (4,3). Quando analisada a razão K_2O/Na_2O , os sedimentos do rio Amazonas apresentam valores médios de 1,4 e os sedimentos do rio Xingu com média de 8,9, com este último mais alto que os valores do PAAS e CCS. A razão SiO_2/Fe_2O_3 também demonstra o relativo enriquecimento preferencial em SiO_2 , quando comparados com o Fe_2O_3 nos sedimentos do rio Amazonas e valores mais baixos nos sedimentos do rio Xingu. A razão K_2O/Na_2O também aponta valores reduzidos para os sedimentos do rio Amazonas e mais elevados para o rio Xingu, com destaque para o enriquecimento de K_2O em relação ao Na_2O nos sedimentos do rio Xingu. (Figura 37).

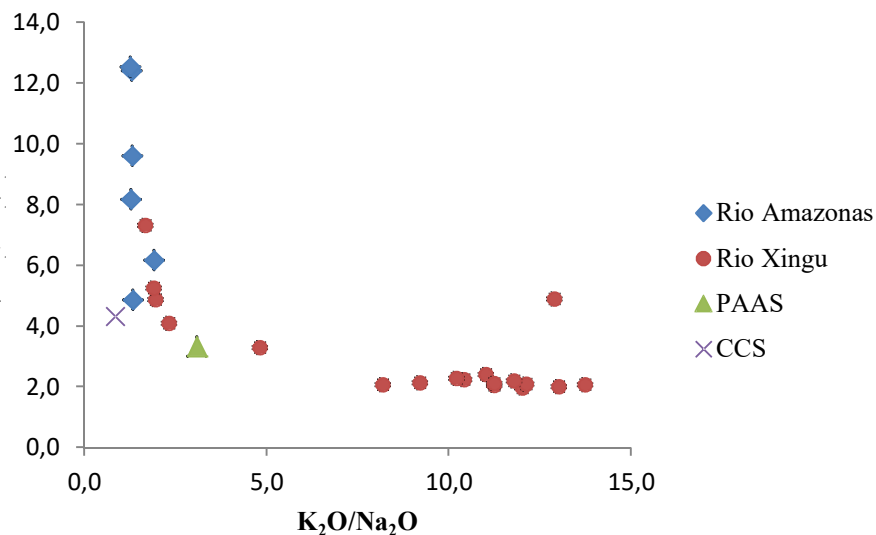


Figura 37- Diagrama K_2O/Na_2O versus SiO_2/Fe_2O_3 . Plotagem das razões em comparação com os valores médios do PAAS e CCS.

Os padrões de concentrações de alguns elementos maiores normalizados em relação ao PAAS e CCS demonstraram diferenças entre os sedimentos do rio Amazonas e rio Xingu. Em relação ao rio Amazonas, a maioria dos elementos maiores, em especial Al_2O_3 , MgO e CaO são empobrecidos em relação ao PAAS e CCS de modo comum. Apenas TiO_2 é enriquecido em relação ao PAAS e CCS. Referente aos sedimentos do rio Xingu, os elementos maiores MgO , CaO , Na_2O e K_2O são empobrecidos em relação as duas normalizações (PAAS e CCS).

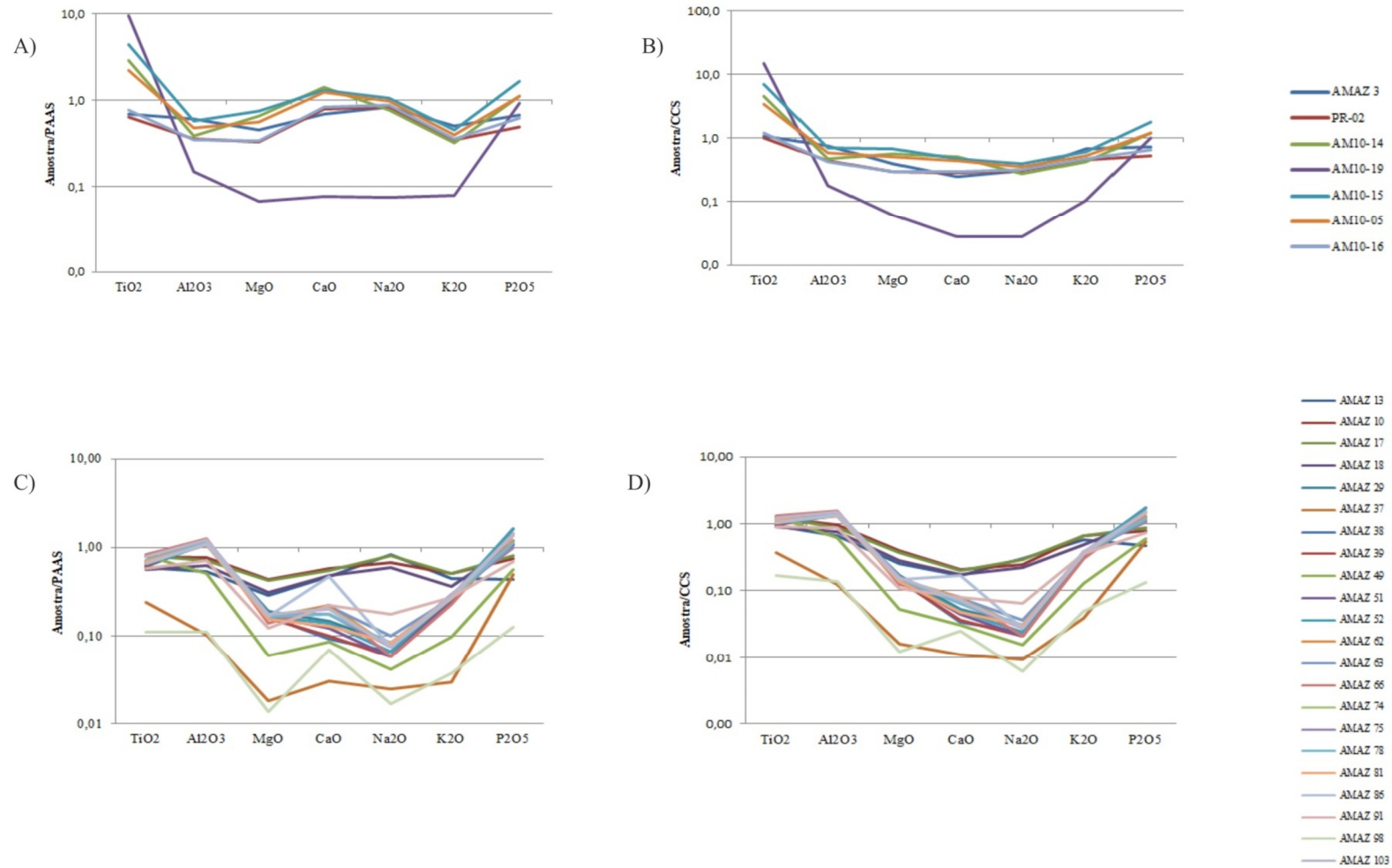


Figura 38- A) Elementos maiores dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao PAAS. B) Elementos maiores dos sedimentos do Amazonas normalizados ao CCS. C) Elementos maiores dos sedimentos do rio Xingu normalizados ao PAAS. D) Elementos maiores dos sedimentos do rio Xingu normalizados ao CCS.

Tabela 11 - Composição química dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. Valores em porcentagem em peso (%) referentes aos elementos maiores.

Amostras	SiO₂	TiO₂	Al₂O₃	Fe₂O₃	MgO	MnO	CaO	Na₂O	K₂O	P₂O₅
Amaz 3	71,7	0,69	11,6	4,11	1,00	0,07	0,91	1	1,9	0,11
Pr-02	84,1	0,64	6,77	2,57	0,73	0,03	1,03	1,01	1,3	0,08
Am10-14	70,5	2,95	7,33	9,32	1,44	0,15	1,86	0,92	1,2	0,18
Am10-19	71,9	9,72	2,83	13,35	0,15	0,16	0,1	0,09	0,29	0,15
Am10-15	53,8	4,48	11,05	16,6	1,67	0,21	1,72	1,28	1,69	0,27
Am10-05	73,7	2,24	9,01	7,82	1,25	0,11	1,61	1,17	1,49	0,18
Am 10-16	83,7	0,78	6,67	3,23	0,75	0,08	1,09	1,05	1,32	0,1
Amaz 13	74,7	0,59	10,2	4,01	0,64	0,04	0,61	0,99	1,64	0,07
Amaz 10	60,2	0,78	14,65	7,44	0,97	0,09	0,75	0,81	1,87	0,12
Amaz 17	66,0	0,8	13,5	5,21	0,93	0,07	0,71	0,97	1,88	0,13
Amaz 18	62,3	0,57	11,85	11	0,69	0,15	0,63	0,72	1,36	0,17
Amaz 29	45,8	0,61	21,3	8,27	0,42	0,24	0,19	0,10	0,92	0,19
Amaz 37	84,3	0,24	1,93	10,7	0,04	0,04	0,04	0,03	0,11	0,08
Amaz 38	44,7	0,64	22,3	8,92	0,37	0,26	0,12	0,08	0,91	0,23
Amaz 39	45,2	0,62	22,3	8,2	0,35	0,24	0,13	0,07	0,91	0,22
Amaz 49	74,1	0,82	9,55	3,48	0,13	0,04	0,11	0,05	0,36	0,09
Amaz 51	46,3	0,67	22,7	7,44	0,37	0,17	0,16	0,07	0,96	0,26
Amaz 52	46,9	0,71	23,1	7,39	0,37	0,17	0,18	0,08	1,03	0,26
Amaz 62	46,8	0,72	22,3	6,56	0,36	0,11	0,29	0,09	1,01	0,19
Amaz 63	48,2	0,66	20,1	6,63	0,35	0,14	0,28	0,12	0,98	0,22
Amaz 66	44,0	0,84	23,9	7,51	0,31	0,11	0,29	0,07	0,84	0,22
Amaz 74	48,6	0,68	20,9	7,87	0,38	0,16	0,27	0,09	0,99	0,18
Amaz 75	50,0	0,70	21,1	6,43	0,39	0,12	0,23	0,09	1,09	0,16
Amaz 78	47	0,71	21,3	7,00	0,37	0,14	0,23	0,1	1,04	0,18
Amaz 81	48,4	0,70	20,2	8,13	0,34	0,15	0,17	0,1	1,02	0,23
Amaz 86	45,1	0,66	21,1	7,95	0,37	0,12	0,61	0,09	1,01	0,22
Amaz 91	66,8	0,58	13,3	5,12	0,27	0,09	0,29	0,21	1,01	0,11
Amaz 98	95,7	0,11	2,11	0,79	0,03	0,01	0,09	0,02	0,14	0,02
Amaz 103	46,6	0,78	22,9	7,62	0,39	0,09	0,26	0,09	1,06	0,22

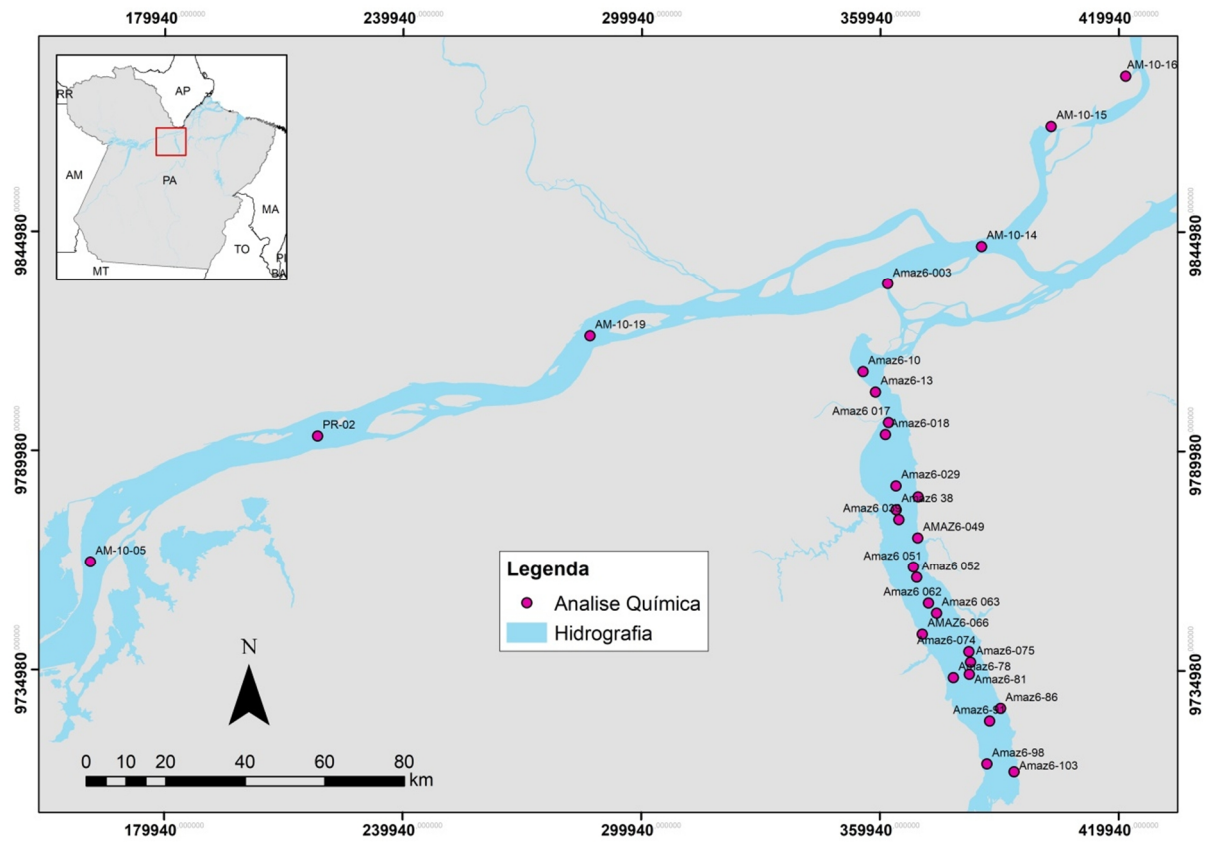


Figura 39– Mapa de amostragem com a distribuição das amostras selecionadas para a análise química.

