



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

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO DO
RIO BARCARENA-PA**

Dissertação apresentada por:

LILIANE JUCÁ LEMOS DA SILVA PORTO

**BELÉM
2009**

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação(CIP)
Biblioteca Geólogo Raimundo Montenegro Garcia de Montalvão

P853e Porto, Liliane Jucá Lemos da Silva

Estudo da qualidade dos sedimentos de fundo no rio Barcarena – Pará / Liliane Jucá Lemos da Silva Porto; Orientador: José Augusto Martins Correa – 2009.

x, 91 f. : il.

Dissertação (Mestrado em Geoquímica e Petrologia) – Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2009.

1. Sedimento de fundo. 2. Metais pesados 3. Química da água. 4. Rio Barcarena (PA). I. Universidade Federal do Pará. II. Correa, José Augusto Martins, *orient.* III. Título.

CDD 20^o ed.: 551.304098115



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

ESTUDO DA QUALIDADE DOS SEDIMENTOS DE FUNDO
DO RIO BARCARENA-PA

DISSERTAÇÃO APRESENTADA POR

LILIANE JUCÁ LEMOS DA SILVA PORTO

Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA E PETROLOGIA

Data de Aprovação: **22 /08 /2009**

Banca de Dissertação:

DR. JOSÉ AUGUSTO MARTINS CORRÊA (UFPA)
(Orientador)

DR. LUIZ DRUDE DE LACERDA (UFC)
(Membro)

DR. JOSÉ FRANCISCO BERRÊDO REIS DA SILVA (MPEG)
(Membro)

Belém

Dedico esse trabalho ao meu querido e tão amado avô Elias Cordeiro (*in memoriam*) por ter ajudado, sem medir esforços, a construir a pessoa que sou, por ter me acompanhado nos momentos mais felizes e apoiado nos mais difíceis da minha vida. E ao meu primo irmão Roberto Dantas (*in memoriam*), exemplo de superação e heroísmo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela minha vida e por todas as oportunidades que ele me proporcionou;

À minha família por todo apoio sempre;

Ao meu grande e queridíssimo amigo Mariano pelo fundamental auxílio durante o desenvolvimento desta dissertação;

Ao CNPq pela concessão da bolsa de Mestrado;

Ao Instituto de Geociências em especial ao Programa de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica, que me acolheu e permitiu utilizar sua infra-estrutura durante todo o curso;

Ao Professor José Augusto Martins pela disposição em me orientar neste trabalho;

Aos Técnicos dos Laboratórios de Raio-x, Absorção Atômica, Sedimentologia e Análises Químicas da UFPA/IG/PPGG, pela colaboração nas práticas laboratoriais, em especial à Vivian e ao Professor Natalino pela paciência e dedicação que tiveram com o meu trabalho;

Ao Professor Waterloo Napoleão (*in memoriam*) pela presteza durante a realização deste trabalho

Ao Pesquisador do Museu Goeldi, José Francisco Berredo, pelas contribuições durante o desenvolvimento da dissertação;

Ao amigo Clauber pela generosidade e presteza ao colaborar na leitura das minhas análises.

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	ÁREA DE ESTUDO	8
2.1	LOCALIZAÇÃO	8
2.2	CLIMA	10
2.3	SOLOS	10
2.4	VEGETAÇÃO	11
2.5	GEOLOGIA E RELEVO	11
2.6	HIDROLOGIA	13
3	OBJETIVOS	16
3.1	OBJETIVO GERAL	16
3.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	16
4	CONSIDERAÇÕES SOBRE QUALIDADE DOS SEDIMENTOS E CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	17
4.1	QUALIDADE DOS SEDIMENTOS	17
4.2	CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL	21
4.2.1	Saneamento Básico	21
4.2.2	Bauxita	23
4.2.3	Lama vermelha	23
5	MATERIAIS E MÉTODOS	28
5.1	COMPILAÇÃO DOS DADOS EXISTENTES E CONFECÇÃO DO MAPA DE AMOSTRAGEM	28
5.2	COLETA DE AMOSTRAS	28
5.3	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	31
5.4	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	32
5.5	ANÁLISES QUÍMICAS	33
5.5.1	Matéria orgânica	33
5.5.2	Elementos Maiores	34
5.5.3	Elementos Traço	36

5.5.4	Tratamento Estatístico	37
6	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
6.1	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA	38
6.2	ANÁLISE GRANULOMÉTRICA	39
6.3	COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA	41
6.4	COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS	43
6.4.1	Matéria Orgânica	43
6.4.2	Carbono Orgânico	47
6.4.3	Elementos Maiores	48
6.4.4	Elementos Traço	50
6.4.4.1	Chumbo	54
6.4.4.2	Crômio	59
6.4.4.3	Cobre	63
6.4.4.4	Níquel	67
6.4.4.5	Vanádio	71
6.4.4.6	Nióbio	74
6.4.4.7	Zircônio	77
7	CONCLUSÕES	80
	REFERÊNCIAS	82
	ANEXO	90

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1. Figura de localização da Área de Estudo	9
2. Mapa hidrológico.	14
3. Foz do Rio Barcarena	15
4. Vila de São Francisco.	15
5. Ponto de coleta próximo à nascente do rio.	16
6. Núcleo urbano de São Francisco	21
7. Flagrante de despejo de efluentes no rio Murucupi/Barcarena-Pa	22
8. Porto de São Francisco	22
9. Processo Bayer de beneficiamento da alumina.	27
10. Coleta da amostra com a Draga de Petersen	29
11. Acondicionamento da amostra	29
12. Processo de desagregação da amostra.	30
13. Separação silte - argila utilizando o Cilindro de Attenberg	31
14. Preparação da amostra para a análise da mineralogia total	31
15. Difratômetro de Raio-x utilizado para a leitura das lâminas	32
16. Curva de calibração do Fe	35
17. Espectrofotômetro utilizado na determinação do Fe_2O_3 , TiO_2 e PO_4	35
18. Espectrometro de Absorção Atômica(leitura dos elementos maiores e traço)	36
19. Distribuição dos valores de pH no rio Barcarena	38
20. Distribuição dos valores de condutividade elétrica	39
21. Distribuição das frações granulométricas ao longo do rio	40
22. Difratograma da amostra B.09 mineralogia total	42
23. Difratograma da amostra B.4. Lâminas orientadas, glicoladas e aquecidas	42
24. Teor de matéria orgânica presente nas amostras de sedimento	44
25. Gráfico de correlação Zr e matéria orgânica	45
26. Gráfico de correlação Nb e matéria orgânica	46
27. Gráfico de correlação Th e matéria orgânica	46
28. Distribuição normal dos elementos CaO, Na_2O , K_2O , MgO	60

29. Distribuição da concentração dos elementos maiores	50
30. Distribuição da concentração dos elementos traço	53
31. Distribuição da concentração de Pb ao logo do rio Barcarena	55
32. Distribuição do Pb trocável e total nas amostras de sedimento	56
33. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Pb encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	57
34. Distribuição da concentração de Pb no Rio Barcarena	58
35. Distribuição da concentração de Cr em todas as amostras do rio	60
36. Distribuição do Cr trocável e total nas amostras de sedimento	60
37. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Cr encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	61
38. Distribuição da concentração de Cr no Rio Barcarena	62
39. Distribuição da concentração de Cu em todas as amostras do rio	64
40. Distribuição do Cu trocável e total nas amostras de sedimento	64
41. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Cu encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	65
42. Distribuição da concentração de Cu no Rio Barcarena	66
43. Distribuição da concentração de Ni em todas as amostras do rio	68
44. Distribuição do Ni trocável e total nas amostras de sedimento	68
45. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Ni encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	69
46. Distribuição da concentração de Ni no Rio Barcarena	70
47. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de V encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	72
48. Distribuição da concentração de V no Rio Barcarena	73
49. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Nb encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	75
50. Distribuição da concentração de Nb no Rio Barcarena	76
51. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Zr encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) e Saraiva (2007)	78
52. Distribuição da concentração de Zr no Rio Barcarena	79

LISTA DE TABELAS

1. Tabela mostrando o nível altimétrico da região de Barcarena – Pa	12
2. Coluna estratigráfica da região de Barcarena	13
3. Valores dos índices PEL,TEL e outros índices criados pelo NOAA	20
4. Composição química da Lama Vermelha proveniente da Albrás	25
5. Concentração dos elementos traço na bauxita e lama vermelha	25
6. Descrição e localização dos pontos de amostragem	28
7. Mostra os resultados da análise granulométrica	40
8. Teor de matéria orgânica encontrada nos sedimentos	44
9. Comparação entre os teores de matéria orgânica de rios da região	47
10. Porcentagem de carbono orgânico encontrado nos sedimentos	48
11. Comparação entre os valores dos elementos maiores no solo, sedimento e bauxita	49
12. Concentração dos principais elementos traço	52
13. Matriz de correlação entre os elementos maiores e traço	53

RESUMO

Nos sistemas estuarinos, as fontes de metais traço são ambas naturais e antropogênicas. Isso dificulta frequentemente a distinção entre essas duas fontes devido a elevada variabilidade da concentração na coluna d'água. Muitos estudos tem mostrado a importância dos sedimentos no entendimento da contribuição antropogênica em relação ao carreamento de traços em sistemas estuarinos. Localizada dentro de uma região industrial importante, próximo a cidade de Belém, na Baía do Guajará, o rio Barcarena recebe descargas de efluentes urbanos e industriais. O Objetivo deste trabalho é estudar os sedimentos de fundo do rio Barcarena a fim de avaliar a entrada de substâncias químicas no rio oriunda das atividades antropogênicas. Foram coletadas 15 amostras ao longo do canal do rio. As amostras dos sedimentos de fundo foram coletadas, e analisadas para a identificação da composição química e mineral. Os dados revelaram que os argilominerais identificados eram compostos principalmente de esmectita, caulinita e illita. A análise de elementos traço e metais pesados mostraram a seguintes médias de concentração e desvio padrão: Pb (32.54 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 5.6$), Cr ($104.33 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $\sigma = \pm 7.98$), Ni (34.27 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 4.48$), Cu (34.71 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 4.38$), V ($116.33 \text{ mg. kg}^{-1}$, $\sigma = \pm 42.37$), Nb (19.86 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 3.83$), Zr ($122.31 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $\sigma = \pm 21.33$). Foi encontrada elevada concentração dos elementos estudados próximo ao núcleo urbano de São Francisco, provavelmente devido a presença do porto e a descarga de resíduos sólidos e efluentes na região. A concentração dos elementos traço foi função da distribuição do tamanho das partículas e teor de matéria orgânica. A concentração dos elementos Pb, Cr, Cu e Nb nos sedimentos do rio Barcarena quando comparados com os sedimentos da Baía do Guajará (Saraiva, 2007) rio Guamá (Nascimento, 2007) e o minério de bauxita (Braga, 2007) mostraram valores maiores que os dois primeiros, no entanto menor que a bauxita. Os diagramas indicam que os metais pesados versus Al sugere uma possibilidade de mistura física entre a bauxita e os sedimentos do rio Barcarena. Os elementos Pb e Cu mostraram concentrações acima dos valores de TEL (Threshold Effect Level), 35 mg.Kg^{-1} e 35.7 mg.Kg^{-1} respectivamente. Portanto, os sedimentos de fundo provavelmente são causadores de efeitos adversos aos organismos bentônicos. Os elementos Cr e Ni mostraram valores de concentração muito superiores ao índice TEL (Cr = 37.3 mg.Kg^{-1} and Ni = 18 mg.Kg^{-1}

¹⁾ e o índice PEL (Probably Effect Level) Cr = 90 mg.Kg⁻¹ and Ni = 36 mg.Kg⁻¹. Os valores acima do índice PEL sugere que os efeitos tóxicos à biota aquática são frequentes. Atualmente, os metais introduzidos são depositados próximo a área fonte e são principalmente associados aos sedimentos, implicando indicando que os sedimentos do rio agem mais como um sumidouro do que como reservatório. O acúmulo e enriquecimento de elementos traço tóxicos podem gerar potencial poluição nas águas do rio e conseqüentemente à biota aquática.

Palavras Chaves: Sedimento de fundo, metais pesados, química da água, Rio Barcarena.

ABSTRACT

In estuarine systems, trace metal sources are both natural and anthropogenic. It is often difficult to distinguish between these two sources due to highly variable concentration in the water column. Many studies have shown the usefulness of sediments in understanding the anthropogenic contribution to trace burdens in estuarine systems. Located within a very important industrial region, near Belém city in the Guajará estuary, the Barcarena River receives discharges of urban and industrial runoff. The objective of this study is to study Barcarena River bed sediments to assess the anthropogenic chemical inputs into the river system. Fifteen sampling locations were chosen along the river channel. Bed river sediments samples were collected, and analyzed for their chemical and mineralogical composition. Data revealed that the clay mineral identified was composed mainly of smectite, kaolinite and Illit. The trace elements and heavy metals analysis showed the following average concentrations and standard deviation: Pb (32.54 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 5.6$), Cr ($104.33 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $\sigma = \pm 7.98$), Ni (34.27 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 4.48$), Cu (34.71 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 4.38$), V ($116.33 \text{ mg. kg}^{-1}$, $\sigma = \pm 42.37$), Nb (19.86 mg.Kg^{-1} , $\sigma = \pm 3.83$), Zr ($122.31 \text{ mg.Kg}^{-1}$, $\sigma = \pm 21.33$). The highest concentration of the studied elements was found near São Francisco urban center, probably due to the presence of a harbor and unloading of solid waste and sewage in the region. Concentrations of trace elements in the sediment were a function a particle size distribution and organic content. The element concentration of Pb, Cr, Cu and Nb in sediments of Barcarena river when compared with sediments of Guajará Bay (Saraiva, 2007), Guamá river (Nascimento, 2007) and bauxite ore (Braga, 2007) show higher values than the two first but lower values than bauxite. The finger print diagrams with heavy metals versus Al suggest the possibility of physical mixing between the bauxite and sediment of the river Barcarena. The elements Pb and Cu had shown concentrations higher than TEL values (Threshold Effect Level), 35 mg.Kg^{-1} and 35.7 mg.Kg^{-1} respectively. Therefore, the bottom sediments probably are causing adverse effects to benthic organisms. The elements Cr and Ni, shown concentration values that exceeded the TEL index (Cr = 37.3 mg.Kg^{-1} and Ni = 18 mg.Kg^{-1}) and PEL index, (Cr = 90 mg.Kg^{-1} and Ni = 36 mg.Kg^{-1}). A value above the PEL index suggests that toxic

effects on aquatic biota are frequent. Currently, the introduced metals are deposited near the source area and are mostly associated with the sediment, implying that the river bed sediment acts mainly as a sink, rather than a pool. The accumulated and enriched toxic trace elements can pose a potential pollution of river water and consequently the aquatic biota.

Key words: Bottom sediment, heavy metals, water chemistry, Barcarena River.

1. INTRODUÇÃO

O município de Barcarena – Pa, pertence à mesorregião Metropolitana de Belém e a microrregião de Belém, estado do Pará. O município possui uma população de 76.071 habitantes distribuída em uma área de 1.310 Km² (IBGE, 2007). As principais atividades produtivas do município são a agricultura e a indústria, mais especificamente a indústria extrativista e de transformação. As culturas agrícolas são: mandioca, abacaxi, pimenta-do-reino e côco. O pólo industrial do município é formado principalmente por cinco grandes empresas: Alunorte, Albras, Soinco da Amazônia (empresas que lidam com o beneficiamento da bauxita, produção de lingotes de Al e vergalhões de Al puro respectivamente) Imerys Rio Capim Caulim e Pará Pigmentos S. A. (empresas que trabalham com a produção de caulim), com uma área industrial de 240 ha. Este pólo encontra-se em franca expansão, principalmente com o anúncio da instalação de uma refinaria de alumina da Companhia Vale do Rio Doce, a qual estará pronta para operar em 2011. Em Barcarena funciona o maior terminal portuário do estado, o porto de Vila do Conde, que sozinho opera seis milhões de toneladas de cargas ao ano. De acordo com Tourinho (1991), no início das atividades no complexo, o transporte da produção era realizado através das hidrovias Tocantins, Pará, Muruçá e Barcarena. A partir da década de 80 deu-se início a um sistema de transporte misto rodo-fluvial através das rodovias PA-151, PA-481, PA-252, PA-408 e balsas para o atravessamento dos rios Guamá, Moju e Barcarena.

Nas indústrias que fazem parte do complexo industrial da região existem comissões para a prevenção de acidentes ambientais, com o intuito de controlar a emissão de gases tóxicos, particulados, resíduos sólidos (TOURINHO, 1991). Apesar da existência dessas comissões para a prevenção de acidentes ambientais, já ocorreram acidentes relevantes, como em abril de 2005 a mudança de coloração no rio Murucupi provocada pela descarga de substâncias químicas, as quais foram remetidas, segundo os técnicos da Secretaria de Estado de Meio Ambiente, ao complexo industrial do município. Nesse mesmo ano, moradores relataram uma “chuva” de material particulado, o qual se depositou sobre as casas e as adentrou. Situação que foi remetida às chaminés das empresas Abrás e Alunorte. De acordo com jornal O Liberal, dia 11 de junho de 2007, 300.000 m³ caulim vazaram do tanque de armazenamento do produto, pertencente a empresa Imerys Capim-

Caulim. Esse acidente culminou com a poluição dos igarapés do Curuperé e Dendê e as praias de Vila do Conde e do Caripi, onde foram encontrados peixes mortos por técnicos da Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Barcarena. Há especulações que os resultados desse acidente não foram reflexos do produto derramado, já que o caulim (caulinita) existe naturalmente, mas sim de um possível aditivo químico, usado no beneficiamento do caulim.

Os rios da região, mais expressivos em tamanho, são Itaporanga, Guajará, Acará, Curuí e Barcarena, sendo o último objeto de estudo deste trabalho. O rio Barcarena banha a sede municipal, tem sua foz nas proximidades da Vila São Francisco e de um embarcadouro antigo denominado Porto de São Francisco sob a responsabilidade da PORTOBRÁS, *holding* criada em 1976, cuja principal finalidade era facilitar o acesso principalmente de máquinas, equipamentos e materiais de construção destinados às obras de implantação do complexo industrial de Barcarena e de sua infra-estrutura, especialmente para a construção da UHE-Tucuruí.

A partir do crescimento industrial no município, a ocupação da vila de São Francisco se intensificou em detrimento do contingente de mão de obra que era necessário para a construção do complexo industrial. De acordo com Tourinho (1991), São Francisco foi sede do município de Barcarena em 1952 e teve a sua população quadruplicada até metade da década de 90, com produção quase exclusivamente terciária. Extensas propriedades privadas e estatais situadas em torno da nucleação impediram o crescimento horizontal deste povoado fazendo com que o mesmo passasse a sofrer acelerado processo de adensamento populacional. Em São Francisco, as construções são todas de madeira, com a grande maioria em condições precárias. O abastecimento de água do povoado é feito pela rede pública, através de poços tipo “cacimba”, escavados no quintal dos domicílios.

Partindo de sua localização e levando-se em conta o processo de ocupação, o rio Barcarena pode ter sido poluído por rejeitos domésticos originários do crescimento desordenado do povoado de São Francisco ou mesmo por rejeitos das atividades de beneficiamento do alumínio produzido pelas empresas da região. Essa hipótese está sendo levantada em função da toxidez dos rejeitos do beneficiamento do alumínio e dos inúmeros acidentes ambientais provenientes das empresas do complexo industrial ao longo dos anos, culminando em uma série de impactos ambientais.

Um dos parâmetros mais confiáveis para a determinação da poluição ambiental são os sedimentos de fundo, que acumulam espécies poluentes a partir da coluna d' água, devido às altas capacidades de sorção e acumulação, onde as concentrações tornam-se várias ordens de grandeza maiores do que nas águas correspondentes, possibilitando o uso dos mesmos como um bom indicador de poluição ambiental. Adekoya (2006) afirma que nos ecossistemas aquáticos os metais pesados estão em equilíbrio dinâmico, associados principalmente aos sedimentos, os quais constituem o mais importante sumidouro de metais pesados e outros poluentes. A qualidade de sedimentos é, portanto, essencial na avaliação do estado de poluição de ecossistemas. Segundo Jesus et al. (2004) os sedimentos são bons indicadores de poluição, pois possibilitam a detecção da poluição tanto atual quanto pretérita, permitindo ainda o conhecimento das principais fontes de poluição dentro de um determinado sistema aquático.

Abaixo são citados alguns exemplos de aplicação do estudo de qualidade dos sedimentos:

- a) Características e potencial dos micro-agregados, flocos e partículas primárias na adsorção e dessorção de contaminados. (MINELLA et al. 2004).
- b) Transporte de contaminantes para rios, lagos e planícies fluviais associados aos sedimentos e os fatores que regulam a interação entre sedimentos e contaminantes em ambientes aquáticos (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983, *apud* SALOMONS & STIGLIANI, 1995).
- c) Uso das propriedades traçadoras dos sedimentos para a identificação de fontes de contaminantes (WALLING & WOODWARD, 1995, FOSTER et al. 2002 *apud* MINELLA, 2003).

Portanto, tendo em vista a importância do rio Barcarena no cenário da região, aliado ao caráter pioneiro deste estudo neste corpo d'água, o objetivo do presente trabalho foi avaliar a qualidade dos sedimentos de fundo do Rio Barcarena levando em consideração seus elementos maiores e traços segundo a metodologia proposta pela Agência Ambiental Americana US-EPA. Os resultados obtidos com este trabalho servirão como *background* para trabalhos posteriores e como um instrumento para o auxílio no estabelecimento das políticas públicas na região, no tocante a obtenção de parâmetros orientadores para a gestão de forma responsável

de possíveis situações adversas ao meio ambiente, uma probabilidade que aumenta à medida que o complexo industrial cresce física e produtivamente.

2. ÁREA DE ESTUDO

2.1 LOCALIZAÇÃO

A sede municipal de Barcarena se localiza a 15 km de Belém, mais precisamente nos limites dos municípios de Acará, Moju, Abaetetuba, Belém, e próximo às Baías do Marajó e do Guajará (Figura1), possuindo as seguintes coordenadas geográficas: 01° 30' 24" de latitude Sul e 48° 37' 12" de longitude a Oeste de Greenwich (SEPOF, 2006).

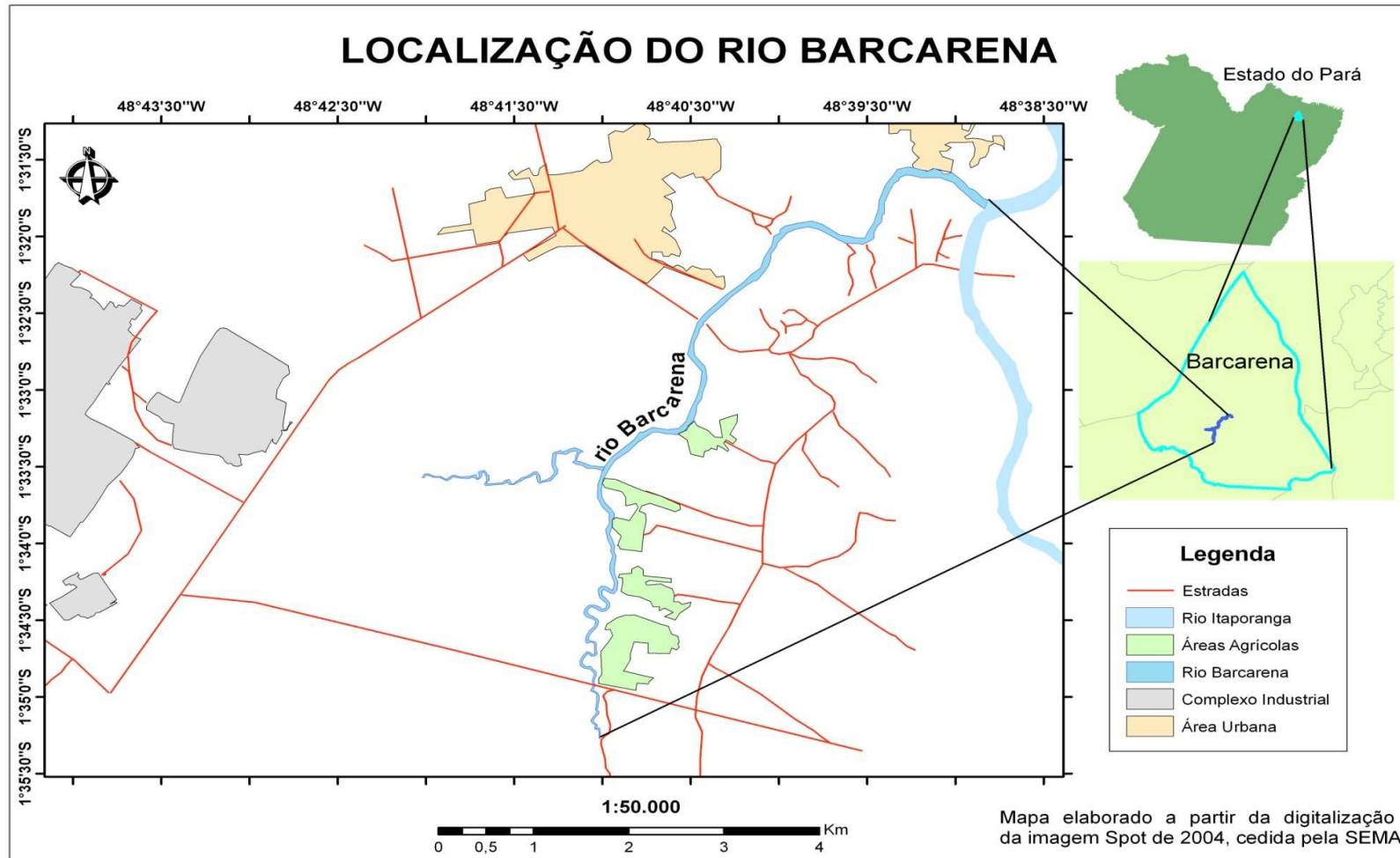


Figura 1 – Localização da área de estudo. Carta Imagem elaborada a partir da imagem Spot de 2004 cedida pela Secretaria Estadual de Meio Ambiente.

2.2 CLIMA

O clima da região é quente e úmido, com temperatura média de 27°C. Barcarena pertence à categoria climática “Equatorial úmido” do tipo Afi (A-clima tropical chuvoso; fi – ocorrências de chuva todo o ano), pela classificação de Köppen. O período chuvoso ocorre entre dezembro e maio e o período menos chuvoso entre junho e novembro. As precipitações são muito abundantes com média acima de 2.500 mm ao ano e no período chuvoso chega a atingir 400 mm ao mês enquanto que nos meses de menos chuva, não atinge 30 mm ao mês (BANDEIRA, 2006).

2.3 SOLOS

Na porção continental do município de Barcarena, o solo predominante é o Latossolo Amarelo distrófico, textura média, desenvolvido sobre as rochas do grupo Barreiras, formado em relevo plano sob floresta densa. Encontra-se muito espesso, maduro, com textura média muito argilosa, alta capacidade de troca iônica (MELO-JUNIOR, 2006). Ocorre também o Podzol Hidromórfico, o qual não apresenta cores neutras cinzentas devido ao material originário ser de natureza areno-quartzosa e desprovido totalmente de qualquer material argiloso (GUERRA & CUNHA, 2003). Tem-se também o solo Concrecionário Laterítico indiscriminado, formado em superfícies planas ou suavemente ondulado, sob floresta densa. São solos argilosos ou argilo-arenosos contendo concreções ferruginosas, medianamente espessas. Nas ilhas, estão presentes os solos Hidromórficos Indiscriminados, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada e Hidromórficos Gleisados, como o Gley Pouco Húmico e Aluvial, eutróficos e distróficos, textura indiscriminada (SEPOF, 2006).

