



Universidade Federal do Pará
Centro de Geociências
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**“METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO DE IGARAPÉS
(MANAUS -AM)”.**

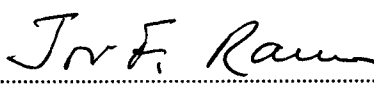
TESE APRESENTADA POR

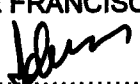
MARIA DO SOCORRO ROCHA DA SILVA

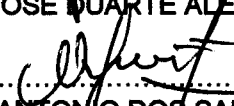
Como requisito parcial à obtenção do Grau de Mestre em
Ciências na Área de GEOQUÍMICA.

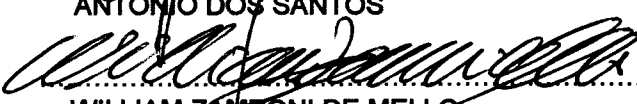
Data de Aprovação 02 / 11 / 1996

Comitê de Tese:


.....
JOSÉ FRANCISCO DA FONSECA RAMOS (Orientador)


.....
JOSÉ DUARTE ALECRIM


.....
ANTÔNIO DOS SANTOS


.....
WILLIAM ZAMBONI DE MELLO

BELEM

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ
Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica

**METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO
DE IGARAPÉS (MANAUS-AM)**

MARIA DO SOCORRO ROCHA DA SILVA

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica da UFPA como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Geoquímica Ambiental, na Área de concentração em Geoquímica e Petrologia.

Prof. Dr. José F. Ramos (Orientador)

BELÉM - PARÁ

1996

Silva, M. do Socorro R.

**METAIS PESADOS EM SEDIMENTOS DE FUNDO DE
IGARAPÉS (MANAUS-AM).**

Maria do Socorro R. Silva.

Belém: UFPa, 1996

Dissertação de Mestrado. 120p.

1. Geoquímica Ambiental - Amazônia 2. Sedimentos
3. Metais Pesados 4. Igarapé - Amazônia

SINOPSE:

O estudo mostra a distribuição do Cd, Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni e Zn nos sedimentos de fundo de igarapés, na região amazônica. A geoquímica dos metais nos igarapés do Quarenta e de São Raimundo, que vêm sofrendo impactos, apresentou um comportamento diferente de um igarapé natural (Barro Branco). As concentrações dos metais estudados variaram de acordo com o regime hidrológico e atividades antropogênicas.

Palavras - chaves: Geoquímica Ambiental -Amazônia, Sedimentos,
Metais Pesados, Igarapé - Amazônia

Keywords: Environmental Geochemistry - Amazonia, Sediments,
Heavy Metals, Igarapé - Amazonia.

Ao meu esposo Eduardo
pelo apoio e compreensão

Aos meus filhos,
Pablo, Fábio e Larissa

AGRADECIMENTOS

Ao professor Dr. José Francisco da Fonseca Ramos pela orientação e confiança depositada em mim durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, Dr. Antônio dos Santos, Dr. William Zamboni de Mello e Dr. José Duarte Alecrin pelas críticas construtivas.

Aos pesquisadores, Dr. Ari Marques, Dr. Jorge Salomão Boabaid Ribeiro, MsC. Antonio Vaqueira e MsC. Núbia Abrantes Gomes pela valiosa colaboração.

As amigas Andréia Waichman e Antônia Pinto pela amizade e ajuda na aquisição do material bibliográfico.

Aos amigos Catarina e Antônio Carlos Tancredi pela amizade e hospitalidade durante a minha permanência na cidade de Belém.

Aos colegas de curso Alberto Fajardo e Jader Muñoz pela amizade, incentivo e apoio.

Ao Edivaldo Chaves pela colaboração na utilização do E.A.A. e ao João Dantas pela ajuda na demarcação dos pontos de coletas.

A todos da Coordenadoria de Pesquisas em Geociências (CPGC/INPA), em especial ao Antony Lopes e Dadmar Nobre, pelo apoio e ajuda recebidos.

A todos os integrantes do Laboratório de Limnologia (CPGC/INPA), Carmendes Conrado, Ednelson Baraúna, Luiz Vilmar, Tânia Xavier e Walter N. Filho, pela amizade e ajuda durante o desenvolvimento deste trabalho.

Aos professores, colegas e funcionários do Curso de Pós-Graduação em Geoquímica, pela dedicação e apoio. A todos os que direta ou indiretamente contribuíram para a realização deste trabalho.

Meus agradecimentos às seguintes Instituições:

Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia (INPA),

Curso de Pós-Graduação em Geologia e Geoquímica do Centro de
Geociência da Universidade Federal do Pará,

Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior
(CAPES) e

Financiadora de Estudo e Projetos (FINEP).

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA.	i
AGRADECIMENTOS.	ii
LISTA DE ILUSTRAÇÕES.	vii
RESUMO.	01
ABSTRACT.	03
1 - INTRODUÇÃO.	04
2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O MEIO AMBIENTE.	12
3 - MATERIAL E MÉTODOS.	16
3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM.	17
3.1.1 - Igarapé do Quarenta.	19
3.1.2 - Igarapé de São Raimundo.	22
3.1.3 - Igarapé Barro Branco.	23
3.2 - METODOLOGIA DE COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS.	25
3.2.1 - Águas.	25
3.2.1.1 - Temperatura, pH, condutividade elétrica.	25
3.2.1.2 - Oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio.	25
3.2.1.3 - Ânions (SO_4^{2-}, Cl^-, HCO_3^-).	27
3.2.1.4 - Cátions (Ca^{2+}, Mg^{2+}, Na^+, K^+).	27
3.2.1.5 - Composto nitrogenados (NO_2^-, NO_3^-, NH_4^+).	28
3.3 - SEDIMENTOS.	29
3.3.1 - Material em suspensão.	29
3.3.2 - pH, matéria orgânica e argilominerais.	29
3.3.3 - Sedimentos de fundo.	30

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES.	34
4.1 - ÁGUAS.	34
4.1.1 - Temperatura, pH, condutividade elétrica.	34
4.1.2 - Oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio.	40
4.1.3 - Ânions (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-).	42
4.1.4 - Cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+).	44
4.1.5 - Compostos nitrogenados (NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+).	48
4.2 - SEDIMENTOS.	51
4.2.1 - Metais (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) no material em suspensão.	51
4.2.2 - pH, matéria orgânica e argilominerais.	56
4.3 - COMPORTAMENTO DOS METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO.	60
4.3.1 - Cádmio (Cd).	60
4.3.2 - Cobalto (Co).	65
4.3.3 - Cobre (Cu).	66
4.3.4 - Cromo (Cr).	72
4.3.5 - Ferro (Fe).	76
4.3.6 - Manganês (Mn).	80
4.3.7 - Níquel (Ni).	84
4.3.8 - Zinco (Zn).	86
4.4 - CORRELAÇÕES ENTRE OS METAIS NOS SEDIMENTOS.	91
5 - CONCLUSÕES.	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.	97
ANEXOS.	108
ANEXO A - Tabela de partição geoquímica do cromo, cádmio e cobre em µg/ g em diferentes profundidades nos sedimentos de fundo dos	

dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994	109
--	-----

ANEXO B - Tabela de partição geoquímica do ferro, manganês e zinco em µg / g em diferentes profundidades nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994	110
--	-----

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 2.1 - Precipitação mensal na estação meteorológica de Manaus (INEMET), no período de janeiro a dezembro de 1994.	13
Figura 2.2 - Precipitação mensal na estação meteorológica Reserva Adolfo Ducke (INPA), no período de janeiro a dezembro de 1994.....	14
Figura 3.3 - Localização dos igarapés de São Raimundo e do Quarenta.	17
Figura 3.4 - Localização dos igarapés Barro Branco (A) e do Quarenta (B). ..	18
Figura 3.5 - Lixeira localizada à jusante da estação iQ1 do igarapé Quarenta.....	20
Figura 3.6 - Igarapé do Quarenta-estação iQ1 - junho/1994.	20
Figura 3.7 - Igarapé do Quarenta - estação iQ5 - junho/1994.	21
Figura 3.8 - Igarapé de São Raimundo - Manaus - AM junho/1994..	22
Figura 3.9 - Igarapé Barro Branco - Reserva Florestal Adolfo Ducke - junho/1994.	23
Figura 3.10 - Fluxograma do procedimento analítico em amostras de águas e sedimentos.	26
Figura 3.11 - Fluxograma do procedimento analítico para extração seqüencial.	32
Figura 4.12 - Variação da temperatura em °C (A) e pH (B) determinados nos meses de janeiro, maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994	36
Figura 4.13 - Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) determinada	

nos meses de janeiro, maio e junho (período chuvoso),
agosto e setembro (período de estiagem) nas águas dos
igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro
Branco (iBB) - 1994. 40

Figura 4.14 - Variação do oxigênio dissolvido em mg/l determinado nos
meses de janeiro, maio e junho (período chuvoso), agosto
e setembro (período de estiagem) nas águas dos igarapés
do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco
(iBB) - 1994. 41

Figura 4.15 - Distribuição dos cátions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{Na}^{+} + \text{K}^{+}$) e dos
ânions ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^{-} + \text{HCO}_3^{-}$) determinado nos meses de
janeiro, maio, junho, agosto e setembro nas águas dos
igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro
Branco (iBB). 46

Figura 4.16 - Diagrama de Schoeller para as águas dos igarapés Quarenta
(iQ2), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB). 47

Figura 4.17 - Variação da média de NO_3^{-} e NH_4^{+} em mg/l determinados
nos meses de janeiro, maio, junho, agosto e setembro nas águas
dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e
Barro Branco (iBB)-1994. 50

Figura 4.18 - Distribuição do cromo nos sedimentos de fundo e do
material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e
Barro Branco (iBB) - setembro/1994. 53

Figura 4.19 - Distribuição do cobre nos sedimentos de fundo e do
material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e
Barro Branco (iBB) - setembro/1994. 53

Figura 4.19 - Distribuição do cobre nos sedimentos de fundo e do material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.	53
Figura 4.20 - Distribuição do ferro nos sedimentos de fundo e do material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.	54
Figura 4.21 - Distribuição do manganês nos sedimentos de fundo e do material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.	54
Figura 4.22 - Distribuição do níquel nos sedimentos de fundo e do material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.	55
Figura 4.23 - Distribuição do zinco nos sedimentos de fundo e do material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.	55
Figura 4.24 - Difrátograma de raio-x dos sedimentos de fundo (silte) dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - agosto/1994.	59
Figura 4.25 - Distribuição do Cd total nos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem), nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB).	62
Figura 4.26 - Partição geoquímica do Cd nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo nos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.	63

Figura 4.27 -Partição geoquímica do Cd nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimuno (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.	64
Figura 4.28 - Distribuição do Co total nos meses de maio (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) 1994.	66
Figura 4.29 - Distribuição do Cu total nos meses de maio e junho (período do chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), e de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.	68
Figura 4.30 - Partição geoquímica do Cu nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio/ 1994.	69
Figura 4.31 - Partição geoquímica do Cu nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.	71
Figura 4.32 - Distribuição do Cr total nos meses de maio e junho (período cheio), agosto e setembro (período de estiagem) nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	73
Figura 4.33 - Partição geoquímica do Cr nas profundidades de 0-40 cm dos sedimentos de fundo nos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio /1994.	74

Figura 4.34 - Partição geoquímica do Cr nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.	75
Figura 4.35 - Distribuição do Fe total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	77
Figura 4.36 - Partição geoquímica do Fe nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.	78
Figura 4.37 - Partição geoquímica do Fe nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e do Barro Branco (iBB) - maio/1994.	79
Figura 4.38 - Distribuição do Mn total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	81
Figura 4.39 - Partição geoquímica do Mn nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e o Barro Branco (iBB) - maio/1994.	82
Figura 4.40 - Partição geoquímica do Mn nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), e Barro Branco (iBB) -1994....	83
Figura 4.41 - Distribuição do Ni total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	86

Figura 4.42 - Distribuição do Zn total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	87
Figura 4.43 - Partição geoquímica do Zn nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco- maio/1994.	88
Figura 4.44 - Partição geoquímica do Zn nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB)-maio/1994...	90

TABELAS

Tabela 4.1 - Valores médios de temperatura (°C) e pH nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) 1994.	35
Tabela 4.2 - Valores médios da condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e do oxigênio dissolvido em mg/l nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	39
Tabela 4.3 - Valores médios de DQO, Cl^- , SO_4^{2-} e HCO_3^- em mg/l nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.	43
Tabela 4.4 - Valores médios em mg/l de Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ e K^+ , nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB)- 1994.	45

Tabela 4.7 - Valores médios de matéria orgânica em mg/g e pH nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e do Barro Branco (iBB) - 1994.	58
Tabela 4.8 - Teores médios em ($\mu\text{g/l}$) dos metais pesados (Cu, Cr, Ni e Zn) nos sedimentos de fundo dos igarapés estudados e comparados com outros ambientes não contaminados e contaminados. ..	60
Tabela 4.9 - Valores médios do Cd e Co em $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB).	61
Tabela 4.10 - Valores médios do Cu e Cr em $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) -1994.	67
Tabela 4.11 - Valores médios do Mn e Fe em $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) -1994.	80
Tabela 4.12 - Valores médios do Ni e Zn em $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB)- 1994.	85
Tabela 4.13 - Correlação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd e Co obtidas nos meses de maio, junho, agosto e setembro nos sedimentos de fundo do igarapé do Quarenta (iQ6) -1994.	92
Tabela 4.14 - Correlação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd e Co obtidas nos meses de maio, junho, agosto e setembro nos sedimentos de fundo do igarapé de São Raimundo (iSR) - 1994.	92

**Tabela 4.15 - Correlação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd e Co
obtidos nos meses de maio, junho, agosto e setembro nos
sedimentos de fundo do igarapé Barro Branco (iBB) - 1994.... 93**

RESUMO

O objetivo deste estudo foi de conhecer a distribuição dos metais pesados cádmio, cobre, cobalto, cromo, níquel, ferro, manganês e zinco nos sedimentos de fundo e a composição físico-química das águas de igarapés na região amazônica. Foram coletadas amostras nos igarapés do Quarenta e de São Raimundo, que recebem efluentes industriais e esgotos domésticos, ambos localizados na área urbana de Manaus e o igarapé Barro Branco (natural) situado na Reserva Florestal Adolfo Ducke, na área rural, a 26 km de Manaus. Para as determinações dos metais pesados nos sedimentos de fundo utilizaram-se extrações sequenciais, dando importância a mobilidade dos metais, nas diversas formas em que possam estar associados. Nas características físicas e químicas das águas, o igarapé Barro Branco apresentou baixa acidez com pH de 3,5 a 5,5, condutividade de 7,7 a 38,5 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e baixos teores de sais dissolvidos, própria de igarapés naturais de terra firme. As águas dos igarapés do Quarenta e de São Raimundo mostraram alterações em todos os parâmetros que são provenientes das entradas de esgotos domésticos e efluentes industriais. A geoquímica dos metais do igarapé natural (Barro Branco) apresentou um comportamento diferente dos igarapés que vêm sofrendo impactos (de São Raimundo e do Quarenta). Cromo, ferro e manganês predominaram em mais de 60% na forma residual nos sedimentos de fundo dos igarapés. O zinco e o cobre encontram-se em mais de 70% disponíveis nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta e de São Raimundo. As altas concentrações do cobre permitem identificá-lo como o principal poluente no igarapé do Quarenta. Os sedimentos desse igarapé, quando comparados aos dos demais igarapés, apresentaram um enriquecimento dos metais cobre, cromo, níquel e zinco, o que se

atribuiu a lixiviação de resíduos sólidos enriquecidos de metais das atividades industriais e entradas de efluentes industriais.

ABSTRACT

The scope of this work was to study both the distribution of heavy metals (cadmium, copper, cobalt, chromium, nickel, iron, manganese, and zinc) in the bottom sediments, and the physico-chemical composition of the waters of streams (*igarapés*) in the Amazonian region. Samples were collected in the *igarapés Quarenta* and *São Raimundo* which receive both industrial effluents and domestic sewage, in different degrees, and in the *igarapé Barro Branco*, which is located 26 km north of Manaus, in an undisturbed area (*Reserva Florestal Adolfo Ducke*) and which was used as a background. The heavy metals were determined through sequential extractions, taking into account their mobilities in the various phases which they might be associated to. The waters of the *igarapé Barro Branco* were slightly acidic, showing low conductivity and low dissolved salts content, which represent the natural characteristics of undisturbed *igarapés* in that region. *Igarapés Quarenta* and *São Raimundo* have shown alterations in all parameters, which result from the disposal of untreated domestic sewage and industrial effluents. The behavior of the metal geochemistry was different among the undisturbed *igarapé Barro Branco* and the impacted ones, *Quarenta* and *São Raimundo*. In the chemical partition, chromium, iron and manganese are present in over 60% in the lithogeneous phase in the bottom sediments. More than 70% of the zinc and copper found in the bottom sediments of the *igarapés do Quarenta* and *São Raimundo* are in the available form. Copper was identified as the main pollutant in the *igarapé Quarenta*. Concentrations of heavy metals in sediments have shown that *igarapé do Quarenta* presented an enrichment in copper, chromium, nickel, and zinc, due to the leaching of metal-bearing solid residues, and industrial effluents produced by industrial activities.

1 - INTRODUÇÃO

A implantação de grandes projetos industriais, quando desacompanhada de precauções, tem produzido fortes impactos ambientais, às vezes, irreversíveis, principalmente em áreas que apresentam bacias hidrográficas com alto potencial quantitativo e qualitativo de águas superficiais e subterrânea, mananciais de abastecimento público, parques ecológicos e áreas de lazer.

A cidade de Manaus, com a reestruturação da Zona Franca em 1967, se transformou num dos centros econômicos mais dinâmicos da Amazônia, passando a exercer forte atração sobre a população do interior do Estado do Amazonas e unidades federativas vizinhas. O setor comercial cresceu, o setor industrial alargou-se com a introdução de novas indústrias e cresceu a oferta de empregos na capital (BENTES, 1983). Esse crescimento populacional industrial e urbano contribuiu para o aumento da pressão poluidora nos sistemas hídricos, tornando-a uma ameaça à saúde da população e ao equilíbrio dos ecossistemas aquáticos. Apesar disso, são poucas as pesquisas desenvolvidas na área ambiental que ajudam na compreensão dos processos biogeoquímicos existentes nesses ambientes.

Dos trabalhos realizados na região, SCHMIDT (1972) estudou as características físico-químicas das águas de doze igarapés que cortam a rodovia BR-174, levando em consideração as condições geológicas. FONSECA et al. (1982), estudando a qualidade das águas do rio Negro e igarapés que margeiam a cidade, constatarem índice de poluição e uma grande capacidade de autopurificação desse rio. FURCH (1984) estudou igarapés de terra firme na rodovia BR-174 e identificou diferenças nas propriedades físicas. BRINGEL (1986) fez uma análise preliminar da poluição nos igarapés da cidade de Manaus. SILVA (1992) estudando as modificações ambientais sobre a comunidade de peixes do igarapé do Quarenta, encontrou altas concentrações dos metais pesados zinco, cobre e cádmio em peixes.

CAMPOS (1994) identificou índices de contaminação nas águas do igarapé da Bolívia na rodovia BR 174. Entre outros pesquisadores, UNGEMACH (1967), BRINKMANN & SANTOS (1970), JUNK & FURCH (1980), LEENHER & SANTOS (1980), desenvolveram pesquisas em ambientes aquáticos da região, enfatizando os aspectos limnológicos e hidrológicos. Mesmo assim, ainda existe uma grande lacuna, principalmente com relação às características geoquímicas dos sedimentos de fundo e impactos ambientais de origem antrópica.

Os igarapés são sistemas abertos conhecidos como microssistemas nos quais as altas taxas de precipitações provocam o aparecimento de uma rede hídrica muito densa, que, em geral, apresenta baixos teores de sais minerais dissolvidos e águas normalmente ácidas. JUNK (1983) observou que, em igarapés preservados, a floresta densa impede a penetração da luz na superfície da água, tornando difícil a produção de algas e plantas aquáticas superiores, que servem de alimentação para os animais aquáticos, mas que é observada uma fauna íctica diversificada e freqüente. Estudos do conteúdo estomacal dos peixes mostraram que a maioria das espécies se alimenta de material aloctone (insetos terrestres, frutos, sementes, pólen) proveniente da floresta.

As águas dos igarapés de terra firme, na sua maioria, são claras, tendo sua origem nos sedimentos Cretáceos depositados acima do escudo do Brasil Central ou nos sedimentos Terciários e apresentam características físicas e químicas semelhantes. O pH encontra-se sempre na faixa de 4,4 a 5,5 e são baixos os teores de sais dissolvidos, (SIOLI, 1951; FITTKAU, 1964; JUNK, 1983). SCHMIDT (1972) realizou um estudo em doze igarapés da região, na rodovia BR-174, Manaus - Boa Vista, em construção, na seção Manaus-Caracarái, e confirmou que todas as águas eram muito pobres em sais dissolvidos, extremamente ácidas e pouco

tamponadas, e que as águas que drenam a área do Arqueano possuem concentrações de metais alcalinos, alcalino-terrosos e ferro um pouco acima das demais águas estudadas. Observou ainda que as águas desta região podiam ser classificadas como águas claras (transparentes) e águas pretas, algumas, porém, apresentando transições entre esses tipos. Após vinte anos, CAMPOS (1994) estudou os igarapés da rodovia BR-174, Manaus - Boa Vista, do km 0 (igarapé Bolívia) até o km 112 (igarapé Lages), e mostrou que não houve mudanças significativas nas características estudadas antes e depois da abertura da rodovia, e também que as atividades desenvolvidas nos últimos 20 anos no Distrito Agropecuário da SUFRAMA, como exploração mineral (caulim, garimpagem etc.) e atividades agroindustriais não promoveram impactos nos ambientes aquáticos, permanecendo os corpos d'água límpidos, com características naturais de igarapés da região.

Segundo FÖRSTNER & WITTMANN (1983) os metais pesados são encontrados em todos os ambientes. Nos ambientes aquáticos, ocorrem em diferentes formas: dissolvidos; ligados ao material em suspensão; nos sedimentos de fundo; na água intersticial e na biota. Alguns são denominados elementos essenciais, por desempenharem papéis importantes nos organismos vivos. Outros exercem efeitos biológicos nocivos quando acumulados. Outros, ainda, são normalmente encontrados em baixas concentrações e não são nocivos ao homem e ao meio-ambiente, podendo, entretanto, tornarem-se tóxicos quando em altas concentrações.

Os sedimentos são formados por material resultante da erosão e intemperismo de rochas pré-existentes, que é carregado pelos rios e igarapés e acumulado em seus leitos. Sua composição química reflete a composição das rochas intemperizadas e da natureza dos precipitados orgânicos e inorgânicos. Os

sedimentos naturais são compostos de partículas finas menores que 50 μm , subdivididas em silte e argila e em partículas maiores que 50 μm , subdivididas em areia e cascalho (SALOMONS & FÖRSTNER, 1984).