7.3.2 Elementos traço

As concentrações de elementos traço nos sedimentos do rio Amazonas apresentaram poucas variações significativas ao longo de todo o trecho estudado, com exceção da amostra AM10-19 que registrou concentrações mais baixas para Rb, Sr e Ba e altas para U, Th, Y, Zr, Hf e V. Analisando as concentrações de todos os elementos não observa-se nenhum aumento preferencial à montante ou à jusante, pois a maioria das amostras registram aumentos e diminuições nas concentrações de forma aleatória. As variações mais expressivas consistiram de Zr (164 ppm – 10000 ppm), Ba (101 ppm – 524 ppm) e Hf (4,2 ppm – 1215 ppm).

As concentrações dos elementos traço do rio Xingu de modo análogo registraram raras variações significativas, com concentrações relativamente similares em termos de abundância, salvo a amostra AMAZ 105, com concentrações bem mais baixas em relação a todas as amostras. As variações mais relevantes basearam-se em Ba (44,7 ppm – 781 ppm), Zr (104 ppm – 798 ppm) e Sr (2,3 ppm – 104 ppm).

Os sedimentos do rio Amazonas apresentam padrões semelhantes quando normalizados às composições crustais do PAAS e CCS. De modo comum, a maioria dos sedimentos do rio Amazonas são levemente empobrecidos em Rb, Sr e Ba nas duas normalizações e enriquecidos moderadamente, também de forma similar em Y, Zr e Hf. Apenas a amostra PR-02 apresenta-se levemente empobrecida em todos os elementos seja qual for a normalização realizada.

Os sedimentos do rio Xingu repetem a mesma tendência de similaridade nos padrões quando analisado o conjunto total de elementos. De forma comum ao PAAS e CCS quase a totalidade dos sedimentos são levemente empobrecidos em Rb e Sr e V. A maioria das amostras são levemente enriquecidas em U, Th, Y nas duas normalizações e para o mesmo grupo de amostras. Em relação ao Zr e Hf há um equilíbrio, com quase metade das amostras levemente enriquecidas e as restantes levemente empobrecidas (para PAAS e CCS) (Figura 40).

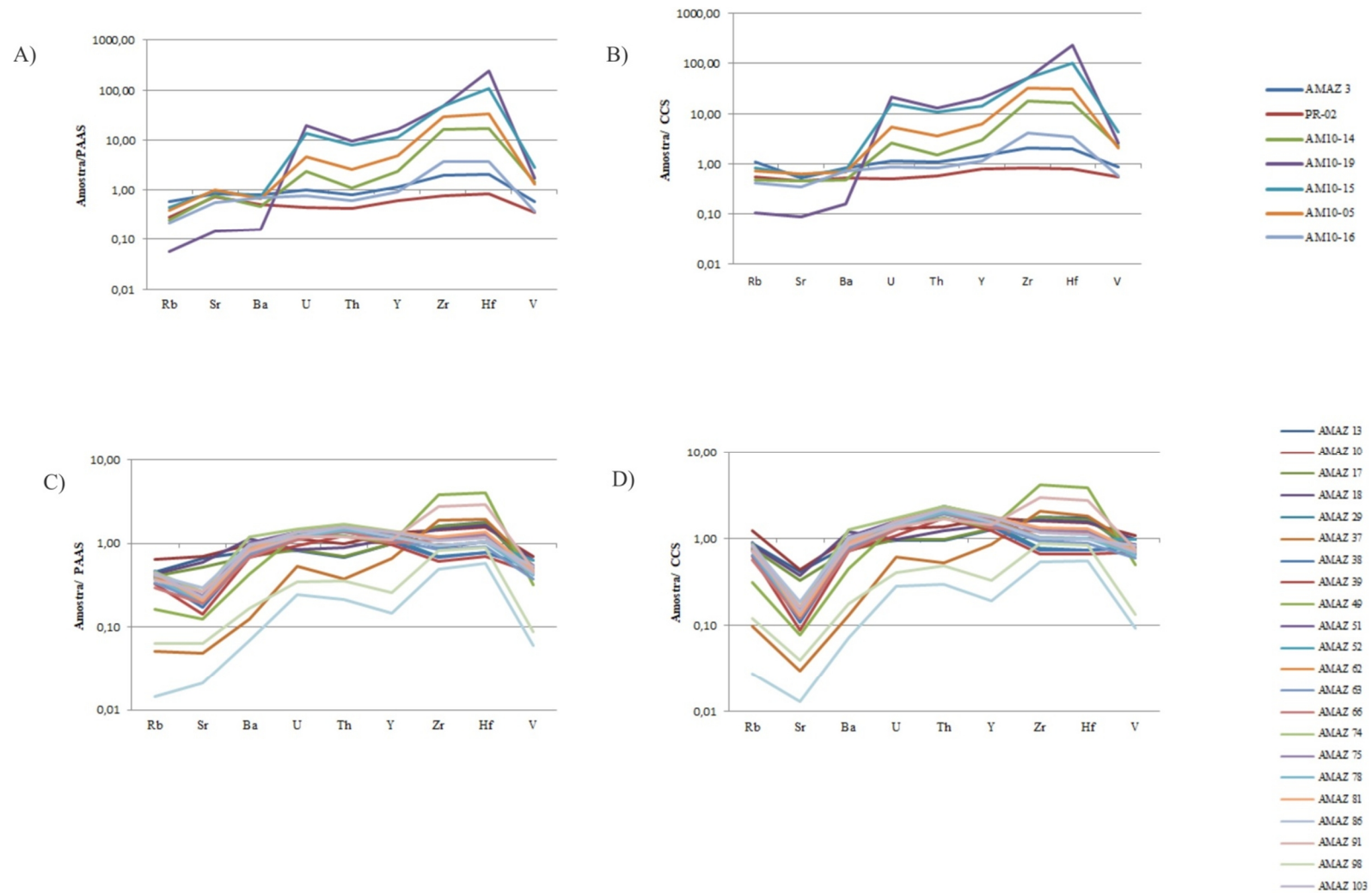


Figura 40- A) Elementos traço dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao PAAS. B) Elementos traço dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao CCS. C) Elementos traço dos sedimentos rio Xingu normalizados ao PAAS. D) Elementos traço do rio Xingu normalizado ao CCS.

Tabela 12 - Composição química dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. Valores em ppm referentes aos elementos traço.

Amostras	Rb	Sr	Ba	U	Th	Y	Zr	Hf	V
Amaz 3	92,6	168,0	524,0	3,06	11,5	30,4	404	10,4	86,0
Pr-02	45,9	148,0	329,0	1,36	6,11	16,6	164	4,2	53,0
Am10-14	40,6	150,5	303,0	7,13	16,15	63,3	3390	85,2	218,0
Am10-19	8,9	28,7	101,0	59,1	137,0	441,0	10000	1215,0	257,0
Am10-15	70,3	191,5	478,0	42,1	115,0	300,0	10000	544,0	420,0
Am10-05	61,6	204,0	427,0	14,55	37,7	132,0	6210	164,0	199,0
Am 10-16	35,2	113,5	459,0	2,38	8,73	24,4	788	18,7	57,0
Amaz 13	73,4	131,5	522,0	2,54	10,05	26,7	342	9,0	66,0
Amaz 10	104,0	140,0	625,0	3,51	14,45	36,1	306	7,9	105,0
Amaz 17	64,6	105,0	456,0	2,63	10,15	26,8	339	8,7	72,0
Amaz 18	69,1	119,5	746,0	2,64	13,00	30,4	315	8,3	95,0
Amaz 29	65,3	43,8	549,0	3,63	21,3	30,8	147	3,9	78,0
Amaz 37	8,1	9,6	81,9	1,67	5,47	17,9	394	9,7	79,0
Amaz 38	62,0	34,3	494,0	3,52	20,4	28,2	141	3,9	75,0
Amaz 39	52,6	28,3	446,0	2,94	18,15	26,0	129	3,5	67,0
Amaz 49	26,0	24,8	276,0	3,91	17,95	27,8	798	20,2	48,0
Amaz 51	75,2	43,6	659,0	4,26	24,4	37,4	189	5,3	82,0
Amaz 52	74,5	44,3	625,0	4,06	24,3	34,9	190	5,3	95,0
Amaz 62	64,3	44,1	600,0	3,75	21,8	34,4	198	5,3	68,0
Amaz 63	54,2	40,3	485,0	3,63	19,8	29,9	179	4,6	57,0
Amaz 66	47,3	38,7	445,0	3,38	20,8	27,8	232	6,4	68,0
Amaz 74	71,8	52,8	781,0	4,59	24,8	38,1	244	6,6	71,0
Amaz 75	68,2	47,6	637,0	3,77	22,5	36,3	240	6,5	64,0
Amaz 78	59,4	41,1	556,0	3,71	21,0	32,8	200	5,3	63,0
Amaz 81	59,8	41,3	546,0	4,28	22,8	37,1	254	6,9	70,0
Amaz 86	67,3	59,4	634,0	3,84	22,7	32,6	195	5,2	81,0
Amaz 91	59,2	52,9	518,0	3,72	17,45	30,2	576	4,6	73,0
Amaz 98	10,2	12,6	109,0	1,08	5,14	6,9	171	4,4	13,0
Amaz 103	70,5	45,6	610,0	4,23	22,9	36,7	225	5,9	67,0

7.3.3 Elementos terras raras

Os sedimentos de fundo do rio Amazonas apresentam padrões similares quando normalizados à composição do PAAS e CCS, repetindo a tendência dos padrões dos elementos maiores e traços normalizados. Grande parte das amostras são moderadamente enriquecidas em todas as classes de elementos terras raras (pesados leves e intermediários), com exceção da amostra PR-02 (empobrecida em todos os elementos) e AM10-16 (com composições próximas) (Figura 41). A grande característica desse grupo é a elevada distinção entre as amostras, que variam desde levemente empobrecidas em relação à composição do PAAS e CCS até amostras moderadamente enriquecidas (Figura 41).

Os sedimentos do rio Xingu apresentam também padrões semelhantes nas duas normalizações gerando sempre um padrão horizontalizado (Figura 41). A maioria das amostras são extremamente similares entre si quanto à composição e levemente enriquecidas em todas as classes de elementos terras raras. Apenas as amostras AMAZ 78, AMAZ 74 e AMAZ 37 são empobrecidas em todos os tipos de elementos terras raras.

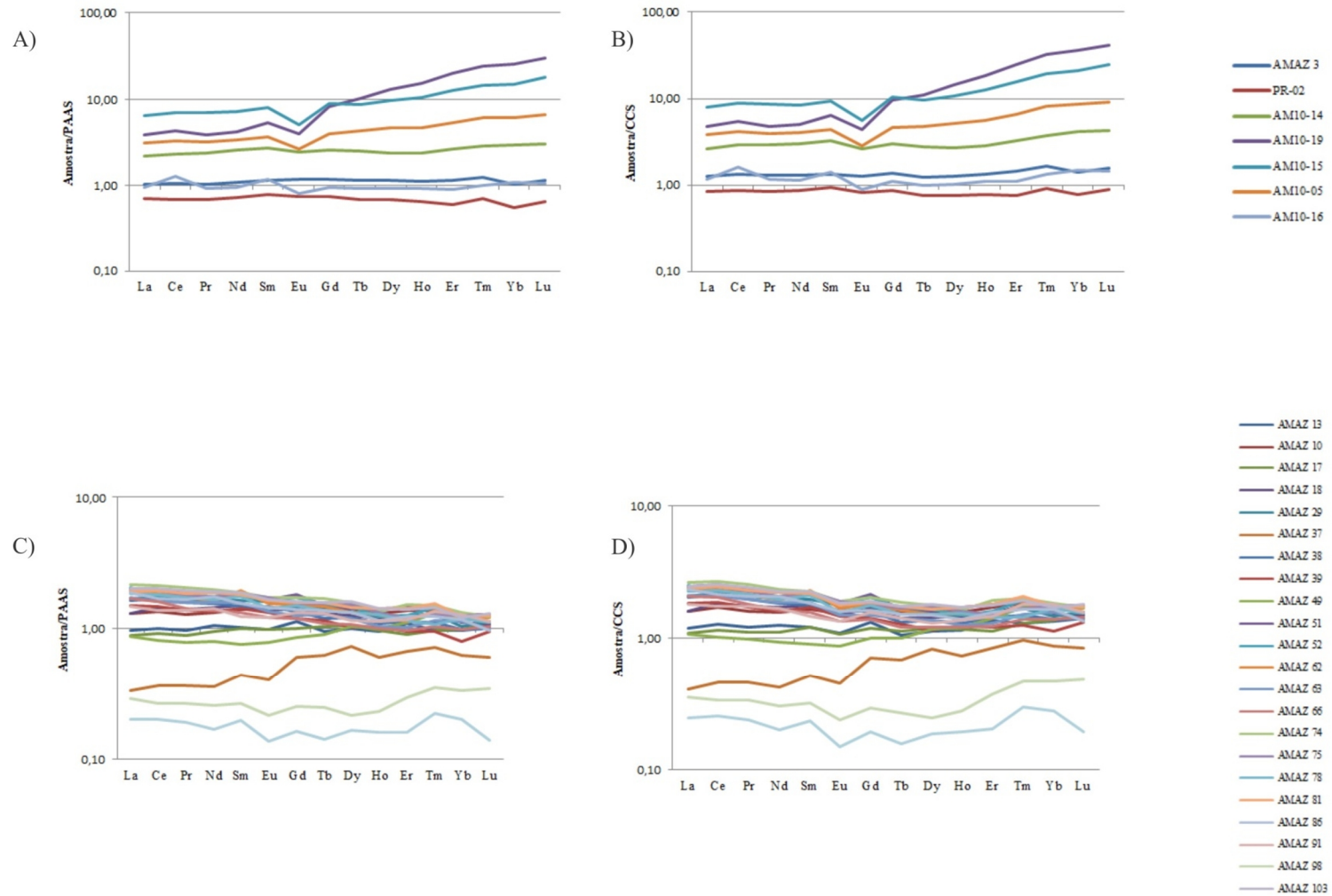


Figura 41- A) Elementos terras raras dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao PAAS. B) Elementos terras raras dos sedimentos do rio Amazonas normalizados ao CCS. C) Elementos terras raras dos sedimentos rio Xingu normalizados ao PAAS. D) Elementos terras raras do rio Xingu normalizados ao CCS.