2.4 VEGETAÇÃO

A cobertura vegetal primitiva de Floresta Densa dos baixos platôs Pará/Maranhão foi quase totalmente substituída pela ação dos desmatamentos para o plantio de espécies agrícolas de subsistência, caracterizando, portanto, diferentes estágios de desenvolvimento de Floresta Secundária (IBGE, 2007). Melo-Junior (2002) afirma que há também vegetação de várzea típica de áreas inundáveis, sobretudo palmeiras, tais como Açaí, Buriti, entre outras. Nos baixos cursos dos rios e igarapés, a vegetação é composta por florestas ciliares, podendo ser encontrada vegetação de mangue margeando rios e ilhas adjacentes.

2.5 GEOLOGIA E RELEVO

A região de Barcarena e adjacências fazem parte da zona estuarina Amazonas – Tocantins – Guamá e constitui um espesso pacote sedimentar de idade Cenozóica (Tabela 2). A geologia do Município é pouco variável, construída, como em toda a microrregião, por sedimentos do Terciário (Grupo Barreiras) e do Quaternário. Os primeiros estão presentes, sobretudo, na porção continental do Município, enquanto trechos Quaternários estão nas margens dos rios, sobrepostos a sedimentos terciários do Grupo Barreiras de origem fluvio – lacustre provavelmente de idade Mioceno – Pliocênica.

O Grupo Barreiras está exposto na maior parte do município de Barcarena. É formado por intercalações de argilitos, siltitos e arenitos finos, podendo apresentar localmente finas camadas de conglomerados (Tabela 2). De acordo com Soares (1999) essas rochas apresentam baixo grau de compactação, cores variadas (vermelho, amarelo, esbranquiçada, nódulos e concreções de ferro, formadas *in situ*, responsável pelo aspecto mosqueado típico. Ocorrem ainda arenitos ferruginosos “Grés do Pará” e níveis conglomeráticos quartzosos. Através de furos de sondagem feitos por IPT (1984), na área da ALBRAS, não foram encontrados ocorrências de níveis carbonáticos em poços até 250 m, isso reforça a idéia contida no relatório da Albrás, que nesta região, no passado foi depositada um pacote sedimentar constituído por um conjunto de

aluviões e sedimentos Barreiras com espessura superior a 300 m. A porção norte e nordeste de Barcarena é caracterizada por sedimentos argilo-arenosos de cor geralmente amarela e avermelhada nas porções inferiores com pouca ou nenhuma estrutura primária. Sedimentos aluvionares estão distribuídos na porção noroeste, ou seja, sedimentos compostos por argila branca e avermelhada, areia branca inconsolidada, granulação fina a média, localizada nas zonas de praia e estirâncios, além de domínios das várzeas periodicamente inundadas por rios, igarapés e furos (MELO-JUNIOR, 2006).

O relevo reflete a geologia, estando presentes áreas de várzeas, terraços e tabuleiros, que constituem, regionalmente, um setor da unidade morfoestrutural, Planalto Rebaixado da Amazônia (Baixo Amazonas) (IBGE, 2007). O Município apresenta níveis topográficos pouco elevados (Tabela 1), sobretudo nas ilhas sujeitas, em parte, a inundações. Na porção continental, a topografia é um pouco mais elevada, especialmente na sede, cuja altitude é de 14 metros acima do nível do mar.

Tabela1. Nível altimétrico e formas de relevo da região de Barcarena – Pa (Soares, 1999)

Nível altimétrico	Classificação
0 – 3	Várzea baixa
3 – 5	Várzea alta
5 – 12	Terraços (Tesos)
12 – 15	Falésia do Rio Pará
10 – 14	Terras Firmes

Tabela 2. Coluna estratigráfica da região de Barcarena. Fonte: Sauma Filho (1996).

ERA	PERÍODO	ÉPOCA	UNIDADE	DESCRIÇÃO
CENOZÓICO	QUATERNÁRIO	HOLOCENO	SEDIMENTOS MODERNOS	Sedimentos recentes quartzosos com matéria orgânica; argila e silte
		PLEISTOCENO	PÓS-BARREIRAS	Sedimentos areno-argilosos inconsolidados, quartzosos, siltico-argilosos com arenitos ferruginosos intercalados
	TERCIÁRIO	MIOCENO–PLIOCENO	GRUPO BARREIRAS	Arenitos de granulometria variada, mal selecionados, argilosos, intercalados a siltitos e argilitos de cores variadas, tendo-se ainda níveis de concreções ferruginosas
		OLIGO-MIOCENO	FORMAÇÃO PIRABAS	Calcários e margas, intercalados com folhelhos cinza-esverdeados com variado conteúdo calcífero

2.6 HIDROLOGIA

O principal “acidente hidrográfico” de Barcarena é a Baía de Marajó que, em sua maior abertura para nordeste, compõe, com outras contribuições hídricas, o “Golfão Marajoara” (SEPOF, 2006). Além desses dois elementos alguns “furos” separam a porção continental da porção insular do Município, entre os quais o “furo” do Arrozal, que separa a Ilha de Carnapijó e recebe o rio Barcarena (Figura 2) e o rio Itaporanga, que nasce ao sul do Município. O rio o “furo” e a baía Carnapijó cortam o Município de sudeste para noroeste. Outro rio de expressão na área é o Moju, cuja foz limita com o município de Acará. A sudoeste, o rio Uruenga limita com o município de Abaetetuba e,

a sudeste, o limite com o município de Moju é feito através do Igarapé Cabresto (SEPOF,2006).

Os aquíferos da região são constituídos por sedimentos aluvionares, compostos por areias, areias argilosas, argilas arenosas e siltes ocorrendo até 10 m de profundidade. Têm-se ainda os aquíferos formados por sedimentos da formação Pós Barreira e rochas do Grupo Barreiras. Aquíferos da Formação Pirabas não ocorrem na área, pelo menos até a profundidade de aproximadamente 300 m (IPT, 1984).

O Município é contemplado ainda com diversas praias de grande beleza cênica, localizadas em frente à baía do Marajó, entre elas as do Carijó, de Vila do Conde, de Itupanema e outras.

O rio Barcarena tem sua foz nas proximidades do Vilarejo São Francisco (Figuras 3 e 4) e sua nascente (Figura 5) nas proximidades do complexo industrial, mais especificamente das empresas Albrás e Alunorte, fazendo parte da sua área de influência direta.

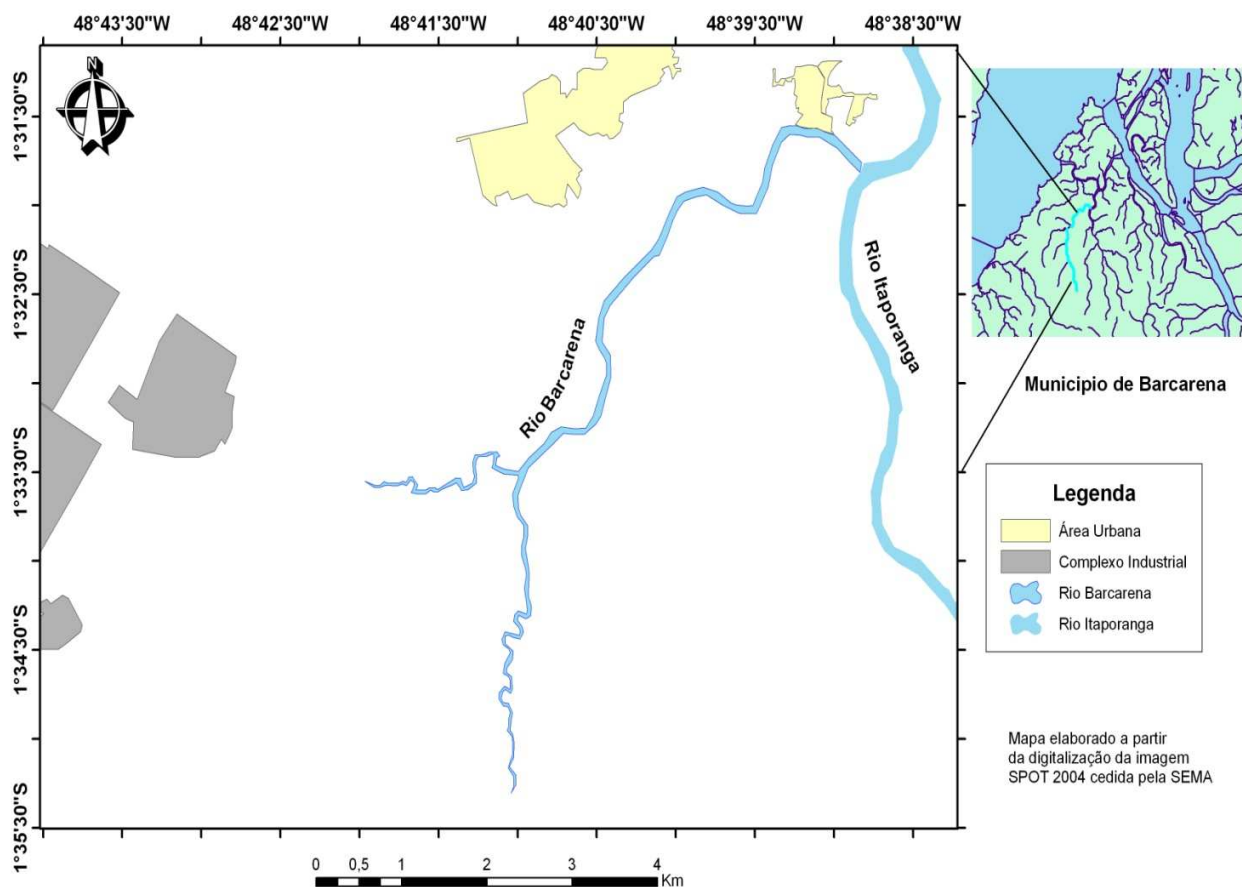


Figura 2. Mapa hidrológico da área de estudo, em destaque o Rio Barcarena



Figura 3. Foz do Rio Barcarena



Figura 4. Vista frontal do núcleo urbano de São Francisco



Figura 5. Proximidade com a nascente do rio.

3. OBJETIVOS

3.1 OBJETIVO GERAL

Avaliar a qualidade dos sedimentos de fundo do Rio Barcarena - Pa e a distribuição de metais traços utilizando como referência os índices orientativos da Agência Ambiental Americana US-EPA

3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar a mineralogia dos sedimentos;
- Determinar o teor de matéria orgânica nos sedimentos de fundo do rio Barcarena-Pa;
- Avaliar as concentrações de diferentes elementos traços e comparar com os índices orientativos da Agência Ambiental Americana US-EPA nos sedimentos do rio Barcarena;
- Estabelecer as relações entre as concentrações de metais pesados e sua origem;

4. CONSIDERAÇÕES SOBRE A QUALIDADE DOS SEDIMENTOS E CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

4.1 QUALIDADE DOS SEDIMENTOS

Sedimentos são conhecidos efetivamente por seqüestrar poluentes químicos hidrofóbicos que entram nos corpos d'água. Altas concentrações de metais traço e poluentes orgânicos têm sido encontradas freqüentemente em sedimentos próximos a indústrias e portos (MC-CREADY, BIRCH, LONG, 2005).

Os sedimentos do fundo são importantes reservatórios de elementos químicos, podendo servir de fonte para contaminação da coluna d'água e da biota (AMADO FILHO et al., 1999 *apud* SANTOS et al., 2006).

Para Foster & Wittmann (1983) in Poletto & Merten (2006) o desenvolvimento de análises mais detalhadas e precisas das características dos sedimentos, subsidiaram o surgimento de uma nova área de pesquisa denominada "qualidade dos sedimentos" a qual integra áreas como a sedimentologia, hidrologia, biologia e química.

Segundo o guia de qualidade de sedimento da Agência Ambiental Americana, a boa qualidade dos sedimentos está associada ao fornecimento do habitat e alimento para a vida aquática (EPA, 2002).

O tamanho médio das partículas de sedimentos, o conteúdo de silte e argila, a instabilidade desses sedimentos, a concentração de oxigênio dissolvido, e a quantidade de matéria orgânica são fatores que geralmente apresentam uma clara relação com a estrutura de uma determinada comunidade bentônica (SNELGROVE & BUTMAN, 1994 *apud* VENTURINI, 2007).

As informações disponíveis da qualidade dos sedimentos podem indicar se os sedimentos estão contaminados por uma larga escala de substâncias tóxicas e bioacumulativas, incluindo metais, PAHs, PCBs, pesticidas e uma variedade de produtos químicos orgânicos (EPA, *op. cit.*).

O NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) gera uma quantidade considerável de dados químicos em sedimentos. Sem critérios nacionais ou outras ferramentas numéricas amplamente aplicáveis, os cientistas que compõem o NOAA achavam difícil estimar as possíveis concentrações químicas toxicológicas nos sedimentos, assim valores foram desenvolvidos como ferramentas interpretativas informais. Essas ferramentas foram inicialmente destinadas à utilização por cientistas NOAA no ranking de áreas que justificam ainda mais um detalhado estudo sobre a ocorrência de efeitos adversos, como toxicidade. Além disso, foram destinados a serem utilizados no ranking de produtos químicos que podem ser potencialmente preocupantes (NOAA, 2009).

Os índices criados pela “National Oceanic and Atmospheric Administration” (NOAA) são considerados uma referência na avaliação da qualidade dos sedimentos. Estes índices estão baseados no recolhimento, avaliação, e análise de dados provenientes de uma ampla variedade de fontes de informação na América do Norte para estabelecer relações entre as concentrações de sedimentos associados à contaminantes e seus potenciais efeitos biológicos adversos (EPA, 2002).

O Guia de Qualidade de Sedimentos (GQS) estabelecido para os Estados Unidos (USA) vem sendo usado como uma ferramenta de referência para avaliar dados de sedimentos superficiais, em relação à ocorrência de possíveis efeitos adversos sobre a vida aquática.

De acordo com o NOAA (2009), os parâmetros que determinam a periculosidade dos sedimentos são baseados em duas aproximações: Empírica e estatística a fim de relacionar a contaminação dos sedimentos e as respostas tóxicas. Os índices de qualidade de sedimento são baseados na frequência de distribuição e impactos químicos presentes, mas não aponta a causa e efeito desses contaminantes. A bioviabilidade, entretanto não é fundamental na interpretação das análises, visto que o Guia de qualidade de sedimento, é baseado na concentração total de sedimento e portanto, não leva em consideração a fração trocável.

O GQS estabelece um intervalo de concentrações para metais traço onde efeitos tóxicos podem ocorrer. De acordo com a EPA (*op. cit.*) substâncias que ocorrem em concentração abaixo do TEL, podem ser consideradas de baixa relevância ou

preocupação, em relação à toxidez para organismos bentônicos. Substâncias que ocorrem em concentrações superiores ao TEL e abaixo do índice PEL devem ser consideradas de moderada preocupação, enquanto aquelas que estão presentes em concentrações superiores ao PEL devem ser consideradas como substâncias cujas concentrações são de elevada preocupação quanto à toxidez para organismos bentônicos. De acordo com PASSOS (2005) Apesar de desenvolvidos para América do Norte, os valores do GQS vêm sendo usados na interpretação de resultados de sedimentos de várias regiões do mundo.

Os índices PEL e TEL são conhecidos como uma evolução de vários outros índices criados pela NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) Os índices diferem na forma como eles determinam o efeito limite, mas muitos são bastante semelhantes. Limites abaixo dos quais os efeitos raramente ocorrem “Lowest Effect Level (LEL)” Effect Range Low (ERL) Threshold Effect Level (TEL) “Minimal Effect Threshold” (MET) e o Threshold Effect Concentration (TEC) e acima desse limite, os efeitos que ocorrem com frequência “Severe Effect Level” (SEL) “Effect Range Median” (ERM), Toxic Effect Threshold (TET) “Probably Effect Concentration” (PEC) Probably Effect Level (PEL) todos criados a partir de uma base de dados toxicológicos, avaliações de invertebrados bentônicos e bioacumulação além da química de sedimentos (Tabela 3). São índices que sugerem a contaminação do corpo aquoso/sedimentos, visto que indica a probabilidade dos organismos bentônicos (base da cadeia alimentar) serem intoxicados com uma gama de substâncias químicas e a partir deles, por bioacumulação, essas substâncias avançarem na cadeia trófica.

Tabela 3. Valores correspondentes aos índices de Qualidade de Sedimento – TEL (Treshold Effect Level), PEL (Probably Effect Level) e outros índices determinados pelo NOAA (mg.Kg).

SQG	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
TEL	5.9	0.6	37.3	35.7	35	18	123
ERL	33	5	80	70	35	30	120
LEL	6	0.6	26	16	31	16	120
MET	7	0.9	55	28	42	35	150

SQG	As	Cd	Cr	Cu	Pb	Ni	Zn
PEL	17	3.53	90	197	91.3	36	315
ERM	85	9	145	390	110	50	270
TET	17	3	100	86	170	61	540
SEL	33	10	110	110	250	75	820

Segundo a Agência de Proteção Americana (EPA, 2002) os índices de qualidade de sedimento são indicados:

- Programas de monitoramento;
- Interpretação de dados químicos de sedimentos;
- Avaliação dos riscos à biota aquática associada aos sedimentos contaminados;
- Remediação da qualidade de sedimentos em sítios específicos

Os índices de qualidade dos sedimentos fornecem avaliações práticas para as interpretações quanto à toxicidade biológica. Neste contexto, os QGS podem ser utilizados como uma ferramenta na identificação de áreas contaminadas e de preocupação (ou seja, as substâncias que são suscetíveis de causar ou contribuir para efeitos adversos biológicos) em relação a sítios específicos, regionais ou nacionais. A NOAA recomenda que o SQG seja utilizado em conjunto com outros métodos de avaliação

4.2. CONTAMINAÇÃO AMBIENTAL

4.2.1. Saneamento básico

Segundo o Censo Demográfico Brasileiro de 2000, apenas 43,46% dos moradores residentes em domicílios particulares na zona urbana de Barcarena dispõem de banheiro ou sanitário e rede geral de esgoto ou pluvial (Figura 7), somente 8,90% desses moradores tem abastecimento de água via rede geral e 38,42% tem o serviço público de coleta de lixo.

Em São Francisco, distrito de Barcarena, (Figura 6) é relativamente comum o despejo de água residuária diretamente no rio Barcarena, visto que a proporção de domicílios com acesso à rede de saneamento é de 9 a 13%.

Em São Francisco as construções são a maioria de madeira, em condições precárias. O abastecimento do povoado é feito pela rede pública, através de poços tipo cacimba. (TOURINHO, 1991)



Figura 6. Visão do barco mostrando o núcleo urbano de São Francisco.



Figura 7. Flagrante de despejo de efluentes no rio Murucupi/Barcarena-Pa. Fonte: Pereira et al. (2007).

Deve-se citar ainda a presença do Porto de São Francisco, que atualmente só realiza transporte de mercadorias em pequena escala (Figura 8). É sabido que essa atividade é potencialmente impactante em relação ao ambiente, visto que materiais perigosos transportados, como derivados de petróleo, produtos químicos, minérios, materiais de construção civil e outros resíduos, no caso de algum acidente, fatalmente as águas do rio Barcarena sofreriam danos muitas vezes irreversíveis. Tourinho (1991) afirma em seu trabalho, que já houve o transporte inclusive de bauxita, através de barcaças por meio do Rio Barcarena.



Figura 8. Porto de São Francisco pertencente à empresa PORTOBRÀS.

4.2.2 Bauxita

A bauxita é um minério de importância industrial para a obtenção do alumínio metálico e de seus compostos. O Brasil, além de possuir grandes reservas (especialmente na região de Trombetas, no Pará e em Minas Gerais), é também um dos maiores produtores do minério, ocupando lugar de destaque no cenário mundial. A produção de bauxita e de alumina instalada no Brasil é da ordem de 14 milhões de toneladas/ano de bauxita e 3,5 milhões de toneladas /ano de alumina (COSTA,CARNEIRO, DOMINGUES 2006). Em 1999, os maiores produtores, em ordem decrescente, foram: Austrália, Guiné, Brasil e Jamaica, com um total de 70% da produção mundial. Mais de 90% do hidróxido de alumínio produzido no mundo usando o processo Bayer é convertido em alumina, sendo que a maior parte (cerca de 90%) da alumina é usada para a preparação de alumínio metálico. Os outros 10% são aplicados em diversos setores da indústria para a fabricação de materiais refratários, abrasivos, velas de ignição, cerâmicas e outros (KIRK PATRICK, 1996 *apud* SILVA-FILHO, 2007).

A bauxita se forma em regiões tropicais e subtropicais por ação do intemperismo sobre rochas aluminossilicáticas. Apesar de ser frequentemente descrita como um minério de alumínio, a bauxita não é uma espécie mineral propriamente dita, mas um material heterogêneo formado de uma mistura de hidróxidos de alumínio hidratados ($[AlO_x(OH)_{3-2x}]$, $0 < x < 1$) contendo impurezas. Os principais constituintes deste material são gibbsita, $\gamma-Al(OH)_3$, boehmita, $\gamma-AlO(OH)$ e diaspório, $\alpha-AlO(OH)$, sendo que as proporções das três formas variam dependendo da localização geográfica do minério (COSTA, CARNEIRO, DOMINGUES *op. cit.*).

4.2.3 Lama Vermelha

No refino da bauxita é utilizado o processo Bayer (denominado assim devido à primeira mineração comercial ter corrido no distrito de Les Baux, França) na produção de alumina (Al_2O_3). Esse método consiste no aquecimento da bauxita com NaOH a $1.200^\circ C$ (Figura 9), remoção dos aluminatos formados com água, precipitação do $Al(OH)_3$ através da ação do CO_2 e, finalmente, o $Al(OH)_3$ formado é filtrado, seco e limpo (SILVA FILHO, et al., 2007).

A produção de alumina via processo Bayer resulta na geração de uma grande quantidade de resíduo de bauxita conhecido como “lama vermelha”, que é o resíduo gerado após a solubilização da alumina contida na bauxita, utilizando-se de uma solução de hidróxido de sódio a altas temperaturas e pressões (GÓIS, et al., 2003).

Esse resíduo é composto por óxidos insolúveis de ferro, quartzo, aluminossilicatos de sódio, carbonatos e aluminatos de cálcio e dióxido de titânio (geralmente presente em traços) (SILVA FILHO, *op. cit.*).

A composição química da lama vermelha varia extensamente e depende da natureza da bauxita e da técnica empregada no processo Bayer em cada planta industrial (Tabelas 4 e 5). Normalmente, a lama vermelha retém todo o ferro, titânio e sílica presentes na bauxita, além do alumínio que não foi extraído durante o refino, combinado com o sódio sob a forma de um silicato hidratado de alumínio e sódio de natureza zeolítica (REESE & CUNDIFF, 1955; MCCONCHIE et al, 2002). Adicionalmente, óxidos de V, Ga, P, Mn, Mg, Zn, Th, Cr, Zr, Nb podem estar presentes como elementos traço (PRADHAN et al, 1996).

O descarte dos resíduos da lama vermelha que são altamente cáusticos, quase sempre com um pH acima de 13,2 é um problema ambiental significativo. Normalmente, a lama vermelha é despejada em áreas já mineradas. Além de penetrar no lençol freático e nos córregos, a lama vermelha eleva o teor de sódio dos poços artesianos vizinhos. Outros impactos incluem poluição do ar proveniente do refinamento da alumina, onde gases, aerossóis cáusticos, e outras poeiras corrosivas são liberados na atmosfera.

O processo de produção de alumina tem sido um problema constante na região de Barcarena. Uma fábrica de alumina pode gerar 0,5 a 2 toneladas de sólidos secos da lama vermelha para cada tonelada de alumina produzida (PEREIRA, 2007).

Tabela 4 - Composição química da Lama Vermelha proveniente da Albrás. Fonte: Braga (2007).

Constituinte	Concentração (%-Peso)
Al₂O₃	19,4
Fe₂O₃	39,3
SiO₂	16,2
TiO₂	5,5
Na₂O	5,7
MgO	-
CaO	1,3
PF	8,6

Legenda: PF = Perda ao fogo.

Tabela 5. Concentração de alguns elementos traço na bauxita e na lama vermelha. Valores em mg/kg. Fonte Braga (2007).

Elementos	Pb	Cr	Ni	Cu	V	Th	Zr	Nb
Bauxita	75	140	< 20	70	278	36,5	948	42
Lama Vermelha	35	280	< 20	< 10	668	100	2.742	121

O Brasil é o 3º terceiro maior produtor mundial e conta com grandes empresas atuando na produção de alumina, como o Consórcio de Alumínio do Maranhão (Alumar), localizado em São Luís (MA), com capacidade anual de produção de 1,325 milhões de toneladas; a Alumina do norte do Brasil S/A (Alunorte), localizada em Barcarena (PA), com capacidade anual de produção de 4,4 milhões de toneladas, sendo a maior produtora mundial de alumina; a Companhia Brasileira do Alumínio (CBA), na região de Sorocaba (SP), com capacidade anual de produção de 500 mil

toneladas; a Alcoa, com unidades localizadas em Saramenha (MG) e Poços de Caldas (MG), com 140 mil e 300 mil toneladas de produção anual, respectivamente. Em 2004, somente a Alunorte produziu 2,55 milhões toneladas de alumina (ALUNORTE, 2008), o que corresponde a uma geração de no mínimo 1,27 milhões toneladas de lama vermelha. A recém inaugurada ampliação da fábrica aumentou a capacidade nominal para 4,175 milhões toneladas/ano de alumina, porém até 2008 uma nova ampliação está prevista, elevando a capacidade de produção para 6,8 milhões de toneladas/ano (ALUNORTE, *op. cit.*).

Segundo Hind et al. (1999) a lama vermelha é tóxica, na medida em que pode constituir um perigo para as populações vizinhas, devido à presença de elevados teores de hidróxido de sódio. Outros relatos encontrados na literatura apontam para os riscos ao meio ambiente associados à lama vermelha, em função de sua elevada alcalinidade e capacidade de troca iônica (Li, 2001). Como a maioria dos rejeitos, no passado, a lama vermelha era simplesmente descartada em algum corpo hídrico receptor, como mares e rios (KIRKPATRICK, 1996; WILLS, 1997). A disposição não adequada da lama vermelha pode acarretar em problemas como: *i*) Contaminação da água de superfície e subterrânea por NaOH, ferro, alumínio ou outro agente químico; *ii*) Contato direto com animais, plantas e seres humanos; *iii*) O vento pode carrear pó dos depósitos de lama vermelha seca, formando nuvens de poeira alcalina; *iv*) Impacto visual sobre uma extensa área.

No dia 3 de abril 2003, houve no município de Barcarena (PA) um vazamento de lama vermelha, que atingiu a nascente do rio Murucupi. Da nascente a foz do rio houve mudança na tonalidade das águas, com o aumento nos teores de alumínio e sódio e possível contaminação de aquíferos na região (IBPS, 2003). Bevenutti (1995) mostrou em seu trabalho que as concentrações de flúor encontradas nos vegetais analisados nas proximidades do rio Barcarena, indicam a presença de poluição atmosférica oriunda do processo de obtenção da Alumina (eletrólise da bauxita + AlF_3) pela Albrás. Segundo Herberth (2007), relatos de moradores das redondezas de alguns dos rios de Barcarena, tais como Dendê e Murucupi, afirmam que os rios se encontram extremamente poluídos por rejeitos das empresas do Complexo Industrial, a tal ponto que suas águas não servem para usos pessoais (beber, lavar roupa, etc...).