Estudar os sedimentos de fundo e em suspensão nos ecossistemas aquáticos é de extrema importância para a compreensão dos mecanismos biogeoquímicos. É neste compartimento que os processos físicos, químicos e biológicos interagem, estendendo o seu efeito sobre todo o sistema (ESTEVES, 1988).

Nos sedimentos, a distribuição dos metais é muito heterogênea, varia com o tamanho das partículas e a fase física. As maiores concentrações de metais encontram-se nos sedimentos finos, compostos de argilominerais, matéria orgânica, quartzo, carbonatos e de feldspato (PILKINGTON & WARREN, 1979 e FÖRSTNER & SALOMONS, 1980). Os metais de origem antropogênicas podem fixar-se nos sedimentos de fundo através de ligações com as argilas, óxidos e hidróxidos de ferro e manganês e matéria orgânica (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983).

MEADE et al. (1979) estudando sedimentos em suspensão, em secções transversais do rio Amazonas e tributários, mostraram que sua distribuição não é uniforme, e que no fundo acha-se a maior concentração de partículas de tamanho entre 0,01 a 0,5 mm, predominando areia fina e média. IRION et al. (1983), estudando a sedimentologia e geoquímica no Rio Solimões/Amazonas-Ilha da Marchantaria, também observaram a presença de quartzo e feldspato.

WARREN & ZIMMERMAN (1991) estudando os sedimentos de corrente do Rio Don, concluíram que os metais pesados são transportados em maior proporção na fração $<63 \mu\text{m}$ e também que a taxa do material em suspensão as concentrações dos metais pesados aumentam durante o período chuvoso.

Nos ambientes aquáticos, os metais são encontrados em soluções ou adsorvidos em partículas de sedimentos, ou mesmo na matéria orgânica. Podem estar disponíveis ou não aos organismos aquáticos; disponíveis através da digestão por organismos ou oxidação da água; em forma de hidróxidos podem ser ingeridos pelo organismos ou reduzidos e assim liberados novamente ao meio.

GIBBS (1977) estudando o transporte dos metais em suspensão associados a fases cristalina, orgânica, trocável e metálica nos Rios do Amazonas e Yukon, concluiu que o ferro, o manganês e o níquel ocorrem em quase todas as frações geoquímicas, enquanto o cobre e o cromo têm preferência pela fração cristalina. Dos metais transportados pelos rios, de 65% a 92% estão associados a fase residual ou redutível. A fração na forma trocável foi quase insignificante, principalmente, para o ferro e o manganês.

LACERDA et al. (1989), estudando as associações geoquímicas entre metais pesados em diferentes fases sedimentares de um estuário não contaminado, concluíram que as fases dominantes foram a residual (litogênica) e a redutível (oxi-hidróxidos de ferro e manganês). E ainda LACERDA et al. (1990), estudando a partição geoquímica dos metais Fe, Cu, Zn, Cr, Ni e Pb em sedimentos do rio Madeira e tributários, por extração seqüencial, para determinar as formas em que se encontravam os metais, observaram que as fases sedimentares litogênicas e redutível dão maior suporte aos metais pesados, e que as fases trocável e oxidável podem ser importantes, particularmente, em rios de águas pretas, ricos em matéria orgânica. Concluíram ainda que, para os rios da Amazônia, os tipos de água (branca,

preta e clara), classificados por SIOLI (1957) e SIOLI & KLINGE (1962), com base em parâmetros físico-químicos, podem também ser caracterizados pela distribuição dos metais nos sedimentos.

As altas concentrações de metais pesados nas águas tornam-os tóxicos e conduzem a sua deposição nos sedimentos. FÖRSTNER & SALOMONS (1980), observaram que dos metais lançados no ambiente, uma parte é acumulada e uma outra parte torna-se disponível aos organismos aquáticos. TUNDISI & TUNDISI (1975), mostraram que metais pesados podem limitar a produção primária e o crescimento do fitoplâncton em ecossistemas aquáticos.

Os elementos Zn e Cu, que em certas concentrações são tóxicos para os peixes, mas não para o homem, encontram-se presentes em quase todos os ambientes aquáticos. O Cu, pela sua solubilidade, quando presente, geralmente na forma de sulfato, é transportado para rios ou igarapés pela água da chuva, sobretudo em zonas de cultivos. Bioensaios têm sido úteis para avaliar a sensibilidade de peixes a metais pesados, por sua toxicidade, como também para outros organismos aquáticos. BRANCO (1960) demonstrou que a turbulência nas águas exerce efeitos significativos sobre a toxicidade do zinco e cobre, e que a ação tóxica depende do processo físico-químico de coagulação da mucosidade na região branquial dos peixes. BRANCO (1984) mostrou que o zinco pode encontrar-se em elevadas concentrações nas águas de uso doméstico, principalmente quando as tubulações das instalações domiciliares são de ferro galvanizado.

O cobre é um elemento essencial para as algas, mas em altas concentrações pode ser tóxico e sua toxicidade aumenta na presença de substâncias orgânicas derivadas de esgotos e efluentes industriais (CARLSON & MORRISON, 1994). Ligantes orgânicos na formação de complexo poderão reduzir a toxicidade em algas (VERWEIJ, 1991; XUE & SIGG, 1993) e altos teores podem ser bastante tóxicos

para peixes (STIFF, 1971). No igarapé do Quarenta, SILVA (1992), estudando a influência dos metais pesados sobre os peixes, encontrou concentrações de 79 µg/l de Cu e 81 µg/g de Zn em músculo da espécie detritívora Hoplosternum littorale e na carnívora Hoplias malabaricus.

Os processos naturais não eliminam totalmente os metais do ambiente aquático. À medida que aumenta a carga de poluente, poderá ocorrer um enriquecimento dos metais e das substâncias orgânicas no ambiente (FÖRSTNER & WITTMANN, 1983). O zinco quando bioacumulado torna-se tóxico e um forte inibidor da fotossíntese de algas. As diferentes fontes de metais cobre, zinco e ferro são essenciais para atividade biológica de nutrientes, mas são tóxicos em concentrações elevadas (XUE & SIGG, 1993). Altas concentrações de metais pesados nas águas ou sedimentos tendem a elevar a concentração na biota dependendo do tipo de organismo, e da fase sólida transportada e contribui também para a poluição dos solos durante o ciclo sazonal com enriquecimento dos solos na vazante (MORSE et al., 1993 e ANSORENA et al., 1995).

A preocupação com o lançamento de efluentes industriais no ambiente, tem levado o homem a descobrir novas técnicas para determinar metais pesados. Na área de Geoquímica Ambiental têm sido muito utilizadas as extrações sequenciais em sedimentos, métodos adaptados de análises de metais em solos e sedimentos marinhos.

Apesar de ser objeto de muitas discussões, a partição geoquímica vem sendo muito utilizadas nas últimas décadas (AGEMIAM & CHAU, 1976; MAIO, 1977; TESSIER et al., 1979; FÖRSTNER & WITTMANN, 1983; MEGUELLATTI et al., 1983; LACERDA & ABRÃO, 1984; SOUZA, 1986; JORDÃO et al., 1990). Entre outros, YOUNG et al. (1992) e FIEDLER et al. (1994), com base em

questionamento sobre diferentes associações nos sedimentos avaliaram diferentes técnicas de extrações totais e simultâneas para determinação de metais pesados. Também PESTANA & LACERDA (1989), compararam as fases residuais (metais preso ao retículo cristalino de minerais) com as fases móveis (disponíveis à biota), observando os processos físico-químicos locais.

Este trabalho tem como objetivo geral estudar a distribuição do cádmio (Cd), cobalto (Co), cromo (Cr), cobre (Cu), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni) e zinco (Zn) no igarapé do Quarenta (receptor de efluentes industriais e esgotos domésticos). E como objetivos específicos, quantificar e verificar em que forma estes metais se apresentam nos sedimentos e avaliar a qualidade das águas do igarapé do Quarenta, através de análises físicas e químicas, fazendo a comparação com os resultados dos igarapés de São Raimundo (poluído) e do Barro Branco (não poluído).

2 - CONSIDERAÇÕES GERAIS SOBRE O MEIO AMBIENTE

A cidade de Manaus está situada à margem esquerda do rio Negro, no centro da maior floresta equatorial-tropical úmida do planeta, sendo recortada por uma rede de cursos de água que desembocam no rio Negro. O município possui mais de 1 milhão e quinhentos mil habitantes, que não ocupam uniformemente a sua superfície geográfica, concentrando-se em núcleos periféricos, sob condições de vida e saneamento insatisfatórios. O adensamento populacional sem planejamento e a implantação do polo industrial comprometeram a qualidade das drenagens superficiais. Embora a dimensão do comprometimento ainda não tenha sido quantificado, há evidência que ele pode prejudicar a saúde da população manauara através de doenças parasitárias, infecciosas e toxicológicas, veiculadas pela água, que é vastamente utilizada, inclusive para recreação e lazer.

O clima da região apresenta dois períodos sazonais: um de maior intensidade de chuva (inverno), que inicia no mês de novembro e termina no mês de maio, e outro de chuva escassa (verão), de junho até outubro. Segundo a classificação de Köppen o clima da região é do tipo Am de monções, com precipitações elevadas e estação seca definida, quando a chuva é inferior a 70 mm ao mês.

Dados fornecidos pelo Distrito de Meteorologia (INEMET), para Manaus, a precipitação mensal em 1994 variou 29,9 mm (julho) a 399,5 mm (fevereiro). Segundo a Divisão de Meteorologia do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA), para a estação Climatológica da Reserva Florestal Ducke, a precipitação variou de 47,3 mm (julho) a 421,3 mm (janeiro). As maiores precipitações pluviométricas ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro e as menores em julho, como mostra as Figuras 2.1 e 2.2.

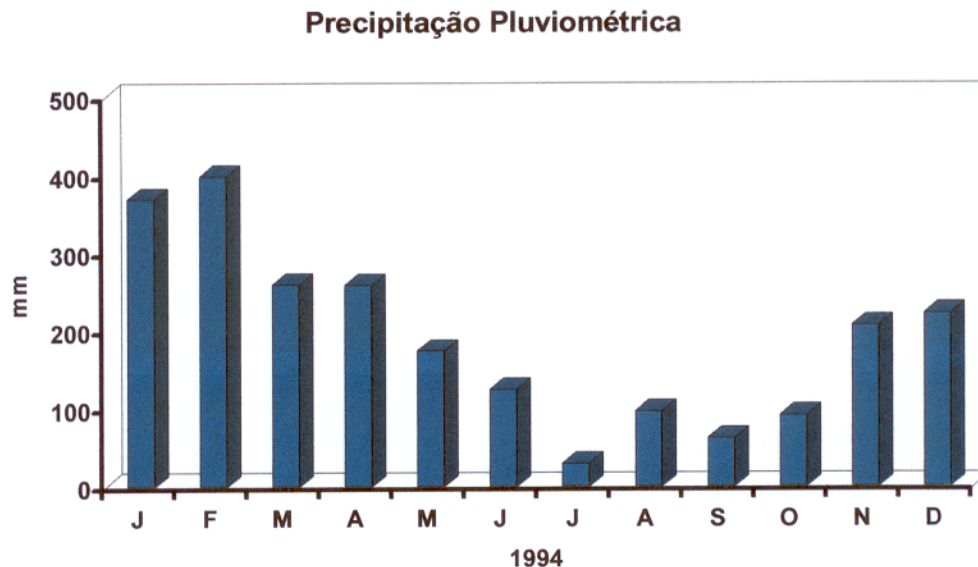


Figura 2.1 - Precipitação mensal na estação meteorológica de Manaus (INEMET), no período de janeiro a dezembro de 1994.

O regime hidrológico dos rios e igarapés normalmente é regido pela geomorfologia, tipologia do solo e pluviosidade da região. Os igarapés nesta região apresentam dois períodos bem diferenciados. O período cheio, na época chuvosa, com grandes volumes de água, e o período seco, com pouca chuva e pequenos volumes de água. A hidrografia dos igarapés é representada por pequenos cursos de água, que contrastam com a abundante pluviosidade característica da região, resultando numa microdrenagem dentrítica, cuja capacidade de receber e de escoar água, assim como detritos e poluentes, deve ser medida pelo número de pequenas correntes que a formam, assim como pela sua largura, profundidades e declividade (MELLO & MOURA, 1990).

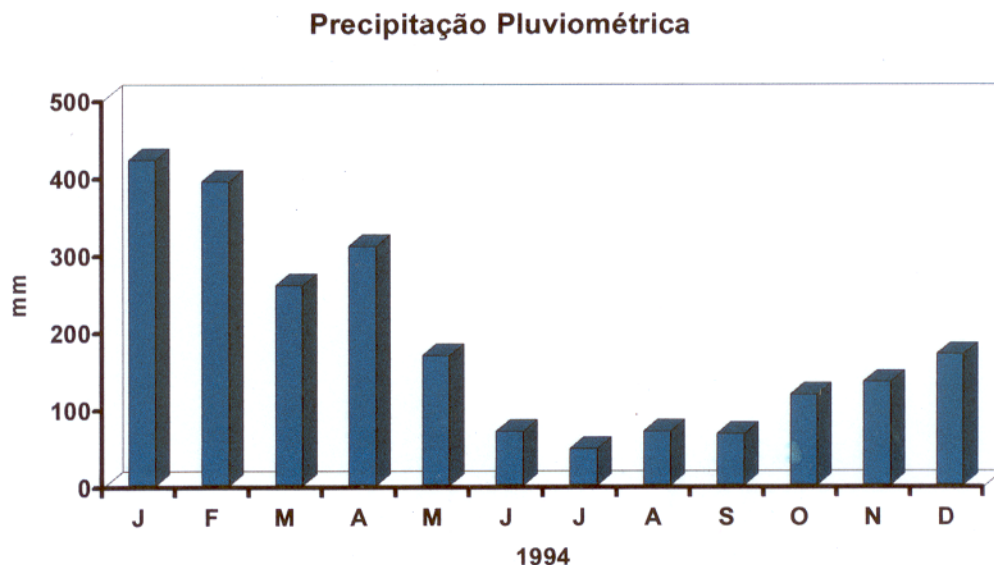


Figura 2.2 - Precipitação mensal na estação meteorológica Reserva Adolfo Ducke (INPA), no período de janeiro a dezembro de 1994.

FALESI (1967) mostraram a predominância dos solos latossólicos na região compreendida entre Manaus e Itacoatiara, onde a vegetação é composta de uma floresta equatorial úmida, além de capoeiras em vários estágios de formação, pequenas áreas de campinas, e vegetação de solos hidromórficos. IRION (1978) estudando os solos da bacia Amazônica de uma maneira geral, encontrou sua origem em rochas cristalinas de textura grosseira, com alta permeabilidade, e sua composição rica em feldspatos que, dada a alta pluviosidade, encontram-se intemperizados, formando caulinita, que confere a baixa fertilidade a esses solos ácidos.

A geologia da região é composta pela Formação Alter do Chão, de idade terciária, caracterizada por sedimentos vermelhos e continentais, incluindo arenitos

argilosos, argilitos, quartzo-grauvacas e brechas intraformacionais (SCHOBENHAUS et al., 1984). Estes sedimentos, quando intemperizados, formam comumente solos argilosos e argilo-arenosos, como os latossolos de classes texturais diferentes (Sakamoto apud SIOLI, 1968). O Quaternário é composto por aluviões fluviais, constituídos de cascalhos, areias, siltes e argilas (SCHOBENHAUS et al., 1984).

3 - MATERIAL E MÉTODOS

Os dados básicos para esta pesquisa foram obtidos a partir das coletas de água e dos sedimentos de fundo e em suspensão de igarapés. No início, foi realizado um reconhecimento geral de campo, definido os pontos de amostragem e ainda programado os períodos de coletas. Foram feitas coletas em pontos representativos do igarapé do Quarenta, com pontos a montante e a jusante da área do Distrito Industrial e nos igarapés de São Raimundo e Barro Branco.

As coletas foram efetuadas nos meses de janeiro, maio e junho (período de águas altas) e nos meses de agosto e de setembro (período de águas baixas) de 1994, levando em consideração a sazonalidade na região. Sendo que nos primeiros meses, as coletas de amostras dos sedimentos de fundo foram feitas em profundidades, obedecendo os seguintes intervalos de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm em todas as estações. Nos meses de agosto e setembro, em todas as estações, foram efetuadas coletas de amostras pontuais nos sedimentos de fundo. As amostras de águas foram realizadas em todas as estações e durante os diferentes períodos de coletas.

3.1 - CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA E LOCALIZAÇÃO DOS PONTOS DE AMOSTRAGEM

A pesquisa se desenvolveu nos igarapés do Quarenta e de São Raimundo na área urbana de Manaus e igarapé do Barro Branco, na Rodovia Torquato Tapajós a 26 km de Manaus. São igarapés sujeitos aos mesmos fatores climáticos e geológicos (Figura 3.3 e 3.4).

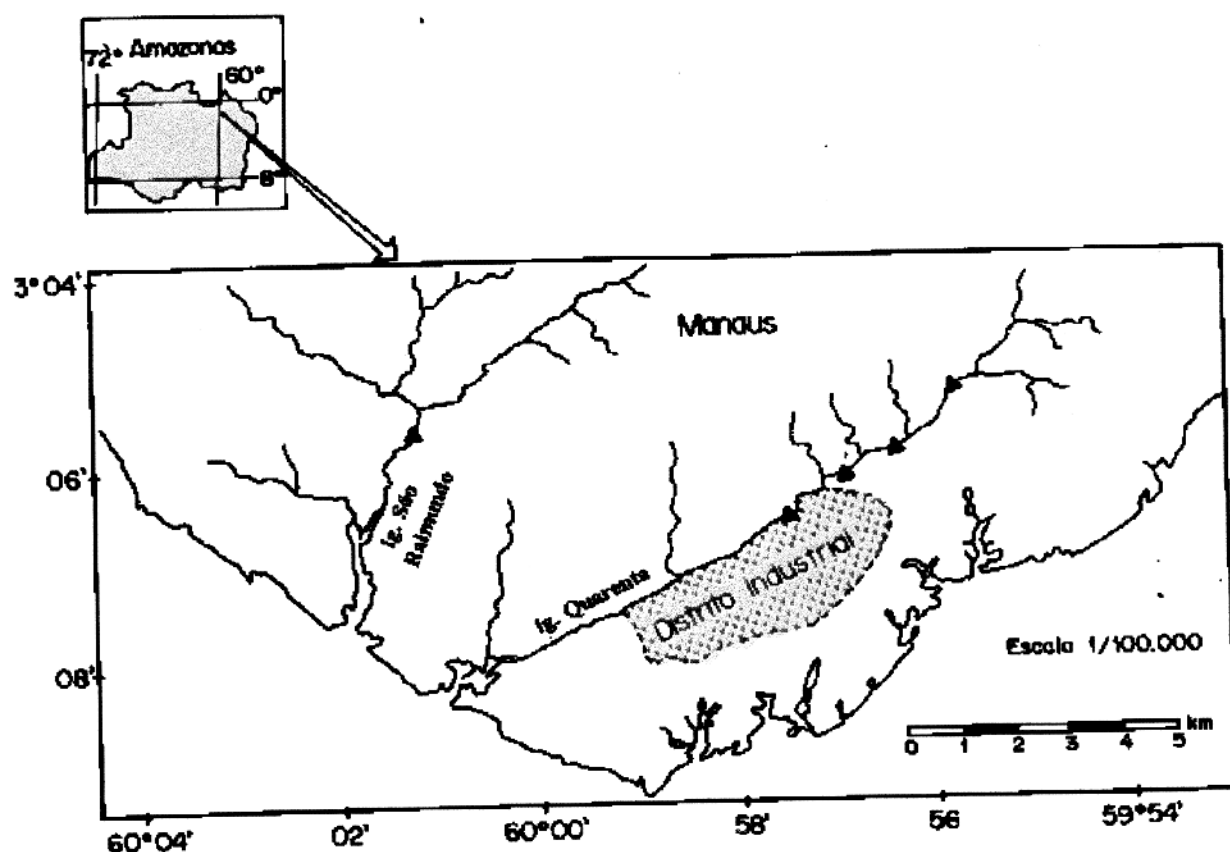


Figura 3.3 - Localização dos igarapés de São Raimundo e do Quarenta.

▲ ponto de coleta

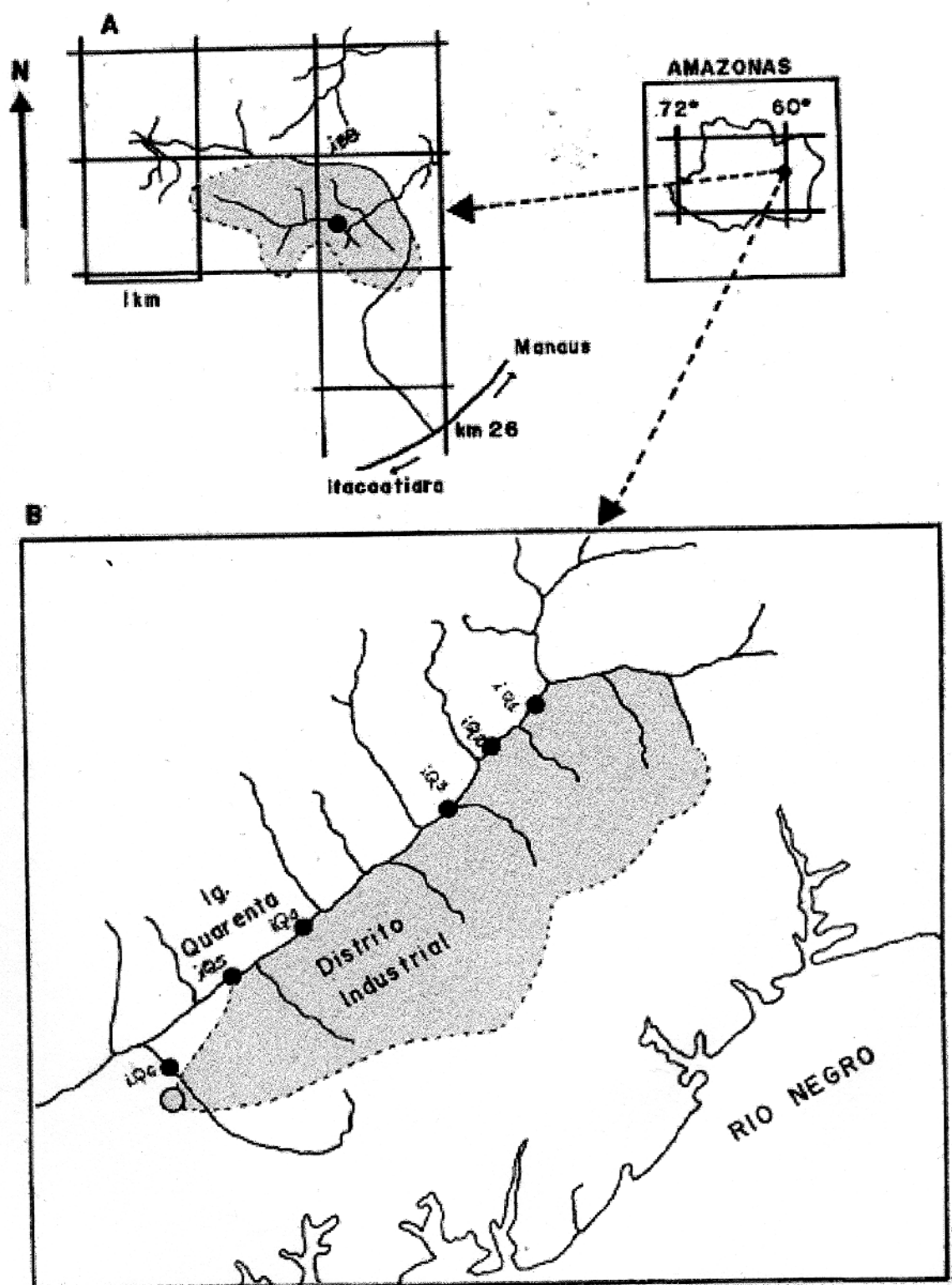


Figura 3.4 - Localização dos igarapés Barro Branco (A) e do Quarenta (B).
 • ponto de coleta

3.1.1 - Igarapé do Quarenta

O igarapé do Quarenta, apresenta margens desmatadas e margens cobertas por vegetação secundária. De todos os igarapés da área, este é o mais modificado, começando em sua nascente, no bairro pobre conhecido como Armando Mendes, onde recebe cargas de esgotos domésticos. Na área do Distrito Industrial, recebe efluentes industriais, e a jusante, próximo da sua confluência com o igarapé de Educandos, recebe novamente esgotos domésticos provenientes dos bairro adjacentes. As águas nas nascentes a cor é marron escura e a jusante da estação iQ3 é barrenta apresentando 39,8 mg/l de material em suspensão.