Tabela 13 - Composição química dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu. Valores em ppm referentes aos elementos terras raras.

Amostras	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu
Amaz 3	39,3	85,2	9,21	35,1	6,42	1,28	5,61	0,88	5,05	1,13	3,37	0,5	2,86	0,49
Pr-02	26,5	55,4	6,04	23,4	4,42	0,82	3,47	0,53	3,00	0,65	1,75	0,28	1,57	0,28
Am10-14	82,7	187,5	21,0	81,8	15,25	2,65	12,0	1,93	10,55	2,36	7,58	1,14	8,3	1,32
Am10-19	148,0	346,0	34,3	135,5	30,2	4,38	39,1	7,76	56,8	15,15	57,7	9,62	72,0	13,0
Am10-15	248,0	558,0	61,6	230,0	44,6	5,62	41,8	6,74	42,00	10,45	36,2	5,86	42,0	7,79
Am10-05	118,5	263,0	28,3	109,0	20,6	2,89	18,8	3,31	20,4	4,68	15,4	2,45	17,25	2,86
Am 10-16	36,2	103,0	8,29	30,7	6,66	0,9	4,43	0,71	4,04	0,93	2,59	0,4	3,01	0,45
Amaz 13	36,9	80,8	8,64	33,8	5,76	1,09	5,33	0,74	4,45	0,95	3,16	0,39	2,7	0,44
Amaz 10	49,5	107,5	11,45	42,7	7,83	1,54	6,66	1,1	6,29	1,31	3,98	0,55	3,58	0,55
Amaz 17	33,7	73,3	7,89	30,3	5,67	1,08	4,75	0,8	4,66	0,97	2,62	0,39	2,75	0,47
Amaz 18	49,4	117,0	12,45	46,1	8,43	1,52	6,72	1,0	5,59	1,2	3,55	0,53	3,11	0,46
Amaz 29	64,9	141,5	14,65	53,8	9,21	1,78	6,94	1,07	5,98	1,2	3,65	0,51	2,92	0,49
Amaz 37	12,7	29,2	3,25	11,4	2,46	0,45	2,86	0,48	3,25	0,61	1,94	0,29	1,76	0,26
Amaz 38	62,8	135,0	14,0	50,0	8,31	1,63	6,4	0,93	5,39	1,09	3,31	0,45	2,77	0,43
Amaz 39	56,9	117,5	12,25	43,3	8,02	1,46	5,67	0,89	4,49	1,05	1,79	0,38	2,25	0,41
Amaz 49	33,3	64,7	7,06	25,5	4,28	0,87	4,04	0,70	4,6	1,01	3,26	0,52	3,45	0,54
Amaz 51	77,0	160,0	16,55	61,2	10,35	1,85	8,56	1,16	6,26	1,92	4,18	0,59	3,41	0,54
Amaz 52	78,3	143,5	16,4	60,4	9,89	1,8	8,13	1,18	6,49	1,24	3,68	0,58	3,58	0,49
Amaz 62	72,3	147,5	15,3	52,7	10,9	1,7	7,22	1,14	5,89	1,29	3,27	0,55	3,28	0,52
Amaz 63	65,2	130,0	14,0	50,3	8,85	1,49	5,94	0,99	5,31	1,05	2,99	0,46	3,17	0,43
Amaz 66	64,0	128,0	12,75	44,0	7,47	1,35	5,61	0,85	4,73	1,00	2,82	0,42	2,79	0,45
Amaz 74	82,0	169,0	18,3	63,9	10,6	1,91	8,11	1,31	6,94	1,36	4,47	0,60	3,7	0,53
Amaz 75	75,0	155,0	16,05	56,1	10,4	1,91	7,3	1,19	6,73	1,32	3,5	0,51	3,51	0,55
Amaz 78	70,2	145,5	15,35	53,6	9,88	1,58	7,06	1,06	5,9	1,28	3,35	0,43	3,38	0,48
Amaz 81	73,5	156,5	16,4	60,5	10,25	1,79	7,14	1,23	6,43	1,42	4,16	0,62	3,5	0,54
Amaz 86	72,2	136,0	14,75	55,9	8,72	1,6	6,58	1,06	5,81	1,16	3,62	0,50	3,3	0,42
Amaz 91	56,5	109,5	12,35	45,4	6,89	1,34	6,28	1,00	5,09	1,13	3,39	0,54	3,6	0,49
Amaz 98	11,0	21,3	2,39	8,2	1,5	0,24	1,18	1,19	0,96	0,23	0,86	0,14	0,94	0,15
Amaz 103	76,8	160,5	17,3	61,6	10,6	1,85	7,64	1,23	7,04	1,43	4,07	0,58	3,44	0,18

8 DISCUSSÃO

8.1 GRANULOMETRIA

Em relação à análise granulométrica, o diagrama de Folk para as duas regiões evidenciou diferenças energéticas no transporte e deposição dos sedimentos do rio Xingu. As amostras do rio Amazonas são predominantemente arenosas, denotando de modo geral, hidrodinâmica mais acentuada em relação à totalidade dos sedimentos do rio Xingu, que apresentam variabilidade, porém com o claro predomínio de sedimentos finos (silte) em detrimento de grosseiros. Devido à quantidade reduzida de amostras e pouca densidade da malha amostral, não foi possível a confecção da carta de distribuição granulométrica para o rio Amazonas, porém a amostragem no rio Xingu permitiu a sua confecção.

A carta granulométrica em análise conjunta com o mapa batimétrico da área evidenciou variabilidade textural e hidrodinâmica ao longo dos sedimentos rio Xingu, variando de montante à jusante, de um grande grupo de amostras extremamente homogêneas compostas basicamente por silte fino e silte médio até amostras arenosas com grande variabilidade textural (areia fina, areia muito fina, areia média, areia grossa) (Figura 42).

O primeiro grande grupo de amostras está localizado em porções mais à montante da área de estudo, compreendendo amostras próximas ao tabuleiro do Embaubal, até o início do canal largo e único com morfologia sugestiva de afogamento, descrito como "ria" do rio Xingu. Segundo Minelli (2013), a deposição dos sedimentos nessa região é fortemente influenciada pelo regime de marés devido à proximidade com a foz e as baixas cotas topográficas, priorizando a deposição de sedimentos finos. Apresenta depósitos de escarpas e escorregamentos nas margens e grande homogeneidade granulométrica nos canais e barras do interior do rio. (Figura 42)

O segundo grupo abrange a porção inicial do canal descrito como ria do rio Xingu e a região de confluência do rio Amazonas e Xingu, essa região apresenta maior variabilidade textural, principalmente dentro da classe areia, que sugere condições hidrodinâmicas mais acentuadas, típicas de região de confluência (Figura 42). Segundo Vital & Stattegger (2000), esse setor é composto por um canal em forma de U, composto por um corredor de areia, margeado por sedimentos siltosos, que formam as duas unidades sísmicas registradas, que podem gradar para areia média/grossa, provavelmente relacionados à erosão da Formação Alter do Chão das adjacências.

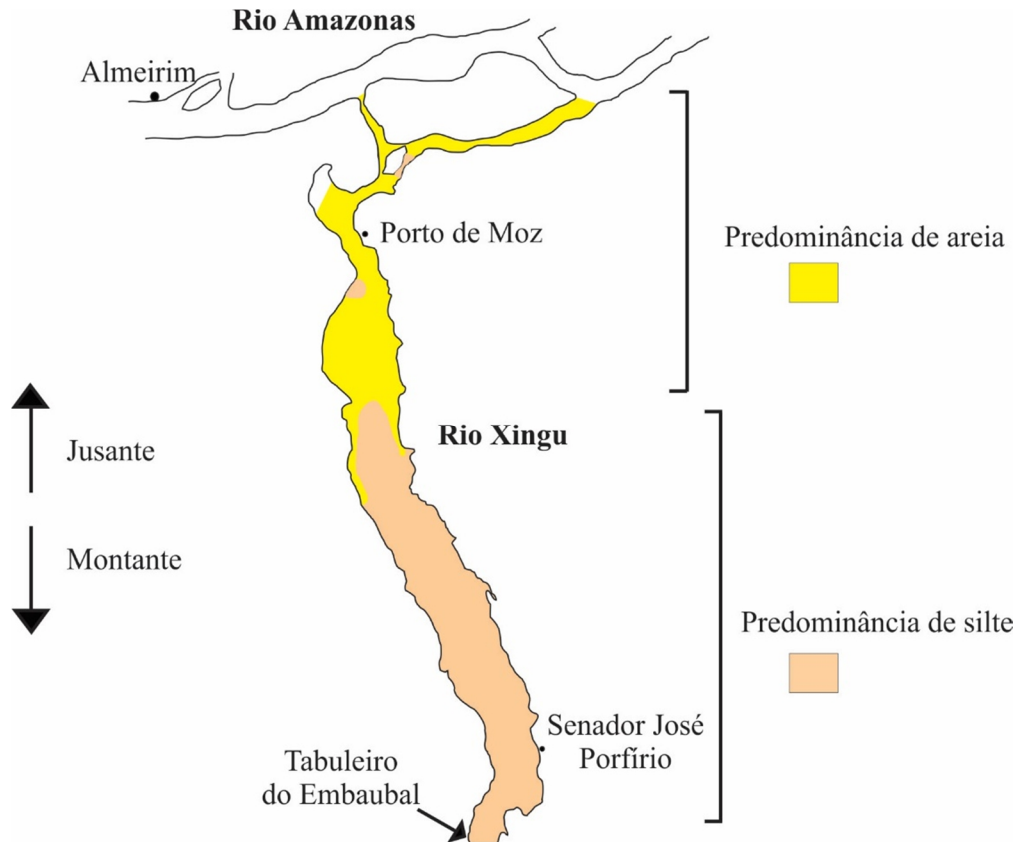


Figura 42- Representação esquemática das granulometrias predominantes ao longo do rio Xingu

A análise dos diagramas de dispersão correlacionando média, assimetria e seleção também apontou a tendência pela individualização de dois grandes grupos. O primeiro formado basicamente por amostras do rio Xingu (basicamente as amostras à montante), com predominância de granulometria silte, muito pobremente selecionadas e com alto grau de similaridade e a outro com amostras extremamente discrepantes entre si, constituídas por amostras do rio Amazonas e à jusante do rio Xingu, caracterizam-se pela predominância de areia, variação entre moderadamente selecionadas e pobremente selecionadas.

8.2 MINERALOGIA

As análises difratométricas para amostra total na assembleia de minerais leves do rio Xingu e rio Amazonas apresentaram características similares em termos de composição, baseadas essencialmente na associação quartzo e feldspato, além de características morfológicas homogêneas. Apesar dos mesmos minerais terem sido encontrados nas duas áreas nota-se o aparecimento mais acentuado de picos de feldspatos nos sedimentos do rio Amazonas em relação ao rio Xingu, que apresentou picos apenas em amostras localizadas na

região de confluência com o rio Amazonas e ausência nos demais difratogramas de amostras à montante rio Xingu. Tais características são coerentes com o agrupamento proposto pela análise estatística de cluster, que compartimentou em quatro grupos de amostras, conforme suas características cristalográficas e composicionais (Figura 43).

Ainda em relação aos grupos individualizados, observa-se que os grupos 1 e 2 (localizados à montante) baseiam-se essencialmente em quartzo, caulinita e anatásio e ausência de feldspatos, que denota uma assembleia mineralógica mais madura e lixiviada em comparação com os outros grupos. Já os grupos 3 e 4 (à jusante), há a presença de feldspatos, esmectita e vermiculita, indícios de imaturidade mineralógica.

Uma exceção ao *trend* geral corresponde às amostras do grupo 2, coletadas na porção média do lago de ria, próximas às margens. Especialmente estas amostras ocorrem intercaladas com as amostras do grupo 1, que reflete mais claramente a influência cratônica do rio Xingu, porém se distinguem deste grupo em um nível elevado (Figura 14), sugerindo que as margens (Formação Alter do Chão), seja por erosão direta ou pelo transporte de pequenos tributários, atua ainda como uma terceira fonte de sedimentos.

A assembleia de argilominerais do rio Xingu apresentou como principal característica um *trend* composicional em direção à foz do Amazonas (Figura 43). Devido à granulometria dos sedimentos do rio Amazonas (majoritariamente areia fina à média), não foi possível a realização de difração de raios-X na fração argila, porém sua composição é comparada com importantes trabalhos mineralógicos em sedimentos do rio Amazonas, como o de Guyot (2007) e o mais recente, de Teódulo (2017). A análise semiquantitativa demonstrou que o conteúdo de caulinita diminui em direção à foz e de modo inverso, houve um incremento na quantidade de esmectita em direção à confluência e desembocadura no rio Amazonas, já a quantidade de illita oscilou em valores aproximados para cada amostra analisada. As composições de argilominerais são similares com os resultados apresentados por Teódulo (2017).

Os padrões de distribuição de argilominerais nos principais rios Amazônicos são classificados basicamente entre aqueles com influência andina, marcados pela associação (illita + clorita), localizados principalmente nas proximidades do alto rio Amazonas, e os de influência puramente cratônica, principalmente tributários do médio e baixo rio Amazonas, influenciados por marés e marcados pelo incremento de argilominerais como esmectita e caulinita em direção à jusante (Guyot *et al.* 2007). O rio Xingu apresentou composição essencialmente caulínica em amostras localizadas à montante da região de estudo, gradando para amostras com altos teores de esmectita na foz (Figura 43).