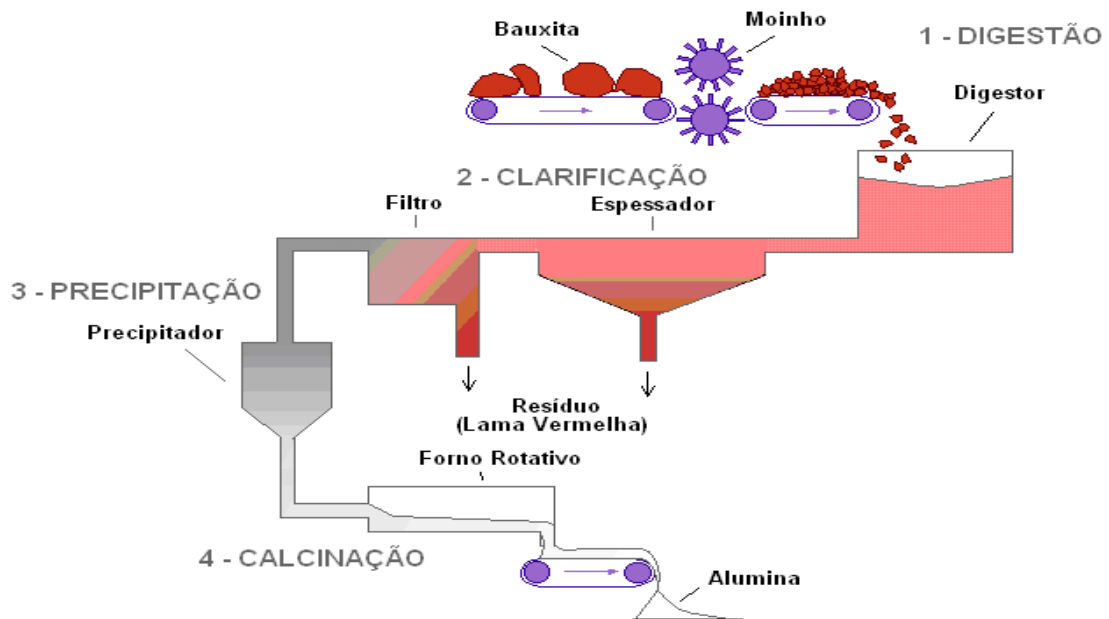


Figura 9. Processo Bayer de beneficiamento da alumina. Fonte: Silva-Filho, Alves, Motta (2007).

A Alunorte utiliza o método de disposição de lama por alta densidade, trata-se de um processo de “dry-stacking” patenteado pela empresa alemã *Giulini* (Alunorte, 2004). Este método permite que a lama vermelha seja lançada nas lagoas de disposição na forma de uma pasta contendo cerca de 60% em peso na fase sólida, evitando a segregação de líquidos e adquirindo a consistência de um solo natural em curto espaço de tempo, facilitando a recuperação da área para outros fins (ALUNORTE, 1994 *apud* SOUZA-FILHO, 2007).

5. MATERIAIS E MÉTODOS

5.1. COMPILAÇÃO DOS DADOS EXISTENTES E CONFECÇÃO DO MAPA DE AMOSTRAGEM

Inicialmente foi realizado um levantamento de informações relevantes ao estudo, em livros, artigos científicos e na Web, além de produtos de sensoriamento remoto disponíveis para auxiliar na escolha dos pontos de coleta das amostras.

5.2 COLETA DE AMOSTRAS

Foram coletadas 15 amostras georeferenciadas de sedimentos em pontos uniformemente distribuídos ao longo do curso do rio Barcarena (Tabela 6).

Tabela 6 – Localização e descrição dos pontos de amostragem.

PONTOS	LATITUDE	LONGITUDE	DESCRIÇÃO
01	1º 31' 35"	48º 38' 45"	Foz do rio
02	1º 31' 39"	48º 39' 17"	200 a montante da Vila São Francisco
03	1º 31' 53"	48º 39' 24"	Próximo a uma área de vegetação densa
04	1º 32' 00"	48º 39' 40"	_____
05	1º 32' 07"	48º 40' 02"	_____
06	1º 32' 22"	48º 40' 16"	Próximo à olaria
07	1º 32' 51"	48º 40' 26"	_____
08	1º 33' 16"	48º 40' 39"	_____
09	1º 33' 28"	48º 40' 56"	_____
10	1º 33' 45"	48º 41' 00"	_____
11	1º 34' 05"	48º 40' 56"	_____
12	1º 33' 30"	48º 41' 06"	Afluente
13	1º 34' 30"	48º 41' 05"	_____
14	1º 34' 38"	48º 41' 06"	_____
15	1º 34' 43"	48º 41' 06"	Nascente do rio

As amostras foram coletadas a 10 cm da superfície com a utilização de um coletor de aço (draga de Petersen) para evitar eventuais contaminações (Figura 10 e 11). A quantidade de amostra coletada foi de 200 g aproximadamente.



Figura 10. Coleta de amostra com a Draga de Petersen.



Figura 11. Acondicionamento da amostra em sacos plásticos.

Ainda em campo, foram medidos o pH e condutividade elétrica da água do rio, tais medidas visaram apenas um complemento às análises posteriores.

Imediatamente após a coleta, cada amostra foi submetida aos procedimentos recomendados de preservação química e refrigeração (APHA-AWPCF, 1998), ficando nessa condição até o momento das análises laboratoriais, as quais foram realizadas nos Laboratórios do Instituto de Geociências.

5.3 ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A separação foi realizada no Laboratório de Sedimentologia do Instituto de Geociências, utilizando-se métodos clássicos de peneiramento. Inicialmente as amostras foram secas em estufa a 50°C e posteriormente destorroadas e homogeneizadas (Figura 12).



Figura 12. Desagregação da amostra em grau de porcelana.

Em seguida, 50 g das amostras foram desagregadas no ultrassom e peneiradas em peneira com abertura de 62 μm . A fração < 62 μm foi colocada em um cilindro de Attenberg para a separação da fração argila (Figura 13).



Figura 13. Separação das frações silte-argila utilizando o Cilindro de Attenberg.

5.4 COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

As amostras de sedimento foram preparadas segundo o “método do pó”, onde o material foi desagregado e prensado em acessório específico (Figura 14). Em seguida, foi submetido à difração de raios X, segundo a metodologia proposta por Moore & Reynolds Jr (1991). As análises por difração de raios X foram realizadas no Laboratório de Difração de raios-X do Instituto de Geociências utilizando como instrumento o difratômetro da marca PANalytical, modelo X-PERT PRO MDP (PW 3040/60) com goniômetro PW 3050/60 (theta/theta) com tubo de raios-x cerâmico ($K\alpha=1,54060$) LDFDK 157735, modelo PW 337600 e gerador de tensão e corrente ajustados para 40 kV e 40 mA com detector do tipo RTMS X'celeration, com fenda divergente de $\frac{1}{4}$ e anti-espalhamento de $\frac{1}{2}$ (Figura 15). A aquisição dos dados foi realizada através do código X-PERT Data Collector, versão 2.1 A.

Seguindo a metodologia de Moore & Reynolds Jr (1991), foram preparadas amostras orientadas com a fração $< 2 \mu\text{m}$. Essas amostras foram analisadas por difração de raios-x usando três tipos de preparação: a) amostra normal (sem tratamento); b) amostra submetida à saturação em uma atmosfera de etileno glicol por

24 horas e c) amostra submetida ao aquecimento em forno mufla a 550°C por 2 horas. A identificação dos minerais foi feita com o auxílio do Programa X-PERT Highscore 2.1



Figura 14. Preparação de amostras para a análise da mineralogia da amostra total dos sedimentos de fundo.

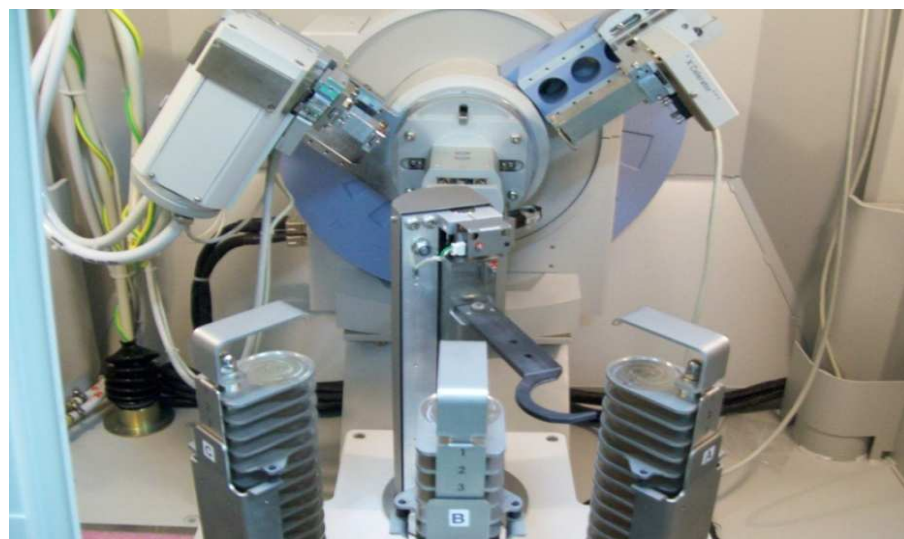


Figura 15. Imagem do Goniômetro do Difratorômetro de Raios-x PAN PANalytical, modelo X-PERT PRO MDP (PW 3040/60).

5.5 ANÁLISES QUÍMICAS

5.5.1 Matéria Orgânica

A análise do percentual de matéria orgânica (MO) dos sedimentos de fundo, foi calculado a partir dos valores de carbono orgânico (CO) através da equação $MO (\%) = CO (\%) \times 1,724$, onde 0,5g da amostra de sedimento, devidamente seca e peneirada, foi transferida para um Erlenmeyer de 500 ml (EMBRAPA, 1997). Em seguida adicionou-se 10 ml da solução de $K_2Cr_2O_7$ 1N e 20 ml de H_2SO_4 concentrado. Essas amostras ficaram sob aquecimento (chapa aquecedora) durante aproximadamente 30 min. Em seguida a solução (contendo o depósito de material) foi diluída para um volume aproximado de 200 ml. Com o intuito de remover o Fe_2O_3 , adicionou-se 10 ml de H_3PO_4 a 85%. Por fim, titulou-se o excesso de $K_2Cr_2O_7$ com solução de $(NH_4)_2Fe(SO_4)_2 \cdot 6H_2O$ a 0,5N, em presença de 15 gotas de difenilamina como indicador (a coloração altera de verde para cinza-azulado e finalmente para verde brilhante).

Cálculo do carbono orgânico (CO) na amostra:

$$\%CO = 10(1-T/S) \cdot F$$

onde,

S = Padronização do Branco (volume de solução ferrosa)

T = Titulação da amostra (volume de solução ferrosa)

F = Fator derivado como segue:

$F = (1,0 N) \times (12 / 4000) \times 1,72 \times (100/\text{peso da amostra}) = 1,03$ quando o peso da amostra é exatamente 0,5 g. Onde $12 / 4000 = \text{meq. em peso de carbono}$ e $1,72 = \text{fator para a MO do carbono}$.

5.5.2 Elementos maiores

A determinação dos elementos Al, Si, Fe, Ti e P foi feita através da amostra seca previamente a 110°C, e, em seguida calcinada a 1.000°C durante 1h, para eliminar a influência da matéria orgânica presente nos sedimentos. Após o resfriamento a massa fundida foi dissolvida com HCl 2N, para que os elementos passassem para a forma de cloretos. Posteriormente a amostra foi filtrada em papel quantitativo de filtração lenta para um balão de 250 ml.

Para a determinação do Si, o material retido no papel de filtro citado acima foi levado ao forno mufla a uma temperatura de 900°C – 1000°C (1h). Em seguida o cadinho (sílica+ impurezas) foi pesado para obtenção do peso P1. Posteriormente, iniciou-se a etapa de fluorização, onde o resíduo foi umedecido com 2 a 3 gotas de H₂SO₄ concentrado e 10 ml de HF (40%) e levado ao banho de areia. Por fim, adicionou-se mais 10 ml de HF (40%) para evaporação até a secura total, e o material foi novamente calcinado por 1h (900°C – 1000°C) para a obtenção do peso P2. Por diferença de peso (P1 – P2) antes e após a fluorização determinou-se o teor de silício (expresso em SiO₂).

Para a determinação do Fe, uma alíquota da solução estoque foi transferida para um balão de 100 ml com 5 ml de cloridrato de hidroxilamina (10 Vol-%), 10 ml de citrato de sódio (10 Vol-%) e 10ml de solução de ortofenantrolina (0,1 Vol-%). Em seguida deixou-se em repouso por 1h e posteriormente foi medida a absorbância (Figura 16), em cubeta de 1 cm e comprimento de onda de $\lambda = 510$ nm, da marca BECKMAN, modelo DU-6, pertencente ao Laboratório de Análises Químicas do Instituto de Geociências (Figura 17).

Da solução estoque determinou-se também o alumínio (expresso em Al₂O₃) por titrimetria pela análise complexométrica com EDTA segundo Maxwell (1968), o fósforo (P₂O₅) pelo método espectrométrico azul de molibdênio e o titânio (TiO₂) pelo método espectrométrico com peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

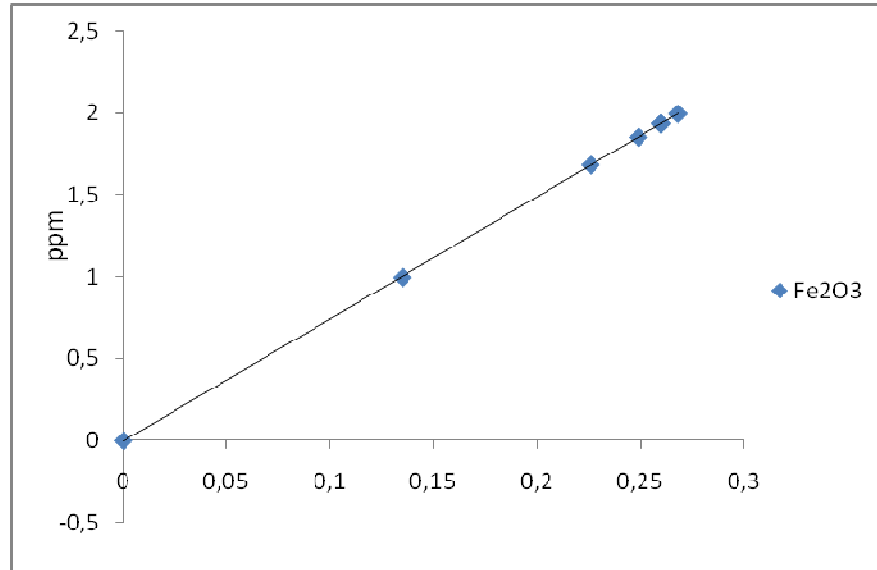


Figura 16. Curva de calibração do Fe para o espectrofotômetro BECKMAN, modelo DU-6.



Figura 17. Espectrofotômetro utilizado na determinação do Fe_2O_3 ($\lambda=510\text{nm}$), TiO_2 ($\lambda=380\text{nm}$) e PO_4 ($\lambda=830\text{nm}$)

Para os elementos Na, Mg, K e Ca foi realizada a abertura parcial e total segundo a metodologia de Loring & Rantala (1992), culminando com a leitura da concentração dos elementos por Espectrometria de Absorção Atômica utilizando-se para isso um aparelho PERKIN-ELMER, modelo 3300.

5.5.3 Elementos traço

A fração do sedimento inferior a 2 μm , retirada das amostras, foi seca a 50°C e posteriormente desagregada e pulverizada em grau de ágata para a determinação da concentração dos metais. Foram utilizados dois tipos de abertura:

a) Parcial: Procedimento baseado no trabalho de Loring & Rantala (1992), no qual 3 g de amostra foi pesada e misturada à 20 ml HNO_3 a 5N na proporção de 3/20, sendo mantida sob agitação durante 24h. Após esta etapa, o material foi filtrado em papel quantitativo lento, transferido para um balão de 50 ml de capacidade e encaminhado para leitura na Espectrometria de Absorção Atômica, aparelho PERKIN-ELMER, modelo 3300 do Laboratório de Espectrometria de Absorção Atômica do Instituto de Geociências (Figura 18). Os metais analisados foram: Cu ($\lambda=324,8$ nm), Ni ($\lambda=232$ nm), Zn ($\lambda= 213,9$) e Pb ($\lambda=283,3$ nm), utilizando como gás de ionização, o acetileno.



Figura 18. Espectrômetro de Absorção Atômica utilizado na leitura da concentração dos elementos maiores e traço

b) Total: Neste trabalho foram analisados os seguintes elementos traço: Pb, Zn, Ni, Cu, Cr, V, Zr, Nb e Th (Tabelas 12 e 13), onde as amostras foram encaminhadas à ACME Analytical Laboratories Ltda., sediada em Goiás, para a determinação da concentração de 41 elementos. As 15 amostras foram analisadas por ICP-MS, previamente preparadas e digeridas a partir de uma mistura de ácidos (HNO_3 -HF e HClO_4).

Parte das amostras passou por uma nova leitura no Laboratório de Espectrometria de Absorção Atômica do Instituto de Geociências, seguindo a metodologia proposta no trabalho de Angino & Billings (1972) *apud* Carvalho (2002), onde 0,5 g da amostra passou por uma abertura ácida a partir de uma mistura de ácidos concentrados HF + HClO_4 (10:1) em banho de areia. Após a digestão, o material foi filtrado e encaminhado para a leitura dos metais. Esses resultados serviram de parâmetro de comparação com os demais que foram encaminhados à ACME, com o intuito de observar possíveis incoerências.

5.5.4 Tratamento estatístico

Os resultados das análises químicas das amostras foram avaliados em termos estatísticos, utilizando como ferramenta o pacote estatístico Statistica 6.0 e através dele realizou-se uma análise de correlação, o que permitiu uma melhor distribuição dos dados.

Para a análise de correlação foi utilizado como instrumento de comparação, o coeficiente de correlação de Pearson (r), o qual é uma medida do grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas, e a partir dele foi construída uma matriz de correlação (tabela 6). Considerando uma boa correlação entre os elementos analisados (tabela 5), valores de $r > 0,70$ e uma correlação fortemente negativa $r < -0,70$.

Para a descrição do comportamento dos elementos (Na_2O , K_2O , CaO e MgO) ao longo do rio, foram construídos histogramas e gráficos de caixa (figura 24), com o objetivo de mostrar se esses elementos apresentavam ou não uma distribuição normal, ou seja, unimodal, simétrica em relação a sua média.

6. RESULTADOS E DISCUSSÕES

6.1. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA ÁGUA

O pH é um parâmetro controlador, pois determina a disponibilidade de elementos químicos nos sistemas aquáticos, influenciando a troca de íons, dissolução/precipitação, adsorção e reações de complexação. Para o caso da capacidade de troca de cátions a ocorrência de um ambiente ácido irá diminuir a possibilidade de cátions metálicos e de outros poluentes em fixarem-se aos minerais de argila, óxidos, colóides, etc. Foram medidos somente pH e condutividade elétrica como controle dos demais resultados, visto que o pH influencia diretamente na biodisponibilidade de alguns metais. Neste trabalho o valor médio do pH ficou em torno de 5,8 $\sigma= 0,55$ (Figura 19), um pouco acima da média encontrada na região que é de 5,0 de acordo com Tourinho (1991). Os valores de pH dos rios de “águas-pretas” como o Rio Barcarena (próximo a nascente), segundo Klinge (1967) *apud* Cunha & Pascoaloto (2006) são bastante ácidos (pH 3,8 a 4,9) e bastante empobrecidos em eletrólitos.

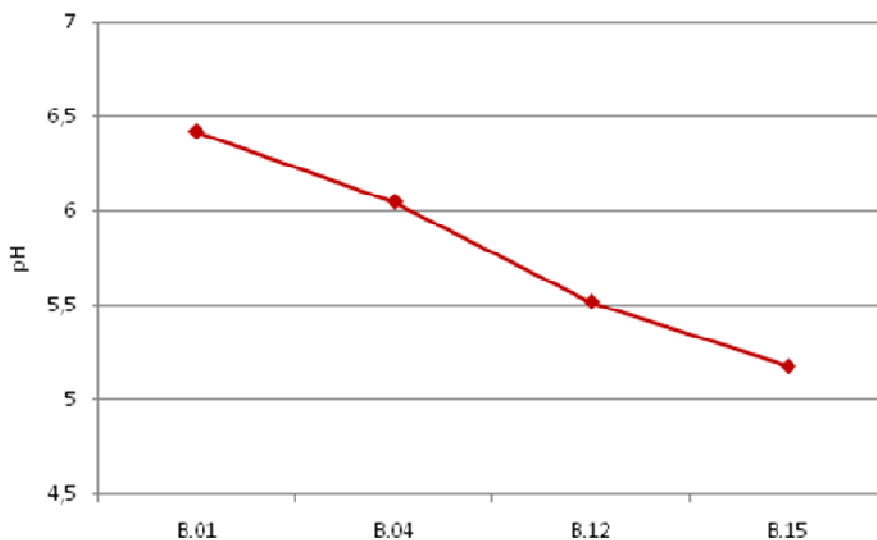


Figura 19. Diagrama mostrando a distribuição dos valores de pH ao longo do rio Barcarena. B.01 representa a Foz e B.15 a nascente.

A condutividade elétrica alcançou uma média de $25,35 \mu\text{S}/\text{cm}$, $\sigma=6,1$ (Figura 20). Em águas cujos valores de pH se localizam nas faixas extremas ($\text{pH} > 9$ ou $\text{pH} < 5$), os valores de condutividade são devido apenas às altas concentrações de poucos íons em solução, dentre os quais os mais freqüentes são o H^+ e o OH^- (Cunha & Pascoaloto, 2006).

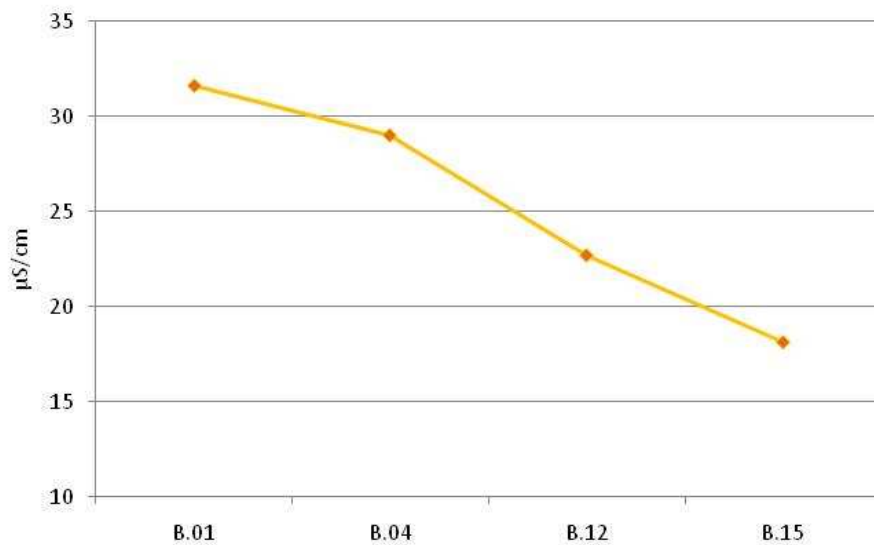


Figura 20. Diagrama mostrando a distribuição dos valores de condutividade elétrica ao longo do rio Barcarena.

6.2. ANÁLISE GRANULOMÉTRICA

A distribuição granulométrica é uma quantificação relativa de tamanhos de partículas elementares que constituem uma amostra, sendo esses tamanhos freqüentemente agrupados em classes. De acordo com Poletto & Merten (2006) a análise granulométrica em sedimentos permite estudos de agregação de partículas, transporte de sedimentos em rios e dissolução de partículas finas, além de ser uma importante ferramenta na identificação da origem de poluição dos sistemas aquáticos.

Estudos da poluição de sedimentos indicam que os metais pesados são encontrados associados com finas partículas de silte e argila os quais tem grande área superficial e a tendência a adsorver e acumular íons metálicos devido as suas forças intermoleculares (GAUR et al., 2005).

A Tabela 7 mostra os resultados obtidos a partir da distribuição granulométrica dos sedimentos de fundo do rio Barcarena. Percebe-se claramente o predomínio da fração silte em relação às três frações granulométricas analisadas. A amostra com maior quantidade de argila superando o silte é a B.3 (10,37g), aquela com maior quantidade de silte é a B.8 (37,14g) e de areia fina é a B.15 (42,26g), sendo a última um resultado esperado, já que foi coletado bem próximo à nascente (Figura 21).

Tabela 7. Mostra os resultados análise granulométrica. (0,05 – 2 mm) corresponde à fração areia; (0,002 – 0,063 mm) fração silte; (<0,002mm) f argila. Valores em (g).

Amostras	(0,05 – 2 mm)	(0,002 – 0,063 mm)	<0,002 mm	TOTAL
B.01	16,63	26,08	7,29	50,00
B.02	19,47	25,02	5,51	50,00
B.03	9,82	29,81	10,37	50,00
B.04	18,92	23,28	7,80	50,00
B.05	16,71	24,58	8,71	50,00
B.06	20,38	24,39	5,23	50,00
B.07	17,50	24,91	7,58	49,99
B.08	7,00	37,14	5,86	50,00
B.09	13,87	30,14	5,98	49,99
B.10	10,49	35,6	3,91	50,00
B.11	12,80	29,34	7,79	49,93
B.12	20,27	20,16	9,57	50,00
B.13	21,61	20,47	7,92	50,00
B.14	5,42	6,55	3,03	15,00
B.15	42,46	5,64	1,90	50,00

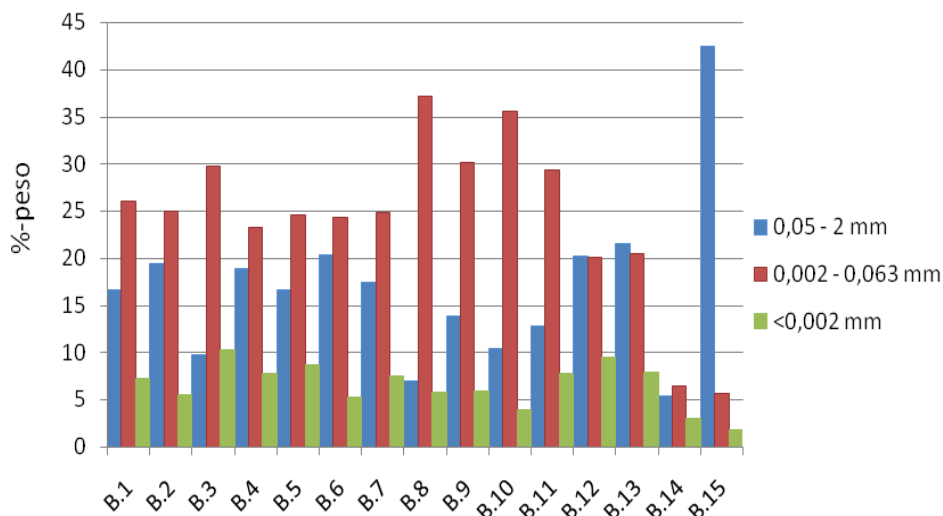


Figura 21 Distribuição das frações granulométricas ao longo do rio (B.01 – nascente/B.15 – foz).

