

**ESTUDO DO CICLO DE MERCÚRIO NO ECOSISTEMA DA  
FLORESTA AMAZÔNICA: AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA  
MINERAÇÃO DE OURO COM UTILIZAÇÃO DE MERCÚRIO.**

Relatório Científico Final PADCT/CIAMB – CNPq No 620375/92.2

Coordenação: Prof Dr Adolpho José Melfi (USP)

Vice-Coordenação: Dra M. Cristina Forti (INPE)

Edição Revisada em 2019 por M.C. Forti.

**ESTUDO DO CICLO DE MERCÚRIO NO ECOSISTEMA DA FLORESTA AMAZÔNICA:  
AVALIAÇÃO DO IMPACTO DA MINERAÇÃO DE OURO COM UTILIZAÇÃO DE  
MERCÚRIO.**

## **ÍNDICE**

<b>APRESENTAÇÃO</b>	v
<b>1. INTRODUÇÃO</b>	1
<b>2. REGIÃO ESTUDADA</b>	4
<b>2.1. ASPECTOS FISIOGRAFICOS DO ESTADO DO AMAPÁ</b>	5
<b>2.1.1. Geologia e relevo</b>	5
<b>2.1.2. Solos</b>	8
<b>2.1.3. Vegetação</b>	10
<b>2.1.4. Clima</b>	12
<b>2.2. AS ÁREAS ESTUDADAS</b>	17
<b>2.2.1. Serra do Navio</b>	17
<b>2.2.2. Tartarugalzinho</b>	20
<b>3. Materiais e Métodos</b>	21
<b>3.1. LOCAIS DE AMOSTRAGEM</b>	22
<b>3.1.1. Serra do Navio</b>	22
<b>3.1.2. Tartarugalzinho</b>	24
<b>3.1.3. As Estações Meteorológicas de Serra do Navio e Tartarugalzinho</b>	25
<b>3.1.3.1. Localização das estações meteorológicas</b>	25
<b>3.1.3.2. Descrição das estações meteorológicas</b>	28
<b>3.1.3.3. Apresentação dos dados meteorológicos</b>	29

3.1.3.3.1. <u>Os dados meteorológicos de Serra do Navio</u>	29
3.1.3.3.2. <u>Os dados meteorológicos de Tartarugalzinho</u>	31
<b>3.1.4. Hidrologia de Serra do Navio</b>	35
<b>3.2. COLETA DE AMOSTRAS</b>	42
<b>3.2.1. Amostragem para determinação de mercúrio</b>	42
3.2.1.1. <i>Águas e materiais em suspensão</i>	42
3.2.1.2. <i>Sedimentos de fundo e solos</i>	43
3.2.1.3. <i>Peixes</i>	43
3.2.1.4. <i>Vegetais</i>	44
3.2.1.5. <i>Cabelos humanos</i>	44
<b>3.2.2. Amostragem de Água para Determinações Químicas e Físico-químicas</b>	45
<b>3.2.3. Amostragem de Aerossóis: coleta e preparação</b>	49
<b>3.2.4. Amostragem de Solos e Sedimentos</b>	50
<b>3.3. ANÁLISES LABORATORIAIS</b>	52
<b>3.3.1. Técnicas Analíticas para Determinação de Mercúrio</b>	52
<b>3.3.2. Análises Química e Físico-química das Soluções Aquosas</b>	53
<b>3.3.3. Análises Química e Físico-química dos Aerossóis</b>	54
<b>3.3.4. Análises Mineralógicas, Química e Físico-química dos Sedimentos e dos Solos.</b>	56
<b>4. RESULTADOS</b>	57
<b>4.1. OS CICLOS DAS ESPÉCIES QUÍMICAS NA BACIA DO IGARAPÉ PEDRA PRETA (SERRA DO NAVIO) - ECOSISTEMA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA SEM CONTAMINAÇÃO DE MERCÚRIO POR ATIVIDADES DE GARIMPO</b>	58
<b>4.1.1. Entradas Atmosféricas: precipitação e aerossóis</b>	59
4.1.1.1. <i>As águas de chuva</i>	59
4.1.1.2. <i>Os aerossóis</i>	66
4.1.1.3. <i>A relação entre os aerossóis atmosféricos e a chuva: modelagem</i>	69
<b>4.1.2. A Transprecipitação</b>	76
<b>4.1.3. As Águas dos Solos</b>	81