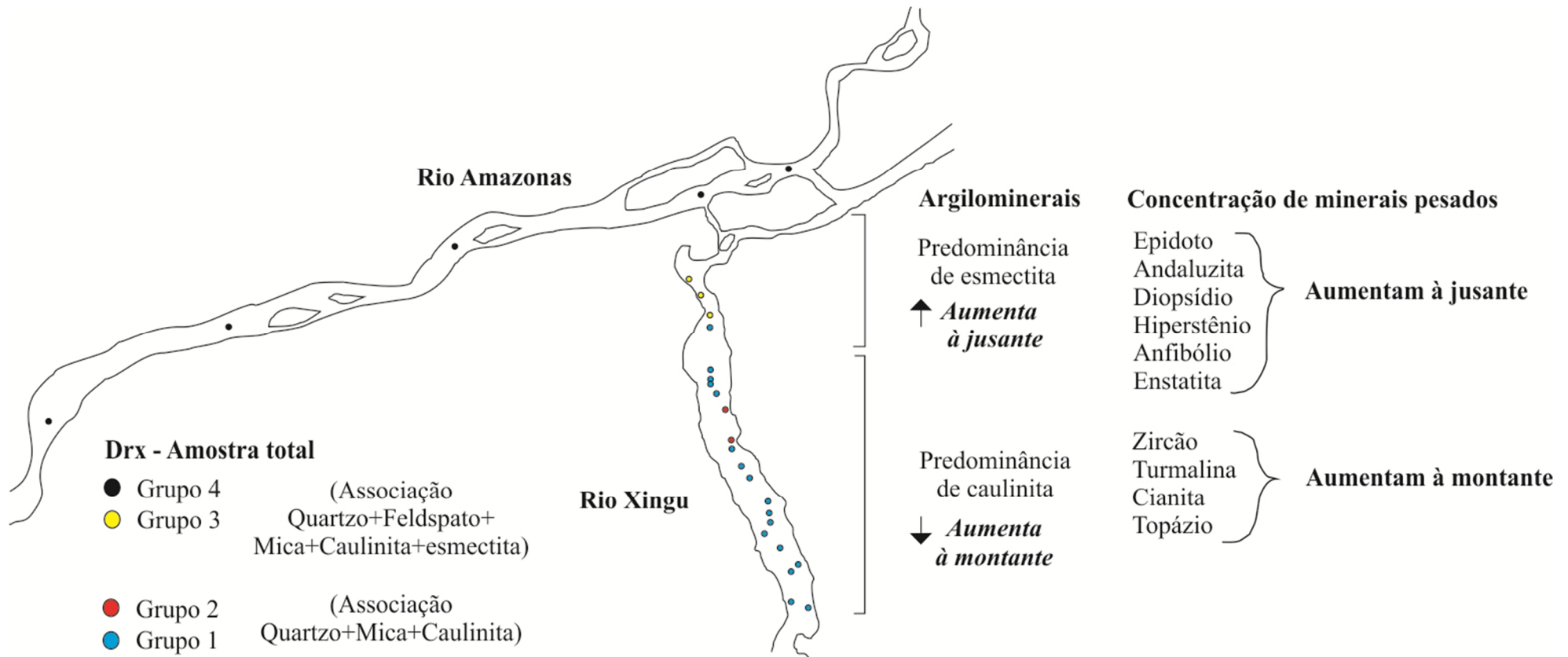


Figura 43- Representação esquemática das principais características mineralógicas (minerais leves, argilominerais e pesados) dos sedimentos do rio Xingu.

Os minerais pesados do rio Amazonas apresentaram no geral uma assembleia mais diversificada, com destaque para minerais como epidoto, anfibólio, zircão e turmalina. Devido ao número de amostras não foi possível verificar a existência de *trends* composicionais específicos, porém essa característica foi observada nas amostras do rio Xingu.

Nos sedimentos do rio Xingu, observa-se o incremento de minerais instáveis como epidoto, andaluzita, diopsídio, hiperstênio, anfibólio e enstatita em direção à região de confluência e foz com o rio Amazonas, assim como a diminuição dos conteúdos de zircão, turmalina, cianita e topázio (Figura 43).

A assembleia de minerais pesados das amostras do rio Amazonas é compatível com a descrita por Landim *et al.* (1983) e Lima (2013), que atestaram a alta contribuição de sedimentos andinos como importante componente da carga de fundo do rio Amazonas, marcados pela quantidade apreciável de minerais pesados instáveis como anfibólio, hiperstênio, diopsídio e augita, assim como epidoto, cianita e granada.

Já em relação às amostras ao longo do rio Xingu, observam-se padrões heterogêneos de distribuição de minerais pesados, gradando de montante à jusante, de uma composição baseada essencialmente de zircão, turmalina, topázio e cianita (basicamente resistatos e minerais metaestáveis) para composições mais heterogêneas, com o aparecimento de minerais instáveis, como anfibólios e piroxênios, próximo à região da confluência e foz com o rio Amazonas, marcando assim, um *trend* composicional em direção à foz, de modo semelhante ao observado na assembleia de argilominerais (Figura 43)

Os minerais pesados do rio Xingu atestam contribuições de rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, com destaque para rochas ácidas, devido ao alto conteúdo de zircão, turmalina, cianita e topázio em formas euédricas, subédricas e subarredondas, característica extremamente homogênea para as amostras à montante do rio Xingu. Sua proveniência está provavelmente relacionada à erosão de granitoides, gnaisses e granodioritos do Complexo Xingu e Formações sedimentares da Bacia do Amazonas, unidades mais extensamente distribuídas pela região de estudo. Já as amostras do rio Amazonas, apesar das quantidades razoáveis de zircão e turmalina, apresentaram minerais instáveis e moderadamente estáveis (epidoto, hiperstênio, anfibólio) como minerais mais abundantes, classicamente atribuídas pela literatura, como provenientes da influência andina (Landim *et al.* 1983).

A coexistência equilibrada entre fases de minerais pesados maduros e imaturos é uma característica do médio e baixo curso do rio Amazonas, já que a contribuição andina é mais importante somente no terço superior do rio, correspondentes às proximidades da fronteira

entre Colômbia e Brasil e a partir desse ponto há um aumento da contribuição de sedimentos cratônicos advindos de diversos tributários do rio Amazonas, dentre eles o rio Xingu (Franzinelli & Potter 1982).

8.2.1 Análise estatística multivariada aplicada à assembleia de minerais pesados

O resultado do tratamento dos dados por PCoA demonstrou que os dois primeiros eixos explicaram 88,63% da variação total do grupo. Não houve a formação de grupos ($F=1,934$ e $p=0,164$), que não atesta significância estatística, porém houve o ordenamento em um mesmo quadrante de amostras do rio Amazonas com relativa similaridade às amostras da região de confluência do rio Xingu, fortemente influenciadas por minerais instáveis como hiperstênio, enstatita, diopsídio e andaluzita (Figura 44).

As amostras restantes, localizadas mais à montante do rio Xingu plotam em outro quadrante e são influenciadas principalmente por topázio e mais restritamente por zircão, turmalina e silimanita (Figura 44). Os resultados da PERMANOVA não puderam discriminar com segurança as amostras do rio Amazonas e Xingu, provavelmente devido ao número de amostras, porém confirmou a presença de um *trend* composicional no rio Xingu, relacionado ao aumento de minerais pesados instáveis e moderadamente instáveis em direção à sua foz no rio Amazonas.

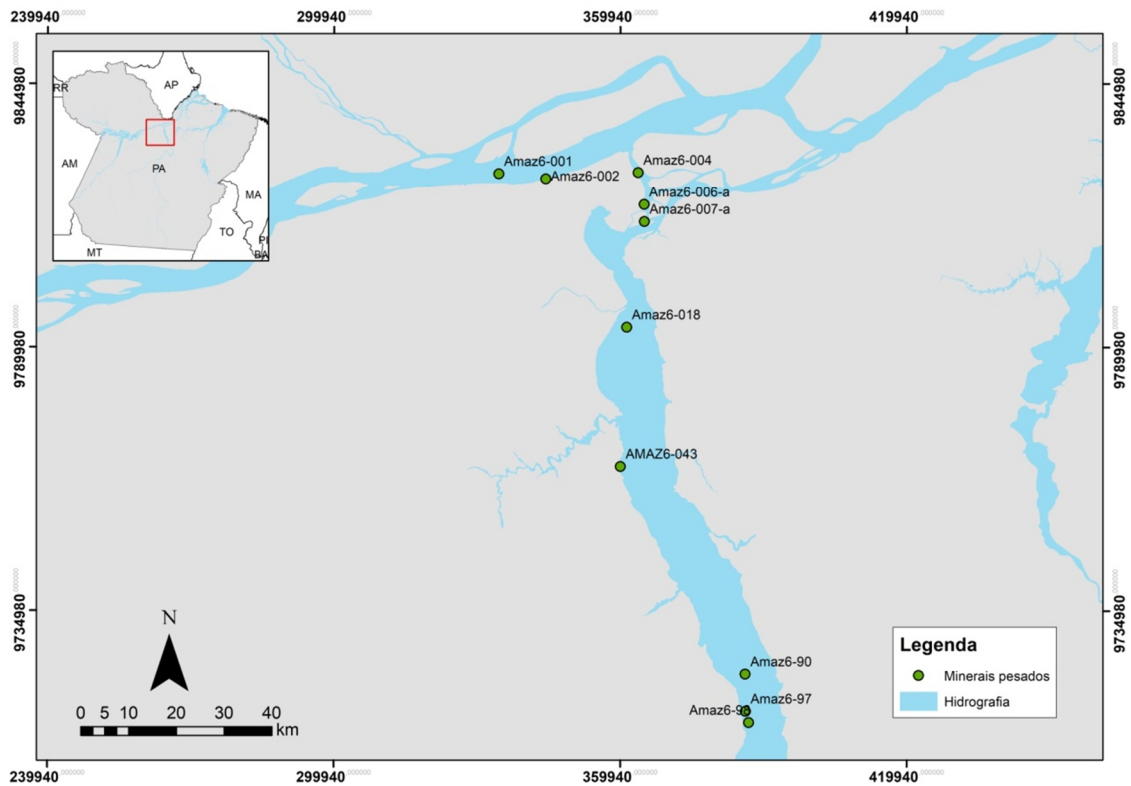
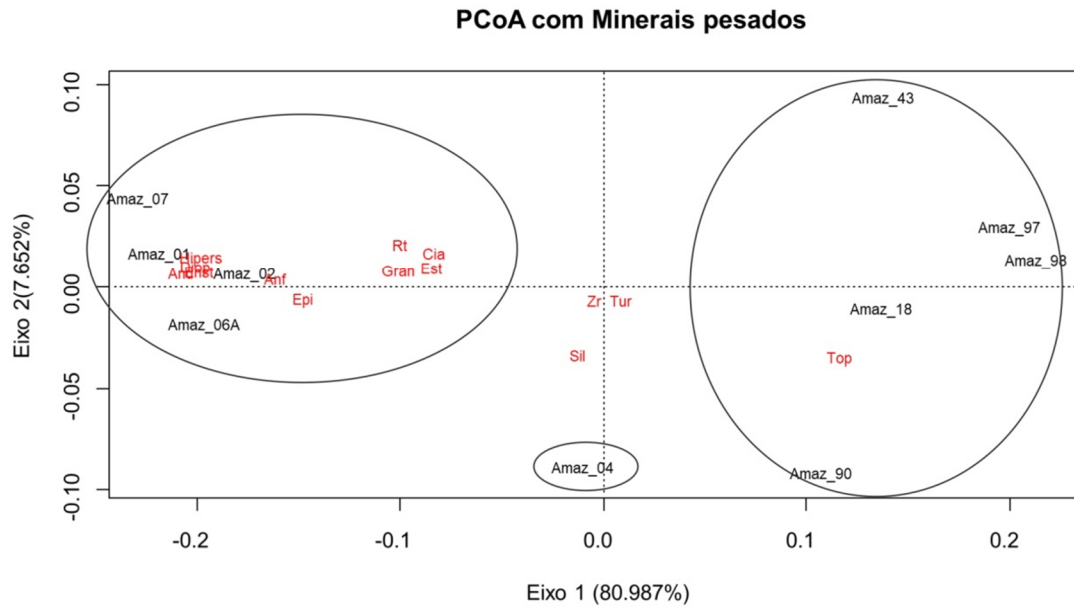


Figura 44- Análises do primeiro e segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos minerais pesados identificados nas amostras e o mapa de amostragem ilustrando os locais de coleta das amostras utilizadas.

8.3 GEOQUÍMICA

O uso de diagramas normalizados ao PAAS e CCS permitiu avaliar que os sedimentos do rio Amazonas e Xingu apresentaram de modo geral, poucas variações químicas de montante à jusante, demonstrando que há relativa homogeneidade na distribuição dos elementos maiores, traços e terras raras. Tais indícios remetem a um maior controle pela maturidade mineralógica (intensidade e/ ou extensão do intemperismo) e das composições texturais.

A proporção das concentrações dos elementos maiores em sedimentos siliciclásticos está diretamente relacionada à mobilidade de cada elemento quando submetidos ao intemperismo na rocha fonte. De modo similar, a concentração dos elementos traço relaciona-se essencialmente à natureza química da rocha, configurando, portanto, bons indicadores de proveniência (McLennan 1980). Os elementos terras raras devido ao seu caráter imóvel, curto tempo de residência e baixa solubilidade no mar, transferem suas composições na rocha fonte teoricamente nas mesmas proporções para as rochas sedimentares. Em geral a uniformidade do padrão de ETR nas rochas e sedimentos está relacionado à mistura de distintas fontes, dentre outros fatores (Taylor & McLennan 1985).

As razões entre elementos maiores como $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$ e Fe_2O_3 dos sedimentos do rio Amazonas e Xingu em comparação com a composição da CCS sugerem possíveis enriquecimento em determinadas fases minerais ao longo do processo de transporte e deposição fluvial (Figura 39). Os sedimentos do rio Amazonas apresentam alto grau de dispersão, com baixas razões, porém com *trend* mais próximo a uma composição enriquecida em quartzo, assim como algumas amostras do rio Xingu. A grande maioria dos sedimentos do rio Xingu segue um *trend* relacionado à abundância de argilominerais na composição (Figura 45).