6.3. COMPOSIÇÃO MINERALÓGICA

A disponibilidade de um elemento depende em grande parte de sua capacidade de formar minerais individuais nos quais ele seja constituinte principal. Os elementos de menor disponibilidade são os que formam minerais próprios. Alguns elementos embora presentes na crosta terrestre em quantidades consideráveis estão dispersos sistematicamente por todos os minerais comuns (MAISON, 1991).

A fração fina do sedimento de fundo do rio Barcarena (< 63 μ m) é composta fundamentalmente de quartzo, microclínio, muscovita e argilominerais (caulinita e esmectita) (Figura 22). Neste trabalho os argilominerais encontrados nas 15 amostras coletadas (fração < 2 μ m), seguiram um mesmo padrão mineralógico ao longo do curso do rio. A interpretação dos difratogramas das amostras sugere a seguinte paragênese mineral: Caulinita, illita e esmectita, com predominância da caulinita (Figura 23).

As lâminas de minerais argilosos secas a temperatura ambiente apresentaram um padrão de difração de raios-X com reflexões a 7,1 Å e 3,58 Å, o que indica a presença de caulinita. Reflexões a 10 Å, 5 Å e 3,38 Å confirmam a presença de illita. As demais reflexões submetidas à atmosfera de etilenoglicol confirmam a presença de esmectita a partir do deslocamento do pico 14 Å para 17,1 Å. Os difratogramas das amostras secas a 550°C mostraram o desaparecimento das reflexões a 17 Å, 7,1 Å e o aumento da intensidade das reflexões a 10 Å e a 5 Å, o que confirma a destruição do reticulado cristalino da caulinita, intensificando os picos de illita e deslocando o pico da esmectita de 17 Å para 10,08 Å. De acordo com Moore & Reynolds Jr (1996), a esmectita é facilmente identificada por comparação dos padrões de difração seco ao ar e preparação com etileno-glicol. Com o tratamento com etilenoglicol há um deslocamento e um aumento na intensidade da reflexão 001 muito forte a 5,2° 2 θ (16,9 Å). A confirmação da identificação é necessária com o aquecimento a 550°C, onde a esmectita colapsa a 10 Å, produzindo uma difração padrão semelhante a da illita.

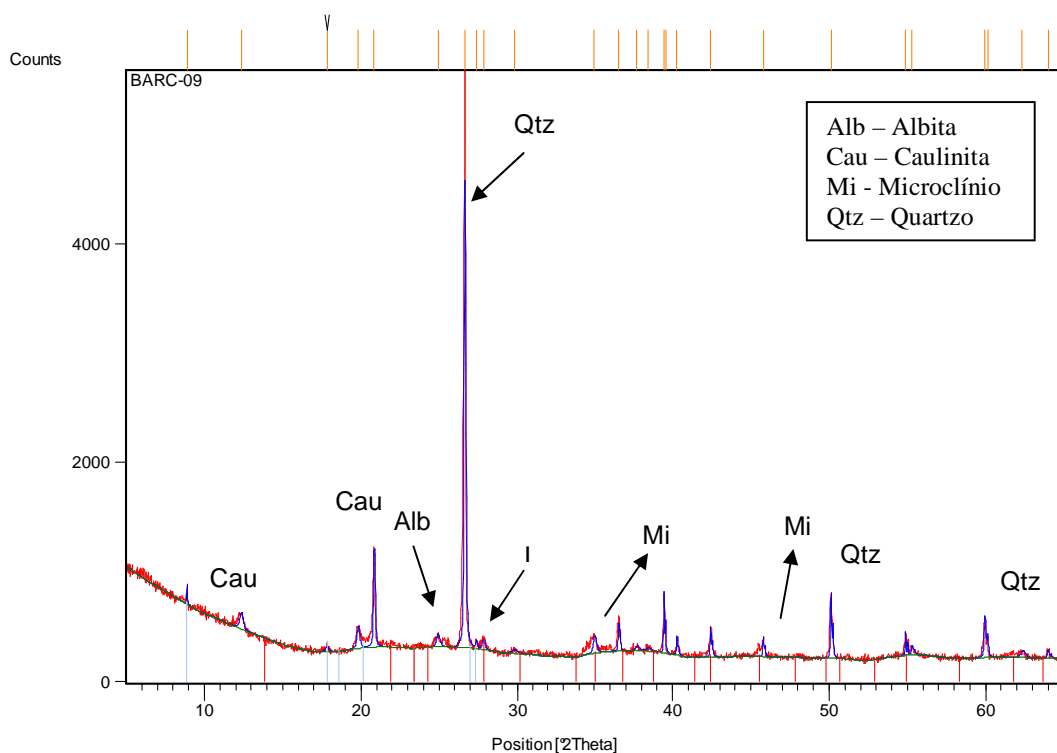


Figura 22. Difratograma da amostra B.09. Análise da mineralogia total segundo o método do pó.

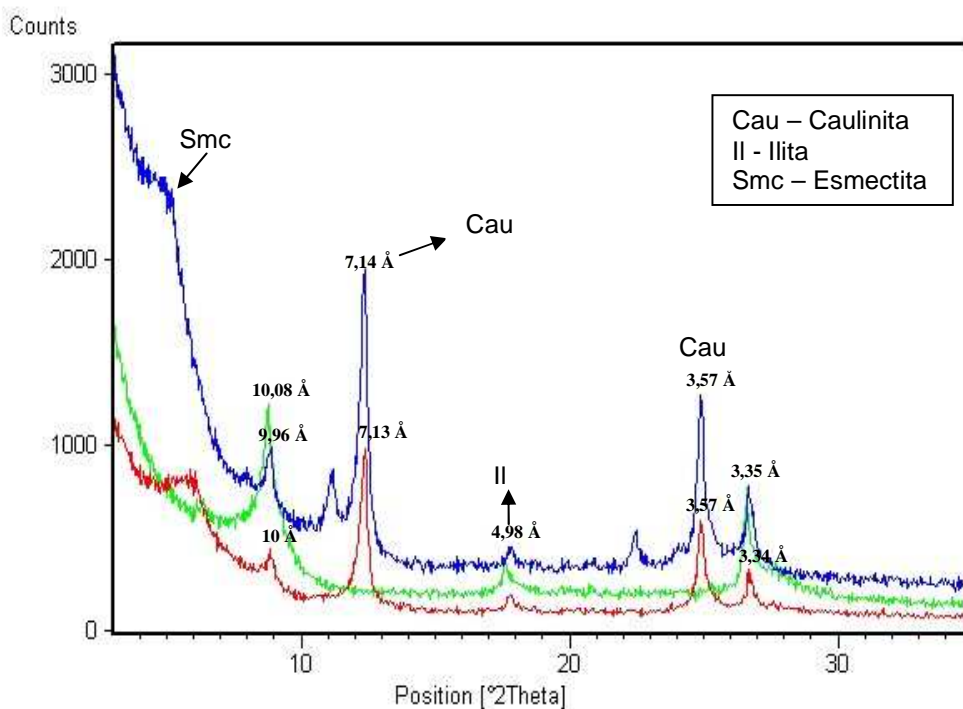


Figura 23. Difratograma da amostra B.4. Lâminas orientadas sem tratamento (vermelho), saturada em etilenoglicol (azul), aquecidas (verde).

6.4. COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS

6.4.1 Matéria Orgânica

A matéria orgânica em ambientes naturais é composta principalmente de carbono (52% a 58%) e Oxigênio (34% a 35%), seguido de nitrogênio e hidrogênio (3,3% a 8%), enxofre e fósforo ocorrem em frações inferiores a 2%. (Stevenson, 1994). Segundo o Environment Canada (2003), as diferenças nas características físico-químicas dos sedimentos, tais como tamanho e forma, ou quantidade de matéria orgânica contida nos sedimentos podem influenciar profundamente a biodisponibilidade e o grau de toxicidade dos contaminantes associados a eles. (Tessier and Campbell, 1987 *apud* Rate et al., 1999) reforçam essa idéia, ao afirmarem que os íons metálicos são retidos por diferentes mecanismos (troca iônica, complexação, precipitação ou co-precipitação). Essas combinações de mecanismos responsáveis pela retenção da fase sólida determinam a biodisponibilidade e o potencial de toxicidade dos íons metálicos. Poletto & Merten (2006) afirmam que a matéria orgânica tem um papel importante na troca de cátions e na formação de complexos com poluentes, devido ao seu baixo peso molecular, grande área superficial e elevada quantidade de cargas negativas superficiais. Deste modo, as moléculas orgânicas podem formar complexos estáveis com metais, aumentando a capacidade de deslocamento dos poluentes metálicos. Um estudo realizado por Brekhovskikh (1999) mostrou que a distribuição vertical de elementos traço, nos sedimentos de fundo de um rio presente na Reserva de Ivan'kovo (Moscou), é largamente afetada pelo teor de matéria orgânica.

No rio Barcarena o teor de matéria orgânica aumentou no sentido foz-nascente (Tabela 8). Os pontos de coleta intermediários se destacaram, com os sedimentos apresentando valores entre 8 e 9% de matéria orgânica, provavelmente em consequência de descarte de efluentes provenientes do povoado de São Francisco, localizado a margem do rio.

Tabela 8. Teor de matéria orgânica encontrada nos sedimentos do rio Barcarena.

Ponto Amostrado	Matéria orgânica em %-Peso
B.01	4,43
B.02	5,17
B.03	3,99
B.04	5,64
B.05	6,77
B.06	8,21
B.07	7,09
B.08	8,72
B.09	9,34
B.10	8,64
B.11	9,19
B.12	6,91
B.13	8,48
B.14	10,34
B.15	1,72

A partir do ponto de coleta B.12, (Figura 24) o teor de matéria orgânica voltou a crescer atingindo valor máximo de 10,34% no ponto B.14, provavelmente em virtude do adensamento da vegetação à medida que se aproximava do último ponto de coleta (nascente).

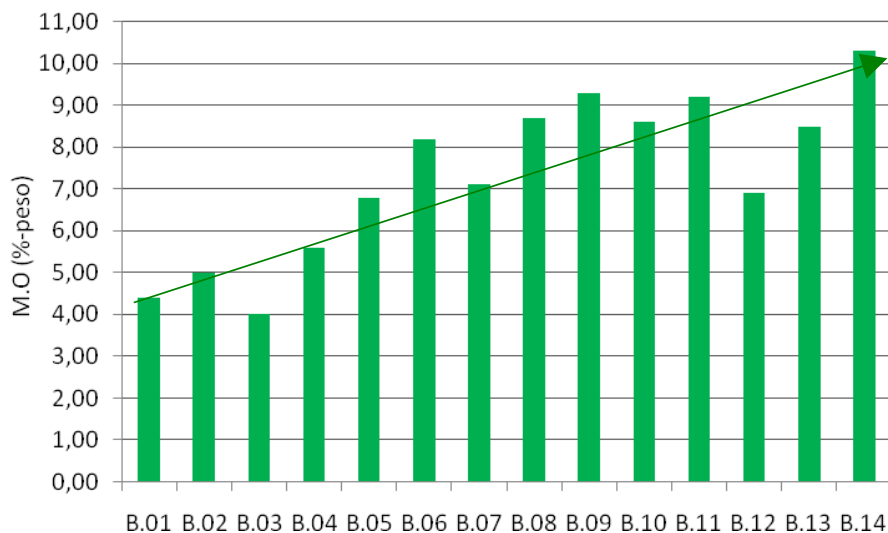


Figura 24. Diagrama ilustrando as variações no teor de matéria orgânica presente nas amostras de sedimento (B.01-nascente/ B.15-foz).

A matéria orgânica apresentou forte correlação positiva com os elementos Zr ($r = +0,72$), Nb ($r = +0,80$) e Th ($r = +0,81$), o que indica que eles podem estar de alguma forma a ela complexados (Figura 25, 26 e 27). O elemento Ni, mostrou uma correlação negativa ($r = -0,73$), mostrando que esse metal não está complexado à matéria orgânica. Para o restante dos elementos, o valor da correlação não foi expressivo.

De acordo com Layng et al (2009), ligantes orgânicos dissolvidos, tais como o baixo peso molecular médio de ácidos carboxílicos, aminoácidos e ácidos fúlvicos, pode formar complexos metálicos solúveis. O efeito da presença de matéria orgânica pode ser uma diminuição ou um aumento na mobilidade metal.

Os elementos Zr, Nb e Th, encontram-se enriquecidos na crosta terrestre superior como os minerais resistentes associados à goethita ou matéria orgânica nos solos da Amazônia. (KRONBER ET AL 1979 *apud* COSTA et al, 2004).

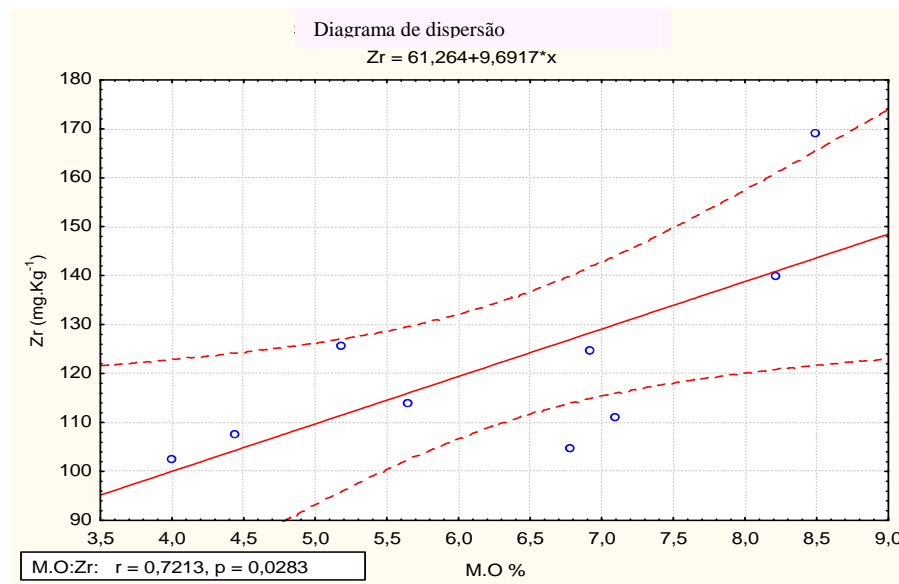


Figura 25. Diagrama mostrando a correlação entre elemento Zr e a matéria orgânica.

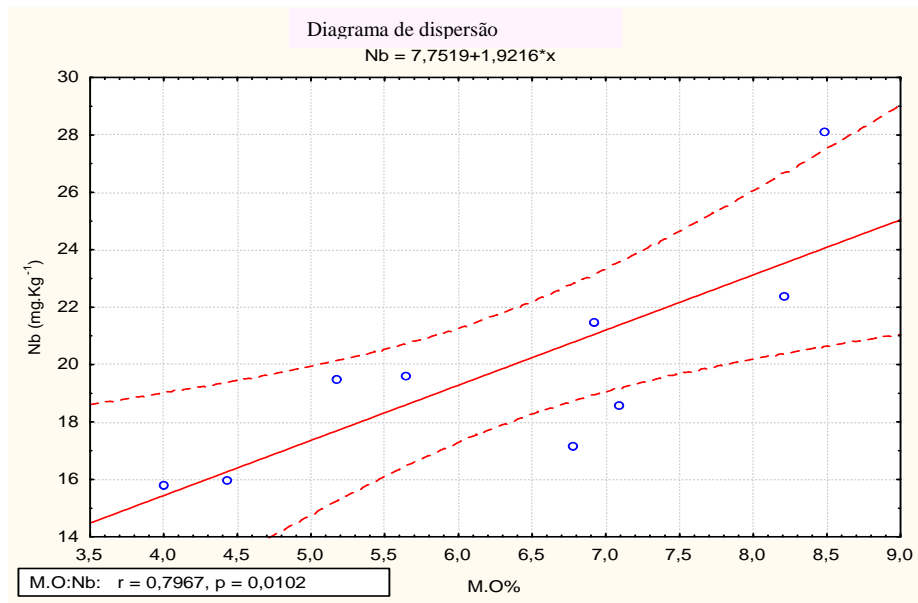


Figura 26. Diagrama mostrando a correlação entre elemento Nb e a matéria orgânica.

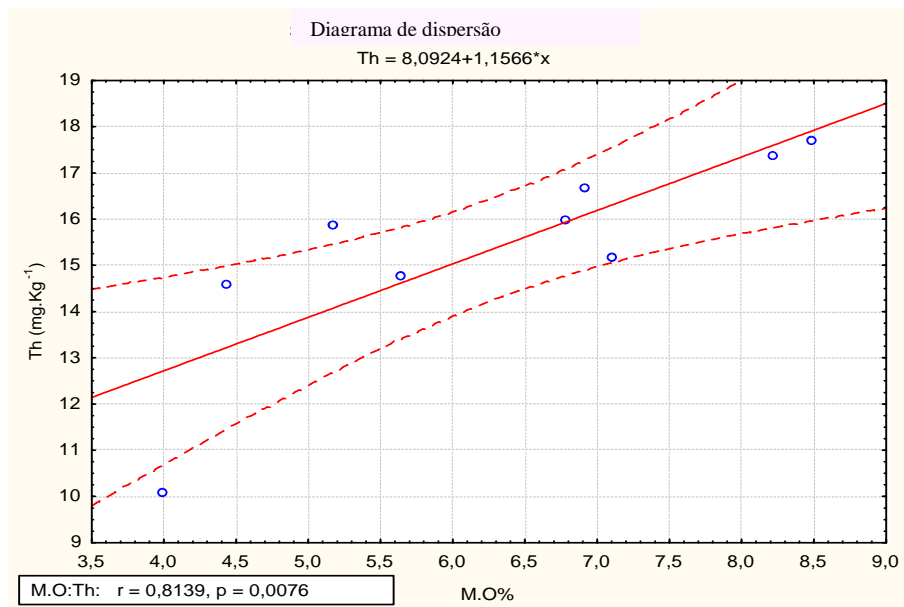


Figura 27. Diagrama mostrando a correlação entre elemento Th e a matéria orgânica.

A tabela 9 mostra uma comparação entre a média dos valores encontrados por Porto (presente trabalho), Nascimento (2007) no rio Guamá - Pa e Pereira (2007) no rio Murucupi em Barcarena – Pa. Observa-se que amostras analisadas no presente trabalho apresentaram valores intermediários, mas ainda sim superiores aos valores do rio Murucupi o qual é comprovadamente impactado por atividades antrópicas. No entanto, no caso do rio Barcarenaa elevada porcentagem de matéria orgânica está relacionada a grande quantidade e adensamento de vegetação, além de descargas pontuais de efluentes oriundos da Vila de São Francisco.

Tabela 09. Comparação entre as médias dos valores de matéria orgânica, encontrados por Porto (presente trabalho), Pereira (2007) e Nascimento (2007)

Local	Matéria Orgânica (%-Peso)
Rio Barcarena - Porto (presente trabalho)	7,35
Rio Guamá - Nascimento (2007)	9,3
Rio Murucupi – Pereira (2007)	4,5

6.4.2 Carbono Orgânico

Carbono orgânico é uma das principais frações da matéria orgânica, que se constitui em fonte de energia nos ambientes aquático, podendo também influenciar os mais diversos processos biogeoquímicos que neles se desenvolvem (KRUGERT ET AL., 2008). De acordo com Santos (1997) o carbono orgânico total é composto de carbono orgânico dissolvido e carbono particulado em uma média de 10 para 1.

No presente trabalho foi encontrado o valor médio de 4,05% de carbono orgânico (Tabela 10), um valor inferior ao encontrado por Santos (1997) no canal da Doca de Souza Franco/Belém (10,62%) e no canal da Tamandaré/Belém (7,09%). De acordo com BARCELLOS (2005), o conteúdo do carbono orgânico nos sedimentos superficiais depende de fatores como características granulométricas, produtividade da coluna d'água, taxa de degradação microbiana e condições oceanográficas locais.

Tabela 10. Conteúdo de carbono orgânico encontrado nos sedimentos do rio Barcarena – Pa.

Amostras	C.O %
B.01	2,57
B.02	3,00
B.03	2,31
B.04	3,27
B.05	3,93
B.06	4,76
B.07	4,11
B.08	5,06
B.09	5,42
B.10	5,01
B.11	5,33
B.12	4,01
B.18	4,92
B.19	6,00
B.20	1,00
Média	4,05%

6.4.3 Elementos Maiores

A fração < 2 μm dos sedimentos do Rio Barcarena é composta principalmente por SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 (como ferro total) e subordinadamente K_2O , MgO , Na_2O , CaO e TiO_2 (Tabela em anexo). Os teores de SiO_2 representam em média 42,81 %-Peso, os teores de Al_2O_3 em média 23,18 %-Peso perfazendo juntos mais de 65 %-Peso da composição química dos sedimentos, principalmente em função dos argilominerais, já que SiO_2 e Al_2O_3 são os dois principais constituintes desses minerais. Os elementos Na_2O , K_2O , CaO e MgO apresentaram um comportamento estatístico normal (Figura 28). Abaixo a tabela 11 mostra a comparação entre os valores da bauxita e solo encontrados por Braga (2007) e os valores de elementos maiores encontrados nos sedimentos (presente trabalho).

Tabela 11. Comparação dos valores dos elementos maiores no solo, sedimento e bauxita. Valores em %-Peso

Média Elementos (%)	Fe2O3%	MgO%	CaO%	Na2O%	TiO2%	SiO2%	Al2O3%
Solo	2,01	0,04	0,02	0,03	1,549	71,16	15,80
Sedimento	6,97	1,09	0,31	0,51	1,50	42,81	23,18
Bauxita	13,94	≤0,01	0,05	0,05	1,446	6,53	51,34

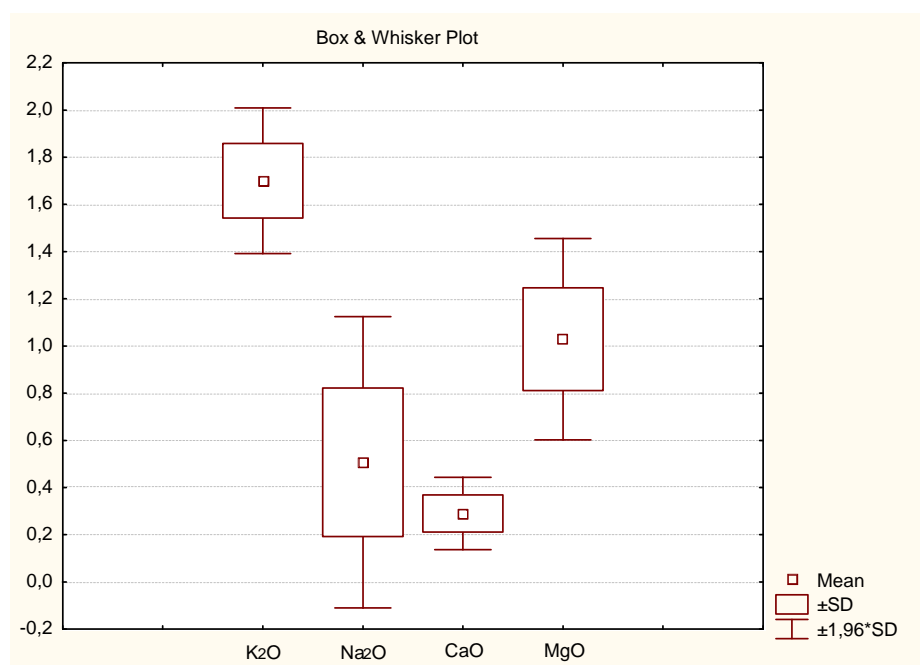


Figura 28. Diagrama de caixa mostrando a distribuição normal dos elementos Na₂O, K₂O, CaO e MgO.

Com exceção do NaO₂, cujo os pontos de amostragem B.02 e B.12 apresentaram os valores mais levados, os demais elementos MgO, K₂O e CaO apresentaram comportamento bastante semelhante entre si ao longo do rio (Figura 29)

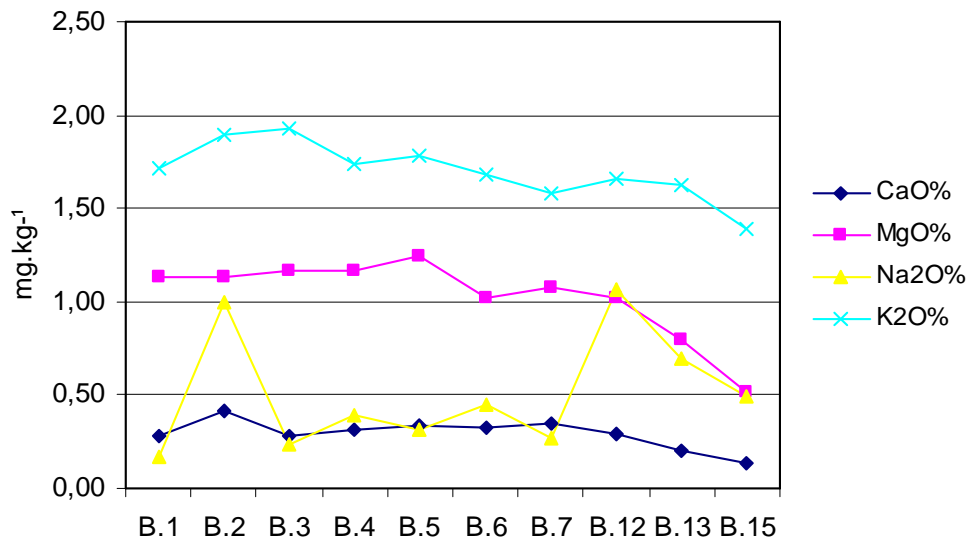


Figura 29. Distribuição da concentração dos elementos maiores (CaO, MgO, Na₂O e K₂O) ao longo do Rio Barcarena (B.01 – nascente/ B.15 – foz).

6.4.4 Elementos Traço

De acordo com Lemes (2001), um sedimento é geralmente formado por fases sólidas de elementos majoritários: metais (Fe, Al, Mn), não metais (C, S, Si e P) e elementos-traço (Cr, Cu, Pb, Zn, Ni, etc); precipitados e compostos hidrolisados como: $\text{Cu}_2(\text{OH})_2\text{CO}_3$; $\text{Pb}_5(\text{PO}_4)_3\text{Cl}$; $\text{Pb}_3(\text{PO}_4)_2$; $\text{Zn}_5(\text{OH})_6(\text{CO}_3)_2$; $\text{Zn}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ e ZnSiO_4 . Estes elementos podem estar presentes em altas concentrações, devido a processos diagenéticos ou por contaminação, já que possuem maior tendência a co-precipitar e adsorver no material particulado do que sofrer sedimentação.

Dentre os elementos traço, os metais pesados compreendem aqueles cuja densidade excede $5,0 \text{ g/cm}^3$ e geralmente são encontrados na natureza em concentrações que os enquadram como elementos traço (FÖRSTNER & WITTMANN, 1979 *apud* GALVÃO, 2003). Os metais pesados de um modo geral podem ser classificados em essenciais e não essenciais com relação aos seres vivos. Os elementos essenciais aos seres vivos são aqueles que têm importante papel no metabolismo dos organismos aquáticos. Os não essenciais, entretanto, não têm função biológica conhecida e são geralmente tóxicos a uma grande variedade de organismos (ESTEVEZ, 1998). A importância com que os elementos traço são tratados, tanto os metais quanto os não metais, está na sua capacidade de promover alterações

fisiológicas negativas nos seres vivos. Os efeitos tóxicos, vão depender do comportamento da curva dose/efeito no organismo.