Junto ao igarapé do Quarenta está localizado o Distrito Industrial da SUFRAMA (Superintendência da Zona Franca de Manaus), onde estão instalados 543 projetos plenos e 400 projetos simplificados num total de 943 indústrias (dados fornecidos pela Divisão de Pesquisa e Informações Sócio-Econômicas - DISE/SAP, extraídos dos projetos aprovados pela SUFRAMA).

Para os pontos de amostragem optou-se por locais de melhor acesso. No igarapé do Quarenta foram selecionadas seis estações e identificadas como:

iQ1- a jusante da Grande Circular próximo de uma lixeira atualmente desativada (Figura 3.5). Nesta estação, ainda se encontra vegetação típica de floresta primária;

iQ2- a jusante do corpo de Bombeiros, nas margens ainda podemos encontrar espécies de palmeiras como a *Mauritia flexuosa* L. e *Euterpes oleracea* Mart. etc...



Figura - 3.5 - Lixeira localizada a jusante da estação iQ1 do igarapé do Quarenta.

iQ3- a jusante da ponte Nova República, nas magens observa-se vegetação secundária. Neste ponto além da influência da barragem, recebe também efluentes industriais;

iQ4 - a montante da SEDUC e

iQ5 - próximo a um núcleo populacional, estações sem vegetação e com entradas de esgotos domésticos e efluentes industriais (Figura 3.7);

iQ6 - a jusante da área do Distrito Industrial, margens sem vegetação e ao lado de um bairro de classe pobre.



Figura 3.6 - Igarapé do Quarenta - estação iQ1 - junho/1994.



Figura 3.7 - Igarapé do Quarenta - estação iQ5 - junho/1994.

3.1.2 - Igarapé de São Raimundo

O igarapé de São Raimundo é afluente do rio Negro e situa-se no centro da cidade de Manaus. Nas últimas décadas tem recebido uma carga poluidora bastante elevada de esgotos domésticos e industriais além de diferentes tipos de

lixo dos moradores de sua bacia de drenagem. A água é de cor marrom escuro dada a alta concentração de matéria orgânica (11,43 mg/g valor médio) e baixa concentração de oxigênio de 0,5 mg/l em período chuvoso (Figura 3.8).



Figura 3.8 - Igarapé de São Raimundo - Manaus - junho/1994.

3.1.3 - Igarapé do Barro Branco

O igarapé do Barro Branco está situado a 26 Km do Município de Manaus, na área urbana, na Rodovia Torquato Tapajós (AM-10, Manaus-Itacoatiara) dentro da Reserva Florestal Adolfo Ducke, localizado na posição 60 02' W e 03 8' S. Por ser um ambiente ainda preservado, seus resultados foram utilizados como referencial para igarapé na região (Figura 3.9).

Nos igarapés de São Raimundo e do Barro Branco foi definido apenas uma estação de coleta.

iSR (igarapé de São Raimundo) - a jusante da confluência dos igarapés do Resende e Franceses. Nesta estação, as margens são totalmente desmatadas (Figura 3.8) e

iBB (igarapé do Barro Branco) - na Reserva Florestal Adolfo Ducke. As margens nesta estação apresentam coberturas com vegetação primária (Figura 3.9).



Figura 3.9 - Igarapé Barro Branco - Reserva Florestal Adolfo Ducke - junho/1994.

3.2 - METODOLOGIA DE COLETA E TRATAMENTO DAS AMOSTRAS

3.2.1 - Águas

As amostras de águas superficiais foram coletadas a uma profundidade de 10 cm da superfície, armazenadas em frascos de polietileno e analisadas no laboratório do INPA/Manaus (Figura 3.10).

3.2.1.1 - Temperatura, pH, condutividade elétrica

As determinações de pH, condutividade elétrica e temperatura foram feitas em campo. O pH foi determinado com potenciômetro digital marca WTW modelo 191 com auxílio de eletrodos de vidro calibrado com solução tampão pH 4,0 e 7,0. A condutividade elétrica determinada com condutivímetro digital marca WTW modelo 190 e a temperatura com auxílio de um termômetro de mercúrio.

3.2.1.2 - Oxigênio dissolvido, demanda química de oxigênio

Para a determinação do oxigênio dissolvido foram tomadas amostras superficiais em frascos de Winkler e fixadas com sulfato manganoso e azida, para posterior análise no laboratório de limnologia do INPA/Manaus.

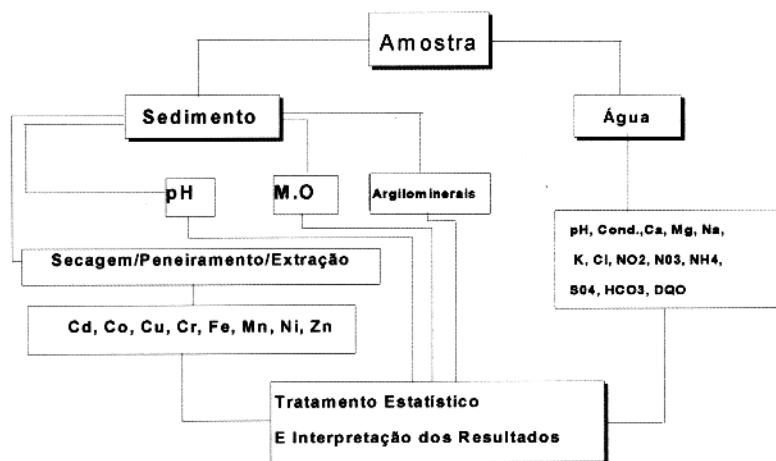


Figura 3.10 - Fluxograma do procedimento analítico em amostras de águas e sedimentos.

Para as análises físicas, físico-químicas e químicas das águas de superfícies foram empregadas as técnicas recomendadas em GOLTERMAN & CLYMO (1971), GOLTERMAN et al. (1978) e American Public Health Association - APHA (1985). O oxigênio dissolvido foi determinado pelo método de Winkler modificado, utilizando-se como titulante o tiosulfato de sódio 0,01N, de acordo com GOLTERMAN et al. (1978). A demanda química do oxigênio (DQO), foi determinada pelo método do permanganato de potássio (KMnO_4) segundo GOLTERMAN & CLYMO (1971) e GOLTERMAN et al. (1978).

3.2.1.3 - Ânions (SO_4^{-2} , Cl^- , HCO_3^-)

O sulfato foi determinado pelo método turbidimétrico, usando-se o cloreto de bário em meio ácido, sendo o limite de sensibilidade do método de 1 mg/l e leituras efetuadas em um turbidímetro modelo AP 1000 II- Polilab, segundo APHA (1985).

Cloreto determinado por titulometria, baseado na coloração desenvolvida pela formação de cloreto de mercúrio em meio ácido, usando como indicador a difenil carbazona, o limite de sensibilidade do método de 0,1 mg/l, técnica decrita em GOLTERMAN et al. (1978).

A alcalinidade expressa em mg/l de HCO_3^- foi determinada potenciométricamente, usando como titulante a solução de HCl 0,05 N até pH 4,3, segundo GOLTERMAN et al. (1978).

3.2.1.4 - Cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+)

Cálcio foi determinado por complexometria com EDTA, e foi utilizado como indicador ácido calconcarboxílico em meio alcalino (pH 11,0). Para o magnésio foi determinado a dureza ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+}$) por complexometria com EDTA, usando como indicador o eriocromo negro e o magnésio calculado por diferença da dureza e o cálcio. O limite de sensibilidade para Ca^{2+} e Mg^{2+} 0,02 mg/l.

Sódio e potássio foram determinados por fotometria de chama, aparelho marca MICRONAL, modelo B262. O limite de sensibilidade para Na^+ e K^+ 0,01 mg/l.

3.2.1.5 - Compostos nitrogenados (NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+)

Para os compostos nitrogenados, NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+ foi utilizada a técnica descrita em STRICKLAND & PARSONS (1968). As amostras foram previamente filtradas com filtros de 0,47 mm de diâmetro e 0,45 μm de poros. O NO_2^- foi determinado por espectrofotometria a 543 nm em cubetas de 1,0 cm, com o limite de sensibilidade do método de 0,005 mg/l. O NO_3^- foi analisado pela redução a nitrito através da coluna redutora de cádmio, e logo determinado, com auxílio do FIA (Análises por injeção de fluxo), sendo o limite de sensibilidade do método de 0,01 mg/l. A NH_4^+ foi analisada por espectrofotometria utilizando-se o método do azul de indofenol e efetuada leitura a 635 nm, em cubetas de 1,0 cm, limite de sensibilidade 0,1 mg/l (MACKERETH et al., 1978).

3.3 - SEDIMENTOS

Os sedimentos de fundo foram coletados com auxílio de um amostrador tipo "core" nas profundidades de 0-5, 5-10, 10-20, 20-40 cm e draga tipo "Peterson" para coletas pontuais.

3.3.1 - Material em suspensão

O material em suspensão foi determinado por filtração da amostra de água utilizando-se filtros de membrana de 45 μm de poros, previamente secos em estufa por 2 horas, e determinado por gravimetria segundo APHA (1985). Os filtros com os sedimentos retidos foram digeridos em becker de teflon com uma mistura de ácido fluorídrico e ácido perclórico (10:1) e na solução resultante determinadas as concentrações dos metais.

3.3.2 - pH, matéria orgânica e argilominerais

Para as determinações de pH nos sedimentos de fundo foram utilizados 10 g da amostra + 25ml de KCl 1N, ficando em repouso por 3-4 horas e efetuada a leitura em um pH-metro marca WTW modelo 191, com eletrodo de vidro calibrado com solução tampão de pH 4,0 e 7,0.

A matéria orgânica nos sedimentos foi determinada por gravimetria após

a combustão na mufla durante 24 horas a 450 °C. Das amostras para análises químicas, uma parte foi peneirada a úmido, para separação de silte e argila, usando-se um tamis com malha <63 µm de abertura e depois seca em estufa a temperatura <50 °C. A outra parte do sedimento foi seca ao ar livre e daí pesadas duas alíquotas.

Os argilominerais foram determinados por difração de Raio-X, usando-se hipoclorito de sódio para eliminar a matéria orgânica, o pH foi ajustado para 9,5 e as amostras orientadas por esfregaços em lâminas de vidro, segundo técnica descrita em GOMES (1986).

3.3.3 - Sedimentos de fundo

Neste trabalho todas as amostras de sedimentos de fundo, logo após a coleta, foram acondicionadas em sacos plásticos segundo as técnicas recomendadas para amostragem geoquímica, evitando-se os agentes contaminadores externos. Cada amostra foi identificada com o nome da estação de amostragem e data.

Para as determinações de metais pesados nos sedimentos foi aplicada a técnica da partição química, com a finalidade de se obter uma distribuição mais detalhada, identificando a forma química de como encontram-se os metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Zn nos sedimentos de fundo, se estão disponíveis ou presos à rede cristalina dos argilominerais.

Nas amostras dos sedimentos da fração de argila + silte foram analisadas os metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, e Zn, já que as argilas apresentam melhores condições para fixar metais pesados (LEVINSON, 1974). Para as determinações de Co e Ni

utilizou-se apenas extrações totais. O fluxograma da Figura 3.11, mostra o procedimento utilizado nas extrações sequenciais e totais, com base em SOUZA (1986) e adaptações propostas por MEGUELLATTI et al., (1983).

Os sedimentos de fundo, receberam tratamento específico para análise de metais pesados, passando pelas seguintes etapas:

1. Para abertura Total - para extração total dos metais Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn, foram utilizadas 0,5g da amostra de sedimento seco em estufa a temperatura 70 °C (argila+silte) e digerida em becker de teflon com uma mistura de ácido fluorídrico e ácido perclórico (10:1), em seguida filtrada em filtro Whatman 41.

2. Abertura Parcial - foi utilizada 1,0 g da amostra de sedimento seco em estufa a temperatura 70 °C por 2 horas, e feita extração sequencial dos metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn e Zn, obedecendo às seguintes fases:

Fase I - Cations Trocáveis (íons dos metais associados com as superfícies dos argilominerais, óxidos de Fe-Mn e M.O., absorvidos na interface sólida) A amostra foi tratada com 20 ml de acetato de amônia ($\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 1 M), a um pH = 7, agitada por 2 h, em seguida centrifugada (3000 rpm/10 min) e filtrada em filtro Whatman 41.

Fase II - Oxidável (os metais ligados a matéria orgânica e sulfetos) - A amostra de sedimento foi tratada com 16 ml de peridrol (H_2O_2) 30% + ácido nítrico (HNO_3) 0.02 M (5:3) a um pH = 2, agitada durante 5 h, em seguida levada a estufa (temperatura 98 °C) por 1 h, e finalmente, tratada com 10 ml de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 3,5

M, agitada por 1 h, centrifugada a 3000 rpm/10 min e filtrada em filtro Whatman 41.

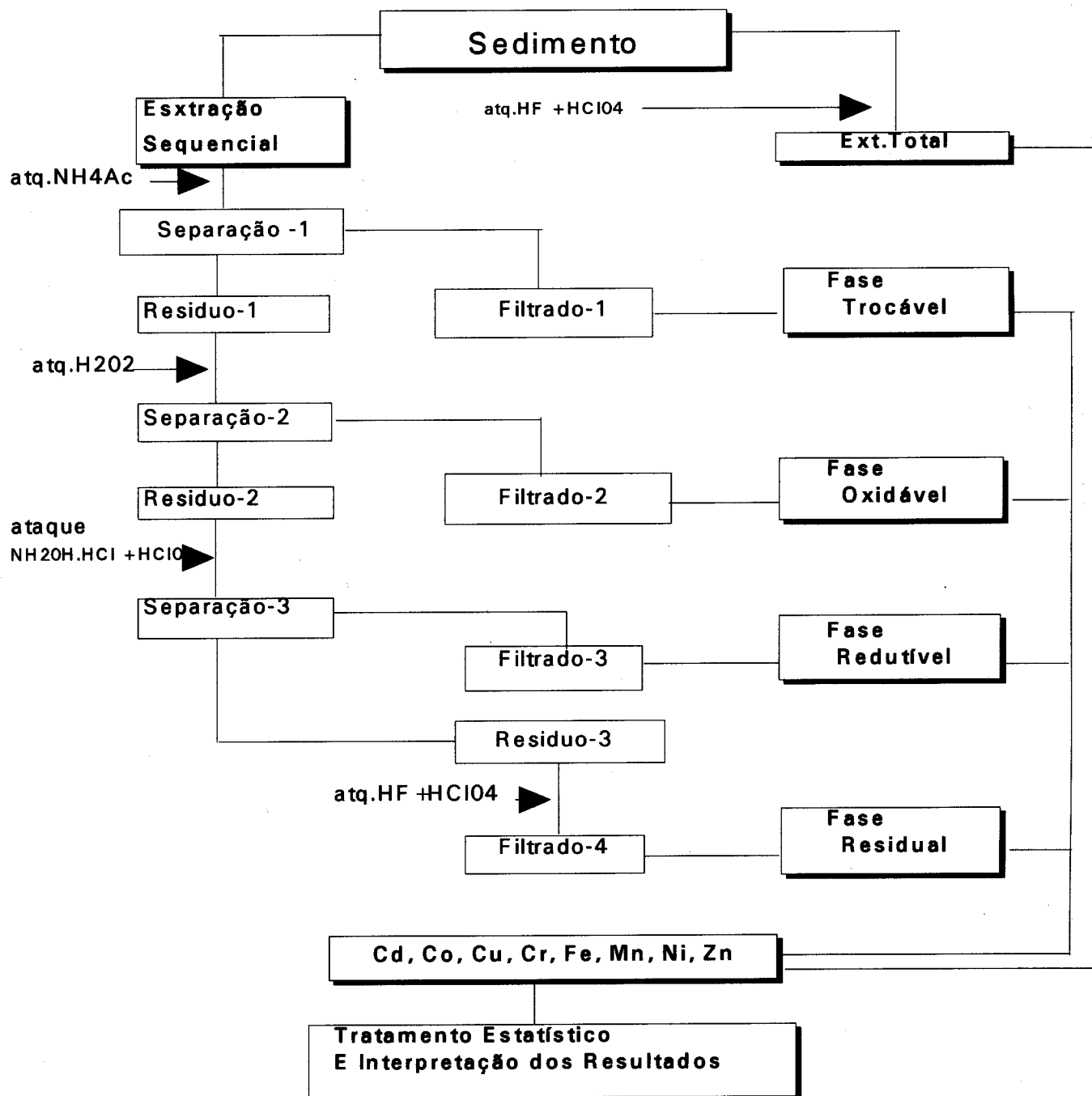


Figura 3.11 - Fluxograma do procedimento analítico para extração sequencial.

Fase III - Redutível- metais ligados aos óxidos de Fe-Mn (os metais associados aos óxidos e hidróxidos de Fe e Mn) - A amostra foi tratada com 35 ml de cloridrato de hidroxilamina ($\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$) 0.1 M + ácido acético (CH_3COOH) 25% (v/v), durante 4 horas de agitação e aquecida em estufa a 98 °C por 1 hora finalizada a extração com 10 ml de $\text{CH}_3\text{COONH}_4$ 3,5 M (por mais 1 h de agitação), centrifugada a 3000 rpm/10 min e filtrada em filtro Whatman 41.

Fase IV - Residual (metais presos a rede cristalina) - Foram feitos ataques sucessivos, utilizando-se inicialmente, 12 ml de ácido fluorídrico (HF) + ácido perclórico (HClO_4) concentrado (5:1), evaporação até a secura; depois foi adicionado 2 ml de HClO_4 concentrado, deixando reagir por 15 a 20 min e em seguida finalizada a extração dos metais com HNO_3 a 10%.

Após as extrações, os metais Cd, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn foram determinados em espectrofotômetro de absorção atômica (PERKIN ELMER, modelo 1100B), usando chama de ar-acetileno no laboratório do INPA/Manaus.

4 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 - ÁGUAS

4.1.1 - Temperatura, pH e condutividade elétrica

A temperatura nas águas dos igarapés estudados apresentou variação temporal e espacial (Tabela 4.1). O igarapé Barro Branco apresentou menores valores de 24,7 a 25,0 °C de temperatura e não mostrou variação sazonal significativa, já esperado, por ser um ambiente natural e ainda protegido pela florestas. Os valores máximos foram observados no igarapé de São Raimundo de 30,2 a 32,0 °C que dada a ausência de vegetação em suas margens, é mais intensa a penetração da radiação solar, motivando o aumento na temperatura. O igarapé do Quarenta apresentou uma variação espacial, sendo os maiores valores encontrado nas estações a jusante da SEDUC, onde não existe cobertura vegetal, permitindo uma maior penetração dos raios solares, e menores temperaturas encontradas nos pontos a montante da Nova República, onde, ainda, podem ser encontradas espécies de palmeiras (*Mauritia flexuosa* L., *Euterpes oleracea* Mart. etc...) e, nas margens, espécies das famílias das Leguminosae, Malpighiaceae e Bignoniaceae, além de invasões de plantas secundárias. As maiores temperaturas foram observadas nos igarapés que apresentam desmatamento em suas margens e vem sofrendo impactos.

Os valores de temperatura da água tiveram variação de 24,7 a 25,0 °C no igarapé Barro Branco, e nos demais igarapés de 25,0 a 32,0 °C. Estudos anteriores CAMPOS (1994) encontrou valores de temperatura em igarapés da região na faixa de 24,2 a 32,5 °C.

Tabela 4.1 - Valores médios de temperatura (°C) e pH nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Temperatura (°C)					pH			
Est.	x1	Min-Max	x2	Min-Max	x1	Min-Max	x2	Min-Max
iQ1	26,0	25,0-26,8	27,0	***	5,9	5,7-6,2	5,8	5,8-5,9
iQ2	28,2	***	27,5	27,0-28,0	5,9	5,9-6,1	6,1	5,8-6,3
iQ3	28,2	***	27,6	27,0-28,2	6,1	6,0-6,1	5,8**	
iQ4	28,1	27,2-29,0	27,9	27,5-28,4	6,0	5,8-6,1	5,8**	
iQ5	27,9*		28,7	28,5-29,0	6,0	5,8-6,1	5,8**	
iQ6	26,4*		29,0**	28,8-29,4	5,7	5,5-5,9	5,3	4,9-5,5
iRS	30,2*		31,5	31,0-32,0	6,2	6,0-6,4	6,4**	
iBB	24,7	24,7-25,0	25,0	25,0-25,1	4,9	4,3-5,5	3,7	3,7-3,8

x1- média de janeiro, maio, junho (período chuvoso), x2 - média de agosto e setembro (período estiagem), Min - Max - valores mínimos e máximos.

* - coleta de maio/1994.