4.1.4. Os Solos	84
4.1.5. Os Sedimentos em Suspensão	94
4.1.6. Os Sedimentos de Fundo	99
4.1.7. As Águas do Igarapé Pedra Preta	102
4.1.8. Diagramas dos Inventários das Quantidades de Espécies Químicas para a Bacia do Igarapé Pedra Preta	112
4.1.9. O Modelo MAGIC	116
4.1.9.1. Resultados da aplicação do MAGIC para o modo de calibração <b>A</b>	116
4.1.9.2. Resultados da aplicação do MAGIC para o modo de calibração <b>B</b>	125
4.1.10. Discussão dos resultados	131
4.2. COMPORTAMENTO DO MERCÚRIO NO CICLO SUPERFICIAL EM ÁREA COM ATIVIDADE DE GARIMPO DE OURO: ESTUDO DE CASO - TARTARUGALZINHO	133
4.2.1. Entradas Atmosféricas: precipitação e aerossóis	134
4.2.1.1. Precipitação	134
4.2.1.2. Aerossóis	141
4.2.2. Mercúrio em Sedimentos de Fundo	141
4.2.3. Mercúrio em Solos	145
4.2.4. Mercúrio em Peixes	148
4.2.5. Mercúrio em Cabelos Humanos	151
4.2.6. Discussão dos Resultados	152
<b>5. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	157
<b>6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	160
APÊNDICE 1. – EQUIPE DO PROJETO	166
APÊNDICE 2. – PRODUÇÃO CIENTÍFICA ASSOCIADA AO PROJETO	168
APÊNDICE 3. – DADOS EXTRAS	173

## APRESENTAÇÃO

O Projeto **ESTUDO DO CICLO DO MERCÚRIO NO ECOSISTEMA DA FLORESTA AMAZÔNICA** foi realizado entre 1993 e 1997 e financiado através de um convênio CNPq/PADCT/CIAMB - CNPq No. 620375/92.2. Esta publicação é o relatório científico apresentado à referida agência financiadora em dezembro de 1998 sob a coordenação do Prof. Dr. A. J. Melfi (USP) e da Dra. M. C. Forti (INPE) e realizado por um grupo de pesquisadores pertencentes a diferentes instituições de ensino e pesquisa: Instituto Astronômico e Geofísico - IAG/USP; Instituto de Geociências - IGc/USP; Centro de Energia Nuclear na Agricultura - CENA/USP; Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE/MCT; Instituto de Biofísica - IB/UFRJ; Instituto de Pesquisas Energéticas - IPEN/MCT; Institut Français de Recherche en Coopération - ORSTOM. Os trabalhos desenvolvidos pelos diferentes grupos de pesquisa foram coordenados por pesquisadores do Núcleo de Pesquisa em Geoquímica e Geofísica da Litosfera - NUPEGEL/USP. Este relatório foi elaborado para apresentar os principais resultados alcançados ao longo dos quatro anos (1993-1997) de duração do projeto, através dos estudos realizados em duas regiões do Estado do Amapá: Serra do Navio e Tartarugalzinho. Entretanto, por razões técnicas à época, não lhe foi dada a devida publicidade. Embora com 20 anos de atraso, é importante que os resultados deste estudo bem como os dados disponíveis e as publicações realizadas até sua preparação sejam tornados públicos. Os dados disponíveis podem ser acessados por meio dos links apresentados a seguir, porém, infelizmente, parte destes se perdeu ao longo do tempo.