Os metais pesados estão naturalmente presentes em todos os compartimentos da terra, são absolutamente não degradáveis, podendo acumular-se nos componentes do ambiente onde manifestam sua toxicidade. Os locais de fixação final dos metais pesados são os solos e sedimentos (BAIRD, 2002). As principais fontes desses elementos para o ambiente aquático continental são o intemperismo de rochas, a erosão de solos ricos nestes materiais, as atividades industriais, atividades de mineração, efluentes domésticos e águas superficiais provenientes de áreas cultivadas com adubos químicos (SOUZA, SILVEIRA, BASTOS, 2006).

Em ambientes aquáticos, a distribuição de elementos e compostos químicos, contaminantes ou não, é controlada por processos químicos, físicos e biológicos que, em última análise, determinam sua concentração na coluna de água, nos sólidos suspensos e nos sedimentos.

Uma vez no ecossistema aquático, os metais pesados são distribuídos nos diversos compartimentos do ambiente, como solo, sedimento, plantas e animais. Especificamente no caso dos sedimentos, a literatura mostra que este compartimento funciona como um sistema de estoque de poluentes (FÖRSTNER, 1987 *apud* SANTANA & BARRONCAS, 2007).

Os sedimentos contaminados por metais pesados podem exercer um grande impacto sobre a vida aquática contribuindo para a bioacumulação ou mesmo biomagnificação destes contaminantes na rede trófica. Além disso, eles podem prejudicar a capacidade reprodutiva de muitos organismos e mesmo tornar algumas áreas inabitáveis para a população bentônica (US-EPA, 1998). CAIERO et al. (2005), encontrou concentrações significativas de metais pesados como Cd, seguido de Cu, Pb, Zn e Cr nos sedimentos de fundo no Estuário de Sado – Portugal. Roach (2004), realizou uma avaliação da qualidade de sedimento de fundo do Lago Macquarie na Austrália, cujos resultados mostraram que havia concentrações elevadas de cádmio, mercúrio, selênio, prata e zinco, com probabilidade de efeitos adversos a biota associado a poluição do sedimento. Jesus et al. (2004), encontrou nos sedimentos da Ilha de Vitória - ES, concentrações médias dos metais que refletiram a contribuição de

origem natural, associada à geologia local, bem como a contribuição antrópica pelo descarte de efluentes domésticos e industriais. No trabalho de Moreira & Boaventura (2003) a fração fina do sedimento de fundo da Bacia do Lago Paranoá – DF, atuou como importante ferramenta para a avaliação e localização dos diversos contaminantes nas regiões de interesse. A capacidade de adsorção dos poluentes nas amostras foi controlada pela variação das quantidades de matéria orgânica, pela composição mineralógica e pela variação granulométrica. Siqueira, Pereira, Aprile (2006) constataram em seu trabalho desenvolvido no trecho compreendido entre os Cabos Orange (AP) e Maguari (PA), que os sedimentos superficiais podem ser considerados como sítio de ocorrência natural dos elementos metálicos, não havendo influência de fontes poluidoras na liberação destes para o sistema. Nascimento (2007) encontrou no rio Guamá-Pa concentrações de metais seguindo a seqüência Cr>Pb e Ni>Cu. As concentrações médias foram homogêneas nos dois lados do rio, com os respectivos valores: 43 – 45 mg.Kg⁻¹, 16 – 18 mg.Kg⁻¹, 16 mg.Kg⁻¹, 12 – 13 mg.Kg⁻¹. Pereira (2001) realizou um estudo na Baía do Guajará – Pa e observou que o Pb (54,5 mg.Kg⁻¹) foi o metal de maior concentração seguido do Ni (35 mg.Kg⁻¹), Zn (32,5 mg.Kg⁻¹), Cr (21,5 mg.Kg⁻¹), e Cu (12,5 mg.Kg⁻¹). A Tabela 12 mostra a concentração de elementos traço nos sedimentos do rio Barcarena e a Tabela 13 mostra a matriz de correlação dos elementos analisados nestes sedimentos.

Tabela12. Concentração dos principais elementos traço analisados e suas respectivas concentrações nos sedimentos de fundo do rio Barcarena. Valores em mg.Kg⁻¹.

AMOSTRAS	Cu	Pb	Ni	Cr	V	Th	Zr	Nb
B.01	31,0	37,5	35,2	107,0	144,0	14,6	107,6	16,0
B.02	29,0	29,9	32,3	94,0	11,0	15,9	125,9	19,5
B.03	38,0	31,8	42,9	110,0	145,0	10,1	102,7	15,8
B.04	39,0	45,3	35,8	111,0	132,0	14,8	114,1	19,6
B.05	37,0	28,3	38,8	104,0	142,0	16,0	104,9	17,2
B.06	31,9	29,5	30,1	115,0	133,0	17,4	140,2	22,4
B.07	41,7	33,1	32,9	108,0	131,0	15,2	111,3	18,6
B.12	30,7	28,7	32,0	98,0	106,0	16,7	124,8	21,5
B.13	34,1	28,8	28,4	92,0	103,0	17,7	169,3	28,1
B.15	30,0	54,0	27,2	116,0	95,0	18,7	208,0	37,3
Média	34,2	34,7	33,6	105,5	114,2	15,7	130,9	21,6
SD	4,39	5,6	34,26	8	42,37	2,25	21,33	3,83

Tabela 13. Matriz de Correlação entre elementos maiores, traço e matéria orgânica

	Cu	Pb	Zn	Ni	Cr	V	Nb	Zr	Th	Al	Fé	M.O
Cu	1,00											
Pb	0,35	1,00										
Zn	0,14	0,66	1,00									
Ni	0,43	0,23	0,53	1,00								
Cr	0,44	0,46	0,65	0,41	1,00							
V	0,34	0,42	0,57	0,86	0,18	1,00						
Nb	-0,24	-0,31	-0,75	-0,81	-0,49	-0,75	1,00					
Zr	-0,36	-0,36	-0,77	-0,81	-0,50	-0,74	0,97	1,00				
Th	-0,41	-0,31	-0,34	-0,87	-0,40	-0,71	0,71	0,68	1,00			
Al	0,59	0,07	-0,26	-0,42	0,22	-0,49	0,48	0,34	0,41	1,00		
Fe	-0,23	0,44	0,11	-0,40	-0,15	0,06	0,25	0,32	0,37	-0,01	1,00	
M.O	0,01	-0,43	-0,56	-0,73	-0,18	0,02	0,72	0,80	0,81	0,41	-0,43	1,00

A figura 30 mostra a distribuição dos elementos traço analisados. Observa-se que os elementos Nb e Th apresentaram comportamento semelhante entre si, com poucas variações nos valores das concentrações nas amostras. O mesmo aconteceu com o Pb, Cu e Ni. Os demais elementos, Cr, V e Zr, apresentaram distribuição irregular ao longo do rio, destacando-se o ponto B.15 que apresentou a maior concentração dos últimos elementos traço citados.

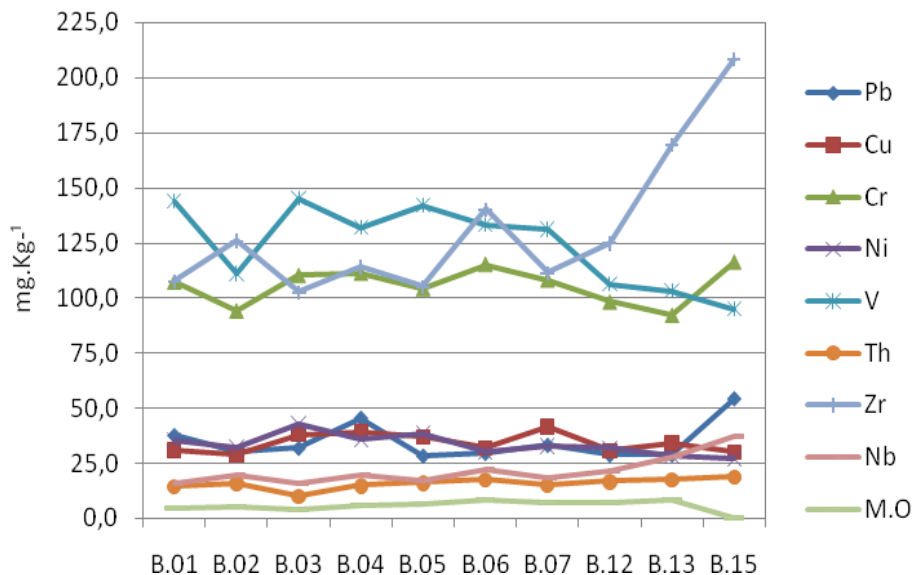


Figura 30. Distribuição da concentração dos elementos traço ao longo do Rio Barcarena.

6.4.4.1 Chumbo

A atmosfera urbana hoje contém 2.000 vezes mais chumbo do que no início da Revolução Industrial. O Pb é o metal pesado mais disseminado no ambiente (PASCALICCHIO, 2002). É um metal dúctil, maleável, de cor prateada ou cinza-azulada, resistente à corrosão. Os principais usos desse elemento estão relacionados às indústrias extrativa, petrolífera, de baterias, tintas e corantes, cerâmica, cabos, tubulações e munições.

Compostos de chumbo são absorvidos por via respiratória e cutânea. Os chumbos tetraetila e tetrametila também são absorvidos através da pele intacta, por serem lipossolúveis. O sistema nervoso, a medula óssea e os rins são considerados órgãos críticos para o chumbo, que interfere nos processos genéticos ou cromossômicos e produz alterações na estabilidade da cromatina em cobaias, inibindo reparo de DNA e agindo como promotor do câncer. (CAMPOS, 2008). As fontes antropogênicas mais importantes de Pb são produzidas na operação de produção e processamento do metal, além das indústrias de ferro e aço. O escoamento superficial urbano e a deposição atmosférica são fontes indiretas significativas de Pb encontrados em ambientes aquáticos (AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY, 1993). Quando o Pb é lançado no meio ambiente, tende a se acumular em solos e sedimentos, onde devido à baixa solubilidade pode permanecer trocável, podendo alcançar os seres humanos (SAUVE; MCBRIDE; HENDERSHOT, 1997).

Ribeiro et al. (2003) realizaram análises químicas dos teores de Pb em amostras de sedimentos da Baía do Guajará, Belém-Pa, ponto de coleta próximo ao Canal do Jacaré, e verificaram que há uma significativa variação na concentração de Pb em profundidade para as três fases geoquímicas estudadas. A fase trocável apresentou uma concentração média de $10,58 \text{ mg.Kg}^{-1}$ de Pb, com valor máximo de 13,75 sendo observado a 25 cm de profundidade. A fase orgânica apresentou uma concentração média de $11,73 \text{ mg.Kg}^{-1}$ à uma profundidade de 20 cm. A fase potencialmente trocável apresentou uma concentração média de $22,62 \text{ mg.Kg}^{-1}$ de Pb, correspondendo a 70% em relação ao Pb encontrado na fase residual.

No rio Barcarena a menor concentração de Pb foi encontrada no ponto B.8 (18,80 mg.Kg⁻¹) e a maior próximo a nascente B.15 (54 mg.Kg⁻¹), perfazendo uma média de 25,11 mg.Kg⁻¹. A Figura 31 mostra que somente os pontos de coleta B.1, B.4 e B.15 apresentaram valores acima daqueles estipulados pelo indicador de qualidade de sedimento TEL (35 mg.Kg⁻¹). O que mostra que o Pb, nesta concentração, pode eventualmente provocar algum malefício à vida aquática. Para o restante das amostras cujos valores de Pb são menores que o TEL, não há representação de nenhum perigo quanto a bioacumulação deste metal ou ainda intoxicação pela fauna aquática.

Quanto a biodisponibilidade do Pb, a fração remobilizável é de aproximadamente 17% da fração de Pb total. A amostra B.6 foi aquela que apresentou a maior fração trocável e a amostra B.15 a menor (Figura 32), mostrando que mais da metade do Pb presente nas amostras de sedimento não está disponível para o ambiente.

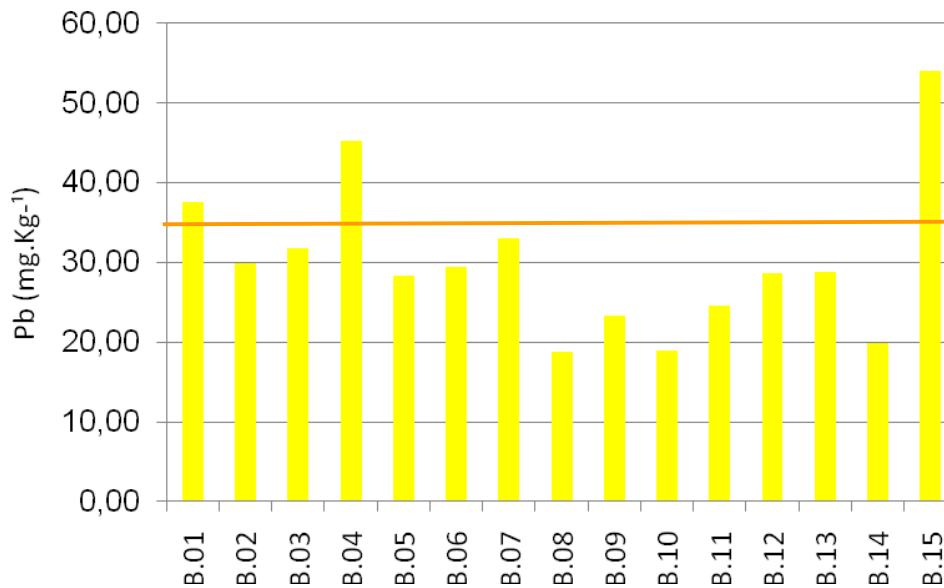


Figura 31. Distribuição da concentração de Pb em todas as amostras ao longo do rio. A linha laranja respresenta a concentração do índice TEL (35 mg.kg⁻¹).

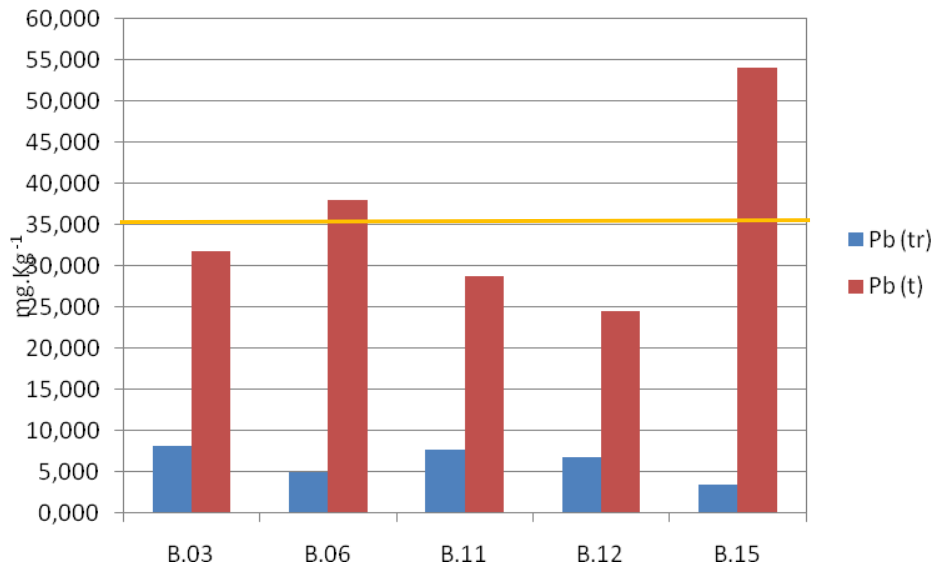


Figura 32. Diagrama mostrando a distribuição do Pb na fração trocável (tr) e total (t) nos sedimentos do rio Barcarena. A linha de cor laranja mostra o valor do indicador de qualidade de sedimento TEL (Treshold Effect Leve – 35 mg.Kg⁻¹).

O baixo valor de r observado entre o elemento Pb e os elementos Al ($r = +0,16$) e Fe ($r = +0,30$), indica que a presença de Pb, neste caso, não está diretamente relacionada a estrutura dos argilominerais, ou óxidos e hidróxidos de ferro. O Pb apresentou correlação negativa em relação a matéria orgânica ($r = -0,41$) indicando que este elemento não está complexado a matéria orgânica.

A Figura 33 mostra a comparação entre as concentrações de Pb encontradas nas amostras da Baía do Guajará por Saraiva (2007), no rio Guamá por Nascimento (2007), nesse trabalho no rio Barcarena e valores obtidos para e bauxita utilizados pelas indústrias da região. Observa-se a formação de populações diferentes, ainda que a rocha que dá origem a esses sedimentos seja a mesma. Esperava-se que as amostras do rio Barcarena se agrupassem com as de Nascimento e Saraiva, entretanto, observa-se que as amostras do rio Barcarena apresentam concentrações maiores de Al e valores de Pb coincidentes com aqueles obtidos por Saraiva (2007). O fato das amostras alinharem com a bauxita poderia ser explicado através de sua gênese ligada a latossolos que dominam na região estudada, entretanto, nesse caso elas deveriam coincidir com as amostras de Nascimento (2007) e Saraiva (2007). Uma segunda

hipótese para explicar esse alinhamento seria que os maiores valores de Al observados nas amostras do rio Barcarena seriam devido a uma mistura entre os sedimentos de fundo e bauxita. Nesse caso o alinhamento observado na figura 34 poderia ser interpretado como uma linha de mistura física ou mecânica entre os sedimentos de fundo e a bauxita, provavelmente em função de algum acidente ocorrido no período em que a bauxita era transportada por barcaças através do rio Barcarena até o Porto de São Francisco.

A figura 34 mostra a distribuição dos teores de Pb no Rio Barcarena, onde as maiores concentrações estão próximas ao núcleo urbano de Barcarena e o povoado de São Francisco, o que corrobora a hipótese da mistura.

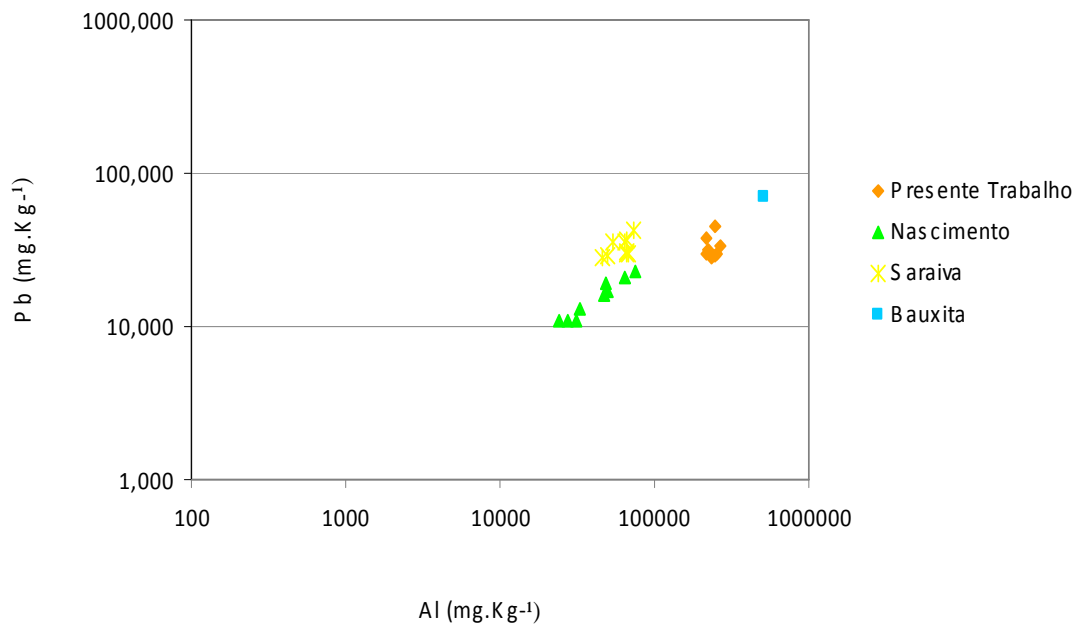


Figura 33. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Pb nos sedimentos, encontrados por Saraiva (2007), Nascimento (2007), Presente Trabalho e valores de Pb encontrados na bauxita (Braga, 2007).

O último ponto de coleta é uma exceção, apesar de afastado dos núcleos urbanos, apresentou elevada concentração de Pb, o que pode ser explicado por algumas atividades próximas a essa área, tal como a presença de agricultura e a possível utilização de defensivos agrícolas contendo elevados teores desse metal.

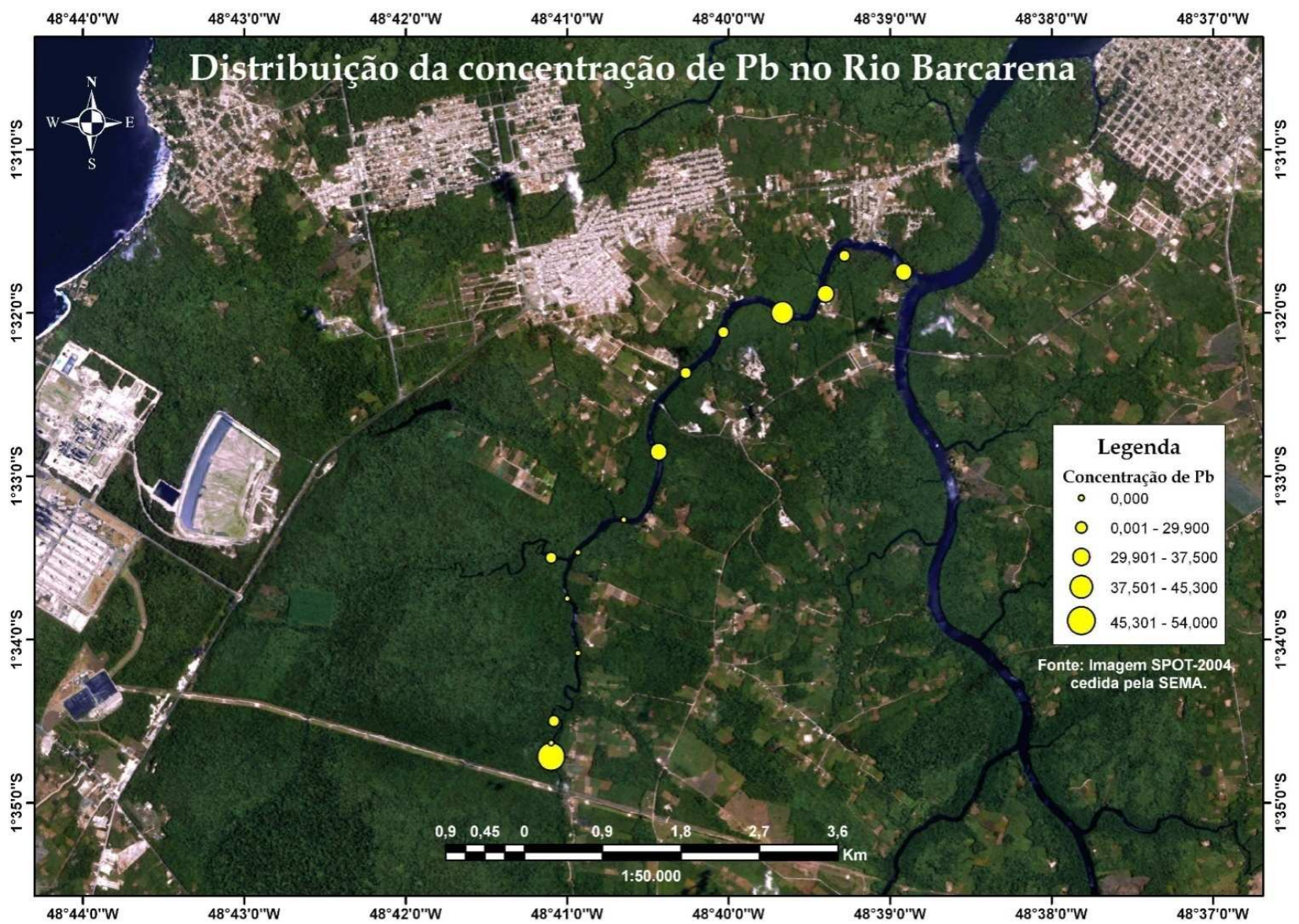


Figura 34. Distribuição da concentração de Pb no Rio Barcarena.

6.4.4.2. Crômio

O crômio é obtido do minério cromita, metal de cor cinza que reage com os ácidos clorídrico e sulfúrico. O crômio metálico e ligas também são encontrados em inúmeras atividades industriais, destacam-se: galvanoplastia, soldagens, produção de ligas ferro-cromo, curtume, produção de cromatos, dicromatos, pigmentos e vernizes (CAMPOS, 2008).

O Cr em elevada concentração no organismo pode ocasionar a inflamação do tubo digestivo, necrose hepática e renal. Quando é absorvido por via respiratória pode levar a laringite, bronquite e pneumonia aguda (FREITAS, 2006).

A concentração média de Cr nos sedimentos de fundo do rio Barcarena foi de $92,61 \text{ mg.Kg}^{-1}$. Somente os pontos B.08, B.09, B.10, B.11 e B.14 mostraram teores de Cr abaixo do índice de qualidade de sedimento PEL, mas ainda assim, acima do índice TEL (Figura 35). Isso significa que a concentração desse elemento nos sedimentos do rio Barcarena pode provocar efeitos maléficos freqüentes à biota aquática, e que, portanto, para este elemento os sedimentos não apresentam boa qualidade.

A fração trocável de Cr apresentou-se bastante regular ao longo do rio (Figura 36). O valor médio foi de $4,91 \text{ (mg.Kg}^{-1})$ $\sigma = 8,38$, atingindo 4,4% da fração total, a menor concentração trocável quando comparado aos demais metais, resultado esperado visto que o Cr é um elemento de difícil mobilidade.

O elemento Cr não mostrou boa correlação com Al ($r = +0,23$) e o Fe ($r = +0,09$), indicando que este metal não está presente associado nos argilominerais e nem nos óxidos e hidróxidos de Fe.

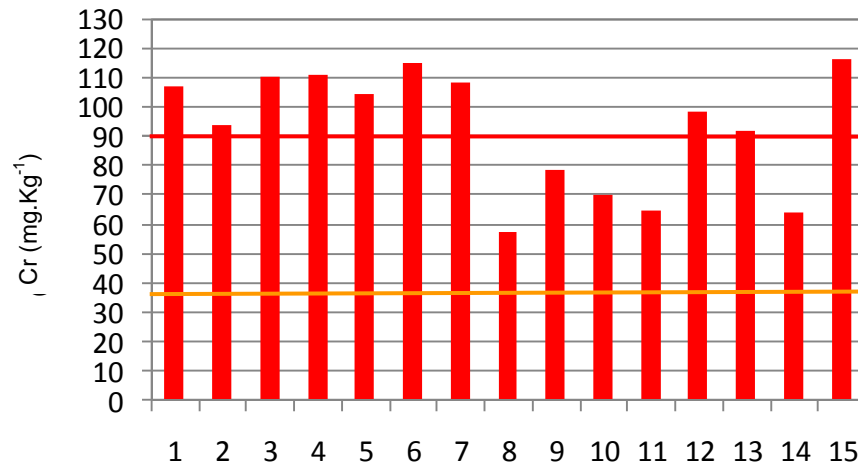


Figura 35. Distribuição da concentração de Cr em todas as amostras ao longo do rio. Linha cor laranja marca o valor de TEL ($37,3 \text{ mg.Kg}^{-1}$) e a linha cor vermelha marca o valor de PEL que equivale a 90 mg.kg^{-1}

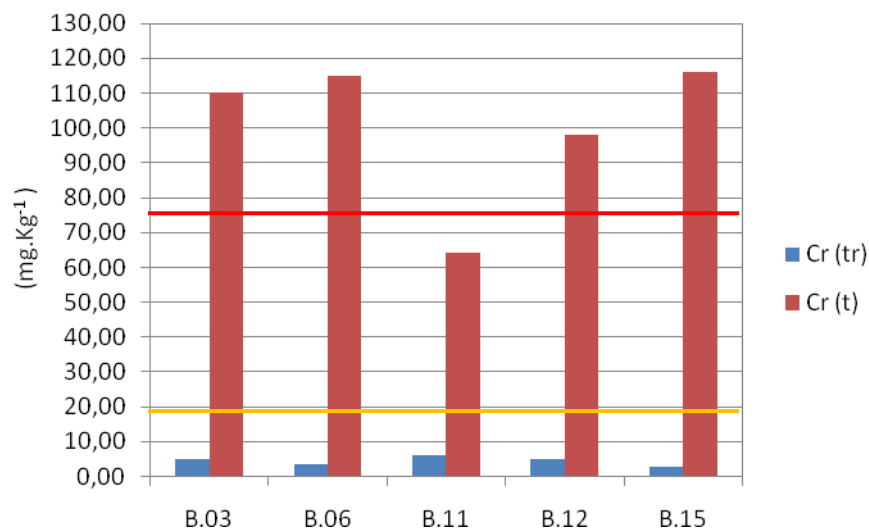


Figura 36. Diagrama mostrando a distribuição do Cr na fração trocável (tr) e total (t) nos sedimentos do rio Barcarena.