** - coleta de agosto/1994.

*** - todas as medições apresentaram o mesmo valor.

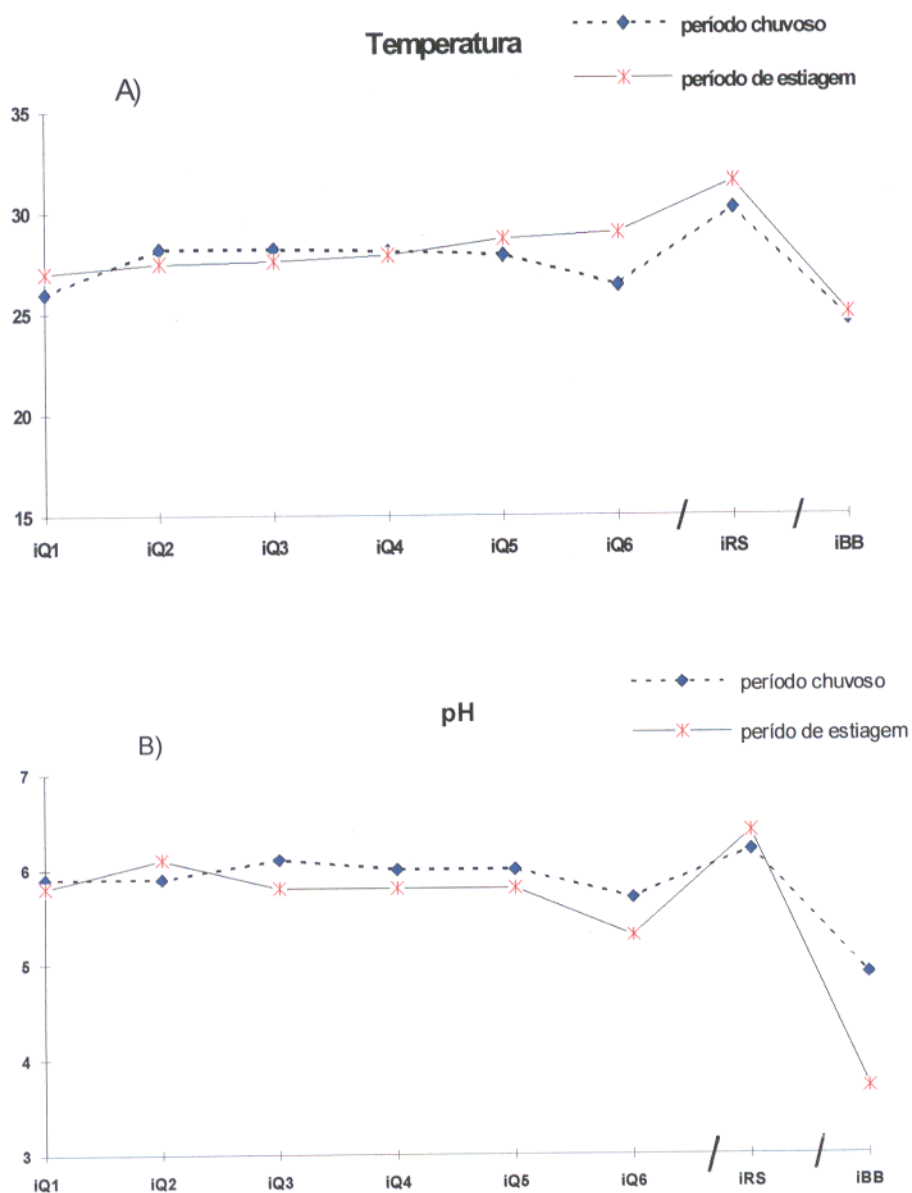


Figura 4.12 - Variação da temperatura em °C (A) e pH (B) determinados nos meses de janeiro, maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) -1994.

As determinações de pH nos igarapés mostraram uma variação temporal e espacial significativa. No igarapé Barro Branco o pH apresentou-se ligeiramente ácido e no igarapé de São Raimundo próximo do neutro. O pH nas águas naturais reflete a composição geoquímica do solo e subsolo e tem forte influência na mobilidade de alguns elementos (LIVINGSTONE, 1963). A mudança de pH com diminuição da acidez nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta é provocado pela alteração das substâncias controladoras do meio. No igarapé Barro Branco o diminuição na acidez durante o período chuvoso, se atribui a grande massa de água que dilui as substâncias tampão, sistema bicarbonato/gás carbônico, e conseqüentemente eleva o pH.

Os valores de pH variaram de 3,7 a 5,5 no igarapé Barro Branco e de 4,9 a 6,4 nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta. SIOLI (1956, 1968) encontrou em igarapés da região valores de pH variando de 3,7 a 7,8; SCHIMIDT (1972) e CAMPOS (1994), em igarapés de águas claras e pretas na rodovia BR-174, encontraram valores de pH de 3,3-5,9 e SILVA (1992), nas águas de igarapés naturais da região, encontrou pH de 4,1 a 5,5 e no igarapé do Quarenta pH acima de 6,0. O pH nas águas dos igarapés apresentaram-se na faixa do normalmente determinado na região. O pH no igarapé Barro Branco apresentou-se mais acidificado, semelhante ao observado por FRANKEN & LEOPOLDO (1984).

A condutividade elétrica apresentou variação temporal e espacial nos diferentes igarapés. Os igarapés do Quarenta e de São Raimundo apresentaram valores relativamente altos em relação aos normalmente observados em igarapés da região. No igarapé do Quarenta os valores de condutividade mostraram uma variação longitudinal e a estação iQ1 localizada a jusante de uma lixeira desativada, foi o local em que se observou maiores condutividades. O igarapé do São Raimundo

apresentou variação temporal com valores mais elevados no período de estiagem. Os valores de condutividade na faixa de 82,0 a 182,0 $\mu\text{S/cm}$ revelaram influência das concentrações dos cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ e Na^+) e ânions (HCO_3^- , SO_4^{2-} e Cl^-), provenientes da lixiviação dos solos e vegetação adjacente e dos esgotos domésticos e industriais. No igarapé Barro Branco, a condutividade com valores relativamente baixos é devido a sua localização e ainda por ser preservado de poluição (Tabela 4.2).

A condutividade elétrica variou de 7,7 a 38,5 $\mu\text{S/cm}$ no igarapé Barro Branco e nos demais igarapés de 82,0 a 182,0 $\mu\text{S/cm}$. Trabalhos anteriores, de SCHIMIDT (1972), CAMPOS (1994) em igarapés da rodovia BR-174, encontraram valores de condutividade elétrica na faixa de 5,2 a 28,5 $\mu\text{S/cm}$; SILVA (1992) encontrou nas águas de igarapé natural condutividade de 5,9 a 12,1 $\mu\text{S/cm}$ e no igarapé do Quarenta valores de 56,5 a 99,0 $\mu\text{S/cm}$. O igarapé Barro Branco apresentou valores de condutividade elétrica semelhantes aos obtidos anteriormente por SCHIMIDT (1972) e FRANKEN & LEOPOLDO (1984), enquanto os valores encontrados nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta foram acima do normalmente encontrados na região.

Tabela 4.2 - Valores médios da condutividade elétrica em $\mu\text{S}/\text{cm}$ e do oxigênio dissolvido em mg/l nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Condutividade ($\mu\text{ S}/\text{cm}$)					Oxigênio dissolvido (mg/l)			
Est.	x1	Min-Max	x 2	Min-Max	x1	Min-Máx	x2	Min-Max
iQ1	158,3	139,6-182,0	133,9	116,8-151,0	5,6	4,4-6,3	4,7	3,9-5,4
iQ2	149,9	149,0-151,8	127,8	110,4-145,2	5,5	4,4-6,3	4,8	3,6-5,9
iQ3	126,9	115,0-144,7	135,4	115,2-155,2	5,6	5,4-5,7	4,8	3,3-6,3
iQ4	113,6	100,6-138,0	114,3	106,4-122,1	4,1	2,3-5,4	4,9	3,5-6,2
iQ5	126,65	113,8-139,5	116,1	109,2-123,6	4,9	4,6-5,3	4,4	3,4-5,4
iQ6	103,7	87,5-120,0	98,7	82,0-115,4	0,8	0,1-1,4	2,3	1,5-3,2
iSR	149,9	128,8-171,1	179,8*		0,5	0,0-1,1	4,4	3,1-5,7
iBB	19,3	9,6-38,5	7,9	7,7-8,11	6,6	5,8-7,5	5,5*	

x1- média de janeiro, maio, junho (período chuvoso), x2 - média de agosto e setembro (período de estiagem), Min - Max - valores mínimos e máximos.

* coleta de agosto/1994.

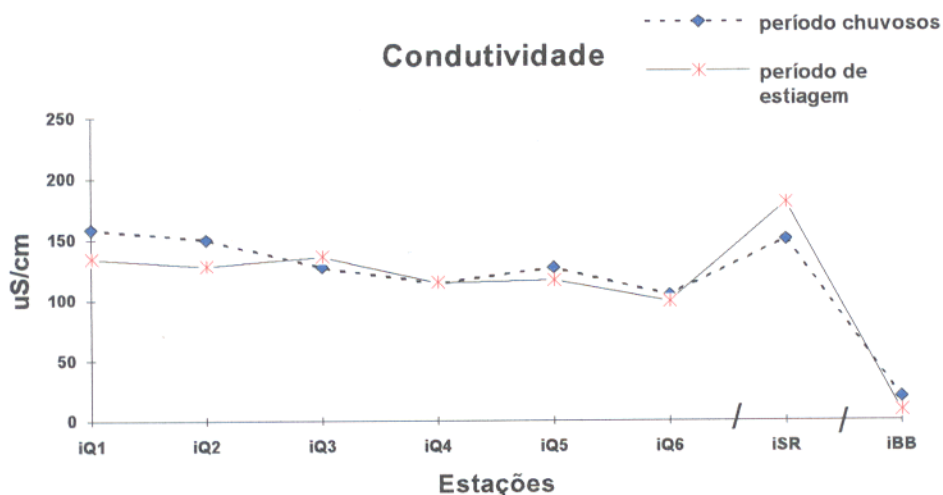


Figura 4.13 - Variação da condutividade elétrica ($\mu\text{S}/\text{cm}$) determinada nos meses janeiro, maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) -1994.

4.1.2 - Oxigênio dissolvido e demanda química de oxigênio

Nos igarapés, o oxigênio dissolvido apresentou variação temporal e espacial, com períodos oxigenados e período anóxicos. No igarapé do Quarenta, os maiores valores foram encontrados nas estações iQ1, iQ2 e iQ3. O alto consumo de oxigênio dissolvido nas estações a jusante, se atribui aos lançamentos de esgotos domésticos e efluentes industriais, que por oxidação da matéria orgânica e consumo por microorganismos reduz o oxigênio dissolvido até 0,15 mg/l, valor mínimo observado na estação iQ6, que é um local de grandes lançamentos de substâncias orgânicas e inorgânicas. No igarapé de São Raimundo, as taxas de oxigênio dissolvido mostraram uma variação alternada de ambiente anóxico a ambiente

pouco oxigenado; o alto consumo de oxigênio é devido à entrada de intensa carga poluidora neste igarapé. Já no igarapé Barro Branco, por ser ambiente natural de floresta, o oxigênio dissolvido apresentou valores superiores a 5,5 mg/l. Ele é oxigenado durante todo ano, com aumento em períodos de águas altas (Tabela 4.2).

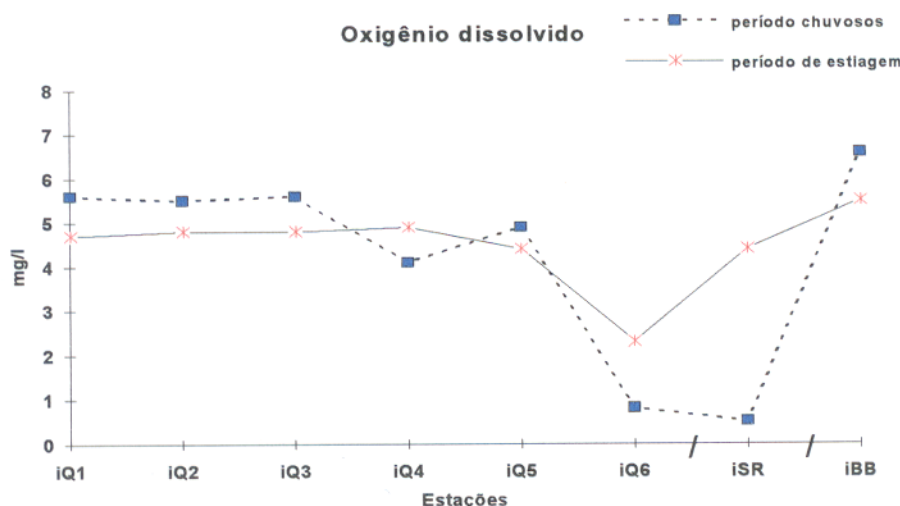


Figura 4.14 - Variação do oxigênio dissolvido em mg/l determinado nos meses janeiro, maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco - 1994.

O teores de oxigênio dissolvido encontrados nas águas variaram de 5,5 a 7,5 mg/l, no igarapé Barro Branco, e de 0,0 a 6,3 mg/l nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta. SIOLI (1956) encontrou nas águas de igarapés naturais da região valores de 5,7 a 6,1 mg/l; CAMPOS (1994) determinou em igarapés naturais de águas claras e pretas, valores de 3,4 a 9,1 mg/l e SILVA (1992) também encontrou em igarapés na região valores de oxigênio dissolvido de 6,3 a 14,6 mg/l. Dos

igarapés analisados apenas o igarapé Barro Branco mostrou semelhança com os dados apresentados acima. Nos demais igarapés, as baixas taxas de oxigênio, se atribuem ao processo de degradação que os mesmos vêm sofrendo.

A demanda química do oxigênio (DQO) nas águas de superfície dos igarapés não mostrou alterações significativas entre os mesmos. As maiores taxas foram encontradas no igarapé de São Raimundo, fato que é justificado pelos lançamentos de lixo e esgostos domésticos (Tabela 4.3).

Os valores da demanda química do oxigênio encontrados, variaram de 20,8 a 67,0 mg/l. SIOLI (1956) encontrou em igarapés naturais da região valores da demanda química do oxigênio variando de 8,0 a 141,0 mg/l; SILVA (1992), nas águas de igarapés da região, observou valores de 6,5 a 44,7 mg/l e CAMPOS (1994) encontrou valores de 13,0 a 107,0 mg/l. Apesar das entradas de substâncias provenientes da atividade humana, a quantidade de matéria orgânica quimicamente oxidável nas águas dos igarapés encontra-se na mesma faixa dos valores observados normalmente na região.

4.1.3 - Ânions (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-)

Nos igarapés, os teores dos ânions (SO_4^{2-} , Cl^- , HCO_3^-) nas águas de superfície apresentaram variação temporal e espacial significativa. No igarapé Barro Branco, as concentrações foram relativamente baixas quando comparadas aos demais igarapés (Tabela 4.3). As concentrações dos ânions obtidas nas águas de igarapés naturais da região são normalmente baixas (SIOLI, 1957; SCHIMDT, 1972; SANTOS et al., 1984 e FRANKEN & LEOPOLDO, 1984).

Dentre os igarapés estudados, somente o igarapé Barro Branco é semelhante aos anteriormente estudados e citados na literatura. Nos demais igarapés, as altas concentrações de ânions são provenientes de diferentes fontes. Os cloretos das entradas de esgotos domésticos e efluentes industriais e os sulfatos principalmente de efluentes industriais.

Tabela 4.3 - Valores médios de DQO, Cl^- , SO_4^{2-} , HCO_3^- em mg/l nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Est.	DQO		Cl^-		SO_4^{2-}		HCO_3^-	
	x	Mín-Max	x	Mín-Máx	x	Mín-Máx	x	Mín-Máx
iQ1	36,1	27,8-52,1	18,9	10,6-34,1	14,46	14,7-22,3	32,2	16,4-53,1
iQ2	32,0	28,5-35,5	16,6	10,3-24,1	18,7	16,6-22,0	23,9	21,2-6,7
iQ3	32,6	29,1-36,2	21,1	10,7-37,1	13,6	8,3-20,0	23,1	22,1-24,0
iQ4	30,1	29,1-31,2	16,7	8,6-30,7	13,0	7,8-17,4	34,5**	
iQ5	30,8	29,1-32,5	18,8	11,6-27,8	14,3	9,3-17,4	28,1**	27,0-28,1
iQ6	43,9	20,8-67,1	26,6	10,6-49,0	3,7	2,3-5,1	34,1	26,1-42,1
iSR	48,8	36,2-61,6	39,1	21,8-56,4	9,4	8,6-10,2	44,0	38,4-52,2
iBB	35,3	29,4-41,3	5,2	0,8-9,2	1,8	0,5-4,1	34,2*	

x- média obtidas nos meses de janeiro, maio, junho, agosto e setembro,

Mín - Máx- valores mínimos e máximos.

* - coleta de maio/1994.

** - coleta de agosto/1994.

4.1.4 - Cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+)

Os igarapés de São Raimundo e do Quarenta apresentaram enriquecimento dos alcalinos e alcalinos terrosos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) em relação ao igarapé Barro Branco (Tabela 4.4). As maiores concentrações de Ca^{2+} e K^+ foram encontradas em período de altas precipitações. O igarapé do Quarenta apresentou variação estacional com valores mais acentuados nas estações a montante da iQ4. Na distribuição dos cátions, predominou o Na^+ , no igarapé Barro Branco e Ca^{2+} nos igarapés do Quarenta e de São Raimundo.. Pesquisas anteriores mostram que os cátions (Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ , Na^+) em igarapés naturais da região são relativamente baixos (SIOLI, 1956 e 1956; SCHIMIDT, 1972; SANTOS et al. 1984; FRANKEN & LEOPOLDO, 1984 e CAMPOS, 1994). Nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta, as altas concentrações dos cátions são oriundas de fontes externas, esgotos domésticos e lixo jogados pela população vizinha.

Para melhor visualizar a distribuição dos constituintes químicos, optou-se por um balanço químico, através do somatório dos cátions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^+ + \text{Na}^+$) e ânions ($\text{SO}_4^{2-} + \text{Cl}^- + \text{HCO}_3^-$) em meq/l. Este balanço mostrou alterações dos cátions e ânions com predominância dos ânions nos igarapés do Quarenta e de São Raimundo quando comparado ao igarapé Barro Branco (Figura 4.15).

Tabela 4.4 - Valores médios em mg/l de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Ca^{2+}			Mg^{2+}		Na^{+}		K^{+}	
Est.	x	Mín-Máx	x	Mín-Máx	x	Min- Max	x	Mín-Máx
iQ1	7,8	5,1-14,7	3,4	1,1-11,6	7,3	3,2-12,9	3,6	2,4-4,6
iQ2	7,9	4,5-16,5	3,7	1,0-12,3	7,8	3,0-14,1	3,4	2,3-4,1
iQ3	7,8	3,8-13,5	1,8	0,9-3,1	7,9	3,2-14,3	3,2	2,3-3,7
iQ4	5,2	0,0-11,7	2,7	0,4-8,2	7,7	3,0-12,7	3,0	1,9-3,7
iQ5	3,3	0,0-5,7	3,1	0,9-7,6	7,6	3,1-12,1	3,1	2,8-3,2
iQ6	3,6	2,6-4,3	2,2	1,0-4,0	6,3	2,5-10,1	3,1	1,7-4,5
iSR	4,2	0,0-7,2	1,2	0,7-1,7	12,4*		4,0*	
iBB	0,0		0,8	0,0-1,3	1,8	1,3-2,3	0,5	0,2-0,7

x - média obtidas nos meses janeiro, maio, junho, agosto e setembro, Mín - Max - valores mínimos e máximos, * coleta de agosto/1994.

As águas do igarapé Barro Branco apresentaram baixos teores de Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^{+} , Na^{+} e os igarapés de São Raimundo e do Quarenta mostraram valores bem acima dos valores encontrados em igarapés naturais na região. Os cátions e ânions no igarapé Barro Branco mostram que são relativamente baixos e se encontram em equilíbrio. Comparando-se os dados dos diferentes igarapés, os ânions no igarapé São Raimundo predominaram com 68% em relação aos cátions, identificando como ambiente de maior distúrbio.

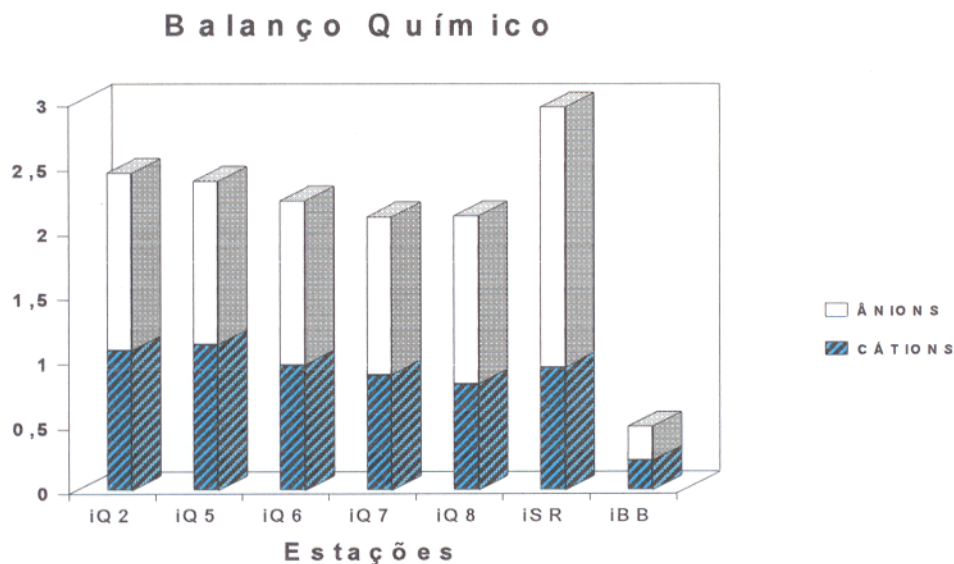


Figura 4.15 - Distribuição dos cátions ($\text{Ca}^{2+} + \text{Mg}^{2+} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$) e dos ânions ($\text{Cl}^{-} + \text{SO}_4^{2-} + \text{HCO}_3^{-}$) determinados nos meses de janeiro, maio, junho, agosto e setembro nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB).

As concentrações em meq/l dos cátions e ânions foram plotados segundo Diagrama de Schoeller (1962). Os igarapés do Quarenta e de São Raimundo mostraram predominância de $\text{rNa}^{+} > \text{Ca}^{2+} > \text{Mg}^{2+}$ e de $\text{rCl}^{-} > \text{rHCO}_3^{-} > \text{SO}_4^{2-}$, com aumento significativo das concentrações nestes em relação ao igarapé Barro Branco. Este aumento mostra claramente que entradas de substâncias alcalinas provenientes de lixo e esgotos domésticos provocam mudanças no sistema aquático.