NOME DO ARQUIVO DE DADOS (.csv e .xls)	LINK DE ACESSO AOS METADADOS	LINK DE ACESSO AOS DADOS
AMDATC-CHC	<a href="http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.18.54.27">http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.18.54.27</a>	<a href="http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G2B2">http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G2B2</a>
AMDATC-CHTB	<a href="http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.16.11">http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.16.11</a>	<a href="http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G45S">http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G45S</a>
AMDATC-CHTW	<a href="http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.12.01">http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.12.01</a>	<a href="http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G3Q2">http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G3Q2</a>
AMDATC-CHTR	<a href="http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.03.43">http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.03.43</a>	<a href="http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G342">http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G342</a>
AMDATR-PPFLO	<a href="http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.23.28">http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.23.28</a>	<a href="http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G4ME">http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G4ME</a>
AMDATR-PPFOZ	<a href="http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.30.01">http://urlib.net/rep/sid.inpe.br/mtc-m21b/2019/10.03.19.30.01</a>	<a href="http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G5A2">http://urlib.net/rep/8JMKD3MGP3W34P/3U6G5A2</a>

Para a execução do projeto foi reunida uma equipe que associou geólogos, físicos, biólogos, meteorologistas, geógrafos e hidrólogos que buscaram, através da abordagem interdisciplinar, compreender o ciclo do mercúrio na floresta Amazônica e sua interação com as fases minerais componentes das formações superficiais que constituem este complexo ecossistema tropical.

Os objetivos do projeto foram elaborados tanto para atender às solicitações do comitê assessor do PADCT, que visavam dar uma maior amplitude ao estudo do ciclo do mercúrio, dentro de um enfoque holístico dos processos físico-químicos no sistema solo-planta-atmosfera, como também para que os resultados do estudo fossem apropriados pela comunidade local. Nesse sentido, o estudo atendeu a uma demanda da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Amapá - SEMA – para estudar uma região onde foram encontrados peixes com elevados teores de mercúrio e que se suspeitava da existência de uma contaminação mercurial ambiental elevada e de alto risco potencial para as populações consumidoras de peixe.

Assim, os estudos foram concentrados em duas áreas de referência, uma em Serra do Navio, cuja problemática era o estudo do ciclo dos elementos em uma pequena bacia hidrográfica, recoberta por floresta, não afetada por atividades de garimpos, mas parcialmente degradada por trabalhos de mineração de manganês, e outra, no Município de Tartarugalzinho, nitidamente afetada por contaminação mercurial proveniente de garimpos de ouro.

A realização deste projeto foi possível graças ao substancial apoio financeiro do PADCT/CNPq. Os participantes desejam agradecer à FAPESP pelo apoio financeiro concedido a um dos coordenadores (Processo No 92/0209-9), à Secretaria do Meio Ambiente do Amapá (SEMA), ao Instituto Regional de Desenvolvimento do Amapá (IRDA) e à CAEMI Mineração e Metalurgia (<http://icomi.blogspot.com/2007/06/caemi-e-projeto-icomi.html>), pelo apoio de infraestrutura recebido durante o desenvolvimento dos trabalhos de campo.

A equipe do projeto, que contribuiu, à época, para a elaboração deste relatório foi a seguinte:

A. J. Melfi (NUPEGEL-USP, Geoquímica); M.C.Forti (INPE, Hidrogeoquímica); A. Lobo (CTH/Poli-USP hidrologia); M. F. Andrade (IAG/USP, Meteorologia, Física dos aerossóis); R. Boulet (NUPEGEL-USP/ORSTOM; Pedologia e formações superficiais); A. Carvalho (IG/USP, NUPEGEL-USP; Pedologia e formações superficiais); S. M. B. de Oliveira (IG/USP-NUPEGEL-USP, Geoquímica); M. Vasconcelos (IPEN/CNEN, Química analítica-radioisótopos); D. I.T. Fávoro (INPEN/CNEN, Química analítica-radioisótopos); J. R. Guimarães (UFRJ; Geoquímico) e A.-H. Fostier (NUPEGEL-USP, mercúrio em peixes e sedimentos).

# 1. INTRODUÇÃO

Trabalhos desenvolvidos nos anos 90 demonstram que o ambiente (urbano, rural e natural) sofreu importantes alterações com conseqüente deterioração dos recursos naturais (Loucks, 1994; Fearnside, 1993; Moran et al., 1994). Essa deterioração vai desde a escala local, do indivíduo, até a global, do planeta. Estudos mostram a ineficiência na produção e consumo de energia, problemas de poluição do ar e das águas e seus efeitos adversos na saúde e economia das populações, o crescimento dos gases de efeito estufa na atmosfera e a previsão de aumento da temperatura global e dos níveis dos oceanos, a diminuição do ozônio das camadas mais altas da atmosfera e seu aumento nas camadas inferiores, ambos afetando a saúde dos animais, plantas e homens, problemas de desertificação e desmatamentos, para citar alguns dos grandes problemas ambientais enfrentados pela humanidade.