Os sedimentos do rio Amazonas apresentam correlações negativas do SiO_2 com todos os outros elementos, tal característica é atribuída a grande variação na abundância de quartzo em sedimentos fluviais (Moosavirad *et al.* 2011). O TiO_2 exibe correlações positivas fortes com uma gama de elementos traços tais como U (0,94), Th (0,90), Y(0,95), Zr(0,84) e V(0,63) assim como todos os elementos terras raras, que reflete a associação típica de sedimentos mais grosseiros (fases arenosas), em geral presentes em minerais resistentes (zircão, anatásio e rutilo). O Al_2O_3 possui fortes correlações positivas fortes com K_2O (0,95), Rb (0,97), Sr (0,87), Ba (0,89) e moderadas com MgO (0,77), CaO (0,60) e Na_2O (0,80), que

corresponde a presença de feldspatos, muscovita e biotita, também associados à frações arenosas.

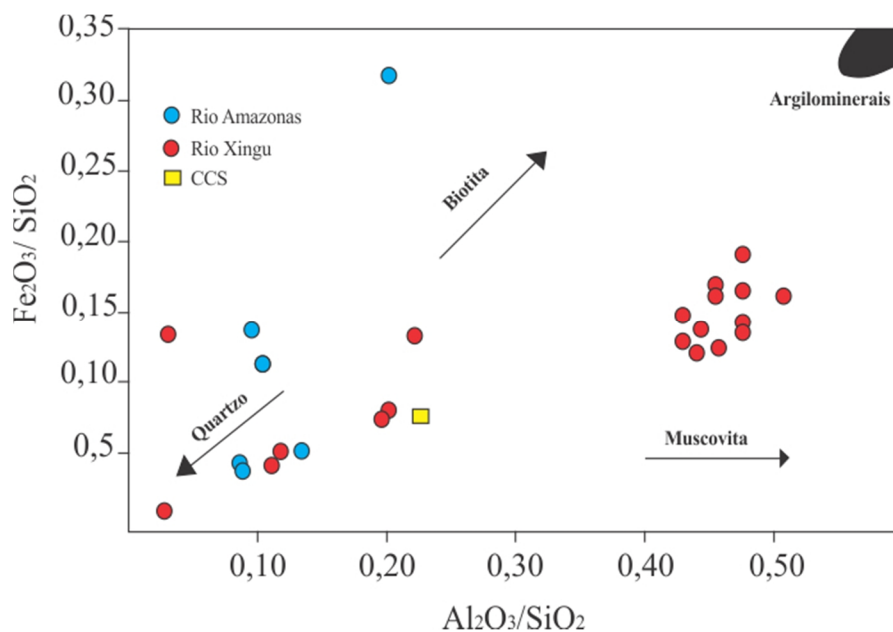


Figura 45- Diagrama de dispersão de Al_2O_3/SiO_2 versus Fe_2O_3/SiO_2 indicando as possíveis fases minerais enriquecidas durante os processos de transporte e deposição fluvial dos sedimentos estudados.

A presença de correlações positivas fortes entre Zr e Hf com a maioria dos elementos terras raras, sugere que a concentração desses elementos esteja associada fortemente com a presença de zircão. Os sedimentos do rio Xingu de modo análogo aos sedimentos do rio Amazonas, apresenta o SiO_2 com fortes correlações negativas com todos os elementos. O TiO_2 indica fortes correlações positivas com Al_2O_3 (0,68), P_2O_5 (0,53), U(0,65) e Y (0,77). O Al_2O_3 aponta fortes correlações positivas com P_2O_5 (0,90) e a maioria dos elementos terras, denotando que a matéria orgânica e elementos terras raras estão associados aos argilominerais. Os elementos U, Th e Y registram correlações baixas e negativas com Zr (-0,22; -0,27; -0,09), Hf (0,005; -0,25; -0,07), e V (0,36; 0,26; 0,60) respectivamente, porém fortes com todos os elementos terras raras.

O Zr, Hf apresentam valores de correlações negativas com os ETR, de modo inverso ao ocorrido nos sedimentos do rio Amazonas, reforçando a importância dos argilominerais na composição química total dos sedimentos do rio Xingu.

Quando analisados os padrões de distribuições dos elementos maiores nas diversas frações granulométricas, observa-se que nas amostras do rio Amazonas o Al_2O_3 apresenta um *trend* com os aumentos dos teores e diminuição da granulometria, assim como o K_2O (Figura 40). Os outros elementos maiores não exibem nenhuma tendência, apresentando grande dispersão nas diferentes frações granulométricas. De acordo com os diagramas, a maior parte

dos elementos maiores se concentra restritamente nas faixas correspondentes as frações areia fina e areia muito fina (2-4 φ).

Os sedimentos do rio Xingu apresentam de modo análogo ao rio Amazonas, o aumento do Al_2O_3 com a diminuição da granulometria. Óxidos como P_2O_5 e MnO também aumentam suas abundâncias conforme a diminuição da granulometria. Na maioria dos diagramas de dispersão há sempre a coexistência de um grupo claramente individualizado de amostras extremamente homogêneas (tanto em relação à composição quanto à granulometria) e outro sem nenhuma tendência, com altos valores de dispersão e aparentemente independentes da granulometria (Figura 46).

A elevada concentração de Al_2O_3 , K_2O e TiO_2 nas frações finas, sugerem a associação de argilominerais com óxidos de ferro. De acordo com os diagramas, a maior parte dos elementos maiores se concentra nas faixas correspondentes as frações silte fino e silte muito fino (6-7 φ).

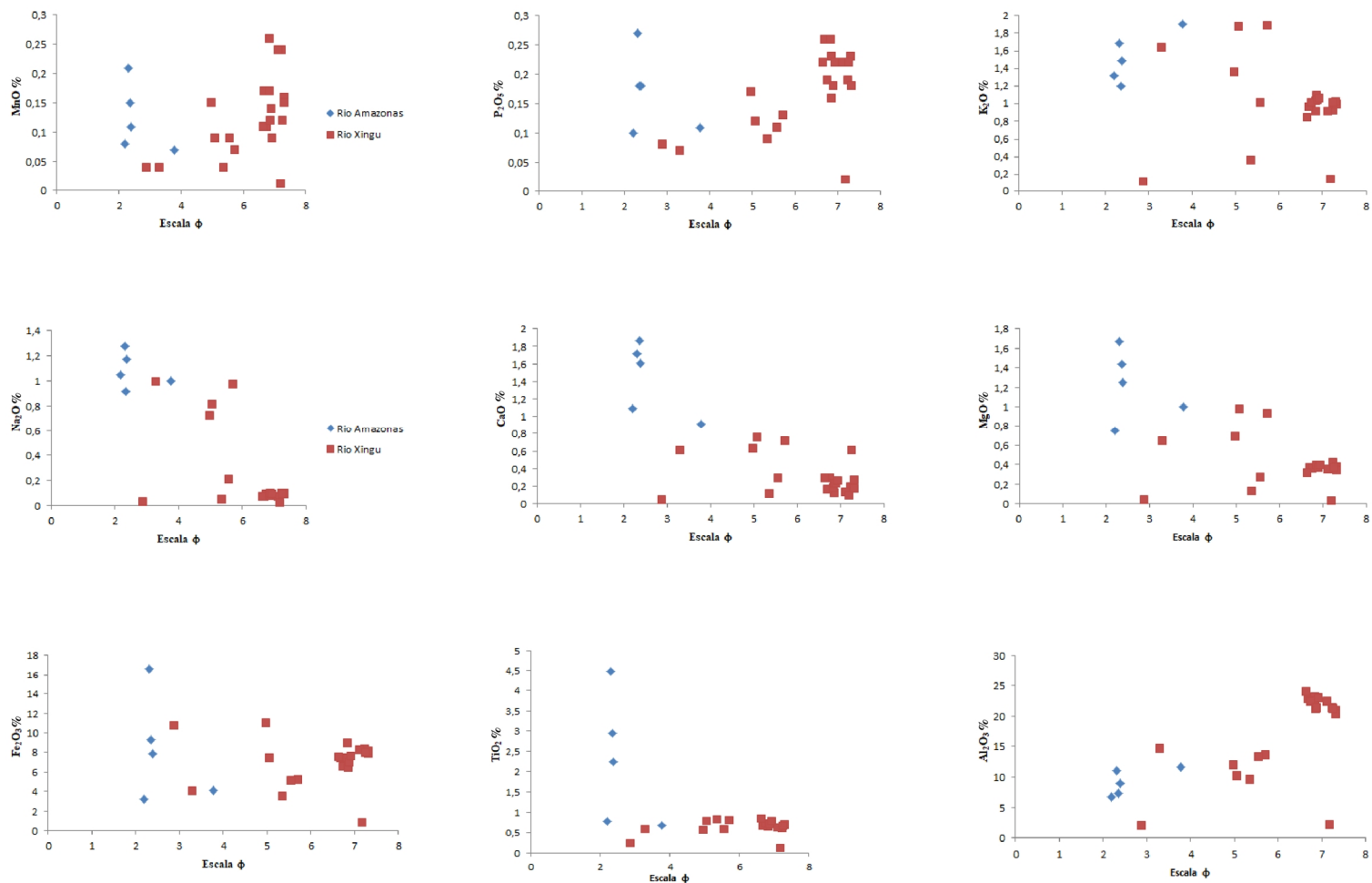


Figura 46-Diagramas de dispersão dos elementos maiores versus diâmetro médio dos grãos nos sedimentos de fundo do rio Amazonas e Xingu.

8.3.1 Considerações sobre o intemperismo e composição da área fonte

O paleointemperismo na área fonte é um importante processo responsável pela alteração mineralógica dos sedimentos. Dentre os diversos parâmetros utilizados, o índice químico de alteração (CIA) configura-se como um método eficaz para indicar o nível de intemperismo e inferir informações paleoambientais (Nesbitt & Young, 1982). Elevados valores do índice revelam a extensão da influência do intemperismo na composição da área fonte, que reflete a remoção dos principais cátions móveis (Na^+ , Ca^{2+} , K^+), em relação à concentração de cátions residuais a exemplo de Al^{3+} , Ti^{4+} .

A composição das amostras é plotada em um diagrama ternário A-CN-K, com os vértices compostos por A = Al_2O_3 , CN= ($\text{CaO}^* + \text{Na}_2\text{O}$) e K= (K_2O). O CaO representa apenas a fração silicática, corroborado por baixas concentrações de CaO e ausência de carbonato nos difratogramas, que permitiu interpretar que todo CaO^* é igual a CaO. A avaliação da influência do intemperismo baseia-se na verificação dos possíveis *trends* intempéricos presentes nos sedimentos, relacionados a três estágios principais de alteração da crosta continental superior, e seus respectivos produtos, conforme a tabela (14) abaixo.

Tabela 14 - Estágios de alteração de rochas da crosta continental superior e seus produtos principais.

Estágios	Principais fases minerais
Estágio inicial	Fases amorfas, clorita, ilita, esmectita, vermiculita
Estágio intermediário	Esmectita e ilita (em menor proporção)
Estágio Tardio	Caulinita, gibbsita, quartzo e óxidos de ferro.

De acordo com o diagrama, grande parte das amostras do rio Amazonas mostram um *trend* linear paralelo a A-CN, com valores de CIA entre 65 e 75, típicos de sedimentos expostos a condições intempéricas intermediárias à extremas. Os valores de CIA desse rio são inferiores às registradas pela CCS, indicando a progressiva degradação dos feldspatos e formação de argilominerais como esmectita e ilita. Os sedimentos do rio Xingu possuem um *trend* paralelo a A-K, e altos valores de CIA (entre 75 e 95) que sugere condições extremas de intemperismo de clima tropical. Suas composições são basicamente compostas por caulinita, quartzo e óxidos de ferro (Figura 47).

Este padrão é observado para valores de CIA de sedimentos de fundo de rios como Tapajós, Pará, que drenam áreas essencialmente cratônicas (Vital & Stattegger (2000), Teóculo 2017).

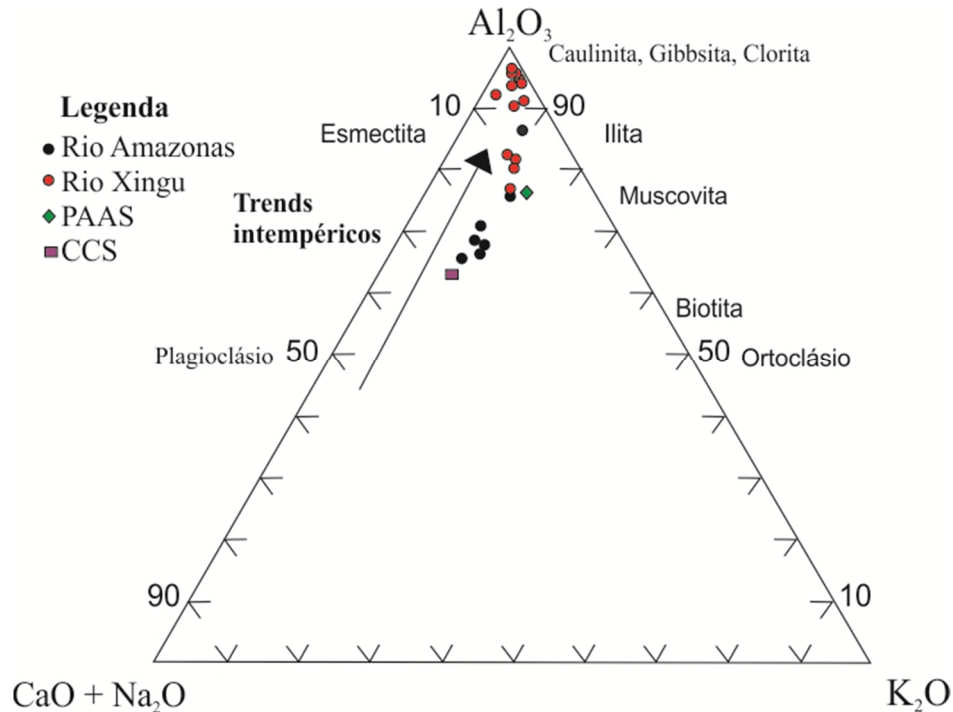


Figura 47- Diagrama AC-N-K com valores de CIA para os sedimentos do rio Amazonas e Xingu, ilustrando os trends intempéricos para cada conjunto de amostra e sua comparação com o valor do PAAS e CCS.