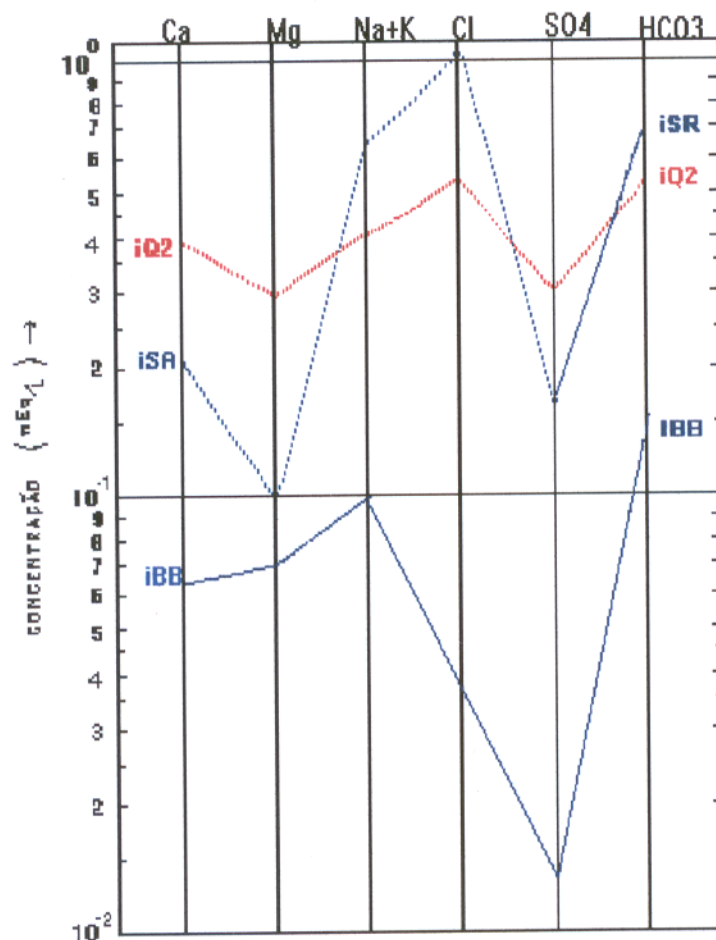


Figura 4.16 - Diagrama de Schoeller para as águas dos igarapés Quarenta (iQ2), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB).

4.1.5 - Compostos nitrogenados (NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+)

As concentrações do NO_2^- são relativamente baixas nos diferentes ambientes (Tabela 4.5), valores semelhantes também foram observados por (SILVA, 1992 e CAMPOS, 1994), nas águas de igarapés da região.

As concentrações de NO_3^- e NH_4^+ no igarapé do Quarenta apresentaram variações longitudinais com valores máximos obtidos a montante da SEDUC (iQ4) e estacionais com aumento em períodos de baixas precipitações (Tabela 4.5).

As concentrações de NO_3^- encontradas nos igarapés variaram de 0,01 a 0,028 mg/l no igarapé Barro Branco e de 0,009 a 2,947 mg/l nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta. Os valores para NH_4^+ foram de 0,050 a 0,770 mg/l no igarapé Barro Branco e de 0,627 a 8,000 mg/l nos demais igarapés. As altas concentrações de NO_3^- e NH_4^+ encontradas nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta são provenientes de esgotos domésticos e efluentes industriais (Figura 4.17).

Dos igarapés estudados, somente o igarapé Barro Branco apresentou valores similares aos dados obtidos anteriormente (SIOLI, 1968; SANTOS et al., 1984; SILVA, 1992 e CAMPOS, 1994).

Tabela 4.5 - Valores médios de NO_2^- , NO_3^- e NH_4^+ em mg/l nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Est.	NO_2^-		NO_3^-		NH_4^+	
	x	Máx-Mín	x	Máx-Mín	x	Máx-Mín
iQ1	0,047	0,007-0,085	0,782	0,265-1,814	4,534	1,439-7,720
iQ2	0,054	0,011-0,083	1,028	0,559-1,596	4,788	1,802-7,660
iQ3	0,042	0,009-0,083	0,976	0,479-1,987	3,571,	0,723-6,950
iQ4	0,025	0,006-0,048	0,905	0,333-2.254	3,182	0,659-5,640
iQ5	0,032	0,006-0,045	0,689	0,284-1,646	3,619	0,627-5,740
iQ6	0,021	0,012-0,029	0,869	0,117-2,947	4,005	0,894-6,900
iSR	0,001.	0,000-0,003	0,025	0,009-0,041	4,681	1,362-8,000
iBB	0,004	0,002-0,005	0,033	0.010-0,028	0,288	0,050-0,770

x - média de janeiro, maio e junho, agosto e setembro, Max - Min - valores mínimos e máximos encontrados.

A NH_4^+ é normalmente encontrada em ambientes aquáticos (RODIER, 1978). As altas concentrações de NH_4^+ encontradas nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta são provenientes de processos parciais de degradação da matéria orgânica, excreção de animais, esgotos domésticos e efluentes industriais. Os altos valores obtidos para amônia mostram claramente o estado de degradação nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta, conforme determinada pela Resolução 020/86 do CONAMA, de 18 de junho de 1986, em seu artigo 21, quando estabelece nível máximo permitido de 5,0 mg/l para ambientes desta categoria.

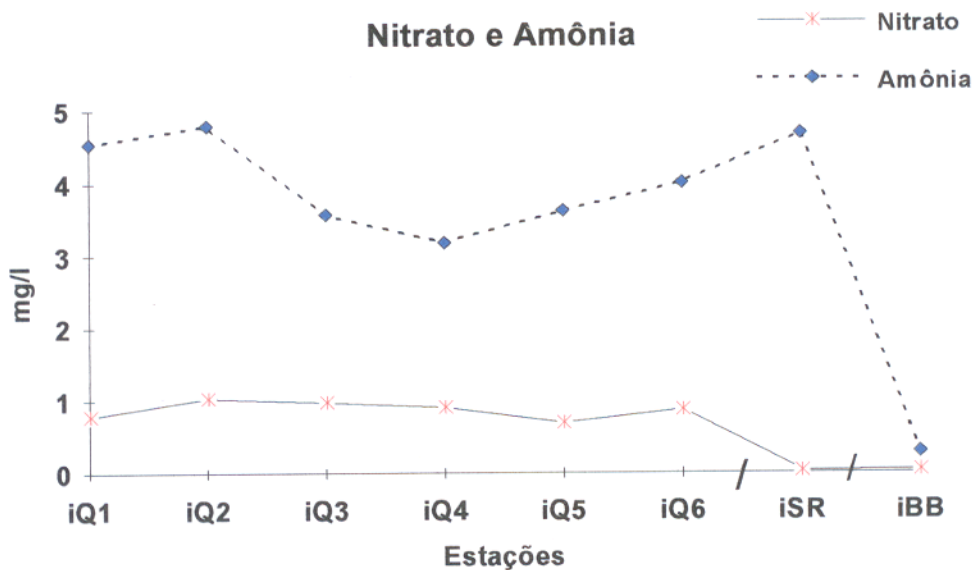


Figura 4.17 - Variação da média de NO_3^- e NH_4^+ em mg/l determinados nos meses de janeiro, maio, junho, agosto e setembro de 1994 nas águas dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB).

4.2 - SEDIMENTOS

4.2.1 - Metais (Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Zn) no material em suspensão

As concentrações de Fe e Mn apresentaram o mesmo comportamento nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta e Barro Branco, enquanto o Cu, Cr, Ni e Zn mostraram variações nas concentrações com enriquecimento nos sedimentos de fundo e no material em suspensão do igarapé do Quarenta em relação ao igarapé Barro Branco. Dos metais, o Fe predominou no material em suspensão no igarapé do Quarenta e o Zn no igarapé Barro Branco (Tabela 4.8). O aumento da concentração do Fe no igarapé do Quarenta, é verificado pela sua facilidade em ser absorvido na matéria particulada e de concentrar-se na presença de matéria orgânica. A variação, com enriquecimento dos metais Cr, Cu, Ni e Zn, no material em suspensão do igarapé do Quarenta sugere que o sistema está sendo influenciado pelo lançamento de efluentes industriais, próprio da galvanoplastia. As concentrações dos metais no material em suspensão variaram de 0,18 a 0,72 mg/l para Cr, de 0,10 a 1,48 mg/l para Cu; de 3,62 a 121,75 mg/l para Fe; de 0,20 a 1,80 mg/l para Mn; de 0,12 a 0,44 mg/l para o Ni e de 7,41 a 35,00 mg/l para o Zn (Tabela 4.6). Não existem trabalhos de metais, no material em suspensão em igarapés da área de estudo. GIBBS (1977) estudando o transporte dos metais pesados em suspensão no rio Amazonas, encontrou valores, em mg/l, de 0,019 para o Cr, 0,026 para o Cu, 0,111 para o Mn, 5,065 para o Fe e 0,009 para o Ni. O igarapé do Quarenta apresentou concentrações superiores à do igarapé Barro Branco e às concentrações observadas anteriormente no rio Amazonas (GIBBS, 1977).

As águas são veículos transportadores da carga poluidora de um sistema hídrico e que durante este transporte, parte do material é depositado no leito do igarapé. As concentrações dos metais nos sedimentos de fundo mostram claramente que estão se refletindo nas concentrações dos metais no material em suspensão, que estão sendo transportados nos igarapés (Figuras de 4.18 a 4.23).

Tabela 4.6 - Valores de Cr, Cu, Fe, Mn, Ni e Zn em mg/l do material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

Est.	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Zn
iQ1	0,35	0,59	57,78	1,16	0,32	9,58
iQ2	0,52	0,98	62,13	0,66	0,44	9,18
iQ3	0,48	0,37	61,31	0,49	0,30	9,75
iQ4	0,45	0,96	55,31	0,47	0,44	9,97
iQ5	0,72	1,48	63,59	0,52	0,44	10,04
iQ6	0,45	0,90	121,75	1,80	0,16	35,00
iBB	0,18	0,10	3,62	0,20	0,12	7,41

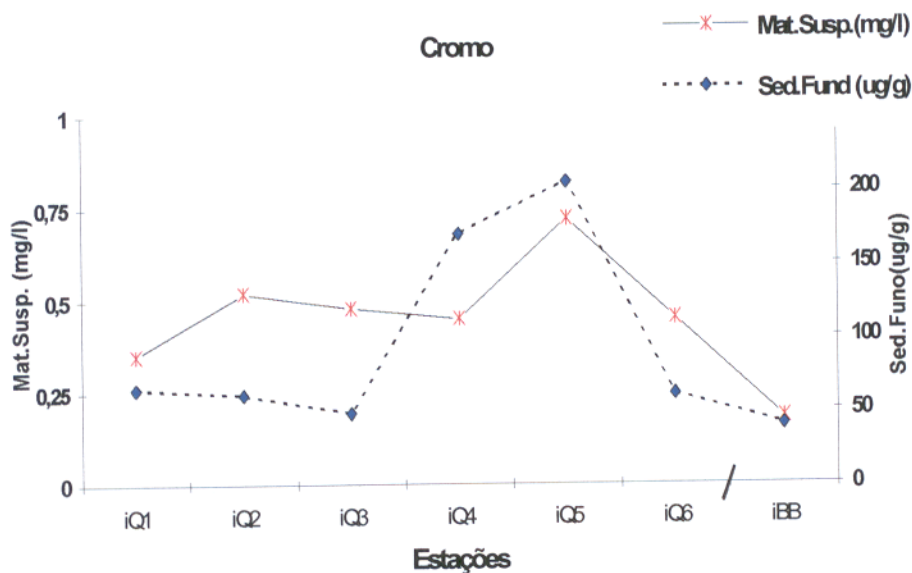


Figura 4.18 - Distribuição do cromo nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

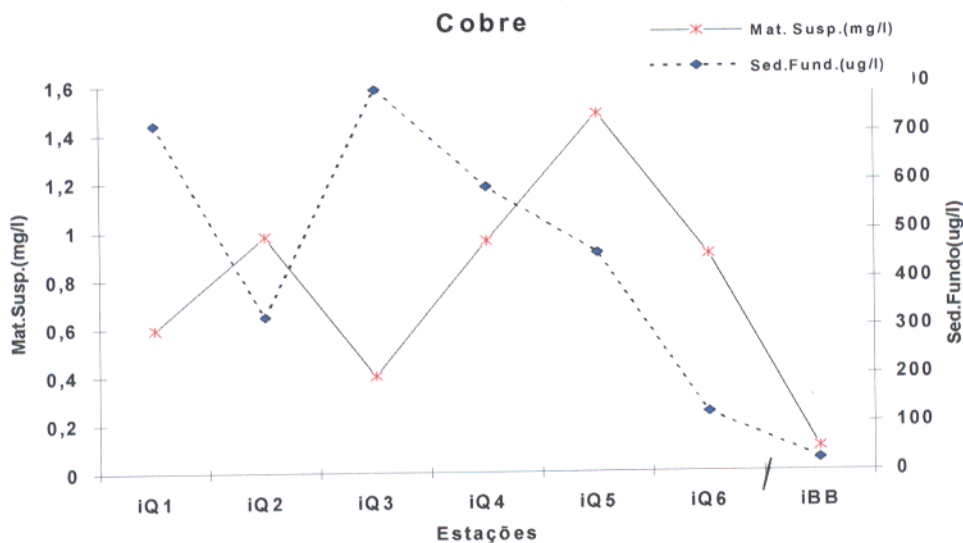


Figura 4.19 - Distribuição do cobre nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

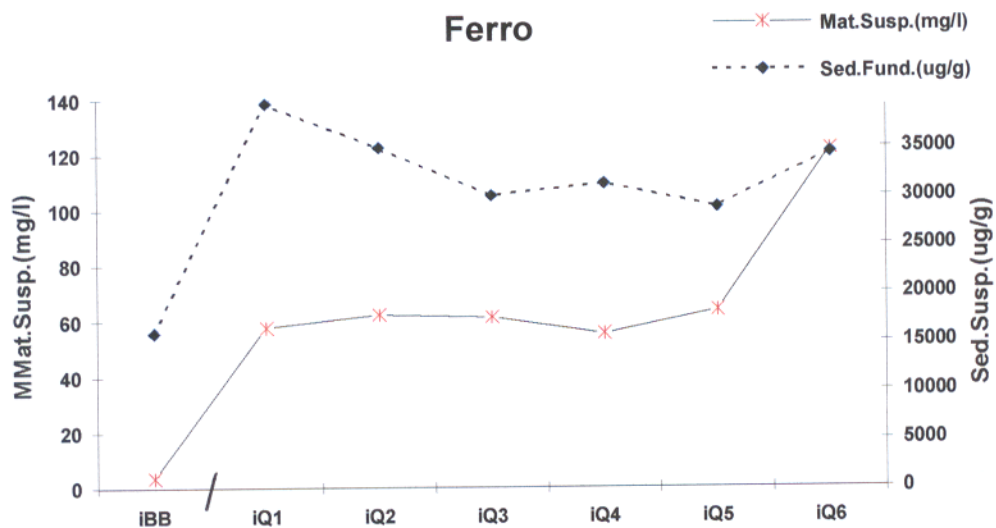


Figura 4.20 - Distribuição do ferro nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

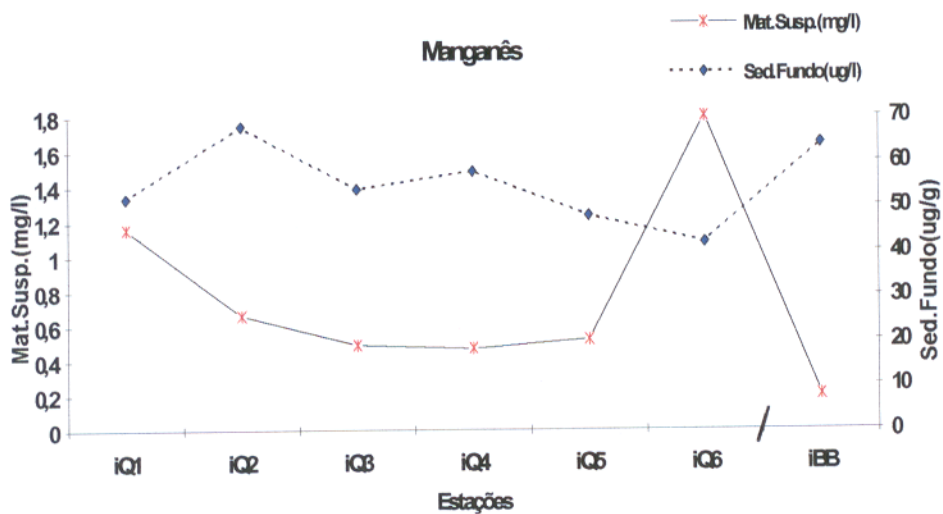


Figura 4.21 - Distribuição do manganês nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

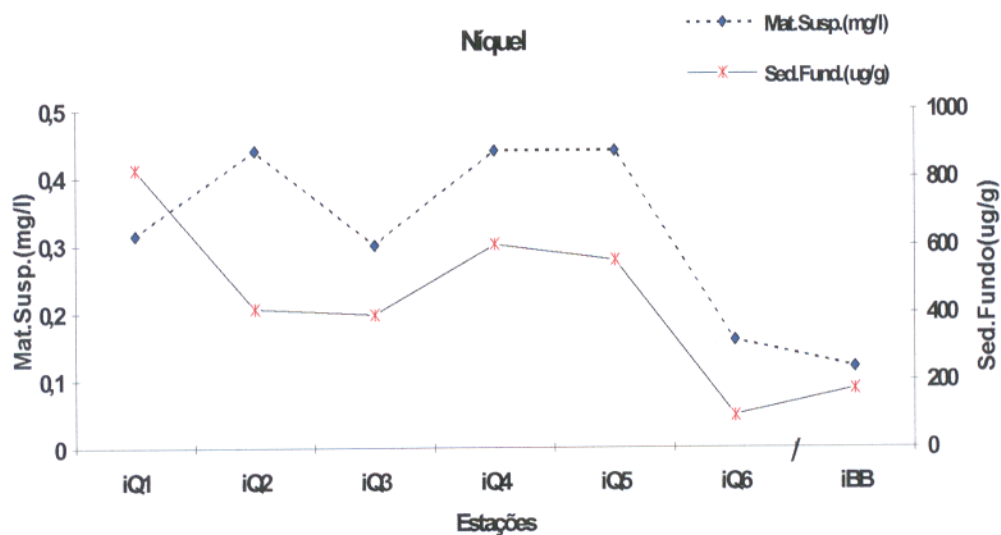


Figura 4.22 - Distribuição do níquel nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

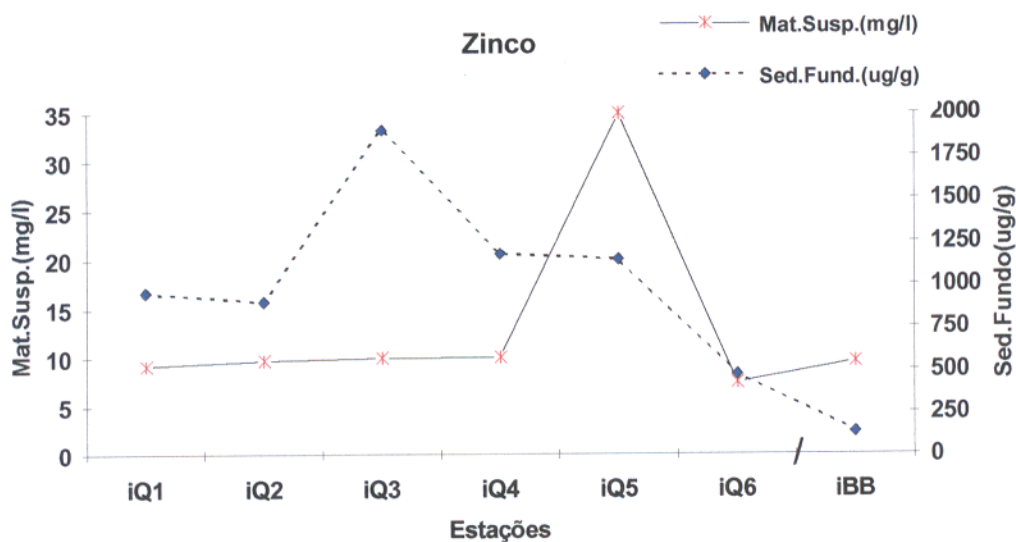


Figura 4.23 - Distribuição do zinco nos sedimentos de fundo e no material em suspensão dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - setembro/1994.

4.2.2 - pH, matéria orgânica e argilominerais

O pH dos sedimentos de fundo nos igarapés estudados apresentou características ácidas, cuja variação é de 4,3 a 6,1. Sendo o do igarapé Barro Branco mais acidificado quando comparado ao dos demais (Tabela 4.7). O pH ácido tem grande efeito sobre a mobilidade e solubilidade dos metais nas águas naturais, além de ter forte influência na adsorção de metais sobre a superfície de óxidos e hidróxido de ferro e manganês (LOPEZ-RENDON, 1990). A variação do pH entre os diferentes ambientes e alteração nos sedimentos de fundo dos igarapés de São Raimundo e do Quarenta, mostraram que estes sistemas, estão sofrendo impactos proveniente da atividade humana.

As concentrações da matéria orgânica apresentaram variações entre 0,31 a 13,71 mg/g. As maiores concentrações da matéria orgânica foram encontradas no igarapé de São Raimundo com valores de 10,17 a 13,71 mg/g, por ser o mesmo ambiente que recebe intensa carga poluidora (Tabela 4.7). DEPAULA (1990) encontrou em sedimentos de fundo dos igarapés do Teotônio e do Taquara, concentrações de matéria orgânica de 3,21 e 5,39 mg/g, respectivamente. Dos igarapés estudados, o igarapé Barro Branco apresentou valores da matéria orgânica menores que dos demais igarapés inclusive os igarapés de Rondônia (DEPAULA, 1990).

A matéria orgânica nos sedimentos de fundo dos igarapés é de diferentes fontes. Autóctone, proveniente de algas e outros vegetais aquáticos e alóctone, oriundo da lixiviação dos solos, de restos de animais, além da interferência humana através de lançamentos de resíduos domésticos e

industriais. Dos igarapés estudados, no igarapé do Quarenta, foram observados valores acima de 10 mg/g de matéria orgânica, que merecem cuidado, considerando-se que a área de localização está sujeita a receber lançamentos de efluentes industriais. A matéria orgânica tem capacidade de concentração de metais e de aumentar a mobilidade dos elementos químicos, formando complexos móveis ou mesmo de imobilizá-los, pela formação de compostos organo-metálicos ou simples adsorção. As concentrações encontradas no igarapé do Quarenta requerem cuidados, já que elevadas concentrações de metais em águas contaminadas com entradas de efluentes industriais e esgotos domésticos, podem facilmente formar complexos orgânicos.

Tabela 4.7 - Valores médios de matéria orgânica em mg/g e pH dos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Matéria Orgânica				pH		
Est.	n	x	Min-Máx	n	x	Min-Máx
iQ1	4	0,44	0,34-0,62	3	5,0	4,6-5,3
iQ2	4	0,56	0,36-0,79	3	5,1	4,6-5,7
iQ3	5	5,91	0,43-11,17	3	4,9	4,4-5,6
iQ4	5	0,54	0,45-0,59	3	5,2	4,6-6,1
iQ5	5	1,87	0,45-0,59	3	5,1	4,7-5,6
iQ6	5	2,28	1,41-4,71	2	4,4	4,4-5,5
iSR	5	11,43	10,17-13,71	2	5,3	5,1-5,6
iBB	5	0,67	0,31-0,96	3	4,5	4,3-4,6

n - número de amostras, x - média, Mín - Máx - valores mínimos e máximos obtidos nos meses de maio, junho, agosto e setembro/1994.

As análises de difratometria de Raio-X, mostraram que os sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta, de São Raimundo e Barro Branco são basicamente constituídos de caulinita (Figura 4.24). Estudos anteriores (GIBBS, 1967 e IRION et al., 1983), sedimentologia da região, também mostraram a predominância da caulinita e presença de feldspato e quartzo.