Dentro desse contexto, a região Amazônica ainda representa um desafio dentro das questões ambientais. Com cerca de 5,8 milhões de quilômetros quadrados, a bacia Amazônica abriga a metade das florestas tropicais do globo e uma grande área de savana tropical (cerrado). Essa bacia é importante para o metabolismo da Terra, uma vez que responde por cerca de 10% da produção primária bruta terrestre. Além disso, estima-se que a planície de inundação do rio Amazonas e principais tributários cobre uma área de 300.000 quilômetros quadrados (Junk & Furch, 1993). Ela é igualmente importante por ser uma das áreas de maior biodiversidade do planeta. Entretanto, a partir das décadas de 60 e 70, com a implantação da rede de rodovias, com a expansão das fronteiras agrícolas e com o saturamento da exploração de madeiras nas florestas tropicais da Ásia (Malásia, Indonésia. etc.), essa região vem sofrendo grande pressão antrópica devido à conversão da cobertura vegetal em pastagens e em culturas, com corte seletivo das árvores e exploração de minérios, quer pela ação de grandes empresas ou de pequenos produtores/garimpeiros.

Essas pressões têm causado mudanças nos ciclos de nutrientes, na troca de materiais entre os sistemas aquáticos e terrestres e no balanço das espécies químicas que circulam nesse ambiente. É importante, portanto, um refinamento dos estudos desenvolvidos, abrangendo as diferentes sub-regiões da Amazônia, para compreender magnitude dessas mudanças bem como do conhecimento dos processos biogeoquímicos dominantes. Dentro deste contexto, o mercúrio, por ser um metal extremamente nocivo à saúde humana e cujo teor vem aumentando na superfície em virtude de atividades extrativas (ouro) e industriais (produção de cimento, combustíveis fósseis, incineração de lixo e operações metalúrgicas), ocupa um lugar de destaque na problemática ambiental, sobretudo na região amazônica, que como se

sabe, constitui um ecossistema frágil e cujo equilíbrio pode ser facilmente quebrado, resultando em consequências desastrosas para o meio ambiente global.

Neste estudo, buscou-se, através da abordagem interdisciplinar, a compreensão da interação do mercúrio com as fases minerais e orgânicas componentes das formações existentes nos diferentes compartimentos superficiais, por representarem os materiais capazes de reter esse metal, retardando ou mesmo impedindo sua passagem para as águas superficiais ou subterrâneas. Através de um enfoque holístico, estudaram-se os processos físico-químicos presentes no sistema, bem como se empregaram modelos matemáticos para calcular o balanço de massa, em uma microbacia piloto, a fim de quantificar a intensidade das transferências de espécies químicas entre os diferentes reservatórios. Esses processos têm como força motora as soluções que circulam através do sistema e que, depois de precipitar na forma de chuva e interagir com o mesmo, alimentam o lençol freático e os cursos d'água. Essas soluções encontram-se, em geral, em equilíbrio eletroquímico em cada segmento do ambiente (e.g. atmosfera, vegetação, solo, água subterrânea, etc.). Esse equilíbrio depende da presença de cátions metálicos como alumínio, sódio, potássio, etc. e de ânions como nitrato, sulfato, cloreto, etc., além de alguns ácidos orgânicos. Para estudar o ciclo dessas espécies é importante, não somente determinar seus teores nas soluções que percolam através do ecossistema, mas também avaliar, em uma área bem definida, a quantidade de água que circula no ambiente e assim quantificar os fluxos dessas espécies nos diferentes compartimentos estudados. Além disso, a atmosfera desempenha papel fundamental no sistema, uma vez que é através dela que os aerossóis, naturais ou antrópicos, são transportados.