Os valores de CIA demonstram que a intensidade do intemperismo nos sedimentos do rio Xingu é mais acentuada do que nos sedimentos do rio Amazonas, que é corroborado por dados de difração de raios -X, que apontam uma composição baseada em quartzo e caulinita e subordinadamente ilita e esmectita em quantidades traços, além da assembleia de minerais pesados, caracterizada pela abundância de minerais ultraestáveis como zircão, turmalina, cianita e topázio.

Já o rio Amazonas apresenta condições de intemperismo intermediária à alta, com valores abaixo do CCS, que demonstra baixo fracionamento, corroborado por argilominerais como esmectita, caulinita e vermiculita, assim como minerais pesados instáveis como anfibólio, hiperstênio, diopsídio e moderadamente estáveis como o epidoto.

8.3.2 Análise estatística multivariada aplicada à composição química

Os dados de abundâncias dos elementos maiores, traços e terras raras foram tratados pela análise de coordenadas principais (PCoA) de modo similar ao que foi realizado com os

dados de minerais pesados. Também foi aplicado o teste de significância PERMANOVA (análise multivariada permutacional de variância).

Em relação aos elementos maiores, o resultado do tratamento dos dados por PCoA demonstrou que os dois primeiros eixos explicaram 82,51% da variação total do grupo. Houve a formação de grupos ($F= 9,301$ e $p= 0,01$) com significância estatística, assim como a formação de grupos em um mesmo quadrante de amostras do rio Amazonas e da região de confluência do rio Xingu, fortemente influenciadas por K_2O , MgO , CaO e Na_2O (Figura 48). Esta influência está provavelmente relacionada à presença de feldspatos e minerais máficos, confirmados pela análise mineralógica. Os outros dois grupos são compostos exclusivamente por amostras do rio Xingu coletadas mais à montante da área de estudo. O segundo grupo é composto por amostras extremamente similares, com íntima associação com Al_2O_3 , MnO , P_2O_5 , Fe_2O_3 que reflete a composição baseada em caulinita, óxidos e hidróxidos de ferro e matéria orgânica.

O terceiro grupo é composto por amostras extremamente discrepantes entre si e em relação a todos os outros grupos, marcados por SiO_2 e TiO_2 , provavelmente relacionados à abundância de quartzo e resistatos. Estas amostras são justamente localizadas próximas às margens e refletiriam a contribuição da Formação Alter do Chão como uma fonte adicional.

Em relação aos elementos traço, o resultado do tratamento dos dados por PCoA demonstrou que os dois primeiros eixos explicaram 94,01% da variação total do grupo. Houve a formação de grupos ($F= 14,71$ e $p= 0,01$) com significância estatística. O primeiro ordenou a maioria das amostras do rio Xingu e algumas do rio Amazonas fortemente influenciada por Rb , Ba e Sr . O segundo grupo é formado por grande parte das amostras do rio Amazonas coordenados por Hf , Zr , Y , U , Th e V , refletindo composição tipicamente arenosa. O terceiro grupo reuniu amostras isoladas do rio Xingu discrepantes em relação a todos os outros grupos (Figura 49).

O resultado do tratamento dos dados por PCoA para os elementos terras raras atestou que os dois primeiros eixos explicaram 98,72% da variação total do grupo. Houve a formação de grupos ($F= 8,39$ e $p= 0,003$), com significância estatística. De modo geral, houve apenas a separação entre amostras do Xingu e Amazonas. A maioria das amostras do rio Xingu são extremamente similares individualizando um grupo distinto em relação às amostras do rio Amazonas (Figura 50).

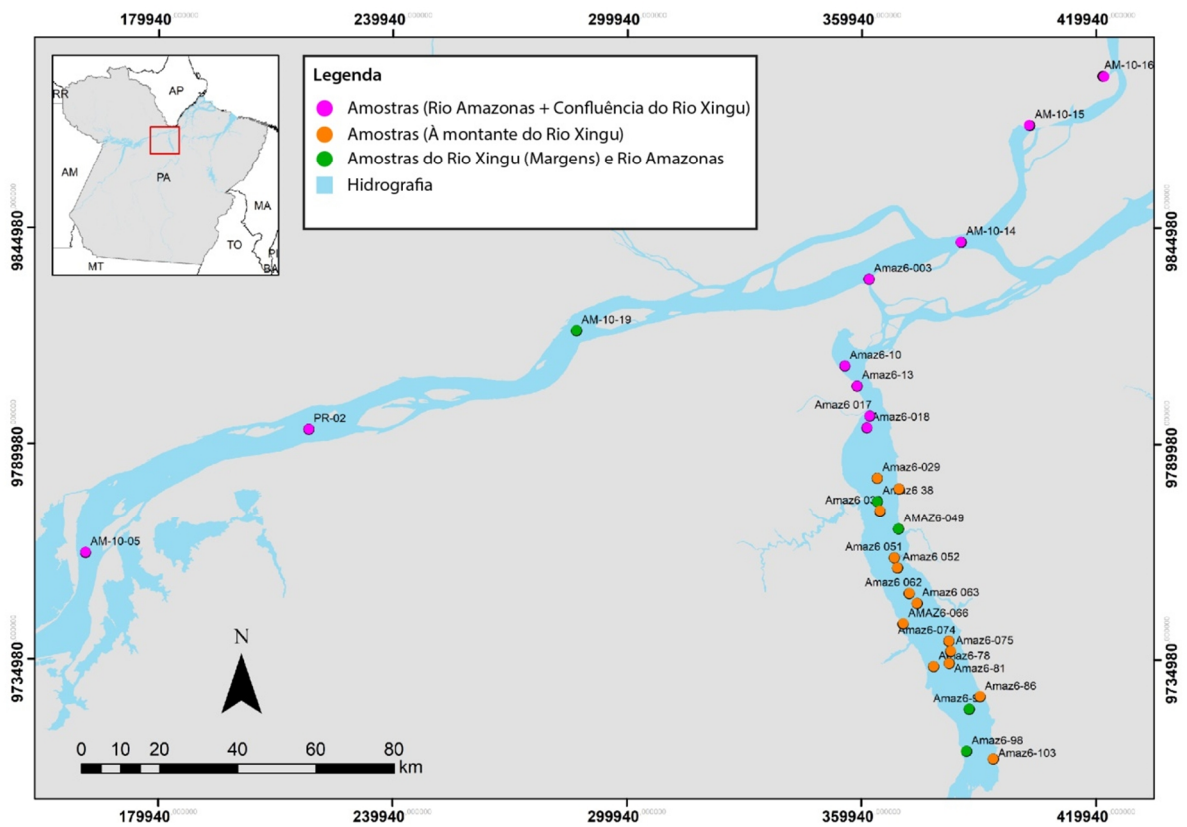
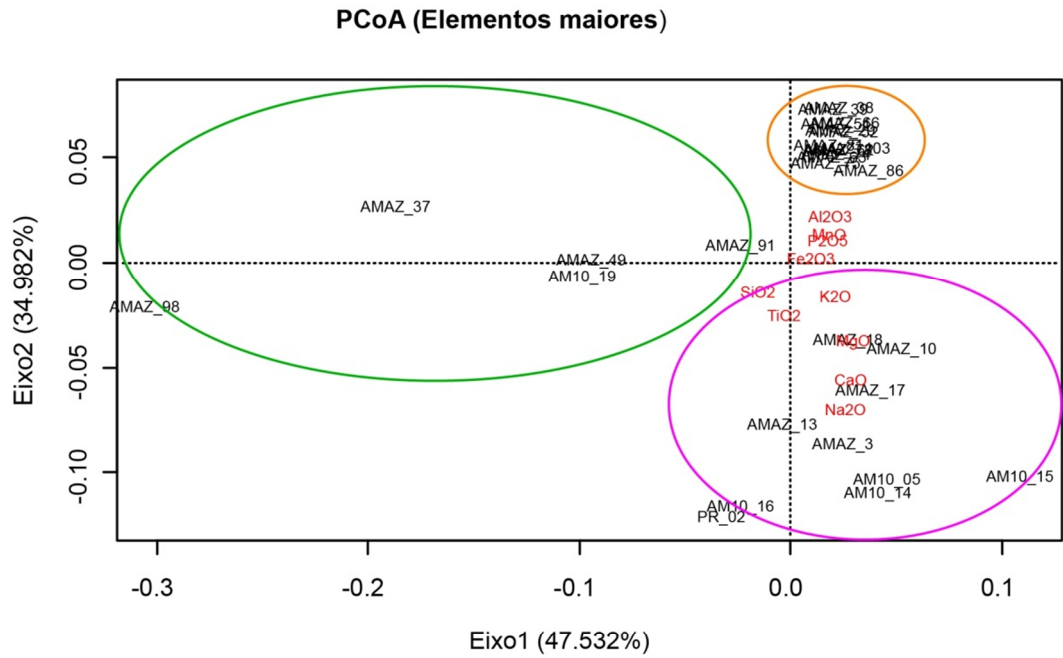


Figura 48 - Análises do primeiro e do segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos elementos maiores dos sedimentos do rio Xingu e Amazonas e seus respectivos locais de coleta.

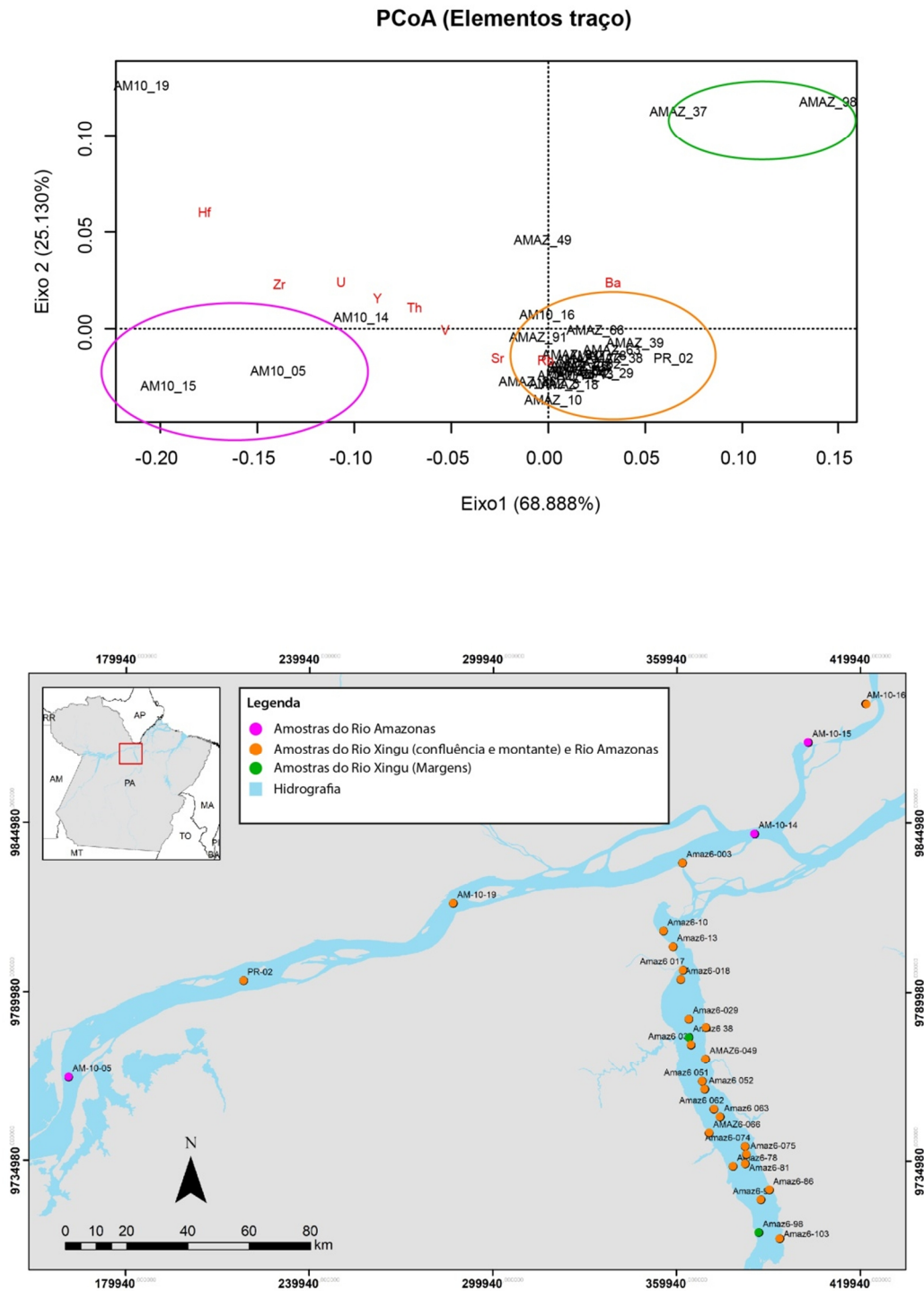


Figura 49- Análises do primeiro e do segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos elementos traço dos sedimentos do rio Xingu e Amazonas e seus respectivos locais de coleta.