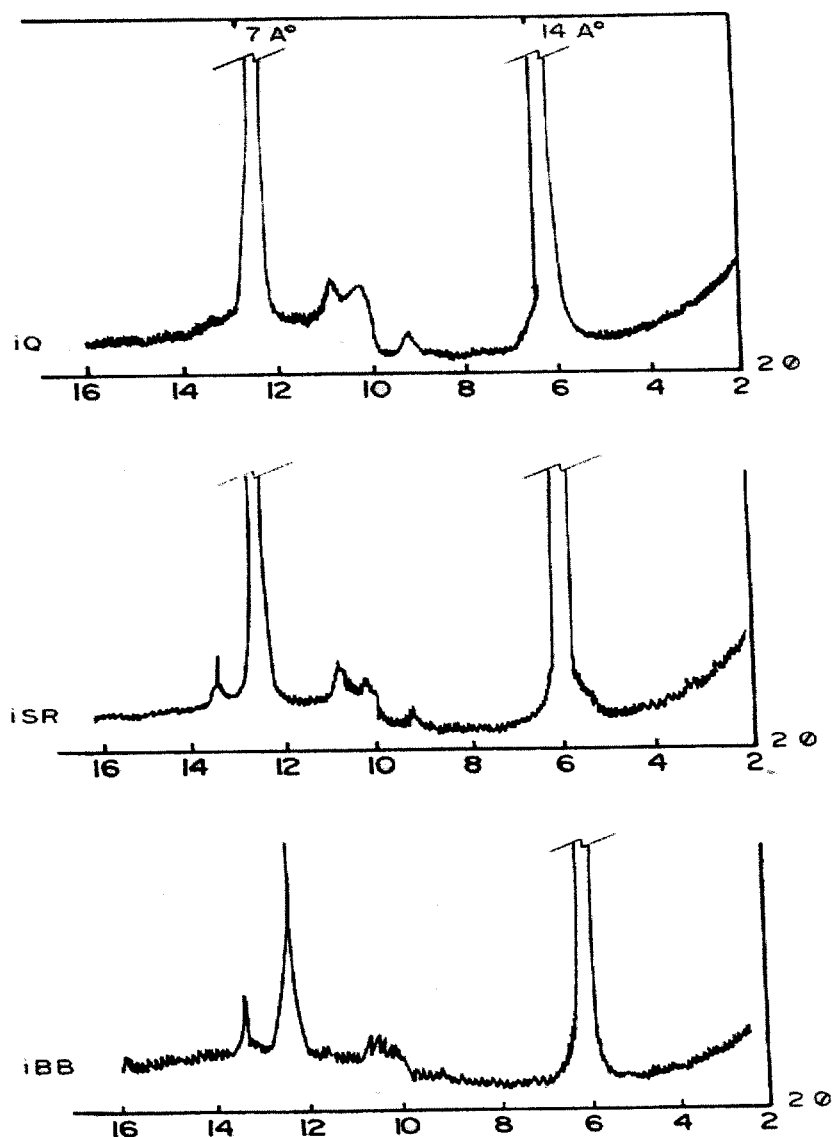


Figura 4.24 - Difratoograma de raio-x dos sedimentos de fundo (silte) dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - agosto/1994.

4.3 - COMPORTAMENTO DOS METAIS PESADOS NOS SEDIMENTOS DE FUNDO

As concentrações dos metais (Cu, Cr, Ni e Zn) analisados nos sedimentos dos igarapés do Quarenta, de São Raimundo e Barro Branco são comparados com outros ambientes não contaminados e contaminados por metais pesados. As concentrações de Cu, Cr, Ni e Zn no igarapé do Quarenta foram superiores aos obtidos em outros ambientes (Tabela 4.8).

Tabela 4.8 - Teores médios em $\mu\text{g/g}$ dos metais pesados (Cu, Cr, Ni e Zn) nos sedimentos de fundo dos igarapés estudados e comparados com outros ambientes não contaminados e contaminados.

Metal	Cu	Cr	Zn	Ni	REFERÊNCIA
Igarapé Barro Branco *	14	67	168	142	Neste trabalho
Ig. São Raimundo	86	98	919	218	Neste trabalho
Ig. Quarenta	95-1524	99-274	581-1048	78-491	Neste trabalho
Ig. Teotônio (RO) *	29	39	134	28	DEPAULA (1990)
R. Jamari (RO) *	07	31	196	08	DEPAULA (1990)
R. Reno (Alemanha) **	376	397	1096	167	FÖRSTNER & WITTMANN (1983)

* ambiente natural

** trecho contaminado.

4.3.1- Cádmio (Cd)

As maiores concentrações do Cd foram observadas no período de águas altas, já no período de estiagem, não foi possível medir as concentrações, por se encontrar abaixo do limite de sensibilidade do método ($< 0,001 \text{ mg/l}$). O aumento em período de altas precipitações sugere haver lixiviação das áreas

entradas de substâncias orgânicas e inorgânicas. GIBBS (1977) , estudando o Rio Amazonas, observou que 60% do cromo total é transportado em partículas cristalinas, e que o cromo disponível é em média 42%, e a forma orgânica está entre 31-37% e DEPAULA (1990) encontrou, em sedimentos de fundo de rios de águas claras, 80% do cobre na fase residual.

O Cr na partição geoquímica apresentou-se de forma heterogênea nas fases trocável, oxidável, redutível e residual nos sedimentos de fundo dos igarapés estudados, onde podemos supor que alterações nas propriedades físicas e químicas das águas, influenciam na forma de como se encontra o Cr, confirmando o disse CRANSTON & MURRAY, (1980), que o Cr por ser muito sensível apresenta variação do local, do tempo, do ano e dos métodos analíticos.

4.3.5 - Ferro (Fe)

As concentrações do Fe nos igarapés variaram de 12,98 a 42,94 mg/l (Tabela 4.11) . O Fe não mostrou variação sazonal e nenhuma tendência a acumular-se no perfil dos sedimentos de fundo (Figuras 4.35 e 4.36). As concentrações de ferro das diferentes profundidades dos igarapés estudados, apresentaram-se de forma irregular com predominância do ferro residual (Figura 4.36). As maiores concentrações foram encontradas no igarapé de São Raimundo e menores no igarapé Barro Branco (Figura 4.35). As concentrações de ferro encontradas nos sedimentos dos igarapés estudados, são comparáveis aos referidos por SALOMONS & FÖRSTNER (1984) em rios não contaminados.

Tabela 4.11 - Valores médios do Mn e Fe em $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

Est.	Mn			Fe			
	x1	Min-Max	x2	Min-Max	x1	Min-Max	x2
iQ1	263,25	78,50-448,00	57,00	52,00-62,00	36,16	33,37-38,96	39,28
iQ2	257,13	76,25-438,00	60,00	52,00-68,00	33,86	33,29-34,42	30,95
iQ3	63,50	55,00-72,00	63,00	54,00-72,00	26,83	26,38-27,28	36,48
iQ4	84,75	59,5-110,0	60,00	58,00-62,00	29,80	28,68-30,92	28,41
iQ5	84,25	64,5-104,00	54,00	48,00-60,00	35,74	31,39-40,08	31,94
iQ6	75,0	64,00-86,00	44,00	42,00-46,00	27,54	20,64-34,44	33,80
iSR	178,00*		74,00**		61,61**		44,14**
iBB	55,50*		55,00	46,00-64,00	19,57	18,30--20,84	14,45

x1 - média do período chuvoso, x2 - média do período de estiagem, Mín - Máx

- Valores mínimos e máximos de períodos. * - coletado em maio/1994.

** - coletado em agosto/1994.

Na partição geoquímica do Fe predominaram as fases residual e redutível (Anexo B). Nos igarapés do Barro Branco e de São Raimundo o ferro residual é superior a 80% (Figura 4.37). A predominância do Fe residual acima de 60%, indica uma forte tendência em assumir forma metálica, na qual se supõe que os sedimentos em suspensão são transportados na maior parte fixos às partículas cristalinas. Nos igarapés estudados, o ferro predominou na fase residual, proporção também observada em outras regiões (SOUZA, 1986; LACERDA et. al., 1989; DEPAULA, 1990; NASCIMENTO, 1995).

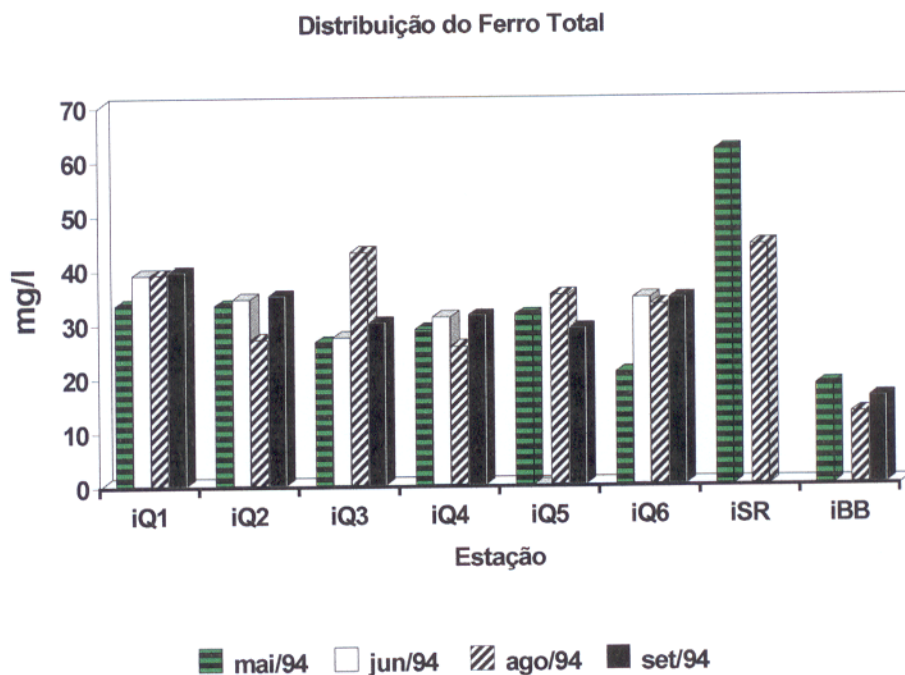


Figura 4.35 - Distribuição do Fe total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

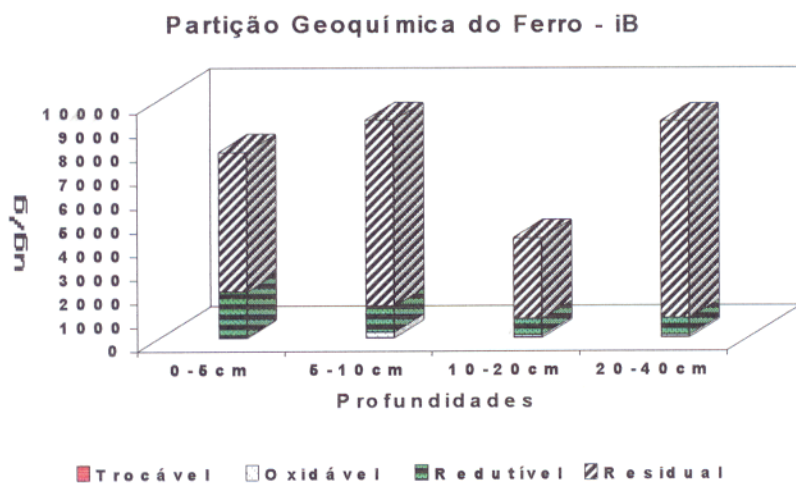
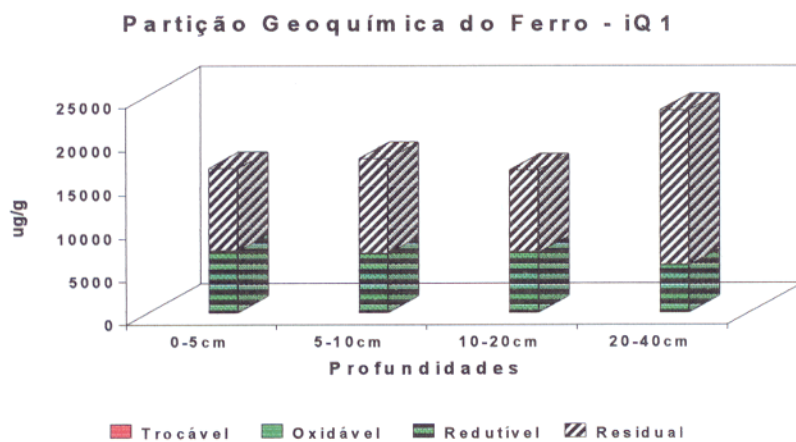


Figura 4.36 - Partição geoquímica do Fe nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.

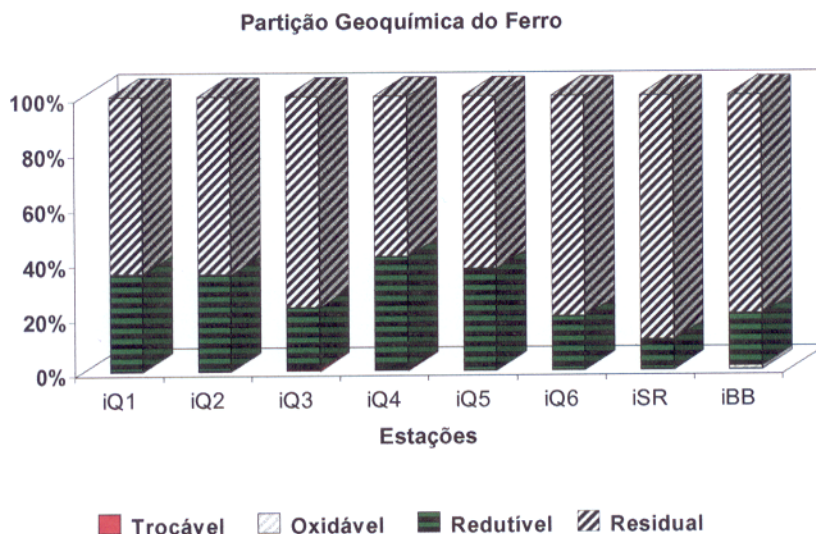


Figura 4.37 - Partição geoquímica do Fe nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.

4.3.6 - Manganês (Mn)

Nos compartimentos de fundo dos igarapés o Mn em geral mostrou valores na mesma ordem de grandeza nos diferentes ambientes, com exceção das estações iQ1 e iQ2 do Quarenta, que apresentaram concentrações de 448,00 e 438,00 $\mu\text{g/g}$ respectivamente (Tabela 4.11). Os altos teores de Mn encontrados nas estações iQ1 e iQ2, provavelmente são provenientes de uma lixeira situada entre as duas estações. As concentrações do Mn encontradas nos igarapés variaram de 42,00 a 448,00 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 4.11 e Figura 4.38). DEPAULA (1990) encontrou 520,00 $\mu\text{g/g}$ de Mn nos sedimentos do igarapé

Teotônio (Ro) e SALOMONS & FÖRSTNER (1984) encontraram valor médio de 770,00 $\mu\text{g/g}$ de Mn nos sedimentos de diferentes rios do mundo. As concentrações do Mn encontradas, são comparáveis aos valores da literatura para ambientes não contaminados.

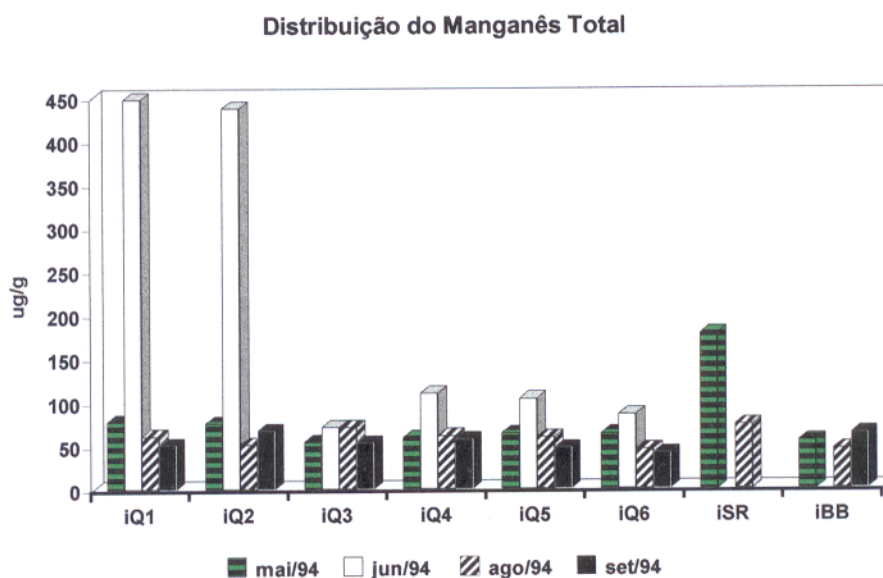


Figura 4.38 - Distribuição do Mn total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvosos) , agosto e setembro (período de estiagem) nos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

O Mn nos sedimentos do igarapé Barro Branco apresentou-se mais concentrado no intervalo de 5-10 cm, e distribuído proporcionalmente nas fase trocável, resutível e oxidável, nos demais igarapés o Mn apresentaram-se de forma irregular (Figura 4.39).

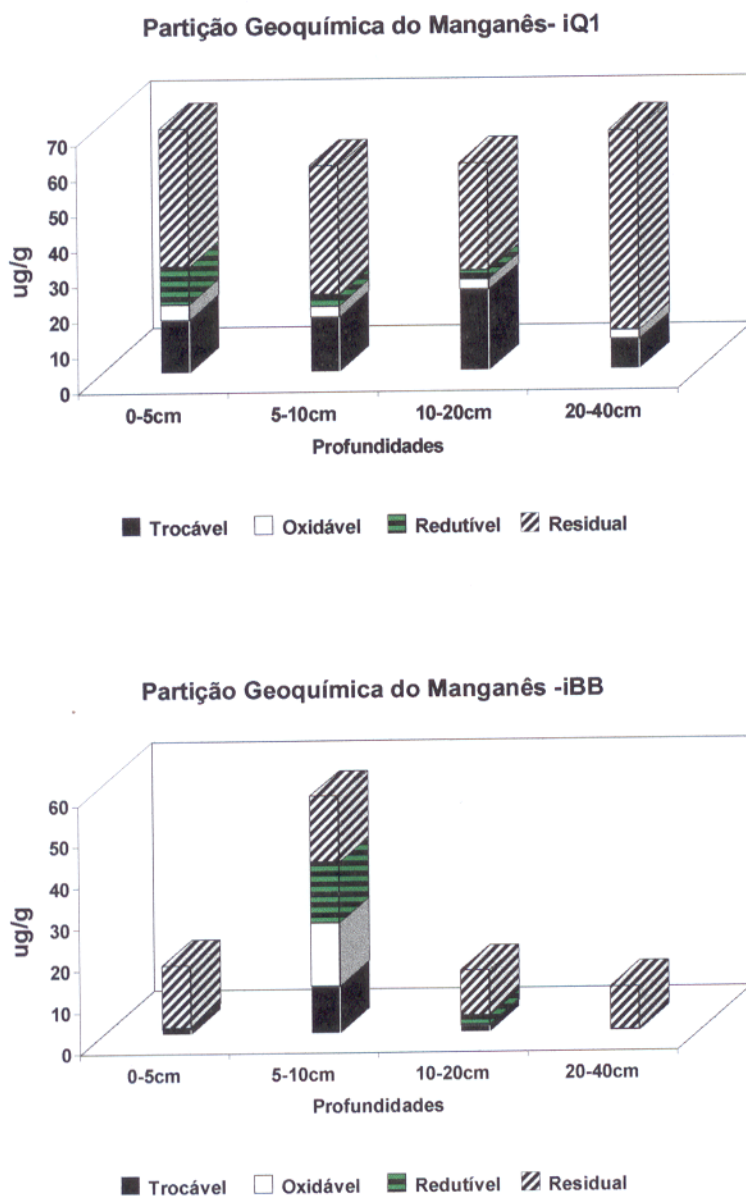


Figura 4.39 - Partição geoquímica do Mn nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.

No igarapé de São Raimundo e nas estações a jusante da iQ3 do igarapé do Quarenta, mais de 50% do manganês encontram-se disponíveis, reflexo das modificações ambientais que facilmente liberam o manganês na forma trocável. O manganês no igarapé Barro Branco mostrou tendência a se fixar no retículo cristalino (Figura 4.40).

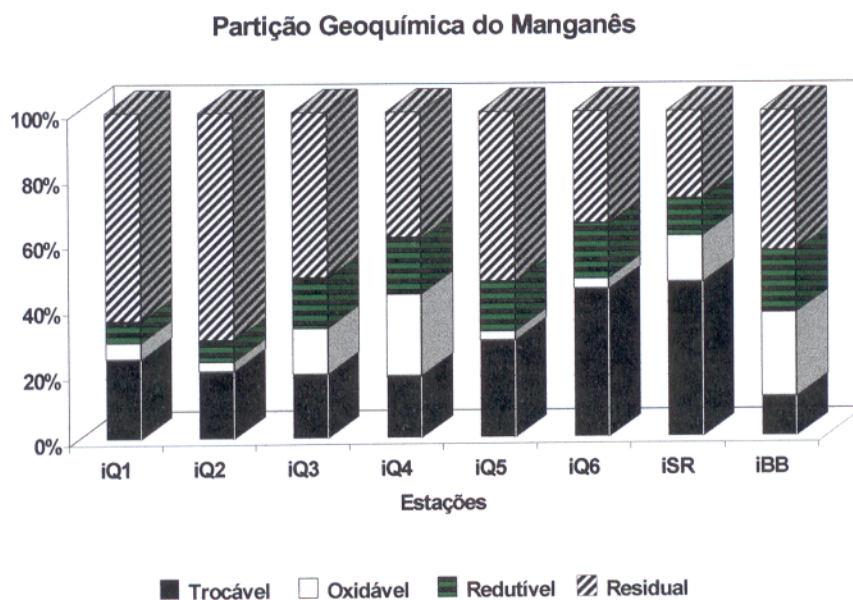


Figura 4.40 - Partição geoquímica do manganês nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (IQ) , de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

DEPAULA (1990) encontrou, em sedimentos de fundo de rios de águas claras, 50% do manganês na fase residual e SALOMONS & FÖRSTNER (1984), nos sedimentos do rio Reno, 80% do Mn associados aos óxidos e aos hidróxidos de Fe-Mn. No igarapé Barro Branco e nas estações iQ1, iQ2 e iQ3

do igarapé do Quarenta, predomina o manganês residual com médias acima de 50%. O comportamento do manganês nos sistemas aquáticos está fortemente relacionado às mudanças ambientais como o teor de matéria orgânica, taxa de oxigênio dissolvido, pH e potencial redox. As altas concentrações observadas no mês de junho nas estações iQ1 e iQ2 do igarapé do Quarenta, são atribuídas às entradas por lixiviação, de diferentes classes de resíduos das atividades industriais que se encontram em uma lixeira atualmente desativada (Figura 3.5). Apesar das altas concentrações encontradas do Mn, não mostrou tendência a acumular-se, por serem facilmente transportados através dos sedimentos de corrente (Figura 4.39).