A Figura 37 mostra vários grupos de amostras. Saraiva (2007) e Nascimento (2007) coletaram amostras na Baía do Guajará – Pa, rio Guamá - Pa, respectivamente, Porto (trabalho atual) representa os valores do rio Barcarena - Pa, objeto deste estudo, e o ponto azul representa a concentração de Cr na bauxita de acordo com a análise realizada por Braga (2007). As amostras do rio Barcarena se agrupam entre as amostras das demais localidades e a concentração encontrada na bauxita por Braga (2007). Os grupos estão alinhados, corroborando a hipótese de uma linha de mistura com a bauxita, da mesma forma que o chumbo.

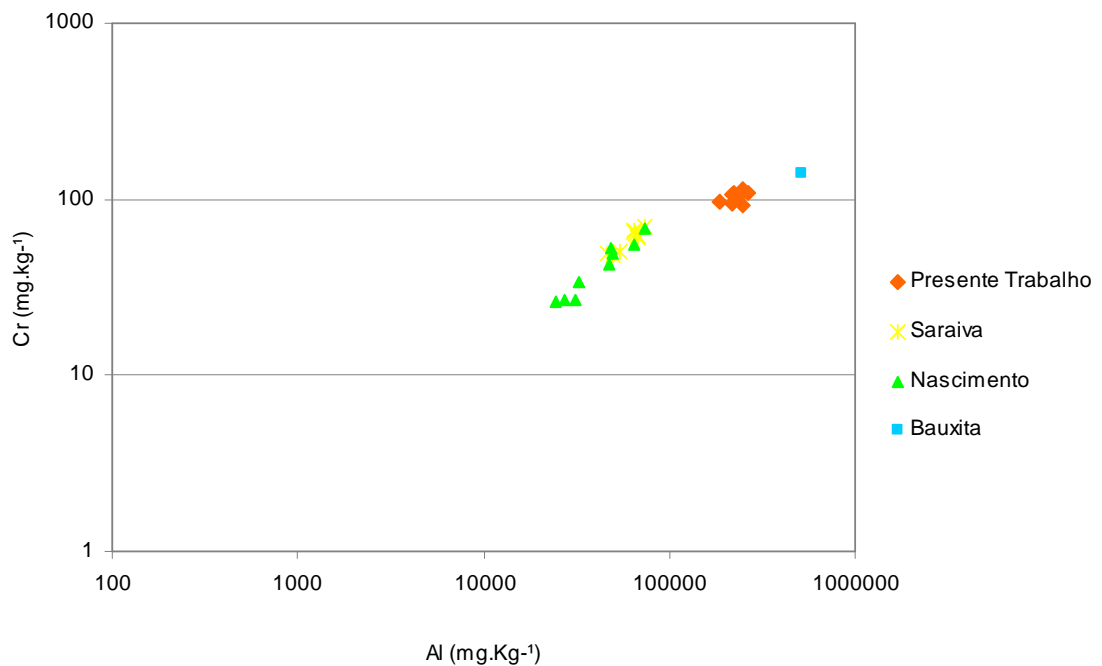


Figura 37. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Cr nos sedimentos, encontrados por Saraiva (2007), Nascimento (2007), Presente Trabalho e valores de Cr encontrados na bauxita.

A figura 38 mostra a distribuição dos teores de Cr total ao longo do rio, os valores só aumentam nas proximidades da vila de São Francisco e próximo a nascente do rio. O elevado teor de Cr próximo a Vila, ocorre em função da atividade portuária, cujo o transporte de materiais e substâncias são fontes potenciais de *input* de metais pesados no rio Barcarena. O ponto de coleta que corresponde a nascente, cujo o valor de Cr também foi elevado, está em uma região com forte presença da agricultura, o que sugere que a concentração de Cr neste ponto pode estar diretamente relacionada a eventual utilização de defensivos agrícolas.

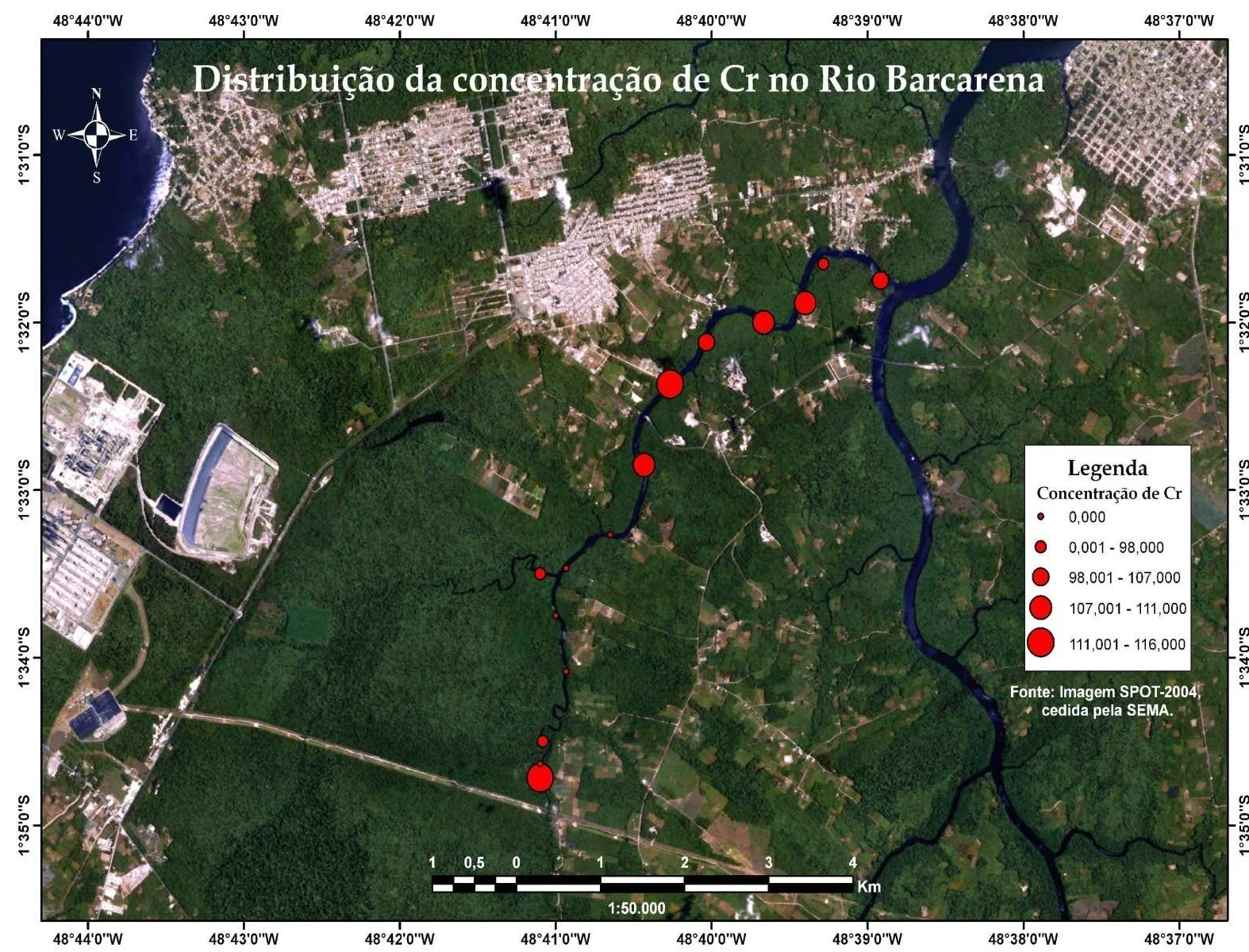


Figura 38. Distribuição da concentração de Cr no Rio Barcarena.

6.4.4.3 Cobre

Segundos dados da DNPM (1988) *in* Aguiar (2005), o Cu na sua forma natural se encontra geralmente junto a Ag, Ge, Sn, Pb, Fe, Ni, Co e outros metais. Nas áreas estuarinas e costeiras as fontes de Cu tem origem geralmente nos grandes centros urbanos. Descarga de esgotos, disposição final de resíduos sólidos, lixiviação dos solos urbanos, principalmente no período de chuvas, onde os metais podem ser lixiviados do asfalto, sucatas, lixões, lavadoras de carros e conexões hidráulicas, uso inapropriado do solo e localização de parques industriais (através de efluentes líquidos, sólidos e gasosos).

A média de Cu nos sedimentos foi de 30 mg.Kg^{-1} , $\sigma = 4,4$ a amostra B.6 ($18,24 \text{ mg.Kg}^{-1}$) apresentou a menor concentração e B.13 ($41,70 \text{ mg.Kg}^{-1}$) a maior. Houve um ligeiro aumento no teor de Cu, na direção foz – nascente. As amostras B.5; B.7; B.12; B.13 e B.15 apresentaram concentração de Cu acima do valor estipulado pelo (TEL = 35 mg.Kg^{-1}), no entanto, abaixo do valor do indicador PEL ($91,3 \text{ mg.Kg}^{-1}$), sugerindo que o Cu, nesta concentração, pode eventualmente causar efeitos adversos aos organismos bentônicos (figura 39). O valor médio do teor de Cu trocável foi de $30 \text{ (mg.Kg}^{-1})$, a maior concentração foi a do ponto B.06 (Figura 39), onde a fração trocável de Cu atingiu 83% da fração total deste elemento, uma concentração anômala quando comparada às demais amostras cuja fração trocável foi bastante pequena (figura 40). O ponto B.06, portanto, evidencia que há alguma fonte de contaminação que modifica as condições ambientais, permitindo a mobilidade deste metal.

O elemento Cu não apresentou boa correlação com nenhuma das variáveis analisadas, ou seja, Al (+0,58), Fe (+0,09) e matéria orgânica (+0,01), indicando que este elemento não tem sua origem relacionada aos argilominerais, óxidos-hidróxidos de Fe ou complexos orgânicos .

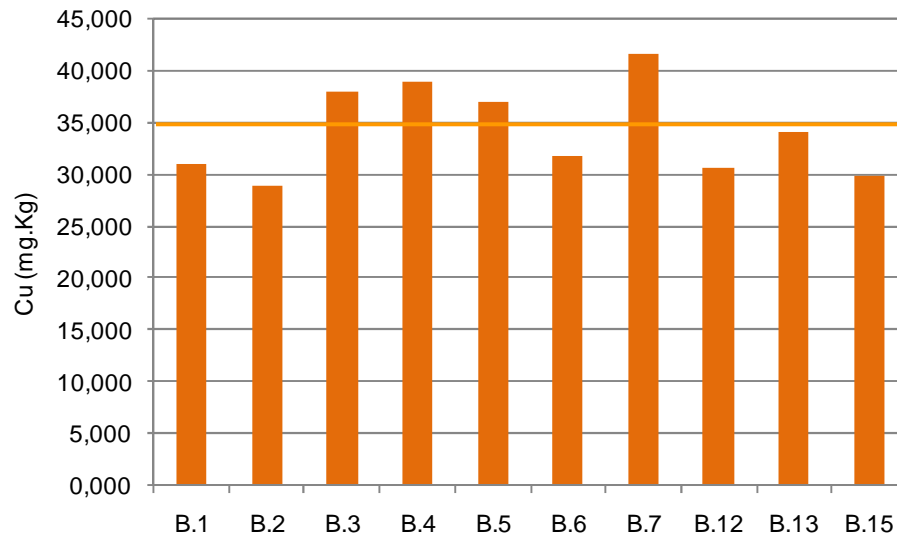


Figura 39. Distribuição da concentração de Cu em todas as amostras ao longo do rio. A linha laranja representa a concentração do índice TEL (35 mg.kg^{-1}).

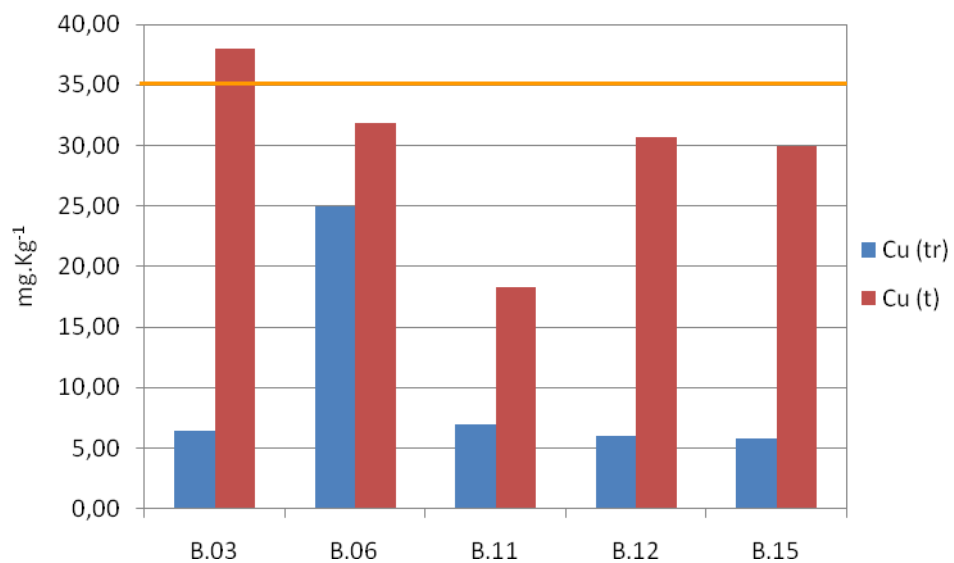


Figura 40. Diagrama mostrando a distribuição do Cu na fração trocável (tr) e total (t) nos sedimentos do rio Barcarena.

Na figura 41, os grupos distintos representados pelas amostras do rio Guamá, Baía de Guajará, rio Barcarena e bauxita estão alinhados reforçando a hipótese de mistura física, mecânica com a bauxita, um comportamento semelhante ao apresentado pelo Cr.

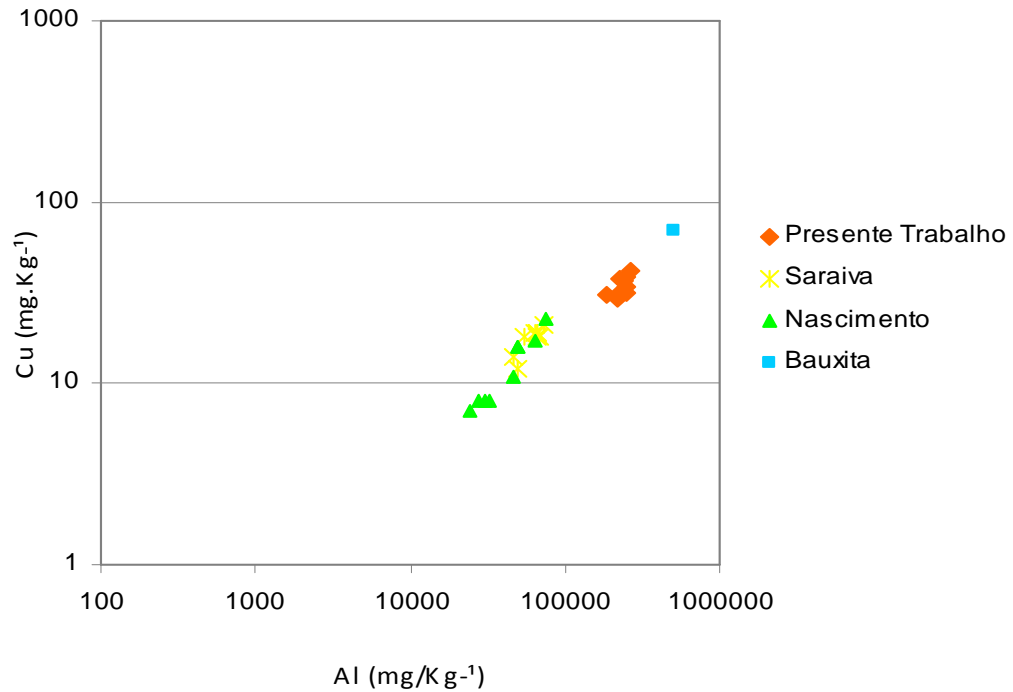


Figura 41. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Cu nos sedimentos, encontrados no presente trabalho, por Saraiva (2007) na Baía do Guajará-Pa, Nascimento (2007) no Rio Guamá-Pa e valores de Cu encontrados na bauxita.

A figura 42 mostra a distribuição dos valores de Cu no rio Barcarena, com predomínio das maiores concentrações próximo ao núcleo urbano, comportamento semelhante aos demais metais.

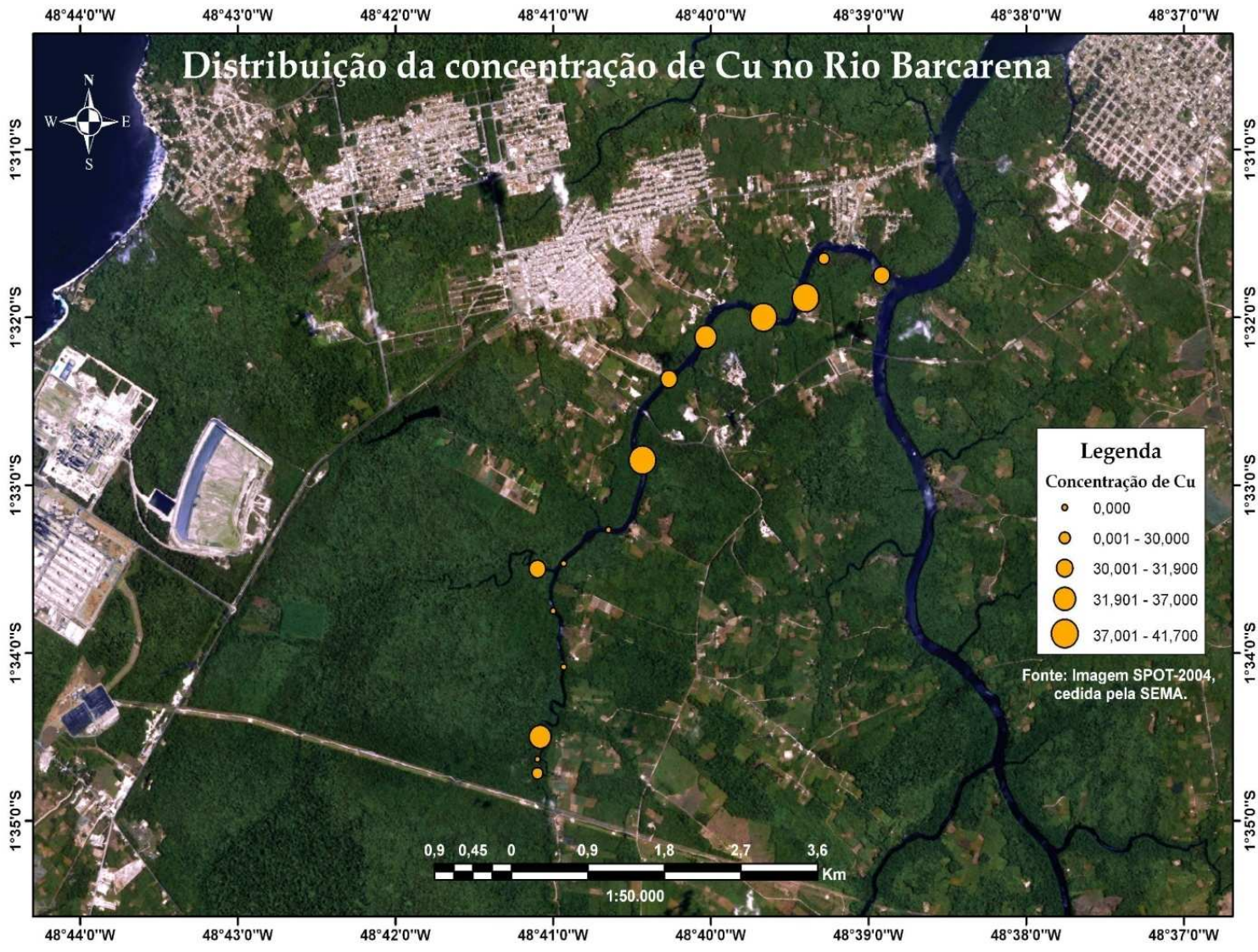


Figura 42. Distribuição da concentração de Cu no rio Barcarena.

6.4.4.4. Níquel

O níquel é um metal branco-prateado, dúctil, maleável, peso específico 8,5 g/cm³, possuindo grande resistência mecânica à corrosão e à oxidação. Os minerais de níquel são: os sulfetos milerita e pentlandita (FeNi₉S₈), que se apresentam associados a outros sulfetos metálicos em rochas básicas, freqüentemente acompanhados de cobre e cobalto. O sulfeto é o principal mineral utilizado, contribuindo com mais de 90% do níquel extraído. (DNPM, 2001). De acordo com Pascalicchio (2002), o Níquel é um elemento encontrado principalmente na produção de baterias, refinarias, fundição e niquelagem de metais.

O valor médio da concentração de Ni nos sedimentos do rio Barcarena foi de 35,06 mg.Kg⁻¹. A fração trocável atingiu 8,5% da fração total (figura 44), a média da fração trocável foi de 3 mg.kg⁻¹ e manteve-se regular em todos os pontos. Todas as amostras apresentaram concentração acima do valor estabelecido pelo índice TEL que é de 18 mg.Kg⁻¹ para este elemento (figura 43), sugerindo que o teor de Ni presente nos sedimentos do rio podem eventualmente causar efeitos biológicos adversos, o que dependerá da sensibilidade dos organismos bentônicos. Já os pontos B.03, B.04, B.05, B.09, B.10, B.11 e B.14 apresentaram elevada concentração de Ni, superando o índice PEL (36 mg.Kg⁻¹), indicando que nesses pontos há grande probabilidade dos organismos aquáticos sentirem efeitos danosos freqüentes.

O elemento Ni (fração total) apresentou correlação negativa com as variáveis analisadas, ou seja, Al (-0,42) e Fe (-0,40), indicando que este elemento não acompanha o aumento dos teores de Fe e Al nos sedimentos, seja pela adsorção aos argilominerais, seja na presença de óxidos-hidróxidos de Fe respectivamente. Quanto a matéria orgânica, o Ni também apresentou forte correlação negativa (-0,73), indicando que o metal encontrado nos sedimentos tem sua concentração aumentada em amostras com quantidades pequenas de matéria orgânica. Laing et al (2009) observou em seus resultados uma forte mobilização dos metais Ni, Pb, Cu e Zn, em complexos orgânicos dissolvidos. No mesmo estudo, o comportamento do Ni esteve intimamente relacionado com o comportamento de Fe e Mn.

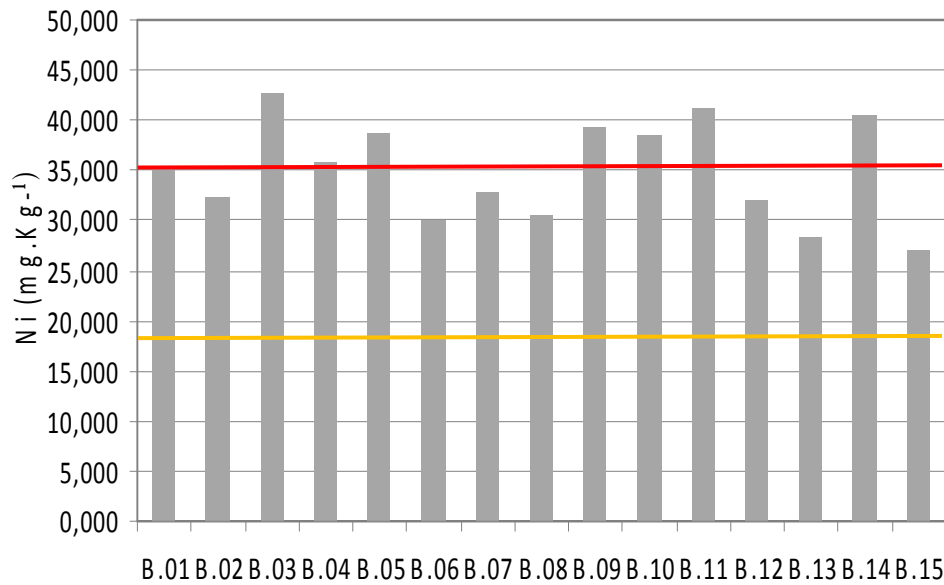


Figura 43. Distribuição da concentração de Ni em todas as amostras ao longo do rio. A linha laranja respresenta a concentração do índice TEL (18 mg.kg^{-1}) e a vermelha o PEL (36 mg.Kg^{-1})

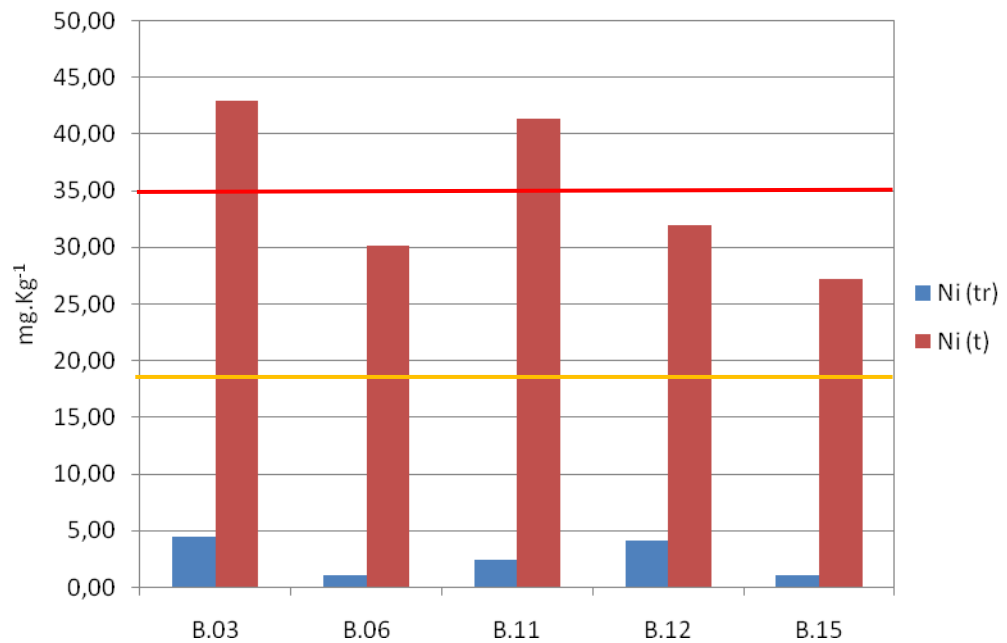


Figura 44. Diagrama mostrando a distribuição do Ni na fração trocável (tr) e total (t) nos sedimentos do rio Barcarena.