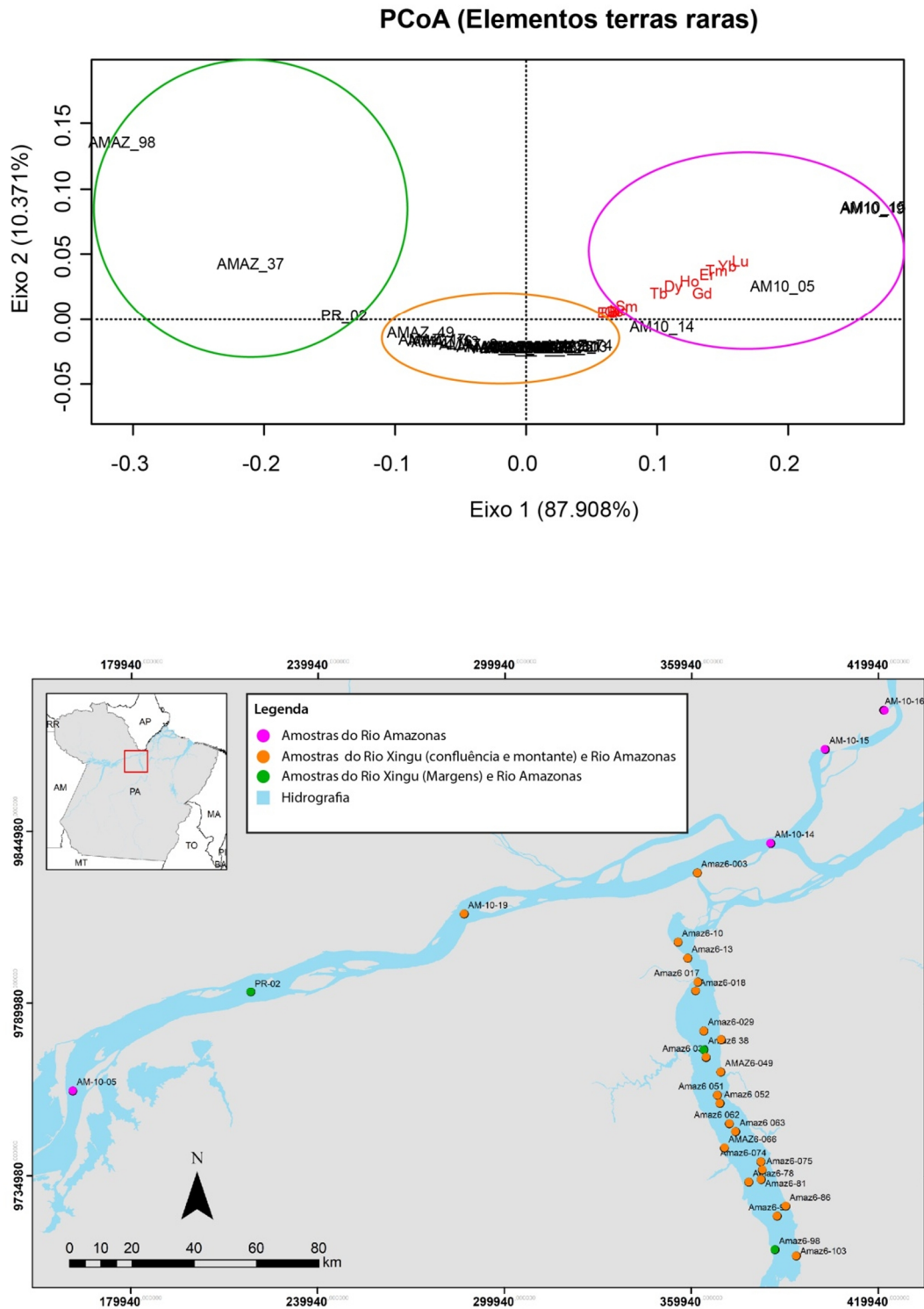


Figura 50- Análises do primeiro e do segundo eixos de coordenadas principais aplicados aos elementos terras raras dos sedimentos do rio Xingu e Amazonas e seus respectivos locais de coleta.

8.4 RELAÇÃO GRANULOMETRIA-MINERALOGIA-GEOQUÍMICA

De acordo com os dados de granulometria, mineralogia e geoquímica discutidos percebeu-se que há um contraste marcante entre as composições dos sedimentos de fundo do rio Amazonas e Xingu. Devido à extensa malha amostral do rio Xingu foi confeccionada a sua carta de distribuição granulométrica, que inicialmente demonstrou grande variabilidade textural e hidrodinâmica, sugerindo de acordo com a configuração da carta, dois grandes zoneamentos: A primeira zona corresponde à região da confluência, com limites entre a foz no rio Amazonas e início do canal largo e afogado, denominado 'ria' do rio Xingu, com predominância de sedimentos grossos, de maneira análoga aos sedimentos do rio Amazonas.

A outra zona compreende a totalidade da 'ria' do rio Xingu e início do tabuleiro do Embaubal, com predomínio de sedimentos finos, extremamente homogêneos. Tal configuração é essencialmente condicionada pela hidrodinâmica, morfologia e dinâmica sedimentar do rio Xingu, em especial na região de confluência com o rio Amazonas, que registraram amostras com a maior variabilidade granulométrica dentre todas analisadas, onde a complexa combinação de processos erosivos e deposicionais, fluxos do Xingu e ação da maré se contrapõem à tendência de construção de diques marginais e planícies de inundação do rio Amazonas.

Essa característica é observada nos poucos estudos que envolvem interações nas confluências de rios Amazônicos, especialmente na região de confluência do rio Xingu onde o nível de água é controlado pela descarga do rio Amazonas, efeitos de marés e períodos de inundação (Irion 1984, Medeiros Filho *et al.* 2016, Vital & Stattegger 2000).

O padrão de zoneamento observado na análise granulométrica também é perceptível nas análises mineralógicas e geoquímicas realizadas, corroborado por tratamentos estatísticos multivariados (cluster, PCoA) que confirmaram a formação de grupos e sempre individualizam claramente as amostras do rio Amazonas e do rio Xingu. Mais além, as análises demonstraram de maneira inédita a existência de uma terceira fonte efetiva de sedimentos, oriundos das margens da ria. Grande parte das análises exibiram também semelhanças granulométricas, mineralógicas e geoquímicas entre os sedimentos do rio Amazonas e amostras localizadas na região de confluência entre os dois rios. Com base nos resultados, foi evidenciado que a influência do rio Amazonas se faz presente até pelo menos a região de confluência do rio Xingu, necessitando estudos mais aprofundados que delimitem com maior precisão a extensão, característica já apontada por estudos como o de Vital & Stattegger (2000) e Teódulo (2017).

9 CONCLUSÃO

Os sedimentos do rio Amazonas e Xingu compreendem areias, areias siltosas, siltes e argilas. A distribuição do diâmetro médio dos grãos nos dois rios é variável, porém com a fração areia de modo predominante nos sedimentos do rio Amazonas e região de confluência com o rio Xingu e a fração silte nas amostras situadas à montante do rio Xingu. Essa característica está ligada puramente à hidrodinâmica variante associada à deposição de sedimentos inconsolidados de canais ativos, transportados por fluxo turbulento.

Mineralogicamente são compostos por quartzo, mica, feldspatos, argilominerais e minerais pesados opacos e transparentes. Os argilominerais são compostos por esmectita, caulinita, illita e traços de vermiculita. Em relação ao rio Xingu, a presença de um *trend* composicional atestou a presença de amostras na região de confluência com quantidades apreciáveis de esmectita, illita e minerais pesados instáveis (hiperstênio, diopsídio, anfibólio) e sucessivo incremento de caulinita em associação com minerais ultraestáveis (zircão e turmalina) em amostras coletadas à montante. Tais dados apontam a maturidade mineralógica para a maioria das amostras do rio Xingu localizadas à montante e relativa imaturidade para as amostras da região da confluência, com esta última característica similar à encontrada em amostras do rio Amazonas (Guyot 2007, Teódulo 2017). Em adição, os índices de alteração química (CIA) confirmam condições de intemperismo diferentes para os sedimentos dos dois rios.

Quimicamente, os sedimentos do rio Amazonas e Xingu são distinguíveis na maioria dos parâmetros utilizados, principalmente em relação às correlações entre elementos, que confirma associações presentes em fases arenosas para os sedimentos do rio Amazonas (Correlações fortes entre TiO_2 e U, Th, Y, Zr e ETR, assim como Zr e Hf com os ETR) e o controle geoquímico dos argilominerais para as amostras do rio Xingu (correlações fortes entre Al_2O_3 e P_2O_5 e ETR). O tratamento estatístico por PCoA nos elementos maiores, traços e terras raras corroborado pelo teste de significância confirmou a diferença entre os sedimentos do rio Xingu e Amazonas e complementou dados granulométricos, mineralógicos que apontaram a similaridade entre os sedimentos do rio Amazonas e os da confluência do rio Xingu e Amazonas.

Adicionalmente, a combinação de técnicas empregadas neste estudo permitiu distinguir um terceiro grupo de amostras independente do *trend* Amazonas/Xingu, revelando

que as margens (afloramentos da Formação Alter do Chão) possivelmente atuam também como fonte diretas de sedimentos.

De acordo com os dados apresentados no decorrer deste trabalho, conclui-se, portanto, que as variações na distribuição dos minerais e elementos químicos entre os sedimentos do rio Amazonas e Xingu estão relacionadas principalmente a diferença no tamanho dos grãos, causada por seleção hidráulica durante o transporte, que reflete mudanças nos parâmetros hidrodinâmicos do ambiente deposicional de cada unidade. No entanto, a força da maré é o que impele os sedimentos do rio Amazonas para dentro da ria do Xingu. As variações entre os grupos também refletem a atuação diferenciada do intemperismo químico, e a influência de áreas-fonte de composição distinta, misturadas em diversas proporções.

REFERÊNCIAS

- Ab'Saber A. 2003. Amazônia brasileira: um macrodomínio. *In: Filho P.M (Ed). Os domínios da natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas.* São Paulo, Ateliê Editorial, p. 35-51.
- Abinader H.D. 2008. *Depósitos cenozoicos da porção oeste da Bacia do Amazonas.* Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2008. 1CD-ROM.
- Almeida F.F.M., Neves B.B.B., Carneiro C.D.R. 2000. The origin and evolution of the South american platform. *Earth sciences review*, Chicago, **50**(2): 70-111. 1 CD-ROM.
- Allègre C.J., Dupré B., Negrel P., Gaillardet J. 1996. Sr–Nd–Pb isotope systematics in Amazon and Congo River systems: constraints about erosion processes. *Chemical Geology* **131**(3): 93– 112.
- Alves M.I. 1999. Análise dimensional de sedimentos fluviais: Formação de Alvarões e depósitos de terraços da bacia do rio lima (NW de Portugal). *Revista Estudos do Quaternário*, Lisboa, **19**(2): 65-72. 1 CD-ROM.
- Anderson M.J.2006. A new method for non-parametric multivariate analysis of variance. *Austral ecology*, Sidney, **26**(1): 32-46
- Archer A.W. 2005. Review of Amazonian depositional systems. *Spec Publ Int Assoc Sediment.* **35**(3):17–39. 1 CD-ROM.
- Bastos T.X. & Pacheco N.A. 2005. Frequência de chuva no estado do Pará no plano microrregional. *In: Rodrigues R.A (Edt.). Boletim de pesquisa e desenvolvimento.* Belém, PA, Embrapa Amazônia Oriental, 1 CD-ROM.
- Batista A.J.F. 2013. *Construção de mapas de distribuição granulométrica e batimetria do canal do Quiriri, Baía do Marajó e Rio Pará-PA.* TCC, Graduação, Faculdade de Oceanografia. Universidade Federal do Pará, Belém, 2013.1CD-ROM.
- Brandão V.S. 2015. *Geoquímica de áreas fontes e sedimentos em suspensão na bacia hidrográfica do rio Piabanha- RJ.* TCC, Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2015. 1CD-ROM.
- Cascalho J. & Reis J. 2014. Os minerais pesados e a proveniência sedimentar: Estudos de casos do sudoeste da Península Ibérica. *In: Diniz P., Gomes A., Rodrigues S.M. (Edt.). Proveniência de materiais geológicos: abordagens sobre o quaternário de Portugal.* Portugal: APEQ, Cap 4. p. 35-53
- Chacón N. 2005. Geomorfologia. *In: Palacios O.M, Sánchez A.F, Herrera F.R. (Ed). Geologia Del Peru.* Lima, Firmat. S.A. p.7-14.
- Costa M.L. 1991. Aspectos geológicos dos lateritos da Amazônia. *Revista Brasileira de Geociências*, São Paulo. **21**(2): 146-160

Costa J.B.S., Bemerguy R.L., Hasui H, Borges M.S., Fuck C.R.P., Bezerra P.E.L., Costa M.L., Fernandes J.M.G. 1996. Neotectônica da região Amazônica: aspectos tectônicos, geomorfológicos e posicionais. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, **4** (2): 23-44

Cuádras C.M. (ed).2018. *Nuévos métodos de análisis multivariante*. Barcelona. CMC editions. 307 p.

Cunha F.M.B.; Gonzaga F.G.; Coutinho L.F.C.; Feijó F. J. 1994. Bacia do Amazonas, *Boletim de Geociências da Petrobras*, Brasília,DF, **8**(1): 47-55.

Daemon R.F. 1975. Contribuição à datação da Formação Alter do Chão, bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, **5**(1): 58-84.

Dall'Agnol R., Costi H.T., Leite A.A., Magalhães M.S., Teixeira N.P. 1999. Rapakivi granites from Brazil and adjacent areas. *Precambrian Research*, **95**(1): 9-39. 1 CD-ROM

Dias J.M.A. 2004. *A análise sedimentar e o conhecimento dos sistemas marinhos*. Faro, Universidade do Algarve. Disponível em: http://w3.ualg.pt/~jdiad/JAD/ebooks/Sedim/SedimA_AT.pdf>. Acesso em: 11/09/2017.

Dickinson W. R. 1985. Interpreting provenance relations from detrital modes of sandstones. *In: Zuffa. G.G (Ed). Provenance of arenites*. Dordecht, D.Reidel publisher Co. 1 CR-ROM

Diniz P. & Castilho A. 2014. Assinatura granulométrica como indicador da proveniência: potencialidades e limitações. *In: Diniz P., Gomes A., Rodrigues S.M. (edt.). Proveniência de materiais geológicos: Abordagens sobre o Quaternário de Portugal*. Portugal, APEQ, 1 CD-ROM.

Dino R., Silva O.B., Abrahão D. 1999. Palynological and stratigraphic characterization of the Cretaceous strata from the Alter do Chão Formation, Amazonas basin. *In: UNESP, 5º Simpósio sobre o Cretáceo do Brasil and Simpósio sobre el Cretácico de América del Sur*, São Paulo. *Anais...*, p. 557-565.