4.3.7 - Níquel (Ni)

As concentrações encontradas de Ni apresentaram variações sazonais significativas. Nos igarapés variaram de 71,6 a 824,8 $\mu\text{g/g}$ (Tabela 4.12). As maiores concentrações foram encontradas em período de estiagem. DEPAULA (1990) encontrou 134,0 $\mu\text{g/g}$ de Ni nos sedimentos do igarapé Teotônio (Ro) e SALOMONS & FÖRSTNER (1984), encontraram nos sedimentos de diferentes rio do mundo, 52,0 $\mu\text{g/g}$ de média.

Nos sedimentos do igarapés do Quarenta, as concentrações do Ni mostraram enriquecimento em relação ao igarapé Barro Branco (Tabela 4.12 e Figura 4.41). Os elevados valores de Ni, durante o período de estiagem é proveniente do transporte de material em suspensão e em corrente que em

período chuvoso é mais intenso e também a descargas de efluentes industriais que são lançados na maior parte, sem tratamento prévio.

Tabela 4.12 - Valores médios do Ni e Zn em $\mu\text{g/g}$ nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB).

Metal		Ni				Zn		
Est.	x1	Min-Máx	x 2	Min-Máx	x1	Min-Máx	x 2	Min-Máx
iQ1	301,0	156,0-416,0	635,4	446,0-824,8	991,3	808,0-1175,0	1103,0	954,0-1252,0
iQ2	177,6	88,0-267,2	244,2	75,6-412,8	638,3	506,5-770,0	805,0	708,0-902,0
iQ3	114,1	98,5-129,6	262,8	129,6-396,0	735,9	718,0-754,0	1570,0	1236,0-1904,0
iQ4	439,9	58,7-521,2	542,0	479,6-604,4	824,5	748,0-901,0	1206,0	1180,-1232,0
iQ5	442,5	405,4-479,6	539,8	521,2-558,4	872,5	852,0-893,0	1179,0	1146,0-1212,0
iQ6	72,3	71,6-72,93	84,0	71,6-96,4	760,7	693,3-828,0	402,0	330,0-474,0
iSR	118,5*		317,2*		945,3*		892,0**	
iBB	81,8*		171,4	167,2-175,6	178,9	164,0-194,0	156,0	136,0-176,0

x1- média do período chuvoso, x2 - média do período de estiagem, Min - Máx - valores mínimos e máximos nos períodos. *-coleta de maio/1994.

** - coleta de agosto/1994.

Dos igarapés estudados, apenas o igarapé Barro Branco se aproximou dos valores citados na literatura para ambientes não contaminados.

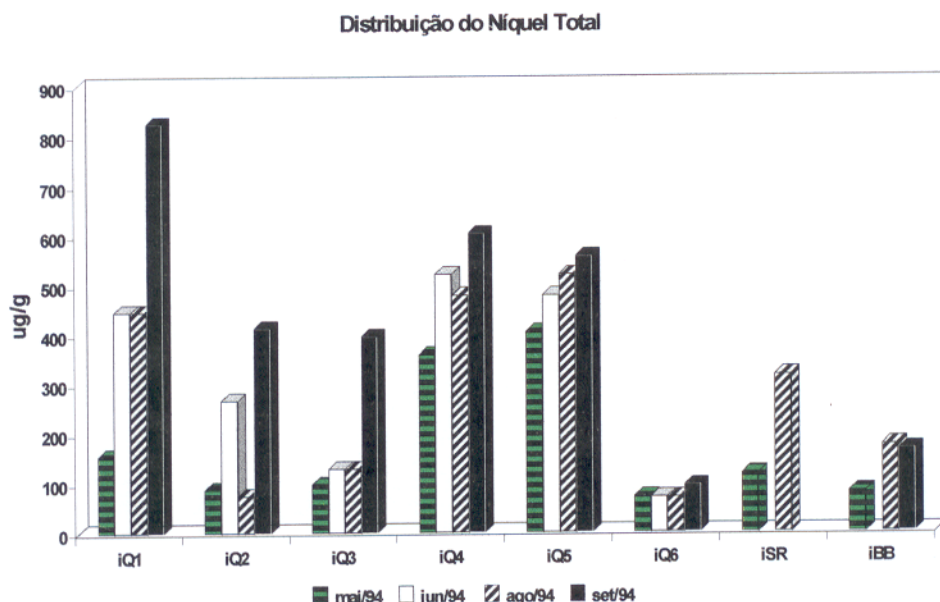


Figura 4.41 - Distribuição do Ni total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso), agosto e setembro (período de estiagem) nos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - 1994.

4.3.8 - Zinco (Zn)

As concentrações do Zn variaram nos diferentes igarapés, apresentando pequena variação sazonal (Tabela 4.12). O igarapé do Quarenta apresentou um enriquecimento quando comparado ao igarapé Barro Branco (Figura 4.42). Nas diferentes formas químicas, o zinco apresenta uma distribuição irregular nas profundidades e entre os diferentes igarapés (Figura 4.43).

Todas as estações do igarapé do Quarenta apresentaram altas concentrações de Zn, com valores de 330,0 a 1904,0 $\mu\text{g/g}$ (Figura 4.42).

SOUZA (1986) encontrou 230,0 $\mu\text{g/g}$ de Zn em sedimentos de rio não contaminado; SALOMONS & FÖRSTNER (1984) encontraram uma média de 95,0 $\mu\text{g/g}$ de Zn nos sedimentos de diferentes rios do mundo e SILVA (1992) encontrou concentrações de 81,63 $\mu\text{g/g}$ de Zn em músculo de peixes *Hoplosternum littorale* (detritívoro) e 80,63 $\mu\text{g/g}$ no *Hoplias malabaricus* (carnívoros) no igarapé do Quarenta. As concentrações de Zn nos sedimentos de fundo do igarapé Barro Branco se aproximaram dos valores citados na literatura para ambientes naturais. As altas concentrações nos sedimentos do igarapé do Quarenta são provenientes de lançamentos de efluentes industriais e esgotos domésticos.

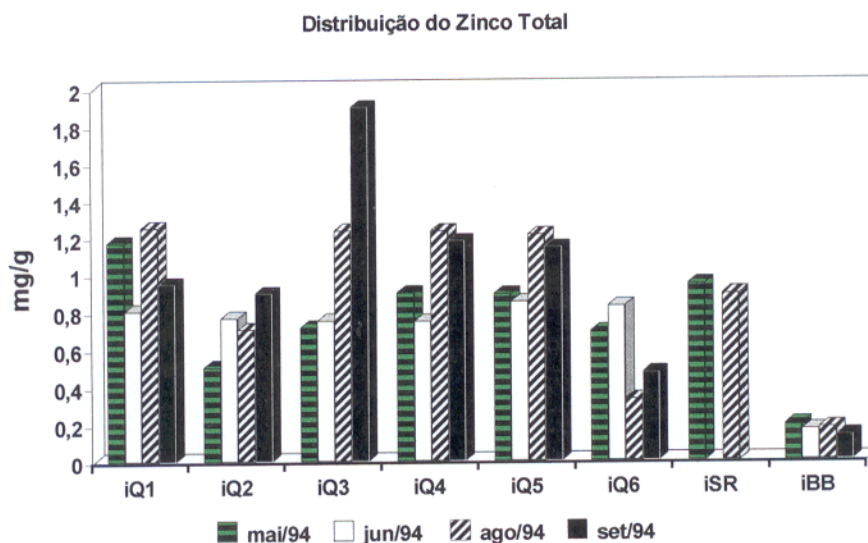


Figura 4.42 - Distribuição do Zn total nos sedimentos de fundo dos meses maio e junho (período chuvoso) e agosto e setembro (período de estiagem) nos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo e Barro Branco (iBB) - 1994.

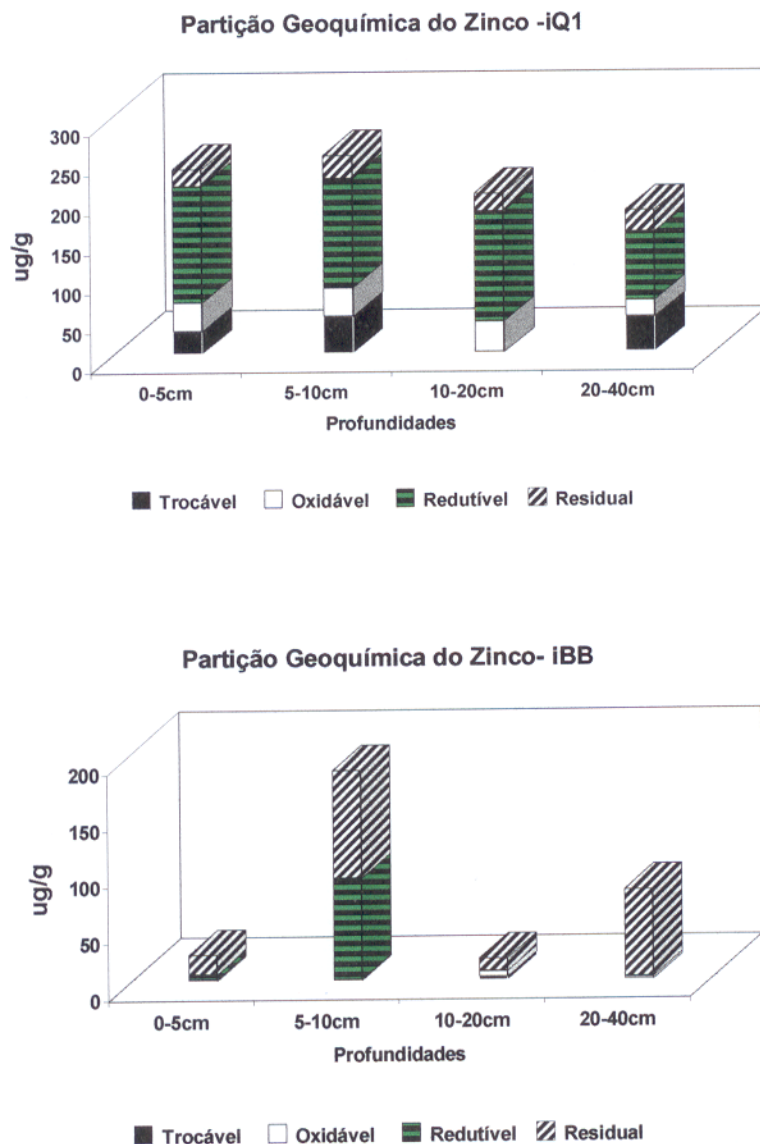


Figura 4.43 - Partição geoquímica do Zn nas profundidades de 0-40 cm nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.

Na partição geoquímica, o Zn mostrou variação nos sedimentos de fundo dos igarapés com predominância dos íons associados aos óxidos e hidróxidos de Fe-Mn, apresentando média acima de 40% (Anexo B). No igarapé Barro

Branco, o Zn residual predominou em mais de 60%, mostrando que existe um equilíbrio entre os processos físicos e químicos. Nos igarapés de São Raimundo e do Quarenta, 60% do Zn encontram-se disponíveis no ambiente, predominando os processos químicos (Figura 4.44). A forma química de como o Zn se encontra no Barro Branco e nos igarapés do Quarenta e de São Raimundo, mostra que o Zn, em ambientes perturbados, tem tendência a ligar-se com os óxidos e hidróxidos de Fe-Mn. O aumento observado no igarapé do Quarenta é atribuído à entradas de efluentes industriais e esgotos domésticos.

SALOMONS & FÖRSTNER (1984) encontraram, nos sedimentos do rio Reno, 25% do Zn na fase residual; LACERDA et al. (1989) encontrou, nos sedimentos do rio Madeira, 70% do Zn na fase residual; DEPAULA (1990) observou, em sedimentos de fundo de rios de águas claras, que o Zn residual predominou em 80%. O igarapé Barro Branco mostrou predominância do Zn fixo a rede cristalina de minerais, distribuição semelhante a observada em sedimentos não contaminados.

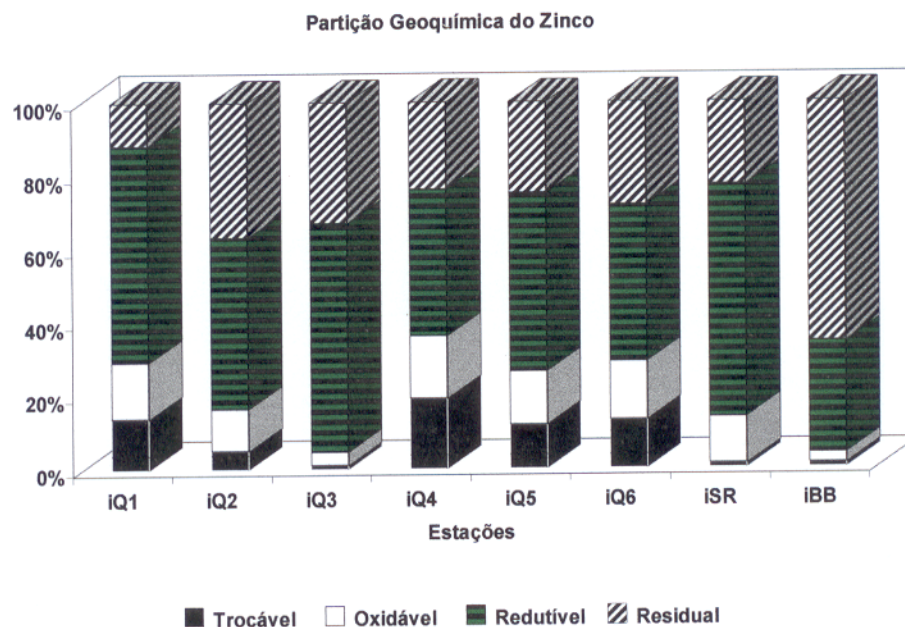


Figura 4.44 - Partição geoquímica do Zn nos sedimentos de fundo dos igarapés do Quarenta (iQ), de São Raimundo (iSR) e Barro Branco (iBB) - maio/1994.

4.4 - CORRELAÇÕES ENTRE OS METAIS NOS SEDIMENTOS

A distribuição dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd, Co obtidos nos meses de maio, junho, agosto e setembro foram correlacionados com ajuda de um tratamento estatístico e elaboração de uma matriz de correlação linear, considerando somente os coeficientes de correlação acima de 0,5, para se conhecer as afinidades entre os metais e sua relação com as condições do ambiente.

Nas matrizes de correlações (Tabelas 4.13, 4.14, 4.15), o Fe, Cu, Cd e Mn apresentaram altas correlações nos diferentes ambientes. A concentração do Ni versus a concentração do Zn, mostrou correlação significativa (0,605) no igarapé e do Quarenta. A concentração do Ni versus Mn (0,814), mostrou boa correlação no igarapé Barro Branco (natural). A concentração do Co versus Zn (0,781), foi significativa no igarapé do Barro Branco. As altas correlações do Mn, observadas nos igarapés que apresentaram mudanças nas variáveis ambientais, revelam os impactos que vem sendo imposto os igarapés do Quarenta e de São Raimundo.

O Fe encontra-se normalmente nos sedimentos de fundo dos igarapés, as altas correlações com os metais Cu, Mn, Cr e Cd mostram que a disponibilidade dos metais pesados pode ser controlado por fatores como a concentração e forma do Fe nos sedimentos citado por MORSE et al. (1993).

Tabela 4.13 - Correlação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd e Co obtidos nos meses de maio, junho, agosto e setembro nos sedimentos de fundo do igarapé do Quarenta (iQ6) -1994.

	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Cr	Cd	Co
Cu	-							
Fe	0,988	-						
Mn	0,933	0,910	-					
Zn	-0,612	-0,569	-0,854	-				
Ni	-0,094	-0,169	-0,356	0,605	-			
Cr	0,833	0,779	0,966	-0,935	-0,357	-		
Cd	0,633	0,619	0,866	-0,983	-0,710	0,900	-	
Co	-0,539	-0,467	-0,276	-0,133	-0,788	-0,214	0,209	-

n = 4

Tabela 4.14 - Correlação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd e Co obtidos nos meses de maio, junho, agosto e setembro nos sedimentos de fundo do igarapé de São Raimundo (iSR) - 1994.

	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Cr	Cd	Co
Cu	-							
Fe	0,713	-						
Mn	0,847	0,913	-					
Zn	0,577	-0,025	0,227	-				
Ni	-0,350	-0,817	-0,764	0,409	-			
Cr	0,983	0,726	0,808	0,511	-0,315	-		
Cd	0,918	0,826	0,834	0,247	-0,486	0,959	-	
Co	-0,516	-0,812	-0,569	-0,451	0,163	-0,577	-0,458	-

n = 4

Tabela 4.15 - Correlação dos metais Cu, Fe, Mn, Zn, Ni, Cr, Cd e Co obtidos nos meses de maio, junho, agosto e setembro nos sedimentos de fundo dos igarapé Barro Branco (iBB) - 1994.

	Cu	Fe	Mn	Zn	Ni	Cr	Cd	Co
Cu	-							
Fe	0,858	-						
Mn	-0,497	-0,639	-					
Zn	0,578	0,085	-0,074	-				
Ni	-0,884	-0,945	0,814	-0,266	-			
Cr	0,950	0,876	-0,740	0,501	-0,967	-		
Cd	0,933	0,933	-0,761	0,372	-0,992	0,987	-	
Co	0,172	-0,324	0,565	0,781	0,285	-0,045	-0,164	-

n = 4

□

5 - CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos a partir de análises da composição química dos sedimentos e também análises físicas e químicas das águas, conclui-se que:

1) o igarapé Barro Branco apresenta em sua composição química valores característicos de igarapés naturais de terra firme, água pouco ácida, oxigênio dissolvido com teores acima de 5,5 mg/l, baixa condutividade, baixos teores de cátions e ânions.

2) os igarapés do Quarenta e de São Raimundo mostraram alterações em todos os parâmetros, altos teores de cátions e ânions, e anóxia em períodos alternados;

3) no igarapé de São Raimundo a ocupação desordenada, acompanhada dos lançamentos de esgotos domésticos e lixo, têm contribuído para uma forte degradação ambiental inclusive com a diminuição de oxigênio e modificação na composição física, química e físico-química da água;

4) o igarapé do Quarenta mostra nas estações iQ1, iQ2 e iQ3 uma predominância dos processos físicos e a jusante da estação iQ3 dos processos químicos, reflexo das mudanças ambientais, provenientes da entrada do material alóctone oriundo dos lançamentos aos corpos de água de esgotos domésticos e efluentes industriais, em consequência reduzida as taxas de oxigênio dissolvido e alterada os teores de amônia;

5) no igarapé do Quarenta as análises quantitativas do Cd, Cu, Cr, Ni, e Zn nos sedimentos de fundo e em suspensão mostraram haver enriquecimento e acumulação, que se atribui às entradas associadas às atividades antropogênicas.

6) nos sedimentos de fundo dos igarapés, predominou o Fe ligado ao retículo cristalino, aos óxidos e aos hidróxidos de Fe-Mn. A maioria do Fe transportado nos sedimentos de corrente está preso às partículas cristalinas;

7) os metais Mn e Fe não mostraram enriquecimento nos ambientes estudados. A forma de como se encontra o Mn no ambiente, depende do meio e dos tipos de processos físicos ou químicos que atuam. Em ambiente oxidante, o manganês tem tendência de fixar-se na rede cristalina;

8) na maioria das estações, 50% do Cr nos sedimento de fundo encontra-se na forma residual. Nos locais de maior lançamento de esgotos domésticos e efluentes industriais, o Cr encontra-se disponível no ambiente. O Cr apresentou um comportamento instável nos igarapés. A sua forma química modifica-se a qualquer alteração ambiental e sua distribuição é heterogênea tanto no perfil quanto nas estações e entre os diferentes igarapés;

9) na partição química, as concentrações das frações que envolvem os cátions trocáveis, com exceção do Mn, foram relativamente baixas;

10) nos sedimentos de fundo dos igarapés, a maioria dos metais predominaram na forma residual em mais de 60%. Sugerindo que os metais transportados são, na sua maioria, fixos às partículas cristalinas;

11) na partição geoquímica o Cd, Cu, Cr, Fe, Mn e Zn apresentaram um comportamento diferente entre o igarapé Barro Branco (natural) e os igarapés de São

Raimundo e do Quarenta que vêm sendo submetidos a impactos devidos às atividades antropogênicas. A caracterização geoquímica dos sedimento dos diferentes igarapés mostrou que estes refletem heterogeneidade e evidenciam os distúrbios provocados pela utilização doméstica e industrial das bacias de drenagens;

12) nos sedimentos de fundo dos igarapés, em média mais de 90% do Cu encontra-se disponível, pronto para ser incorporado pela biota. As maiores concentrações de Cu foram observadas na estação iQ2, a jusante da Grande Circular, dada a presença de uma lixeira que no período chuvoso permite a percolação de substâncias químicas para o igarapé. As altas concentrações do Cu e a forma como se encontram associadas às fases potencialmente móveis nos sedimentos de fundo do igarapé do Quarenta, permite-nos identificá-lo como um agente poluidor daquele sistema;

13) A concentração do Cd, Co, Cu, Cr e Ni recebe forte influência do regime hidrológico, com aumento durante o período chuvoso, atribuído as entradas de efluentes industriais, esgotos domésticos e também ao arraste pelas chuvas dos resíduos sólidos e substâncias que se encontram na superfície dos solos das área adjacentes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGEMIAN, H. & CHAU, A. S. Y. 1976. Evaluation of Extraction Techniques for the Determination of Metals in Aquatic Sediments. **The Analyst**, Ontario, 101(1207): 761-767.
- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA; AMERICAN WATER WORK ASSOCIATION -AWWA; WATER POLLUTION CONTROL FEDERATION - WPCF. 1985. **Standard Methods for the examination of Water and Wastewater**. 14 ed., New York, 1268p.
- ANSORENA, J.; MARINHO, N.; LEGORBURU, I. 1995. Agricultura use of metal Polluted Soil near an old Lead-Zinc mine in Oiartzun (Bosque Country, Spain). **Environmental Technology**. San Sebastián, (16): 213 - 222.
- BENTES, R. M. 1983. **A Zona Franca e o Processo Migratório para Manaus**. Belém, Universidade Federal do Pará, Nucleo de Altos Estudos Amazônicos.129p. Tese (Mestrado em Planejamento do Desenvolvimento Plades), UFPA, 1983.
- BRANCO, S. M. 1960. Observação sobre o comportamento de Peixes em Presença de certos Compostos Metálicos Dissolvidos na Água. **Revista DAE**, 21(37):37-41.
- BRANCO, S. M. 1984. **Limnologia Sanitaria. Estudio de la Polución de aguas Continentales**. São Paulo, CETESB. 167p.