Ao problema da exploração de minério, que ocorre em áreas definidas e, portanto passíveis de controle, somam-se os inúmeros garimpos de ouro que, por sua mobilidade e técnica de extração, são de difícil controle e altamente poluidores, uma vez que utilizam o mercúrio para amalgamação do ouro. Por esta razão, o nível de contaminação é pouco conhecido. A grande área representada pela bacia amazônica, assim como o aumento desordenado dos garimpos na região contribuem para essa falta de conhecimento. Da mesma forma, é pouco conhecida a quantidade de mercúrio que está sendo lançada no ecossistema e a dinâmica desse elemento no meio supérgeno, existindo, até o momento deste estudo, apenas algumas considerações de ordem geral a esse respeito.

O problema da contaminação dos ecossistemas amazônicos por Hg tem sido intensamente discutido na literatura científica. Evidências dessa contaminação são os altos teores de Hg em peixes e no sangue das populações que deles se alimentam. Dado que esses sinais de contaminação são encontrados tanto em regiões de garimpo, onde o Hg é diretamente introduzido nos ecossistemas, como em regiões muito afastadas dessas fontes, estudos têm sido realizados com a finalidade de avaliar a contribuição relativa das fontes antropogênicas e naturais para a poluição ambiental por Hg.

Pfeiffer *et al.* 1993 estimaram em 130 ton Hg/ano o montante de Hg introduzido na Amazônia pela atividade garimpeira nos últimos anos. Metade deste valor teria sido lançada diretamente nos rios, poluindo as áreas próximas aos garimpos, e metade teria sido dispersa na atmosfera, transportada e depositada a longas distâncias da fonte. Veiga *et al.* 1994 estimaram que a queima da biomassa florestal lança diretamente na atmosfera 90 ton Hg/ano, sugerindo que esta é a principal fonte de contaminação dos ecossistemas amazônicos. Lacerda (1995) recalculou esse valor em apenas 17 ton Hg/ano. Mais recentemente, Roulet e colaboradores, em uma série de trabalhos (Roulet & Lucotte 1995; Roulet *et al.* 1996 a, b), vêm defendendo a ideia de que, tanto o Hg proveniente das atividades garimpeiras, como aquele diretamente lançado na atmosfera pela queima da biomassa florestal, representam uma parcela pouco significativa do Hg que polui os ecossistemas. Segundo esses autores, a parcela mais significativa do Hg encontrado nesses ecossistemas (97%) deve ser natural e sua fonte principal seria oriunda da degradação dos solos lateríticos.

São apontadas, portanto, três fontes de contaminação por Hg dos ecossistemas aquáticos da Amazônia: garimpos, queima da vegetação e degradação dos solos lateríticos. No caso dos garimpos, a fonte de Hg é externa. Nos outros dois casos, a acumulação de Hg seria devida a processos naturais de concentração, desse elemento, e que se encontra disperso no ambiente. O papel da intervenção humana seria não de acrescentar Hg ao ambiente, mas apenas de mobilizar o estoque que foi acumulado pela biomassa ou pela pedogênese durante, respectivamente, milhares e milhões de anos. A via de contaminação de Hg seria atmosférica e pela drenagem no caso dos garimpos, essencialmente atmosférica no caso da queima da biomassa e essencialmente pela drenagem no caso da degradação dos solos. Os autores que defendem cada uma dessas hipóteses não negam as outras duas, considerando-as negligenciáveis no balanço global.

Neste projeto, o objetivo principal foi realizar um estudo que permitisse avançar na compreensão do ciclo do mercúrio (ou sua parte principal) em região de floresta tropical úmida. Além disso, buscou-se associar essa espécie química às espécies principais do ambiente, tais como alguns metais (e.g. Al, Fe, Mn, Zn, etc) e aos íons principais (Na, K, Mg, Ca,  $\text{SO}_4^{2-}$ , etc). Esses estudos foram desenvolvidos em uma microbacia hidrográfica de controle, localizada na região Central do Estado do Amapá, no Município de Serra do Navio. A transferência do conhecimento gerado foi efetuada através de um estudo de caso realizado em uma região de cerrado, no município de Tartarugalzinho, situado no nordeste do estado do Amapá. Nessa região, a atividade de garimpo utilizando o mercúrio era bastante intensa bem o como a pesca e a pecuária. O objetivo desse estudo de caso foi estabelecer os níveis de contaminação por mercúrio, produzindo recomendações para um eventual programa de monitoramento e controle de Hg na região.