Fedo C. M., Nesbitt, H. W., Young, G. M. 1995. Unravelling the effects of potassium metasomatism in sedimentary rocks and paleosoils, with implications for paleoweathering conditions and provenance. *Journal of Geology*, **23**(1): 921 - 924.

Ferreira M.P. 2013. *Geocronologia e Proveniência dos sedimentos holocênicos da confluência dos rios Negro e Solimões-AM*. Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 1CD-ROM.

Filizola N. (Ed). 1999 *O Fluxo de sedimentos em suspensão nos rios da Bacia Amazônica Brasileira*. Brasília,DF, Publ. Aneel, 63 p.

Folk R. L (Ed). 1974. *Petrology of sedimentary rocks*. Texas, Hemphill. 182p.

Franzinelli E. & Potter P.E.1982. Caracterização Petrográfica e Textural de Sedimentos Arenosos Recentes dos Rios da Bacia Amazônica. *In: SBG, 1º Simpósio de Geologia da Amazônia*, Belém. *Anais...* v. 1, p. 89-99.

Freitas P. T., Asp N. E., Nittrouer C. A., Ogston A. S., Da Silva M. S. 2017. Tidal influence on the hydrodynamics and sediment entrapment in a major Amazon River tributary--Lower Tapajós River. *Journal of South American Earth Sciences*, **79**(1):189-201, 1 CD-ROM.

Galehouse J.S. 1971. Point counting. In: Caver R.E. (Ed.) *Procedures in sedimentary petrology*, New York , p. 385-407.

Gatto L.C.S., Lima M. I. C. de, Silva G. B., Bezerra P. E.L. 2010. O mapeamento geomorfológico. In: Venturieri A., Monteiro M de A., Menezes C.R.C. (edt.). *Zoneamento ecológico-econômico da Zona Oeste do Estado do Pará*. Belém, PA: Embrapa Amazônia Oriental, cap 7

Gibbs R.J. 1967. Geochemistry of the Amazon river system, parte I. The factor that control the salinity and composition and concentration of the suspended solids. *Geological Society of America Bulletin*, **78**(1):1203-1232, 1-CD-ROM.

Gomes C. F (Ed). 1988. *Argilas. O que são e para que servem*. Lisboa, Fundação Calouste Gulbenkian, 457 p.

Gutierrez M. T. 2009. *Diferenças entre resultados provenientes de diferentes métodos de análise granulométrica: precisão*. TCC, Graduação, Faculdade de Oceanografia. Universidade Federal do Paraná, Paraná, 2009.1CD-ROM.

Guyot J.L., Jouanneau J. M., Soares L., Boaventura G. R.,Maillet N., Lagane C. 2007. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. *Catena*, **71**(1): 340-356, 1 CD-ROM.

Horbe A.M.C., Vieira L.C., Nogueira A.C.R. 2006. Geoquímica de camadas vermelhas bioturbadas da Formação Alter do Chão, Cretáceo da bacia do Amazonas. *Revista Brasileira de Geociências*, **36**(1): 13-20, 1 CD-ROM.

Hubert J.F.1962. A Zircon-tourmaline-rutile index in the interdependence of the composition of heavy minerals assemblages with the gross composition and textures of sandstones. *Journal of sedimentar petrology*, Missouri **32**(3): 440-450. 1 CD-ROM

Irion G. 1984. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since the Pliocene times. In: Sioli H. (Ed.). *The Amazon, limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin*. Chicago, p. 201–214.

Irion G., De Mello.J.A.S.N., 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: W.J. Junk et al. (ed.).*Amazonian Floodplain Forests: Ecophysiology, Biodiversity and Sustainable Management*, Ecological Studies 210, 1 CD-ROM.

Kosuth P., Callède. J., Laraque. A., Filizola. N., Guyot. J. L., Seyler. P. Guimarães. V. 2009. Sea-tide effects on flows in the lower reaches of the Amazon River. *Hydrological Processes: An International Journal*, **23**(22): 3141-3150. 1 CD-ROM.

Krumbein W. C (Ed). 1934. *Manual of sedimentary petrography appleton-century-crofts*, New York, 549p.

- Landim P. M. B., Bósio N. J., Wu F. T., Castro P. R. M. 1983. Minerais pesados provenientes do leito do Rio Amazonas. *Acta Amazônica*, São Paulo, **13**(1): 51-72, 1 CD-ROM.
- Latrubesse E.M. & Franzinelli, E. 2002. The Holocene alluvial plain of the middle Amazon River, Brazil. *Geomorphology*, **44**(1):241–257, 1 CD-ROM.
- Lima W.J.S. 2013. *Sedimentologia e proveniência de depósitos recentes do rio Amazonas, entre Santarém (PA) e Macapá (AP)*. TCC, Graduação, Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 1CD-ROM.
- Lopes K.S. 2016. *Caracterização granulométrica e mineralógica dos sedimentos de fundo do estuário do rio Guamá – distribuição e proveniência*. TCC, Graduação, Faculdade de Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2016. 1CD-ROM.
- Luz C.E. 2011. *Tendências granulométricas dos sedimentos de fundo do rio Marrecas, região sudoeste do Paraná*. Ms Dissertation, Programa de Pós-Graduação em Geografia. Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Paraná, 2011. 1CD-ROM
- Martins S.E.M. 2010. *Geomorfologia e sedimentologia dos depósitos recentes da porção superior do estuário do rio Pará (Baía do Marajó, Amazônia)*. Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geociências. Instituto de Geociências, Universidade Federal do rio grande do sul, Porto Alegre, 2010. 1CD-ROM.
- Medeiros Filho L. C., Lafon. J. M., Souza Filho. P. W. M. 2016. Pb-Sr-Nd isotopic tracing of the influence of the Amazon River on the bottom sediments in the lower Tapajós River. *Journal of South American Earth Sciences*, **70** (1):36-48, 1 CD-ROM
- Medina C.J.C 2014. *Geologia, geocronologia, petrologia e metalogênese do prospecto Cu-Mo YANAC, Ica, PERU*. Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica. Instituto de Geociências, Universidade de Brasília, Brasília, 2014. 1CD-ROM
- Mello R.C.A., Zanardo A., B., Conceição F.T., Fernandes A.M. 2016. Utilização da mineralogia dos sedimentos fluviais como indicador de poluição da atividade de mineração de argila. *Revista brasileira de recursos hídricos*, Porto Alegre, **21**(3): 502-513. 1 CD-ROM.
- McClaren P. 1981. An interpretation of trends in grain sizes measures. *Journal of sedimentary research*, **7**: 611:624.
- McDaniel D.K., McLennan S.M., Hanson G.N. 1997. Provenance of the Amazon Fan muds: Constraints from Nd and Pb isotopes. In: Flood R.D., Piper D.J.W., Klaus A., Peterson L.C. (Ed.). *Proceedings of the ocean Drilling program, scientific results*. Texas, Ocean Drilling Program, p.169–176.
- McLennan S. M., Nancy. W. B., Taylor. R. 1980. Rare earth element-thorium correlation in sedimentary rock, and the composition of the continental crust. *Geochimica et Cosmochimica Acta*. **44**(1):1833-1839, 1 CD-ROM.
- Millot R., Allègre, C.J., Gaillardet, J., Roy, S. 2004. Lead isotopic systematics of major river sediments: a new estimate of the Pb isotopic composition of the Upper Continental Crust. *Chemical Geology*, **203**(1): 75– 90, 1 CD-ROM.

- Mineli R. C. 2013. *Proveniência e retrabalhamento das areias da volta grande do rio Xingu*. Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 1CD-ROM.
- Molinier M., Guyot, J. L., Guimarães, V. 1994. Hidrologia da bacia do rio Amazonas. *A Água em Revista*, Rio de Janeiro, **2**: 31-36.
- Moosarvirad S. M., Janardhana M. S., Sethumadhav M. R., Shankara M. 2011. Geochemistry of lower Jurassic shales of the Shemshak Formation, Kerman Province, Central Iran: Provenance, source weathering and tectonic setting. *Chemie der Erde-Geochemistry*, **71**: 279-288.
- Nesbitt H. W. & Young, G. M. 1982. Early Proterozoic climates and plate motions inferred from major element chemistry of lutites: *Nature*. **299** (1): 715-717.
- Neves L.C.L. 2013. *Dinâmica sedimentar de uma porção do banco arenoso na desembocadura do sistema estuarino dos rios Piraquê-açú e Piraquê-Mirim, Aracruz- ES*. TCC, Graduação, Faculdade de Oceanografia. Centro de Ciências Humanas e naturais, Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 2013. 1CD-ROM.
- Palácios O.M. 1995. Estratigrafia. In: Palácios O.M, Sánchez A.F, Herrera F.R. (Ed). *Geologia del Peru*. Lima, Firmat. S.A. p. 45-85.
- Pereira J.C.R.(Ed) .2001). *Análise de dados qualitativos: estratégias metodológicas para as ciências da saúde, humanas e sociais*. São Paulo, Edusp, 189p.
- Prado P.I., Lewinsohn T.M., Carmo R.L., Hogan D.J. Ordenação multivariada na ecologia e seu uso nas ciências ambientais. *Ambiente & sociedade*, **10** (1): 1-17. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/asoc/n10/16886.pdf>.
- Reis R.E. 2013. Projeto gestão integrada e sustentável dos recursos hídricos transfronteiriços na bacia do rio amazonas, considerando a variabilidade e a mudança climática 45 p. Relatório técnico parcial. Disponível em: http://otca.info/gef/uploads/documento/bcf7bATIVIDAD.III.2.2_ANDRE.BRACCIALI_RELAT ORIO_1.pdf. Acesso em: 11.set. 2017
- Rosseto M. 2013. *Proveniência sedimentar das areias holocênicas do rio Madeira-AM*. Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013. 1CD-ROM.
- Rudnick R. L., Gao S. 2003. Composition of the continental crust. In: Rudnick R. L. (Ed.). *The crust*. Amsterdam, Elsevier, p. 1-70.
- Santos J.O.S. 2003. Geotectônica do Escudo das Guianas e Brasil-Central. In: Bizzi L.A. (Ed.). *Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil*: texto, mapas e SIG. Brasília, DF, CPRM, 1CD-ROM.
- Santos C.A., Serrão E.A.O., Gonçalves L.J.M., Araújo I. B., Lima, A.M.M. 2015. Comportamento hidroclimatológico da bacia hidrográfica do rio Irirí. In: SBA 19º Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, Minas Gerais. *Resumos expandidos. Anais...* p. 2026-2022.

Schobbenhaus C. & Brito Neves B.B. 2003. Geologia do Brasil no contexto da Plataforma Sul-Americana *In: Bizzi L.A., Schobbenhaus C., Vidotti R.M., Gonçalves J.H (Ed.). Geologia, tectônica e recursos minerais do Brasil. Texto, mapas e SIG.* CPRM, 1 CD-ROM.

Sioli H. 1968. The Amazon and its main affluents: hydrography, morphology of the river courses, and river types. *In: The Amazon, Limnology and Landscape Ecology of a Mighty Tropical River and its Basin* (Ed. H. Sioli), p. 127–165.

Silva J.N.S. 2018. *Hidrodinâmica e transporte de sedimentos em suspensão no setor de confluência entre o rio Xingu e rio Amazonas.* Ms Dissertation. Programa de Pós-Graduação em Biologia Ambiental. Instituto de Estudos Costeiros, Universidade Federal do Pará, Bragança, 2018. 1CD-ROM

Souza T.P. 2015. *Caracterização granulométrica, mineralógica e geoquímica dos sedimentos de fundo do canal do Quiriri e rio Pará- Baía do Marajó.* TCC, Graduação, Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. 1CD-ROM.

Suguio K. 1973 (ed). *Introdução à sedimentologia.* São Paulo, USP, 316 p.

Tassinari C.C.G. & Macambira M.J.B. 2004. A evolução tectônica do Cráton Amazônico. *In: Mantesso-Neto V. et al. (Ed.). Geologia do continente Sul-americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida.* São Paulo, Beca, p. 1-CD-ROM.

Teódulo M.J.R. 2017. *Geoquímica elemental, mineralogia e isótopos de Sr, Nd e Pb em sedimentos de fundo do baixo curso do rio Amazonas e tributários: Considerações sobre proveniência e mistura de sedimentos.* PhD Thesis, Universidade Federal do Pará, Belém, 234p.

Taylor S. R. & McLennan S. M. 1985. The continental crust: Its composition and evolution; an examination of the geochemical record preserved in sedimentary rocks. Oxford, Blackwell Scientific p. 312-339. (Publication, 1).

Teixeira M.C. 2013. *Estudo mineralógico e geoquímico da região compreendida entre a foz do rio Araguari e Cinturão Lacustre meridional – Zona costeira do Amapá.* TCC, Graduação, Faculdade de Geologia. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2013. 1CD-ROM.

Thorez J. 1976 (Ed). *Practical identification of clay minerals.* Belgique, G. Lelotte. 90p.

Vasquez M.L. & Rosa-Costa, L.T. 2008. *Geologia e recursos minerais do estado do Pará: Texto explicativo do mapa geológico e de recursos minerais do estado do Pará – Escala: 1:1.000.000.* Belém, CPRM, 1-CD-ROM.

Vicini L.(Ed). 2005. *Análise multivariada da teoria à prática.* Santa Maria, UFSM, 215 p.

Vital H. & Statterger, K. 2000a. Sediment dynamics in the Lower Amazon. *Journal of Coastal Research*, **16**: 316-328.

Vital H. 1996. *Sedimentology of the lowermost Amazon (Xingú–Macapá) and the ‘Estreitos de Breves’.* PhD Thesis, Universidade of Kiel, Kiel, 189p.

Zalán P.V. Evolução fanerozóica das bacias sedimentares brasileiras. 2004. *In: Mantessa-Neto V., Bartorelli A., Carneiro C.D.R., Brito-Neves B.B. (Ed). Geologia do Continente Sul-Americano: evolução da obra de Fernando Flávio Marques de Almeida. São Paulo, Beca, 1 CD ROM.*

Wentworth C. K. 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. *Journal of Geology*. **30**: 25-37, 1-CD-ROM.