A figura 45 mostra a relação entre a concentração de níquel e alumínio nesse trabalho, em Saraiva (2007) e Nascimento (2007), além dos valores da bauxita (Braga,2007). Quando observamos o diagrama, verificamos que, as amostras do rio Barcarena mostram uma população diferente das demais. Os sedimentos do rio Barcarena apresentaram concentrações de níquel acima dos valores de Ni encontrados na bauxita e nos demais locais pesquisados por Saraiva (2007) e Nascimento (2007). Esse comportamento corrobora a hipótese de mistura, uma vez que os valores de níquel na bauxita são inferiores a 20 mg.kg^{-1} , portanto valores muito próximos aos encontrados nos sedimentos de áreas adjacentes (baía do Guajará), que comprovadamente estão influenciadas por fontes antropogênicas, (Saraiva 2007 e Nascimento 2007).

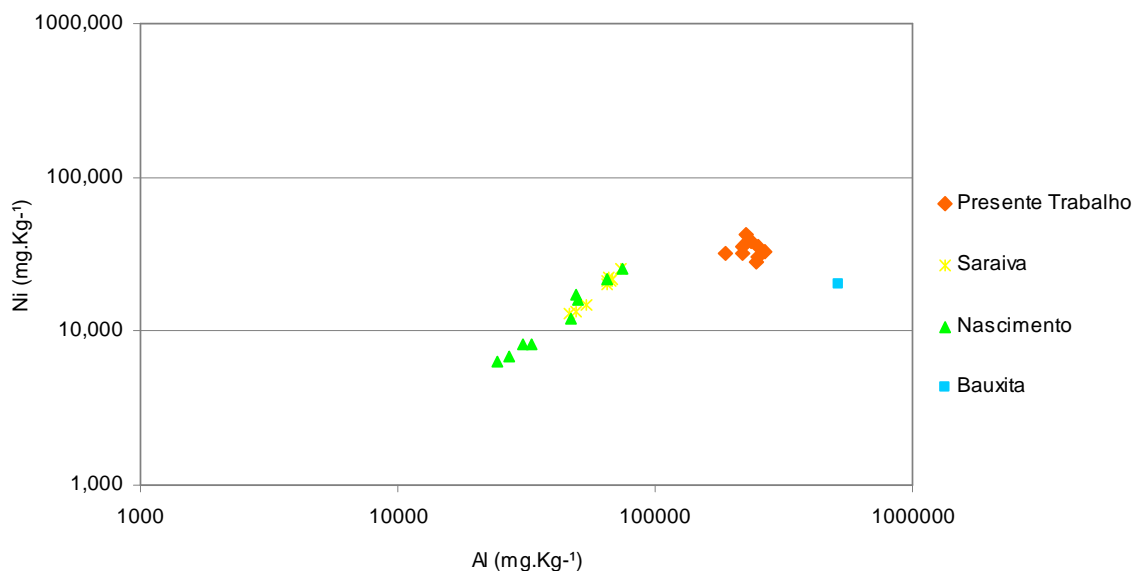


Figura 45. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Ni nos sedimentos, encontrados por Saraiva (2007), Nascimento (2007), presente trabalho e valores de Ni encontrados na bauxita.

A figura 46 mostra a distribuição dos valores de Ni no rio Barcarena, onde os pontos de concentração mais elevada deste metal se localizam próximos a área urbana (Vila de São Francisco), fato que pode estar relacionado a eliminação de resíduos e efluentes da vila diretamente no rio, ou proveniente da atividade portuária (Porto de São Francisco).

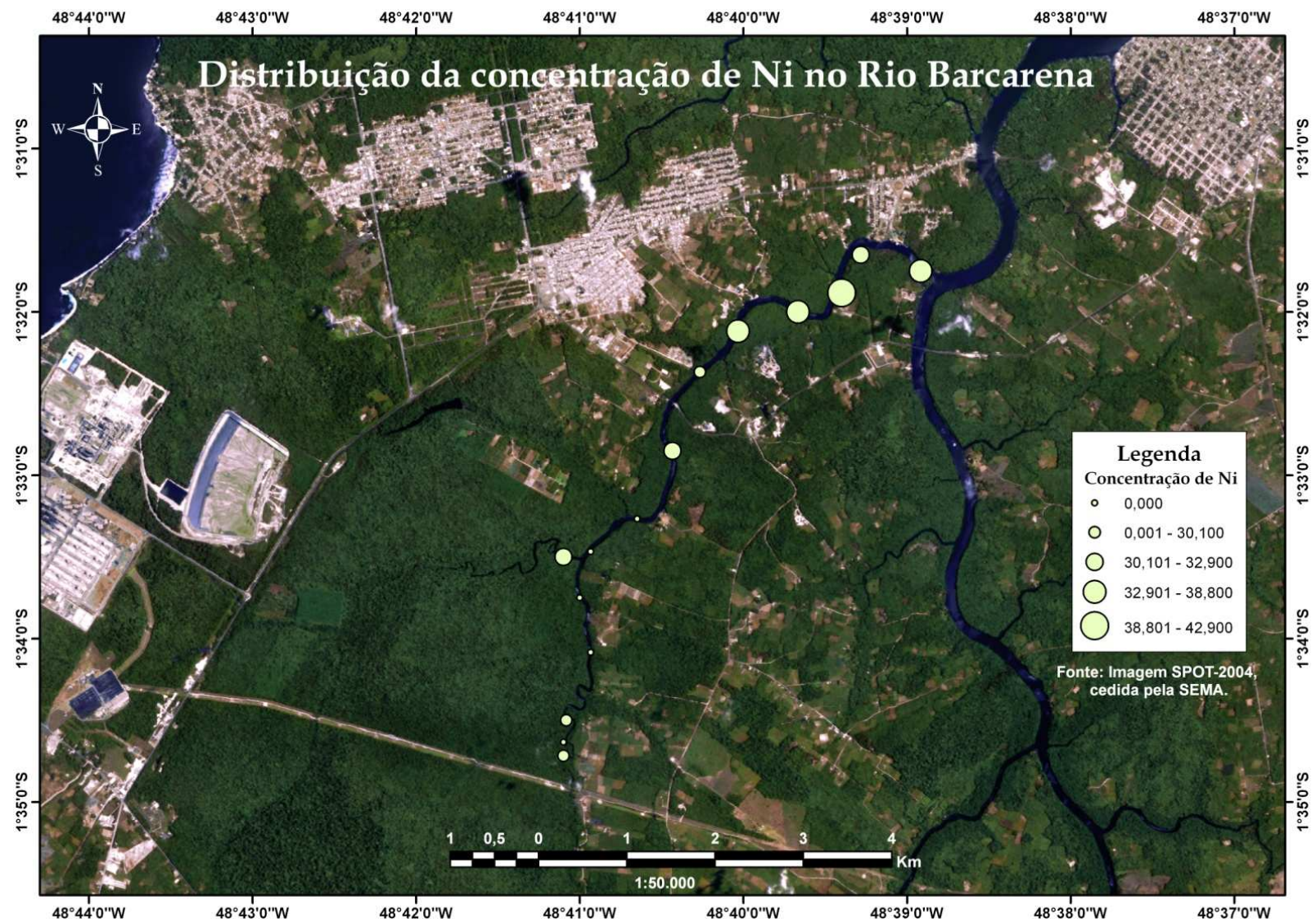


Figura 46. Distribuição da concentração de Ni no rio Barcarena.

6.4.4.5. Vanádio

Ele é o 22º mais abundante elemento na crosta terrestre. Entre os seus principais minérios estão a carnotita (vanadato de uranila e potássio hidratado, $K_2(UO_2)_2(VO_4)_2 \cdot nH_2O$ - importante fonte de urânio), a vanadita e a roscoelita. A maior parte do vanádio é empregada no preparo da liga *ferrovanádio* (com até 80% de vanádio), usada na produção de aço e outras ligas (PEIXOTO, 2006). Segundo Jost (1932) *apud* Wedepohl (1970) a maior proporção de V está dispersa na fração argila, ou adsorvido aos argilominerais ou presente nos óxidos e hidróxidos de Fe.

De acordo com as análises químicas de Braga (2007) o V é um elemento encontrado em abundância na Bauxita (278 mg.Kg^{-1}). Neste trabalho os valores encontrados de V foram considerados altos quando comparados aos valores citados em trabalhos realizados na Baía do Guajará - Pa por Saraiva (2007) e por Nascimento (2007) no Rio Guamá - Pa, respectivamente 82 e 70 mg.Kg^{-1} . Este elemento não apresentou boa correlação com o Al (-0,29) ou com o Fe (+0,36), demonstrando que a origem do V, assim como na maioria dos elementos analisados neste trabalho não está associado aos argilominerais e aos óxi-hidróxidos de Fe.

A figura 47 exhibe a relação entre a concentração de vanádio e alumínio nas amostras de sedimento de fundo do rio Guamá, Baía do Guajará, e rio Barcarena, além das concentrações médias de bauxita. Percebe-se claramente a formação de grupos distintos, e o agrupamento das amostras do rio Barcarena se posiciona na mesma direção das amostras do rio Guamá, visto que a quantidade de vanádio é a mesma, no entanto a quantidade de alumínio das amostras do rio Barcarena é bastante superior.

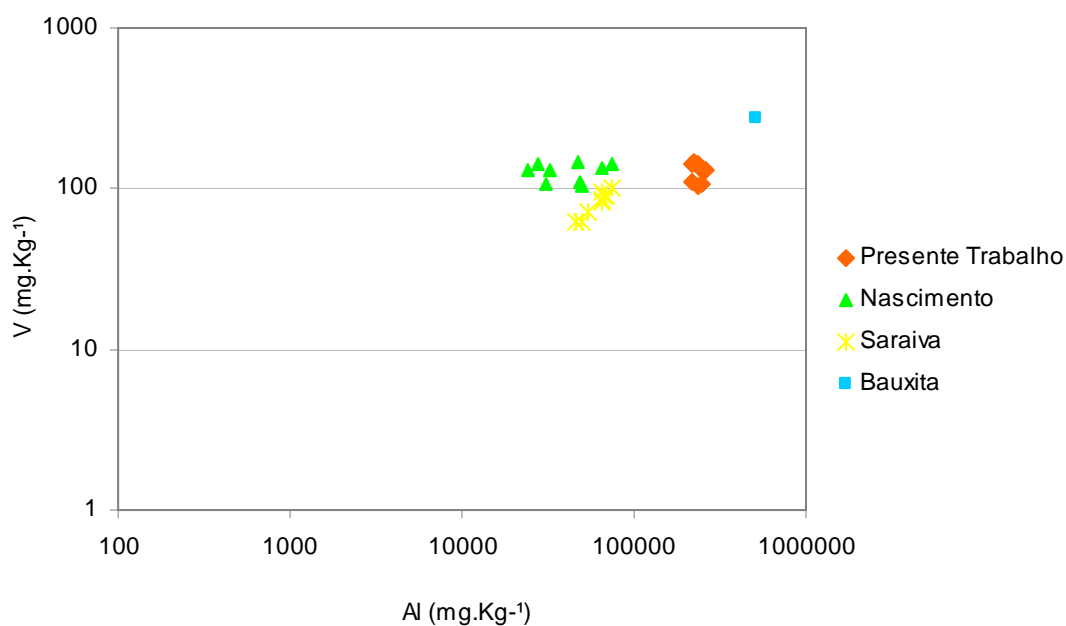


Figura 47. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de V nos sedimentos, encontrados no presente trabalho, Saraiva (2007) na Baía do Guajará-Pa, Nascimento (2007) no Rio Guamá-Pa e valores de Cu encontrados na bauxita.

A figura 48 mostra a influência do núcleo urbano no aumento da concentração de V, visto que as maiores concentrações deste elemento estão localizadas próximas ao povoado de São Francisco (amostra B.3), o que mostra a provável relação entre as atividades ligadas ao Porto de São Francisco e a concentração de V, a qual diminui drasticamente em direção à nascente do rio Barcarena.

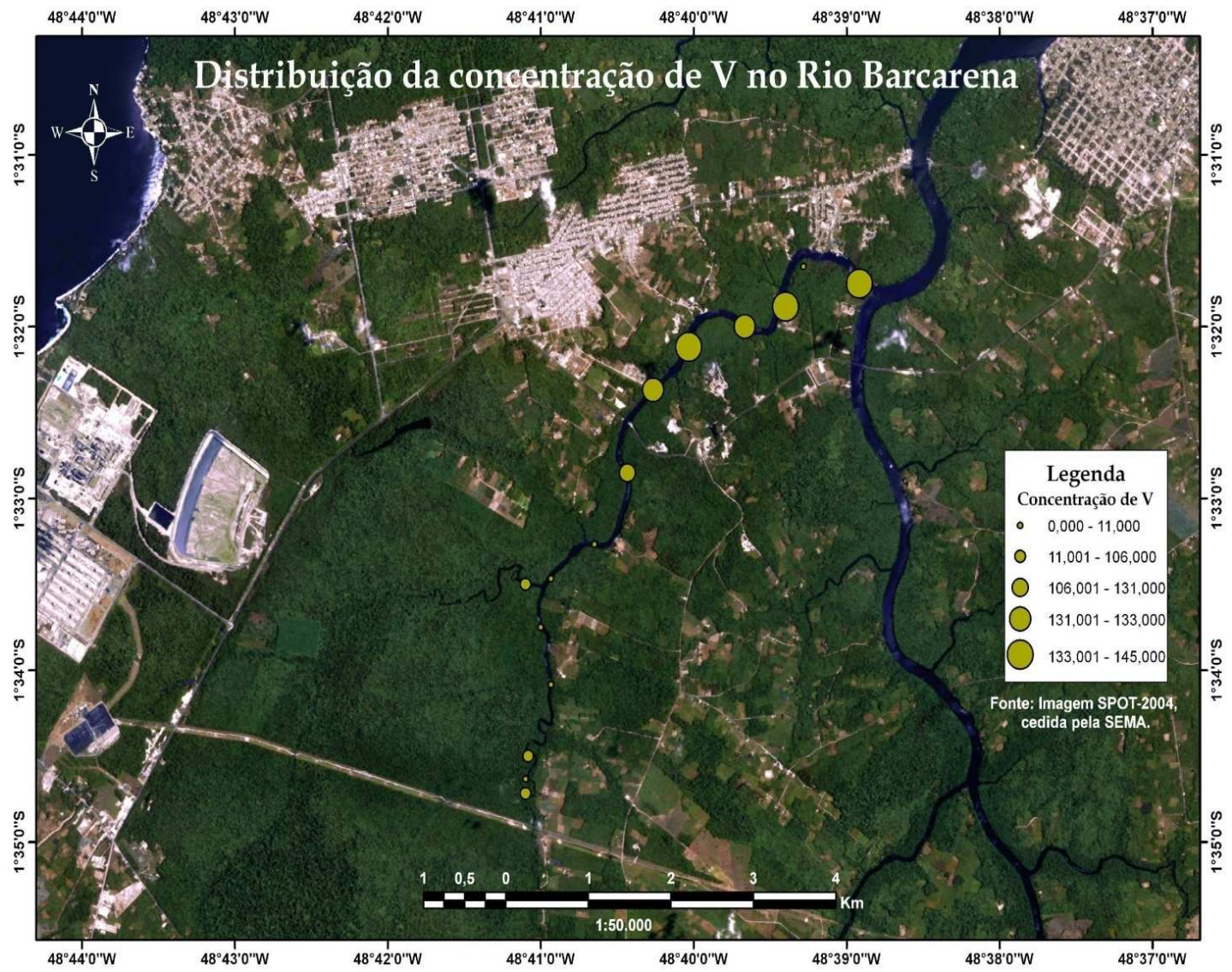


Figura 48. Distribuição da concentração de V no rio Barcarena

6.4.4.6. Nióbio

O nióbio (Nb) ou colômbio (Cb) é um elemento metálico de número atômico 41 na Tabela Periódica dos Elementos Químicos. Sua massa específica é de $8,57\text{g/cm}^3$, pouco superior à do ferro, e seu ponto de fusão é de 2.468°C . A ocorrência de nióbio na natureza está associada aos pegmatitos, sob a forma de colombita-tantalita, ou associada a carbonatitos de maciços alcalinos, constituindo-se o mineral denominado pirocloro. Seus minerais principais são as colombitas-tantalitas, formando uma série isomorfa de nióbio-tantalatos de ferro e manganês, com teores variados de óxido de colômbio (Cb_2O_5) e de óxido de tântalo (Ta_2O_5). São chamados de colombitas os minerais com predominância de nióbio, e tantalitas aqueles em que predomina o tântalo, não havendo, entretanto, limites precisos para esta definição. A liga ferro-nióbio, obtida através do processo de aluminotermia, é um importante insumo empregado na obtenção de alguns tipos de aços, como os microligados e inoxidáveis, com aplicação nas indústrias de construção civil, automotiva, naval, aeronáutica, espacial, na fabricação de tubulações (grades, estruturas, gasodutos e oleodutos) e de ferramentas de alta precisão (DNPM, 2008).

Na bauxita os valores de Nb estão na média de 42 mg.Kg^{-1} (Braga, 2007). Neste trabalho as concentrações de Nb apresentaram uma média de 22 mg.Kg^{-1} . Quando se utiliza o diagrama de correlação entre o nióbio e o alumínio (figura 49) verifica-se a formação de um grupo bem definido, com valores acima dos encontrados na Baía do Guajará por Saraiva (2007), e no rio Guamá por Nascimento (2007). Da mesma forma que os demais elementos estudados, o comportamento do vanádio também reforça a hipótese da mistura entre sedimentos e bauxita.

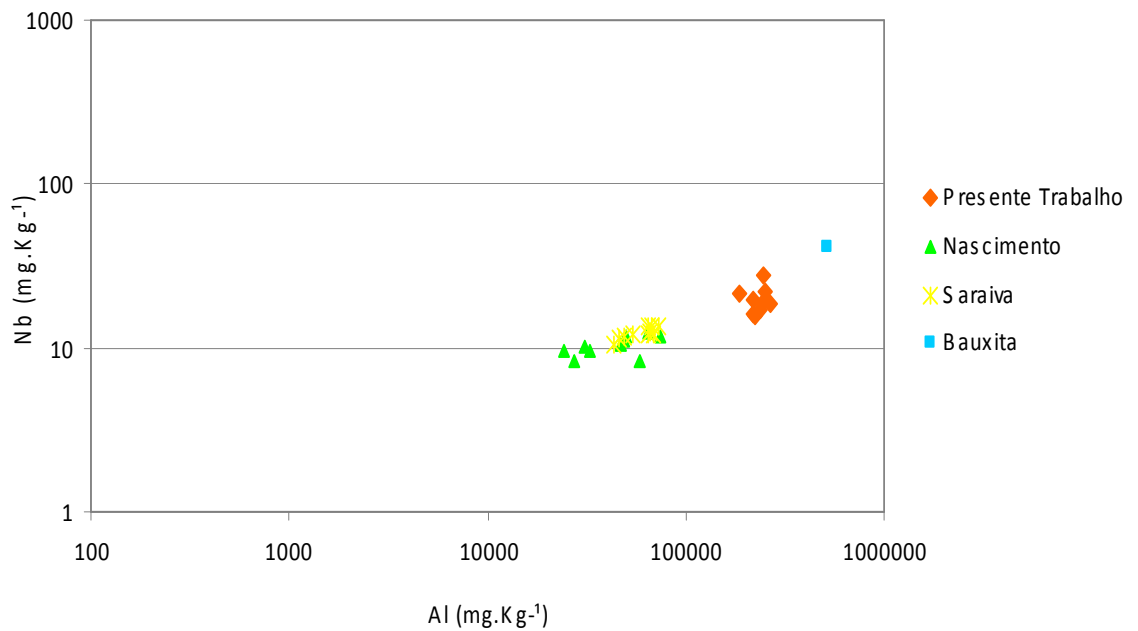


Figura 49. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Nb nos sedimentos, estudados no presente trabalho, encontrados por Saraiva (2007), Nascimento (2007), Porto (2008) e valores de Nb encontrados na bauxita.

A figura 50 mostra que a distribuição das concentrações de Nb nos sedimentos é irregular, com valores máximos próximos à nascente do rio. Próximo a nascente passa uma linha de transmissão de energia e existe a hipótese de que algumas substâncias utilizadas para evitar o crescimento da vegetação possam contribuir para o *input* de alguns elementos no rio, mais precisamente na nascente, além disso, áreas de agricultura nessas proximidades também são fontes potenciais de disponibilidade de elementos químicos, provenientes da utilização de defensivos agrícolas.

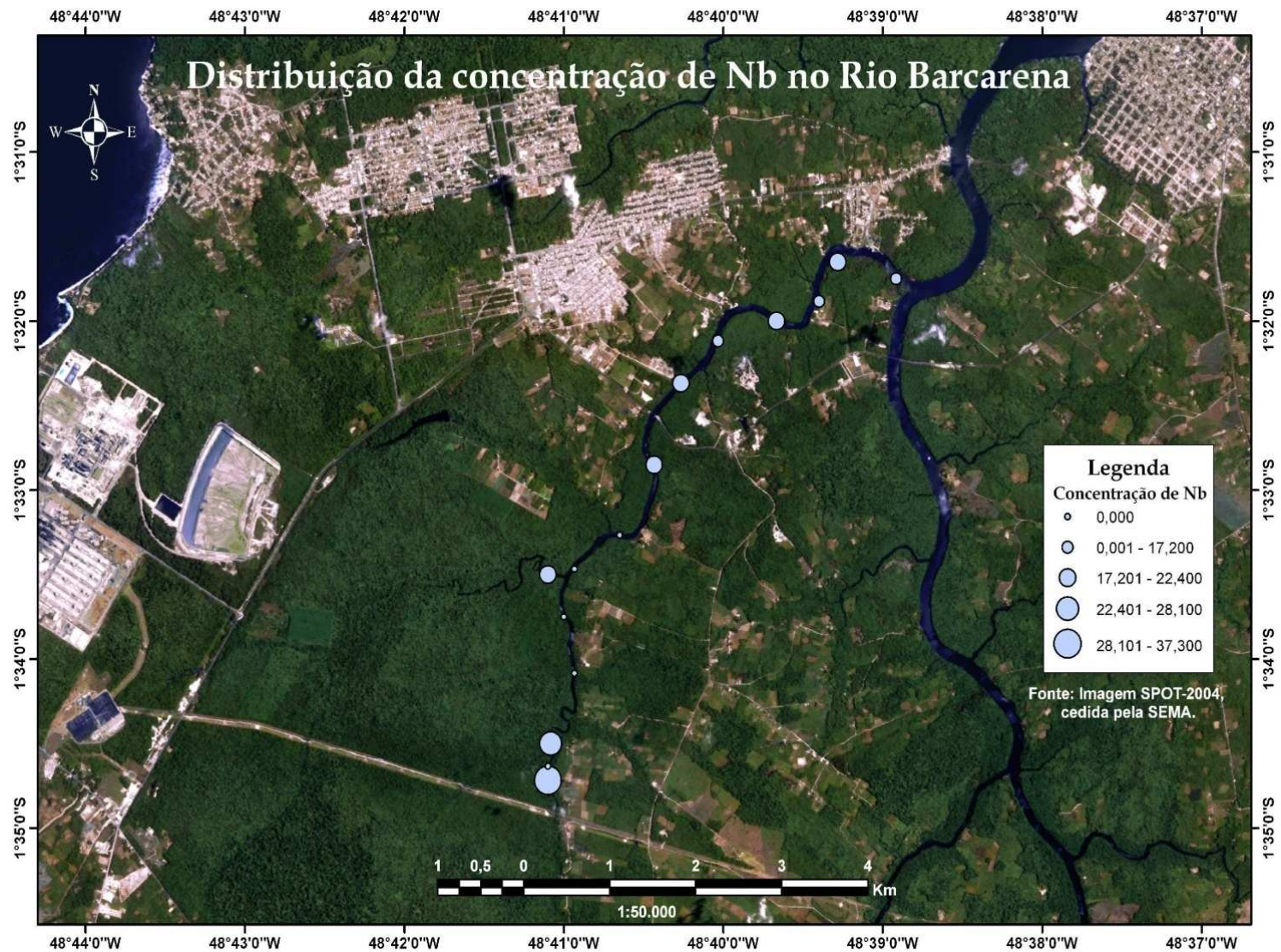


Figura 50. Mostra a concentração de Nb no rio Barcarena

6.4.4.7 Zircônio

O zircônio é um metal cinza prateado, que pode ocorrer na tonalidade azul escura, dúctil, refratário, com elevada resistência à tração, alta dureza e resistente à corrosão. Na crosta terrestre, o zircônio ocorre normalmente associado ao háfnio, na proporção de 50 para 1. A principal fonte de zircônio é a zirconita, que também é conhecida como zircão. Outros minerais de zircônio conhecidos são a baddeleyta e o caldasito ou zirkita. A baddeleyta (óxido de zircônio) é o segundo minério mais importante de zircônio. Contém teores de óxido de zircônio contido que variam entre 96,5% a 98,5%. Como esse minério apresenta teores tão significativos, é conhecido como uma fonte de extrema pureza na obtenção de zircônio metálico e compostos químicos. (DNPM, 2008).

O zircônio é um elemento bastante abundante na bauxita (948 mg.Kg^{-1}) de acordo com Braga (2007). No presente trabalho a maior concentração de Zr foi encontrado na amostra B.13 (169 mg.Kg^{-1})

O Zr foi o único elemento que não apresentou significativa diferença em relação aos trabalhos realizados na Baía do Guajará, e no rio Guamá (figura 51). O gráfico mostra que os pontos de diferentes localidades estão bastante próximos, e que, portanto o Zr presente nos sedimentos de diferentes localidades apresenta a mesma concentração. No entanto os grupos se separam em função da concentração de Al, que no rio Barcarena é maior que na Baía do Guajará e no rio Guamá.

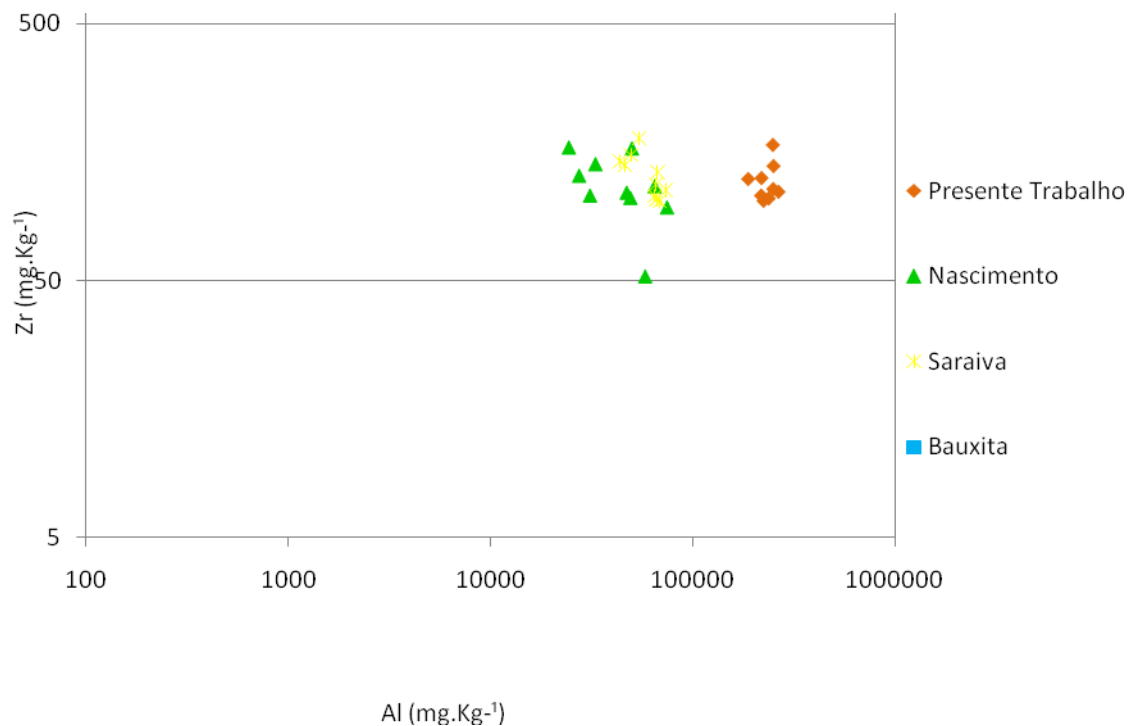


Figura 51. Diagrama mostrando a comparação entre os valores de Zr nos sedimentos, encontrados por Saraiva (2007), Nascimento (2007), Porto (2008) e valores de Zr encontrados na bauxita.