## 2. REGIÃO ESTUDADA

As áreas seleccionadas para o presente estudo localizam-se em duas diferentes regiões do Estado do Amapá: Serra do Navio e Tartarugalzinho (Figura 2.1). Neste capítulo são apresentados os principais aspectos fisiográficos do Amapá, bem como uma caracterização geral das áreas de estudo.

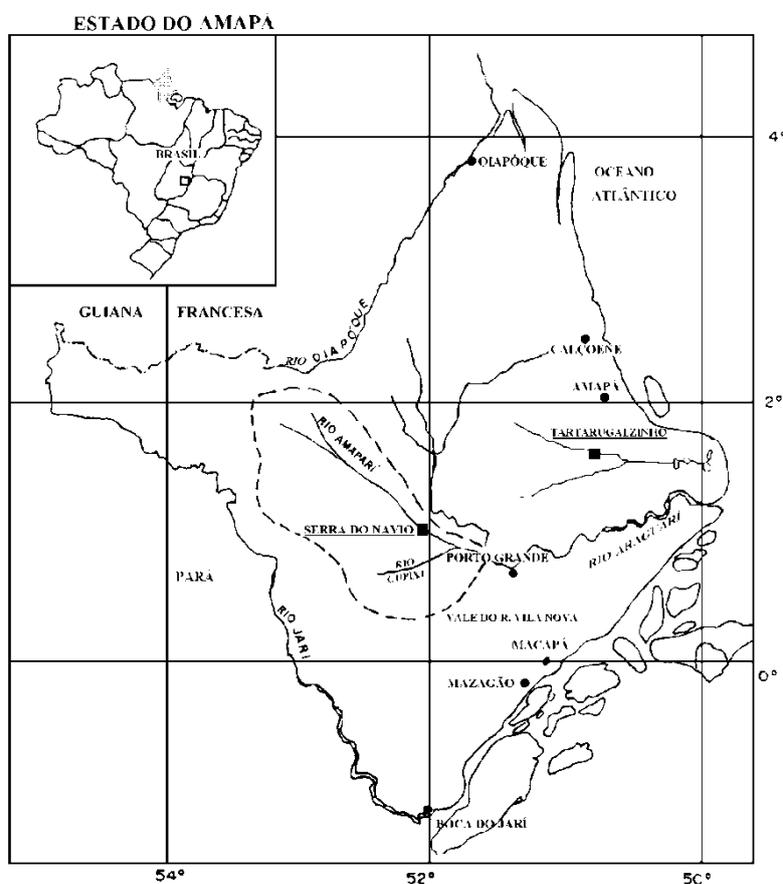


Figura 2.1 – Mapa do Estado do Amapá e localização das duas áreas estudadas.

## **2.1. ASPECTOS FISIAGRÁFICOS DO ESTADO DO AMAPÁ.**

O Estado do Amapá, com área de 136.450 km<sup>2</sup>, localiza-se na parte nordeste da Amazônia Brasileira. Suas características fisiográficas (estrutura geológica, padrões oro-hidrográficos, clima e vegetação) e sociais são relativamente únicas dentro do complexo Amazônico, bem como um de seus subsistemas menos conhecidos. Encontra-se situado inteiramente na zona equatorial, apresentando limites balizados pelas latitudes 1°S e 4°S e longitudes 50°W e 51°W. Limita-se a nordeste com o Oceano Atlântico, a sudeste com o estuário do rio Amazonas, a noroeste faz divisa com a Guiana Francesa, através do rio Oiapoque e a sudoeste com o Estado do Pará, através do rio Jari.