- BRINGEL, S. R. B. 1986. **Estudos do nível de poluição nos Igarapés do Quarenta e do Parque Dez de Novembro**. Manaus, CODEAMA/ UTAM. 61p. (Relatório Técnico)
- BRINKMANN, W. L. F. & SANTOS, A. 1970. Natural Waters in Amazonia II. The Chemical Oxygen Demand (COD). SYMPOSIUM PROCEEDINGS ON ENVIRONMENT IN AMAZONIA. Manaus, 1970. Part I: P. 57-66.
- CAMPOS, Z. E. S. DE .1994. **Parâmetros Físico-químicos em Igarapés de água clara e preta ao longo da Rodovia Br-174 entre Manaus e Presidente Figueredo-AM**. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Fundação Universidade do Amazonas. 90p. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas) - Curso de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, INPA/FUA, 1992.
- CARLSON, C. E. A. & MORRISON, G. M. 1994. Toxicity of copper in the presence of organic Substances in Sewage Sludge. **Environmental Technology**, Sweden, 16: 243-251.
- CRANSTON, R. E. & MURRAY, J. W. 1980 Chromium Species in the Columbia River estuary. **Limnology and Oceanography**, 25(6): 104-1112.
- DEPAULA, F. C. F. 1990. **Geoquímica de Sedimentos do Rio Madeira (Ro) e de alguns afluentes da margens direita**. Niterói, Universidade Federal Fluminense. Instituto de Química. 76p. Tese (Mestrado em Geoquímica). Curso de Pós-Graduação em Geoquímica, Instituto de Química, UFF, 1990.

ESTEVEES, F. DE A. 1988. **Fundamentos de limnologia**. Brasil. Ed. Interciência. 573p.

FALESI, F.C. 1967. O estado atual dos conhecimentos sobre os solos da Amazônia Brasileira. Atlas do Simpósio sobre a Biota Amazônia. **Geociência**, 151-168.

FIEDLER, H. D.; LÓPEZ-SÁNCHEZ, J. F.; RUBIO, R.; RAURET G. 1994. Study of the Stability os Extractable Trace Metal contents in a River Sediment Using Sequential Extraction. **Analyst**. 119:1109 - 1113.

FITTKAU, E. J. 1964. Remarks on Limnology of Central - Amazon rain- Forest Streams. **Verh. Internat. Verein.Limnol.**, 15:1067- 1076.

FONSECA, O. J. M.; SALEM, J. L.; GUARIM, V. L. 1982. Poluição e autopurificação do rio Negro nas cercanias de Manaus. **Acta Amazônica**, 12(2):271-278.

FÖRSTNER, U. & SALOMONS, W. 1980. Trace Metal Analysis on Polluted Sediments. Part I: Assessment of Sources and Intensities Environ. **Tech. Lett** 1: 494-505.

FÖRSTNER, U. & WITTMANN, G. T. W. 1983. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**-Springer-Verlag. 486 p.

FRANKEN, W. & LEOPOLDO P. R. 1984. Hydrology of catchment areas of Central-Amazonian forest Stream.In: SIOLI, H. ed. **The Amazon Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin**. Junk, Dordrecht: p.501-519.

- FURCH, K. 1984. Water chemistry of the Amazon basin: The distribution of chemical elements among freshwater.-In: SIOLI, H., ed. **The Amazon - limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin.** Junk, Dordrecht: p.167-169.
- GIBBS, R. J. 1967. The Geochemistry of the Amazon River System: Part I. The Factors that Control the Salinity and the Composition and concentration of the Suspended Solids. **Geological Society of American Bulletin**, 78 : 1203-1232.
- GIBBS, R. J. 1977. Transport phases of transition metals in the Amazon and Yukon River. **Geological Society of American Bulletin**, 88: 829-843.
- GOLTERMAN, H. L. & CLYMO, R. S. 1971. **Methods for Chemical - Analysis of Fresh Water.** Oxford, Blackwell Scientific Publication. 160 p. (IBP Handbook, 8)
- GOLTERMAN, H. L.; CLYMO, R. S.; OHNSTAD, M. A. M. 1978. **Methods for physical and chemical analysis of fresh water.** Blackwell Scientific Publications, 213 p.(IBP Handbook, 8)
- GOMES, C. S. F. 1986. **Argila, o que são e para que servem.** Fundação Calouste Guilberkian.457 p.
- HEM, J. 1970. **Study and Interpretation of the Chemical Characteristics of Natural Water.** 2.ed. Washington, Geological Survey Water-Supply. 1473p.
- IRION, G. 1978. Soil infertility in the Amazon rain forest **Naturwissenschaften**, 65: 19-515.

- IRION, G.; ADIS, J.; JUNK, W.J.; WUNDERLICH, F. 1983. Sedimentologia Studies of the "Ilha Marchantaria" in the Solimões/Amazon River near Manaus. **Amazoniana**, 8: 1-18.
- JORDÃO, C. P.; PEREIRA, J. L.; GOUVEA, L. C.; PEREIRA, J. C.; BRUNE, W. 1990. Contaminação de sedimentos fluviais por metais pesados nas proximidades de uma indústria metalúrgica em Minas Gerais, **Geochimica Brasiliense**, 4(1):9-15.
- JUNK, W. J. 1983. Aquatic Habitats in Amazonia. **The Environmentalis**, 3:24-34(supplement, 5).
- JUNK, W. J. & FURCH, K. 1980. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônia e nas áreas adjacentes. **Acta Amazonica**, 10(3): 611-633.
- LACERDA, L. D. de & ABRÃO, J. J. 1984. Heavy metal accumulation by mangrove and saltmarsh intertidal sediments. **Revista Brasileira Bot.**, 7: 2- 49.
- LACERDA, L. D.; PAULA, F. C. F.; PFEIFER, W. C.; MALM, O. 1990. Trace Metals in Fluvial Sediments of the Madeira river Watershed, Amazon, Brasil. **The Science of the Total Environment**, Amsterdam, 97/98: 525- 530.
- LACERDA, L. D. de; SOUZA, C. M. M.; PESTANA, M. H. D. 1989. Trace Metals Geochemical associations in sediments of a non- contaminated estuary. **Ciência e Cultura**, 41(3): 301-304.

- LIVINGSTONE, D. 1963. **Chemical composition of rivers and lakes**. U.S. Professional Paper 440-G.
- LOPEZ-RENDON, J. E. 1990. **Environmental Geochemistry: The Geochemistry of surficial waters- A review**. Universidade Medellin, EAFIT, 376 p.(AGID Report, 13)
- MACKRETH, F. J. H.; HERON, J.; TALLING, J. F. 1978. **Water Analysis: Some revised methods for Limnologists**. Freshwater Biological Association. Cumbria. 121p.
- MAIO, B. A. 1977. Partial Extraction of Metals from Aquatic Sediments. **Environmental Science & Technology**, 11: 277-282.
- MEADE, R. H.; NORDIN, C. F. JR.; CURTIS, W. F. 1979. Sediments in Rio Amazonas and Some of its Principal Tributaries During the High-Water seasons of 1976 and 1977. In: ~~III~~ SIMP. BRAS. HIDROLOGIA, 3., Denver, 1979. **Anais**. Denver, ABHRH. v.2, p. 472-485.
- MEGUELLATTI, N.; ROBBE, D.; MARCHANDISE, P.; ASTRUC, M. 1983. A new chemical extraction procedure in the fraction procedure in the fractionation of meavy metals in sediments- interpretation. In: INTER. CONF. HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENTAL, 4, Heidelberg, 1983 **proceedings**. P.1090-1093.
- MELLO, M. L. de & MOURA, H. A. de. 1990. **Migrações para Manaus**, Recife, Ed. Massangana. 505p.
- MINISTERIO DO EXERCITO. 1981. **Folhas SA.20-Z-D-III - MI-578 e SA.21-Y-C-I - MI-579 (MANAUS) Região Norte do Brasil**. Brasília, Diretoria de

Serviço Geográfico. Departamento de Engenharia e Comunicações. Escala 1:100.000.

MOORE, I. W. & RAMANORTHY, S. 1984. **Heavy Metals in natural waters**. Berlin, Springer-Verlag. 261p.

MORSE, J. W.; PRESLEY, B. J.; TAYLOR, R. J. 1993. Trace Metal Chemistry of Galveston Bay: Water, Sediments and Biota. **Marine Environmental Research**, Great Britain, 36: 1-37.

NASCIMENTO, F. S. DO. 1995. **Dinâmica da Distribuição dos Poluentes Metálicos e Orgânicos nos Sedimentos de fundo dos Canais de Drenagens de Belém, PA**. Belém, Universidade Federal do Pará . Centro de Geociência. 127p. Tese (Mestrado em Geoquímica Ambiental). Curso de Pós-graduação em Geologia e Geoquímica. Centro de Geociência, UFPA, 1995.

PESTANA, M. H. & LACERDA, L. D. DE. 1989. Especiação Geoquímica aplicada a Estudo de Mobilização de Metais Pesados em Sedimentos Estuarinos dos Rios do Frade e da Guarda, RJ., In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA AMBIENTAL, 2., Rio de Janeiro, 1989. **Anais**. p.321-328 .

PILKINGTON, E. S. & WARREN, L. J. 1979. Determination of Heavy-metal Distribution in Marine Sediments. **American Chemical Society**, Australia, 13(3). 295-334.

RODIER, J. 1978. **L' analyse de l'eau**. Paris, Brodas. 925 p.

ROSE, A. W.; HAWKES, H. E.; WEBB, J. S. 1981. **Geochemistry in Mineral Exploration** , Academic London, Press. 657p.

- SALOMONS, W. & FÖRSTNER, U. 1984. **Metals in the Hydrocycle**. Berlin, Heidelberg, New York, Tokyo, Springer-Verlag. 349p.
- SANTOS, U. de M.; BRINGEL, S. R. B.; B. FILHO, H.; RIBEIRO, M. de N. G.; BANANEIRA, M. 1984. Rios da Bacia Amazônica. I. Afluentes do Rio Negro. **Acta Amazônica**, 14(1-2): 222-237.
- SCHIMIDT, G. W. 1972. Chemical properties of some water in the tropical rain forest region of Central Amazonia along the new road Manaus- Caracaraí. **Amazoniana**, 3(2): 199-207.
- SCHOBENHAUS, C.; CAMPO, D. de A.; DERZE, G. R.; ASMUS, H. E. 1984. **Geologia do Brasil**. Brasília, DNPM. 501p.
- SCHOELLER, H. 1962. **Les eaux souterraines**. Paris, Masson. 642p.
- SILVA, C. P. D. D. 1992. **Influência das modificações ambientais sobre a comunidade de peixes de um igarapé da Cidade de Manaus (Amazonas)**. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Fundação Universidade do Amazonas. 112p. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas) - Curso de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, INPA/FUA, 1990.
- SIOLI, H. 1956. As águas do Alto Rio Negro. **Boletim Técnico Instituto Agronomico do Norte**, (32): 117-155.
- SIOLI, H. 1957. Valores de pH de águas Amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, 1:1- 18.

- SILVA, C. P. D. D. 1992. **Influência das modificações ambientais sobre a comunidade de peixes de um igarapé da Cidade de Manaus (Amazonas)**. Manaus, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia / Fundação Universidade do Amazonas. 112p. Tese (Mestrado em Ciências Biológicas) - Curso de Pós-Graduação em Biologia Tropical e Recursos Naturais, INPA/FUA, 1990.
- SIOLI, H. 1956. As águas do Alto Rio Negro. **Boletim Técnico Instituto Agronomico do Norte**, (32): 117-155.
- SIOLI, H. 1957. Valores de pH de águas Amazônicas. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, 1:1- 18.
- SIOLI, H. 1968. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. **Amazoniana**, 3: 267-277.
- SIOLI, H. & KLINGE, H. 1962. Sólidos, tipos de Vegetação e Águas na Amazônia. **Boletim do Museu Paraense Emilio Goeldi**, (1):27-41.
- SOUZA, C. M. M. 1986. **Estudo Comparativo da Distribuição Geoquímica de metais Pesados entre duas áreas Costeiras Contaminadas e uma não Contaminada, no Litoral Sul do Rio de Janeiro**. Niterói, Universidade Federal Fluminense. Centro de Estudos Gerais. 60p. Tese (Mestrado em Geoquímica) - Curso de Pós-Graduação em Geoquímica, Instituto de Química, UFF, 1986.

- TUNDISI, J. E. & TUNDISI, T. M. 1975. Produção orgânica em ecossistemas Aquáticos. **Ciência e Cultura**, 28(8):864-887.
- UNGEMACH, H. 1967. Sobre o balanço metabólico de íons inorgânicos da área no sistema do Rio Negro. In: SIMP.SOBRE A BIOTA AMAZÔNICA, Belém, 1966. **Atlas**. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Pesquisa. v. 3, p. 221-226.
- VERWEIJ, W. 1991. **Speciation and Bioavailability of Copper in Lake Tjeukencer**. Holanda, Landbouwniversiteit te Wageningen. 143p.Tese (doctor in de landbouw- en milieuwetenschappen), 1991.
- XUE, H. & SIGG, L. 1993. Free cupric ion concentration and Cu(II) Speciation in a eutrophic Lake. **Limnologia e Oceanografia**, 38(6): 1200-1213.
- WARREN, L. A. & ZIMMERMAN, A. P. 1991. Rain event associated in metal transport by suspended sediments in the Don River **Verh. Internat. Verein. Limnol**, 24: 2235- 2240.
- WARREN, L. A.; OUTRIDGE, P. M.; ZIMMERMAN, A. P.1995. Geochemical partitioning and bioavaibility of copper to aquatic plants in am artificial oxide-organic sediment. **Hydrobiologia**, 304: 197-207.
- YOUNG, L.B.; DUTTON, M.; PICK, F.R. 1992. Constrasting two methods for determining trace metal partitioning in oxidized lake sediments. **Biogeochemistry**, 17:205-219.

- WARREN, L. A. & ZIMMERMAN, A. P. 1991. Rain event associated in metal transport by suspended sediments in the Don River **Verh. Internat. Verein. Limnol**, 24: 2235- 2240.
- WARREN, L. A.; OUTRIDGE, P. M.; ZIMMERMAN, A. P. 1995. Geochemical partitioning and bioavailability of copper to aquatic plants in an artificial oxide-organic sediment. **Hydrobiologia**, 304: 197-207.
- YOUNG, L.B.; DUTTON, M.; PICK, F.R. 1992. Contrasting two methods for determining trace metal partitioning in oxidized lake sediments. **Biogeochemistry**, 17:205-219.

ANEXOS

Anexo A - Tabela de partição geoquímica do cromo, cádmio e cobre em ug/g em diferentes profundidades nos sedimentos de fundo dos Igarapés Quarenta (IQ), São Raimundo (ISR) e Barro Branco (IBB) - maio/1994

METAL	Cr				Cd				Cu				
	fase	T	O	RD	RS	T	O	RD	RS	T	O	RD	RS
Estação													
IQ1													
0-5cm	1,74	33,36		26,60	168,56	0,46	0,29	1,03	2,72	387,20	809,90	1094,40	96,40
5-10cm	1,74	28,44		23,76	81,04	0,46	0,00	0,00	1,82	466,80	817,96	971,55	90,00
10-20cm	0,00	35,00		26,60	127,60	0,22	1,17	0,00	2,28	653,20	872,04	942,75	161,80
20-fundo	0,00	18,62		12,42	101,18	0,68	0,29	0,49	3,40	551,00	780,26	899,10	158,60
IQ2													
0-5cm	0,00	23,53		15,25	89,84	0,22	0,29	0,49	2,50	163,20	551,98	589,95	64,40
5-10cm	1,74	12,09		13,00	84,82	0,46	0,60	1,03	1,82	21,00	113,00	209,70	30,20
10-20cm	0,00	10,45		9,58	92,74	0,22	0,60	0,00	1,82	55,60	174,72	318,60	73,00
20-fundo	1,74	124,98		12,42	42,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	747,76	61,00	17,00
IQ3													
0-5cm	1,74	26,81		15,25	128,86	0,90	0,60	1,03	1,82	61,40	343,98	593,55	142,20
5-10cm	1,74	15,37		15,12	60,34	0,90	1,62	2,12	0,00	21,00	143,00	16,00	16,00
10-20cm	0,00	15,34		12,42	115,02	0,00	0,29	0,49	1,36	26,00	25,00	57,15	15,00
20-fundo	1,74	8,81		6,75	147,74	0,00	0,60	1,53	1,82	6,40	5,20	17,55	16,20
IQ4													
0-5cm	1,74	173,88		131,36	59,64	0,80	0,60	6,54	1,36	130,40	459,42	596,25	59,80
5-10cm	2,00	164,24		57,73	99,92	0,46	0,60	5,22	1,00	53,60	450,84	296,55	41,80
10-20cm	2,00	71,00		20,93	42,02	0,68	0,29	2,03	2,04	57,00	226,00	336,15	56,20
20-fundo	3,00	111,88		37,89	133,90	0,22	0,60	0,49	2,28	36,00	193,96	305,55	38,40
IQ5													
0-5cm	1,74	157,72		80,37	44,54	0,22	0,29	2,31	2,50	101,20	389,48	456,75	30,20
5-10cm	1,74	160,97		71,86	47,06	0,46	0,29	2,78	2,96	123,80	383,50	511,65	37,60
10-20cm	1,74	141,34		71,86	58,00	1,00	0,60	2,78	2,22	154,00	369,00	496,35	49,60
20-fun do	1,74	129,90		57,73	40,76	0,22	0,29	0,22	2,04	171,20	418,60	537,30	34,20
IQ6													
0-5cm	1,74	16,98		12,42	55,86	0,68	0,60	1,03	2,50	138,80	457,60	600,30	63,00
5-10cm	0,00	31,72		9,58	5,72	12,72	0,60	2,03	1,84	182,80	869,44	38,00	6,00
10-20cm	0,00	15,36		10,00	...	0,68	0,29	1,53	1,00	341,00	503,36	41,00	...
20-fundo	0,00	...		...	67,00	0,68	0,00	0,00	4,00	450,00	...	...	135,60
IBB													
0-5	0,00	20,25		9,58	31,94	0,46	0,60	0,49	4,76	1,20	13,52	15,30	8,80
5-10cm	0,00	30,08		3,91	44,54	0,90	0,60	1,03	4,10	0,40	4,68	3,60	11,40
10-20cm	0,00	18,62		6,75	26,92	0,22	0,60	1,03	4,32	1,60	5,72	4,95	3,20
20-fundo	1,74	43,16		6,75	53,34	0,46	0,60	1,03	2,00	...	9,36	7,65	6,60
ISR													
0-5cm	0,00	10,45		6,75	41,78	0,90	0,60	2,56	2,00	4,00	27,82	4,00	2,00
5-10cm	3,00	10,45		9,58	41,00	0,90	0,60	1,53	1,00	1,40	25,22	3,15	...
10-20cm	1,74	12,09		6,75	36,00	0,68	1,17	3,06	1,00	1,00	21,58	4,05	...

T-trocável, O-oxidável, RD-redutível, RS-residual.

Anexo B - Tabela de partição geoquímica do ferro, manganês e zinco em ug/g em diferentes profundidades nos sedimentos de fundo dos igarapés Quarenta (IQ), São Raimundo (ISR) e Barro Branco (IBB)-maio/1994.

Metal		FE				MN				ZN			
fase	T	O	RD	RS	T	O	RD	RS	T	O	RS	RS	
Estação													
IQ1													
0-5cm	3,4	8,3	7110	9480	15,0	4,4	10,8	39,0	29,2	36,4	146,7	22,4	
5-10cm	2,6	9,6	6818	10920	15,6	3,1	3,2	36,6	47,0	36,4	138,2	29,0	
10-20cm	...	15,1	6908	9480	23,0	2,9	2,7	30,4	...	39,8	139,5	22,6	
20-fundo	3,2	7,8	5445	17840	8,6	2,6	...	56,6	44,0	21,6	86,0	27,8	
IQ2													
0-5cm	3,0	10,9	6188	9430	10,6	3,1	9,9	35,2	22,6	25,5	112,1	14,0	
5-10cm	4,0	8,3	5220	7050	4,4	0,5	...	26,8	3,0	6,0	47,3	93,0	
10-20cm	1,4	6,5	3713	7950	5,4	...	...	23,6	5,2	7,8	46,8	89,0	
20-fundo	...	18,0	5198	13000	8,8	0,5	...	5,8	...	31,0	82,4	29,2	
IQ3													
0-5cm	2,6	6,5	4230	10770	11,6	3,9	23,4	28,8	1,2	19,2	131,0		
5-10cm	2,0	7,3	4838	22150	21,6	23,4	5,9	9,0	2,2	3,4	77,0	46,4	
10-20cm	410,0	377,0	4027	20270	3,4	...	0,1	23,2	2,6	3,4	130,1	39,0	
20-fundo	4,2	14,0	4298	7120	1,2	...	...	37,4	1,4	1,0	117,5	93,0	
IQ4													
0-5cm	2,2	11,2	6953	9440	11,4	1,0	10,4	13,0	54,8	45,8	115,2	35,6	
5-10cm	2,0	136,0	9000	5180	10,8	4,9	11,7	12,0	28,4	41,9	15,3		
10-20cm	310,0	8,3	5513	7840	9,0	...	5,4	12,6	24,0	15,3	12,2	42,4	
20-fundo	6,0	13,0	6570	17620	7,8	45,2	8,1	41,6	30,0	19,5	144,0	48,0	
IQ5													
0-5cm	0,8	9,1	6255	8760	8,8	1,0	6,8	15,6	28,4	35,9	122,4	93,6	
5-10cm	1,6	7,0	6323	9140	17,4	2,0	11,7	18,4	40,0	42,4	147,2	90,4	
10-20cm	1,0	7,8	6300	17170	7,8	0,8	3,6	31,4	52,0	35,4	140,0	44,0	
20-fundo	-	8,6	6345	7690	9,8	0,3	0,5	11,8	2,6	36,9	95,0	26,4	
IQ6													
0-5cm	3,0	6,0	6818	12450	8,6	0,8	7,7	16,4	17,0	21,1	...	22,0	
5-10cm	4,0	5,5	3825	22760	8,0	...	...	7,0	27,0	44,7	89,6	36,0	
10-20cm	7,0	7,0	2925	20520	9,2	1,0	2,0	0,8	30,0	21,8	67,5	74,0	
IBB													
0-5cm	4,0	33,0	1913	5860	1,4	...	0,3	15,0	1,0	0,8	4,1	17,6	
5-10cm	0,8	244,0	1080	7830	11,4	15,2	14,7	16,2	0,2	0,5	90,0	95,6	
10-20cm	0,8	88,9	698	3410	1,6	0,3	2,3	10,8	2,6	4,9	...	11,4	
20-fundo	5,0	85,0	720	8290	0,4	...	...	10,4	...	2,1	...	77,6	
ISR													
0-5cm	7,8	116,0	4590	39200	21,0	5,5	5,0	10,0	2,8	13,0	183,6	57,4	
5-10cm	6,0	166,0	4635	38630	21,0	9,6	4,5	11,2	4,0	7,8	170,6	58,2	
10-20cm	3,8	67,3	4815	41030	16,0	2,3	4,5	12,0	2,2	82,2	155,7	66,2	

T-trocável, O-oxidável, RD-redutível, RS-residual