Assim como o Nb, o Zr apresentou uma distribuição irregular da concentração ao longo do rio (figura 52). O Zr é um elemento bastante trocável, presente principalmente do mineral zircão. O diagrama mostra valores de concentração muito próximos daqueles encontrados por Saraiva e Nascimento, a diferença está na concentração de alumínio que neste trabalho são mais elevados, portanto é muito provável que os valores de Zr encontrados nas amostras do Rio Barcarena sejam de origem geogênica.

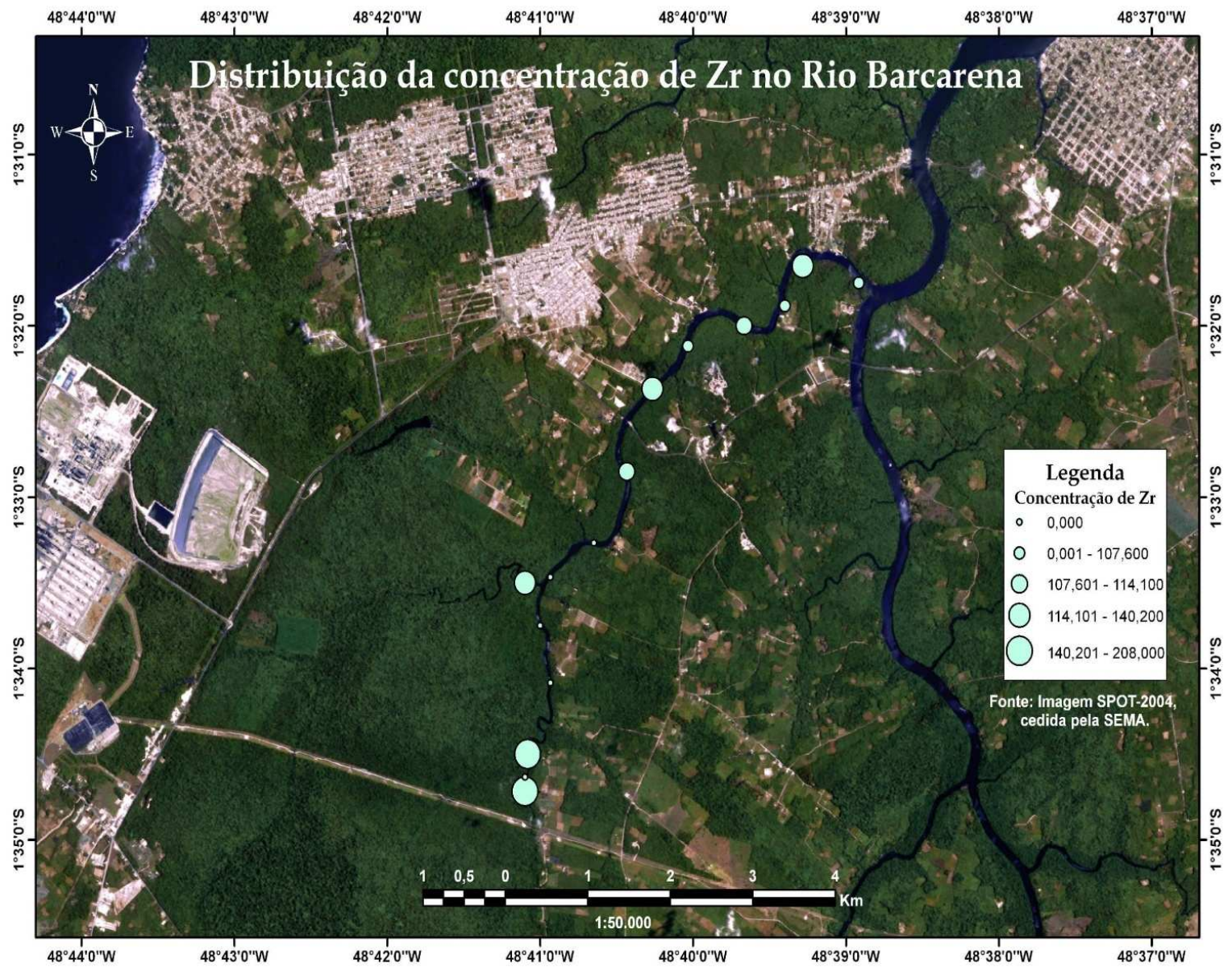


Figura 52. Concentração de Zr ao longo do rio Barcarena.

6 CONCLUSÕES :

Os sedimentos de fundo apresentaram um aumento da concentração dos elementos traço e matéria orgânica no sentido nascente – foz. Mais precisamente, as maiores concentrações foram encontradas próximas ao núcleo urbano e Porto de São Francisco.

Em relação aos elementos maiores, K_2O e MgO , ambos apresentaram comportamento bastante semelhante ao longo do rio, onde a menor concentração foi encontrada no ponto B.15. O elemento CaO não apresentou significativas alterações nas concentrações das amostras, apresentando-se par

Dentre os elementos traço, somente o Cr, V, e Zr, não apresentaram comportamento semelhante ao longo do rio.

Todos os elementos traço analisados não apresentaram boa correlação com o Al e o Fe, o que indica que esses elementos não estão presentes na estrutura dos argilominerais ou retidos na estrutura dos óxi-hidróxidos de Fe. Entretanto elementos “raros”, tais como Zr, Nb e Th, apresentaram elevada correlação com a matéria orgânica Zr ($r=0,72$), Nb ($r=0,79$) e Th ($r=0,81$).

Os gráficos de comparação dos teores de Cr, Cu e Nb presentes nos sedimentos analisados na Baía do Guajará, rio Guamá e rio Barcarena mostraram que a concentração desses elementos nas amostras formou uma “linha de mistura” com a concentração desses mesmos elementos presentes na bauxita. A hipótese é que tenha havido uma mistura mecânica, física, entre os sedimentos do rio Barcarena e a bauxita, que durante alguns anos foi transportada via rio Barcarena até o Porto de São Francisco.

Todos os elementos analisados e que compõem os Índices de Qualidade de Sedimentos estabelecidos pelo NOAA – EPA (Pb, Cu, Cr e Ni) apresentaram, para a maioria das amostras, concentrações maiores que aquelas permitidas pelo índice TEL (Treshold Effect Level) o que representa um indício que os sedimentos do rio podem eventualmente provocar efeitos danosos aos organismos bentônicos. No entanto, para os elementos Cr e Ni, a maioria das amostras apresentaram concentrações que ultrapassaram o índice de qualidade PEL (Probably Effect Level), sugerindo que nesta concentração, os elementos Cr e Ni podem causar efeitos nocivos freqüentes aos organismos bentônicos.

Com base no Índice de Qualidade de Sedimentos TEL e PEL, os sedimentos do rio Barcarena não apresentaram boa qualidade, visto que para a maioria das amostras, todos os elementos traço ultrapassaram os valores permitidos pelo índice TEL, e os elementos Cr e Ni, ultrapassaram os valores permitidos pelo índice PEL.

REFERÊNCIAS

- ADEKOYA, J. A; WILLIAMS, A. B. AYEJUJO, O.O. 2006. Distribution of heavy metals in sediments of Igbede, Ojo and Ojora rivers of Lagos, Nigeria. *Environmentalist*: V.26; p 277 – 280.
- AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCE AND DISEASE REGISTRY (ATSDR). 1993. Department of Health and Human Services. Toxicological profile for lead. Atlanta, 307p.
- AGUIAR, J. E. Geoquímica de metais-traço em sedimentos superficiais nos estuários dos rios Ceará e Pacoti, CE. 2005. 64f. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia da Universidade Federal do Ceará (UFC), Fortaleza, 2005.
- ALUNORTE. 1994. “Relatório de Impacto ao Meio Ambiente (RIMA)”, Belém, PA,
- ALUNORTE – Alumina do norte do Brasil S/A. Disponível (on line) através do site: <http://www.alunorte.net>. Acessado em junho de 2008.
- AMADO FILHO, G. M., REZENDE, C. E. & LACERDA, L. D. 1999. Poluição da baía de Sepetiba já ameaça outras áreas. *Ciência Hoje*: V. 25; p 46-49.
- ANGINO, E. E. & BILLINGS, G, K. Atomic Absorption Spectroscopy in Geology. Elsevier Publishing: Amsterdam, 191p, 1972
- APHA-AWWA-WPCF 1998. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 20 ed. Washington, American Public Health Association, American Water Works Association e Water Environment Federation.
- BAIRD, C. 2002. Química Ambiental. 2 ed. Porto Alegre. Bookman.
- BANDEIRA, I. C. N. 2006. Características hidrogeológicas de Barcarena - Pa, como base para o planejamento urbano municipal:2006. 70f. Trabalho de Conclusão de Curso em geologia – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém.
- BARCELLOS, P. L.; BERBEL, G. B. B.; BRAGA, E. S. 2005. Distribuição e característica do fósforo sedimentar no sistema estuarino lagunar de Cananéia – Iguape/São Paulo, *Geochimica Brasiliensis* 19: 22 – 36.
- BRAGA, M.Q.L. 2007. A utilização de uma camada de solo compactado como revestimento impermeabilizante de fundo de bacias de disposição de lama vermelha produzida em Barcarena-Pa.
- BENVENUTI, S. M. P. 1995. Avaliação da poluição do flúor em solos e plantas das redondezas da Fábrica de Alumínio Albrás, Barcarena – Pa: 118f. Dissertação

de Mestrado em geoquímica e Petrologia do Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém, 1995.

BRAZ, V. M. N. Estudo da qualidade da água de abastecimento da zona urbana de Belém (Pa). Aplicação à problemática existente no bairro do Jurunas: 1985.177f. Dissertação de Mestrado em geoquímica e Petrologia do Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém, 1985.

BREKHOVSKIKH, V. F.; VOLKOVA, Z. V. ; KATUNIN, D. N. KAZMIRUK, V. D. KAZMIRUK, T. N; OSTROVSKAYA, E. V. 2001. Heavy Metals in Bottom Sediment in the Upper and Lower Volga. *Water Resources*, 29: 539 – 547.

CAIERO, S.; COSTA, M. H.; RAMOS, T. B.; FERNANDES, F.; SILVEIRA, N.; CAMPOS, M. J. A. Metais Pesados e seus efeitos. Disponível (on line) através do site: www.mundoquimico.hpg.com.br. Capturado dia 05 de setembro de 2008.

CAMPOS, M. J. A. Metais pesados e seus efeitos. Disponível (on line) através do site: http://www.mundodoquimico.hpg.com.br/metais_pesados_e_seus_efeitos.htm, capturado dia 16/07/2008

COSTA, L. S; CARNEIRO, M.C; DOMINGUES, N. M. 2006. Caracterização química da bauxita. Seminário de Iniciação Científica da CETEM,.

CUNHA, H. B.; PASCOALOTO, B. 2006. Hidroquímica dos rios da Amazônia. Centro Cultural dos Povos da Amazônia: Manaus, 147f.

DNPM – Departamento Nacional de Produção Mineral. Balanço Mineral Brasileiro, disponível (on line) através do site: www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/balancomineral2001/niobio.pdf, capturado dia 02/06/2008.

Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias (EMBRAPA). 1997. *Manual de métodos de análises de solo*. 2 ed. rev. atual. Rio de Janeiro, Centro Nacional de Pesquisas de Solos. 212p.

ENVIRONMENT CANADA. Canadian Sediment Quality Guidelines (CSeQGs) disponível (on line) através do site: www.ec.gc.ca/ceqg-rcqe/English/Ceqg/Sediment/default.cfm - Canadian Sediment Quality Guidelines (CSeQGs), capturado dia 01/06/2007.

EPA - United States Environmental Protection. Guidance manual to support the assessment of contaminated sediments in freshwater ecosystems - volume I, 2002.

- EPA - United States Environmental Protection. Development of freshwater sediment quality values for use in Washington State, 2002.
- ESTEVEES, F.A. 1998. Fundamentos de Limnologia. 2 ed. Interciência. Rio de Janeiro.
- FORSTNER,U.; WITTMAN, G.T.W. 1983. Metal pollution in the aquatic environmental. Berlin: Springer - Verlag, 486p.
- FÖRSTNER, U. Changes in metal mobilities in aquatic and terrestrial cycles. In: Metals speciation, separation and recovery. Ed. Patterson, J. W. & Pasino, R., Lewis Publishers, Chelsa, 3-26.
- FREITAS, T. C. M. 2006. O cromo na indústria de curtumes de Mato Grosso do Sul, Brasil: Aspectos Ecológicos. 136f. Dissertação de Mestrado em Ciências da Saúde – Convênio entre a Universidade de Brasília, Universidade Federal de Goiás e Universidade Federal do Mato Grosso do Sul– Campo Grande.
- GALVÃO, P. M. A. 2003. Metais Pesados (Cd, Mn, Fe, Ni, Cu, Z, Pb, Cd) em sedimentos e material particulado em suspensão no baixo rio Paraíba do Sul: Uma descrição após contaminação por rejeitos da produção de papel e celulose. Monografia (Biologia marinha - Universidade Federal do Rio de Janeiro).
- GAUR, V. K.; SANJAY, K. J.; PANDEY, K. G.; MISRA, V. 2005. Distribution of heavy metals in sediment and water of River Gomti. Environmental Monitoring and Assessment, 102: 419 – 433.
- GÓIS, C. C.; LIMA, R. M. F.; MELO, A. C. 2003. Sedimentação de resíduo Bayer utilizando floculantes hidroxamatos e poliácridamida. REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 56(2): 119-122.
- GUERRA, A. J. T. & CUNHA, S. B. 2003. Geomorfologia e meio ambiente. 4 ed. Rio de Janeiro. BERTRAND.
- HERBERTH, J. Usina é interditada por crime ambiental. Disponível (on line) através do site: <http://www.orm.com.br/oliberal/>, capturada 14/06/2007
- HETZEL, A.; BOTTCHER, M. E. ; WORTMANN, U. G. ; BRUMSACK, H. J. 2009. Paleo-redox conditions during OAE 2 reflected in Demerara Rise sediment geochemistry. Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology, 273v, 302 – 328.
- HIND, R. A., BHARGAVA, S. K.; GROCCOTT, S. C. 1999. "The surface chemistry of Bayer process solids: a review", *Colloids and surfaces A: Physicochemical and engineering aspects*, n. 146, pp. 359-374.

- IBGE, Cadastro Central de Empresas 2004; Malha municipal digital do Brasil: situação em 2001. Rio de Janeiro: IBGE, 2006.
- IBPS. Contaminação em Barcarena é debatida por deputados estaduais. Disponível (on line) através do site: <http://ibps.com.br/index.php?s=Barcarena>, capturado dia 03/08/2008.
- IPT – Instituto de Pesquisa e Tecnologia. 1984. Estudo hidrogeológico para a definição da possibilidade de captação de águas subterrâneas na Usina de Alumínio da Albrás em Barcarena/PA. Relatório n°213 81p.
- JESUS, H.C.; COSTA, E. A.; MENDONÇA, A. S. F. ZANDONADE, E. 2004. Distribuição de metais pesados em sedimentos do sistema estuarino da Ilha de Vitória-ES. *Química Nova*, 27: 378-386.
- KIRKPATRICK, D.B. 1996. “Red mud product development”, *The Minerals, Metals & Materials Society*.
- KRÜGER, G.C.T., CARVALHO, C.E.V., FERREIRA, A.G., GONÇALVES, G.M., TRUCCOLO, E.C., SCHETTINI, C.A.F. 2003. Dinâmica de Carbono Orgânico Dissolvido no Estuário do Rio Paraíba do Sul, RJ, sob diferentes condições de maré e descarga fluvial. *Atlântica* 25(1), 27-33.
- LAING, G. DU; RINKLEBE, J.; VANDECASTEELE, B.; MEERS, E.; TACK, F. M. G. 2009. Trace metal behaviour in estuarine and river floodplain soils and sediments. *Science of the total environment*, 3972 – 3985.
- LEMES, M. J. L. Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Pardo, São Paulo. 2001.248f. Dissertação de Mestrado em Ciências: Tecnologia Nuclear – Instituto de Pesquisa Energética e Nuclear, IPEN, São Paulo, 2001.
- LORING, D. M. & RANTALA, R. T. T. 1992. Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particulate matter. *Earth science reviews*.32:235 – 283.
- MAISON, B. H. 1971. Princípios de Geoquímica. São Paulo. Polígono, 381p.
- MAXWELL, J. A. 1968. Rock and mineral analysis. New York, John Wiley. 584p. (Chemical Analysis, 27)
- McCONCHIE, D., CLARK, M., DAVIES-McCONCHIE, F. 2002. “New strategies for the management of bauxite refinery residues (red mud)”, In: *Proceedings of the 6th international alumina quality workshop*, Brisbane, Australia, pp. 327-332.

- MC-CREADY, S.; GAVIN, F. B.; ABRANTES, F.; LONG, E. R. 2006. Metallic and organic contaminants in sediments of Sydney Harbour, Australia - A chemical dataset for evaluating sediment quality guidelines. *Environment International*, 32: 455-465.
- MELO-JUNIOR, H. R. 2002. Mapeamento da vulnerabilidade e análise de risco de contaminação como instrumento de proteção das águas subterrâneas em áreas industriais: Caso da Albrás , Barcarena-Pa. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém.
- MINELLA, J. P. G. 2003. Identificação de fontes de produção de sedimentos em uma pequena bacia rural. 2003. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Sul – UFRS.
- MOORE, D.M & REYNOLD, J. R. 1991. X-RAY diffraction and the identification and analysis of clays minerals. Oxford. Oxford University Press: 332p.
- MOREIRA, R. C. A. & BOAVENTURA, G. R. 2003. Referência geoquímica regional para a interpretação das concentrações de elementos químicos nos sedimentos da bacia do Lago Paranoá – DF. *Química Nova*, 26: 812-820.
- NASCIMENTO, S. M. 2007. Caracterização da assinatura isotópica de Pb atual e da concentração de metais pesados em sedimentos de fundo da foz do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Belém – Pará): 2007.104f. Dissertação de Mestrado em geoquímica e Petrologia do Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém.
- NOAA NACIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION. Tabelas de referência rápida. Disponível (on line) através do site: http://response.restoration.noaa.gov/faq_topic.php?faq_topic_id=6, capturado dia 15/06/2009.
- PASCALICCHIO, A. E. 2002. Contaminação por metais pesados: Saúde Pública e Medicina Ortomolecular. São Paulo: Annablume, 132p.
- PASSOS, E. A. 2005. Distribuição de Sulfeto Volatilizado em Meio Ácido e Metais Pesados em sedimentos do estuário do rio Sergipe: 117f. Dissertação de Mestrado em Química – Universidade Federal de Sergipe, UFS, Sergipe.
- PEIXOTO, E. M. A. 2006. Vanádio. *Química Nova na Escola*: V.24.
- PEREIRA, J. C.; SILVA, A. K. G.; SILVA, E. P. 2007. Distribuição, fracionamento e mobilidade de elementos traço em sedimentos superficiais. *Química nova*: v.30, p 1249 – 1255.

- POLETO, C.; MERTEN, G.H. 2006. Qualidade dos sedimentos. Porto Alegre. ABRH: 397p.
- PRADHAN, J., DAS, S. N., DAS, J., RAO, S. B., THAKUR, R.S., "Characterization of Indian red muds and recovery of their metal values", *Light Metals*, pp. 87-92, 1996.
- RATE, A. W.; ALISTAIR, E. R.; BORG, A. T. 1999. Distribution of Heavy metals In Near-Shore sediments of the Swan River Estuary, Western Australia. *Water, Air, and Soil Pollution*, 124: 155 – 168.
- RIBEIRO, H. M.; OLIVEIRA, E. S.; LOURENÇO, L. F. H.; MORALES, G. P. 2003. Análise dos teores de chumbo potencialmente disponíveis no sedimento de fundo na Baía do Guajará, na área de influência do Terminal Petroquímico de Miramar, Belém-Pa.
- REESE, K. M., CUNDIFF, W. H. 1955. "In Aluminum production the first stage is Alumina", *Industrial and Engineering Chemistry*. v. 47. n. 9, pp. 1672-1680.
- ROACH, A. C. 2005. Assessment of metals in sediments from Lake Macquarie ,New South Wales ,Australia, using normalisation models and sediment quality guidelines. *Marine environmental Research*, 59: 453-472.
- SALOMONS, W. & STIGLIANI, W. M. 1995. Biogeodynamics of pollutants in soil and sediments. Berlin: Springer.320p
- SANTOS, D. M.; BOSSINI, J. A. T.; PREUSSLER, K. H.; VASCONSELOS, E. C.; CARVALHO-NETO, F. S.; CARVALHO-FILHO, M. A. S. 2006. Avaliação de metais pesados na Baía de Paranaguá-PR sob influência das atividades antrópicas. *J. Braz Ecotoxicologia*, 1: 157-160.
- SANTOS, M. P. T. 1997. Avaliação ambiental da matéria orgânica degradada nos canais de drenagem da Região Metropolitana de Belém: 1997.118f. Dissertação de Mestrado em geoquímica e Petrologia do Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém.
- SARAIVA, A. L. M. 2007. Estudo sedimentológico e geoquímico em sedimentos de fundo da Baía de Guajará (Belém – Pará): 2007.122f. Dissertação de Mestrado em geoquímica e Petrologia do Centro de Geociências – Universidade Federal do Pará, UFPa, Belém.
- SAUVE, S.; MCBRIDE, M. B.; HENDERSHOT, W. H. 1997. Speciation of lead in contaminated soil. *Environmental Pollution* , v.98, n.2, p 149 – 155.

SECRETARIA EXECUTIVA DE ESTADO DE PLANEJAMENTO ORÇAMENTO E FINANÇAS (SEPOF). Estatística Municipal, 44F, 2006.

SILVA FILHO, E. B.; Alves, M. C. M.; Da Motta, M. 2007. Lama vermelha da indústria de beneficiamento de alumina: produção, características, disposição e aplicações alternativas. Revista Matéria, v. 12, n. 2, pp. 322 – 338.

SIQUEIRA, G. W; PEREIRA, S. F. P; APRILE, F. M. 2006. Determinação dos elementos-traço (Zn, Co e Ni) em sedimentos da Plataforma Continental Amazônica sob influência da descarga do rio Amazonas. Acta Amazônia, v 36, n 3, PP. 321 – 326.

SNELGROVE, P. V. R. BUTMAN, C. A. 1994. Animal – sediment relationships revisited: Cause versus effect. Oceanogr Mar Biol Ann Rev 32: 111 – 117.

SOARES, J. A. C. 1999. Vulnerabilidade natural dos aquíferos livres da região de Barcarena – Pa. Trabalho de Conclusão de Curso em Geologia - Universidade Federal do Pará, (UFPA), Belém.

SOUZA, D. O.; SILVEIRA, E. G; BASTOS, W. R. Estudo de metais pesados no Igarapé dos Tanques - área urbana da cidade de Porto Velho – RO. Disponível (on line) através dosite: http://www.unir.br/html/pesquisa/Pibic_XIV/pibic2006/arquivos/Areas/Exatas%20e%20da%20Terra/html/Darly%20de%20Oliveira%20de%20Souza.htm, capturado o dia 23/07/07.

TESSIER, A.; CAMPBELL, P. G. C. 1987. Hydrobiologia 149, 43.

TOURINHO, H. L. Z. 1991. Repercussões sócio-econômicas do Complexo Industrial Albrás- Alunorte em sua área de influência imediata. Relatório de Pesquisa. Belém: UFPA.

USEPA. 1998. Usepa/office of water. Contaminated Sediment. Disponível em: <http://www.epa.gov/ost/cs/manage/converlet.html>, acesso em 02 junho 2008.

VENTURINI, N. 2007. Influência da qualidade e quantidade da matéria orgânica na estrutura e distribuição vertical e horizontal das comunidades bentônicas na Plataforma de São Sebastião, São Paulo – Brasil. 2007. 230f. Tese de doutorado em oceanografia biológica da Universidade de São Paulo (USP), São Paulo.

WALLING, D. E.; WOODWARD, J.C. 1995. Tracing sources of suspended sediment in rivers basins : A case study of river Culm, Devon, UK. Mar. Freshwater Res. V.46 p. 327 – 336.

WEDEPOHL, K. H. Handbook of geochemistry. New York. 1979. Springer:1970.

ZINGARO, R. A. How certain trace elements behave. *Environmental Science and Technology*, v.3, n 6, p.282-287.

ANEXO

Tabela com os valores dos elementos maiores contidos nas amostras de sedimento do rio Barcarena

	B.01	B.02	B.03	B.04	B.05	B.06	B.07	B.12	B.13	B.15	Média	DP	MAX	MIN
TiO₂	0,88	1,09	0,82	0,95	0,91	1,04	0,91	1,12	1,38	1,96	1,01	0,17	1,96	0,82
Al₂O₃	21,77	21,86	21,4	25,03	23,74	25,08	26,55	18,78	24,89	7,73	23,23	2,45	26,55	21,4
Fe₂O₃	8,21	7,13	6,40	7,57	7,02	7,09	6,99	8,1	4,13	3,1	7,03	1,27	8,21	3,1
SiO₂	43,88	42,77	45,91	40,99	44,04	44,53	43,42	41,68	50,03	77,26	44,14	2,66	77,26	41
MgO	1,13	1,13	1,17	1,17	1,25	1,02	1,08	1,02	0,8	0,52	1,09	0,13	1,25	0,52
CaO	0,28	0,41	0,28	0,31	0,34	0,32	0,35	0,29	0,2	0,13	0,31	0,06	0,41	0,13
Na₂O	0,17	1	0,23	0,39	0,31	0,45	0,27	1,06	0,7	0,49	0,51	0,33	0,49	0,17
K₂O	1,72	1,9	1,93	1,74	1,78	1,68	1,58	1,66	1,63	1,39	1,74	0,12	1,93	1,39
P₂O₅	0,19	2,6	0,14	0,38	0,3	0,39	0,29	4,68	0,14	0,24	1,01	1,58	4,68	0,14
P.F.	19,35	18,47	17,42	19,85	18,02	20,22	20,12	19,12	18,9	7,84	19,05	0,96	20,22	7,84
TOTAL	97,58	98,37	96,7	98,37	97,71	101,82	101,56	97,51	103,29	100,64	99,21	2,36	142,96	76,5