### **2.1.1. Geologia e relevo**

O Estado do Amapá faz parte do Craton Amazônico (Escudo das Guianas) representado por rochas pré-cambrianas orientadas preferencialmente nas direções NW-SE e WNW-SE. O Escudo das Guianas comporta domínios metamórficos distintos separados por imensos afloramentos de rochas granitóides. A coluna estratigráfica do Estado (figura 2.2) é representada por uma unidade basal, o Complexo Guianense, formado por rochas metamórficas de alto grau de metamorfismo, das fácies anfíbolítica e granulítica: granulitos, gnaisses, migmatitos, granitos e quartzo dioritos. Sequências metamórficas das fácies xisto-verde e anfíbolitos, denominadas Grupo Vila Nova, encobrem a unidade basal e são representadas por xistos, anfíbolitos, quartzitos, itabiritos, etc. Associados cronologicamente a este Grupo ocorrem maciços intermediários, básicos e ultrabásicos.

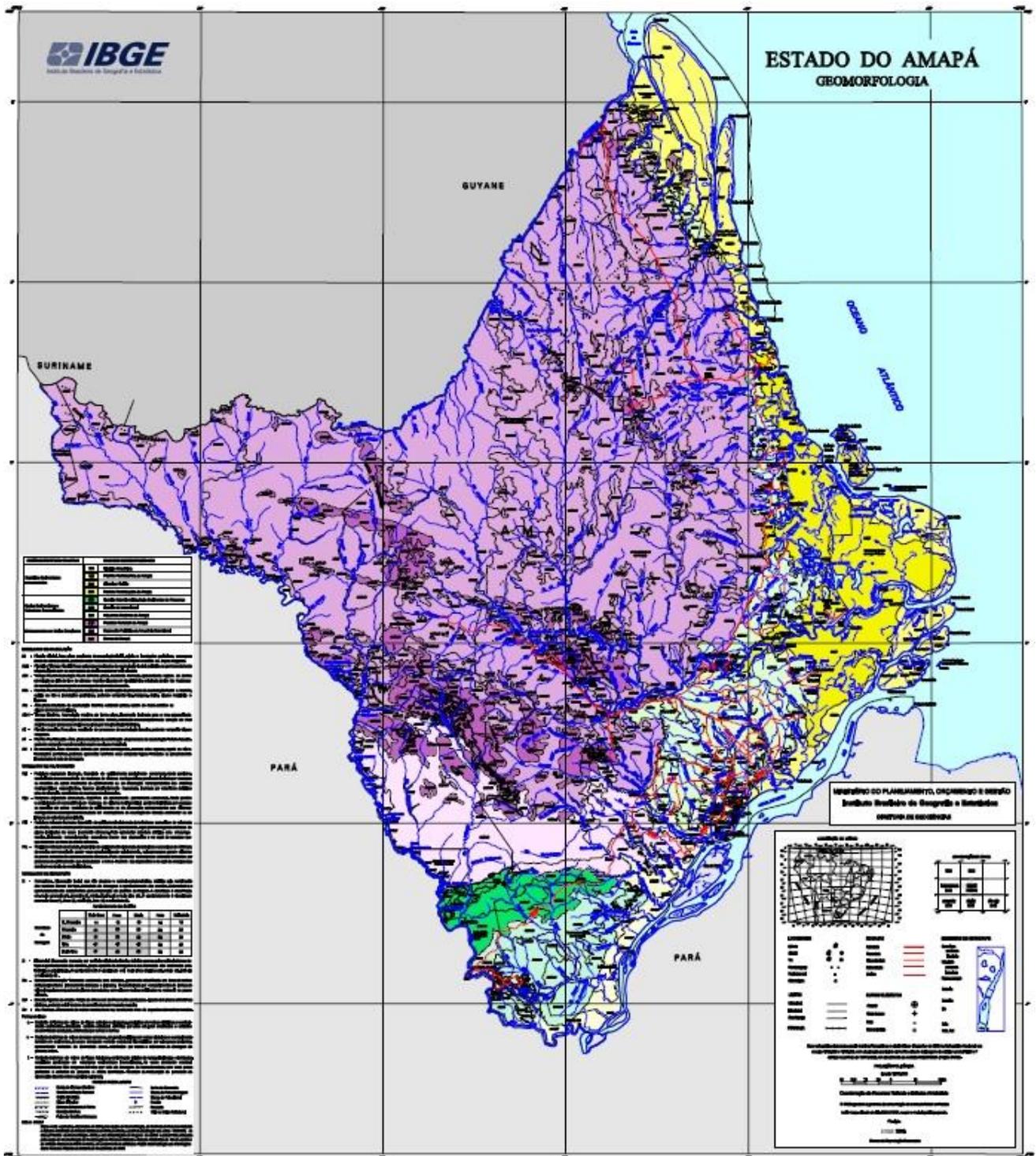


Figura 2.2 – Geomorfologia do Estado do Amapá  
<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>, consulta em 27/08/2019)

Durante o Permo-Triássico a reativação tectônica que afetou a região costeira do estado foi responsável pela intrusão de um magma toleítico básico que originou um importante campo de diques.

No Terciário ocorreu uma sedimentação de pelitos, psamitos e pefitos (Formação Barreiras) na forma de uma estreita faixa de direção aproximada N-S.

O Quaternário é representado por uma banda de largura variável que se estende de Macapá para o Norte até a foz do Oiapoque. Forma extensas planícies de inundação com sedimentação mista, marinha e fluvial.

Do ponto de vista geomorfológico, o Estado do Amapá apresenta duas grandes superfícies de aplainamento (Radam, 1974): Pediplano Plioceno e Pediplano Pleistoceno e a Planície Costeira. Extensos processos erosivos retrabalharam essas superfícies e deram origem a cinco diferentes unidades morfo-estruturais: **Planalto residual do Amapá**, esculpido sobre rochas pré-cambrianas e formando os relevos mais elevados do Estado. Aí estão as principais serras do Amapá: Tumucumaque, Iratapuru e Lombarda, cujas cotas máximas podem atingir 700 m de altitude; **Baixo planalto Amazônico**, associado aos sedimentos da Formação Barreiras, forma os relevos planos, levemente inclinados em direção ao rio Amazonas, exibindo cotas máximas de 100 m de altitude; **Morraria do Amapá**, representando a maior parte do Estado, se insere no seio de rochas pré-cambrianas e de sedimentos terciários. Sua altitude máxima atinge 200 m. São morros com formas arredondadas, que ao longo da costa caracterizam um relevo mais plano, cujo topo é recoberto por crostas ferruginosas; **Depressão periférica do Norte do Pará** constitui uma unidade formada por elevações com 100 a 150m de altitude e corresponde à depressão periférica dos sedimentos Barreiras; **Planície marinha-fluvial de Macapá-Oiapoque**, associada à faixa quaternária que se estende de Macapá ao Oiapoque. Na parte sul a influência fluvial, devido ao rio Amazonas, é mais pronunciada, enquanto que na parte norte a contribuição é marinha. Nesta zona baixa e alagada encontram-se manguezais e lagoas.

Os rios mais importantes do Estado são o rio Araguari, que drena a área central do estado desembocando no canal norte da foz do rio Amazonas; o rio Oiapoque e seus tributários da margem direita, e os rios Uaçá, Cassiporé, Cunani, Calçoene e Amapá Grande que vão diretamente ao mar; o rio Vila Nova, o Jari e o Paru que deságuam no Amazonas.

### 2.1.2. Solos

Em função das variações apresentadas pelos fatores de formação dos solos (rocha mãe, topografia, clima, vegetação e idade) no interior do Estado do Amapá, inúmeros são os tipos de solos presentes. Nos trabalhos efetuados pelo RADAMBRASIL (Radam, 1974) foram identificados 10 diferentes tipos de solos, porém de maneira simplificada podemos dizer que existem dois grandes grupos de solos, os latossolos (amarelo, vermelho-amarelo e vermelho-escuro) e os podzólicos, aos quais se associam toda uma série de solos com hidromorfia pronunciada (figura 2.3) Em determinados compartimentos morfológicos do Estado é nítida a distribuição espacial destes tipos de solos, com os latossolos ocupando as partes mais altas da paisagem e os podzólicos as partes baixas das vertentes e entre esses dois polos existe toda uma gama de solos intermediários. O conjunto constitui um sistema de transformação, no qual os solos podzolizados substituem progressivamente os solos latossólicos, ao mesmo tempo em que o modelado evolui (Lucas, 1997).

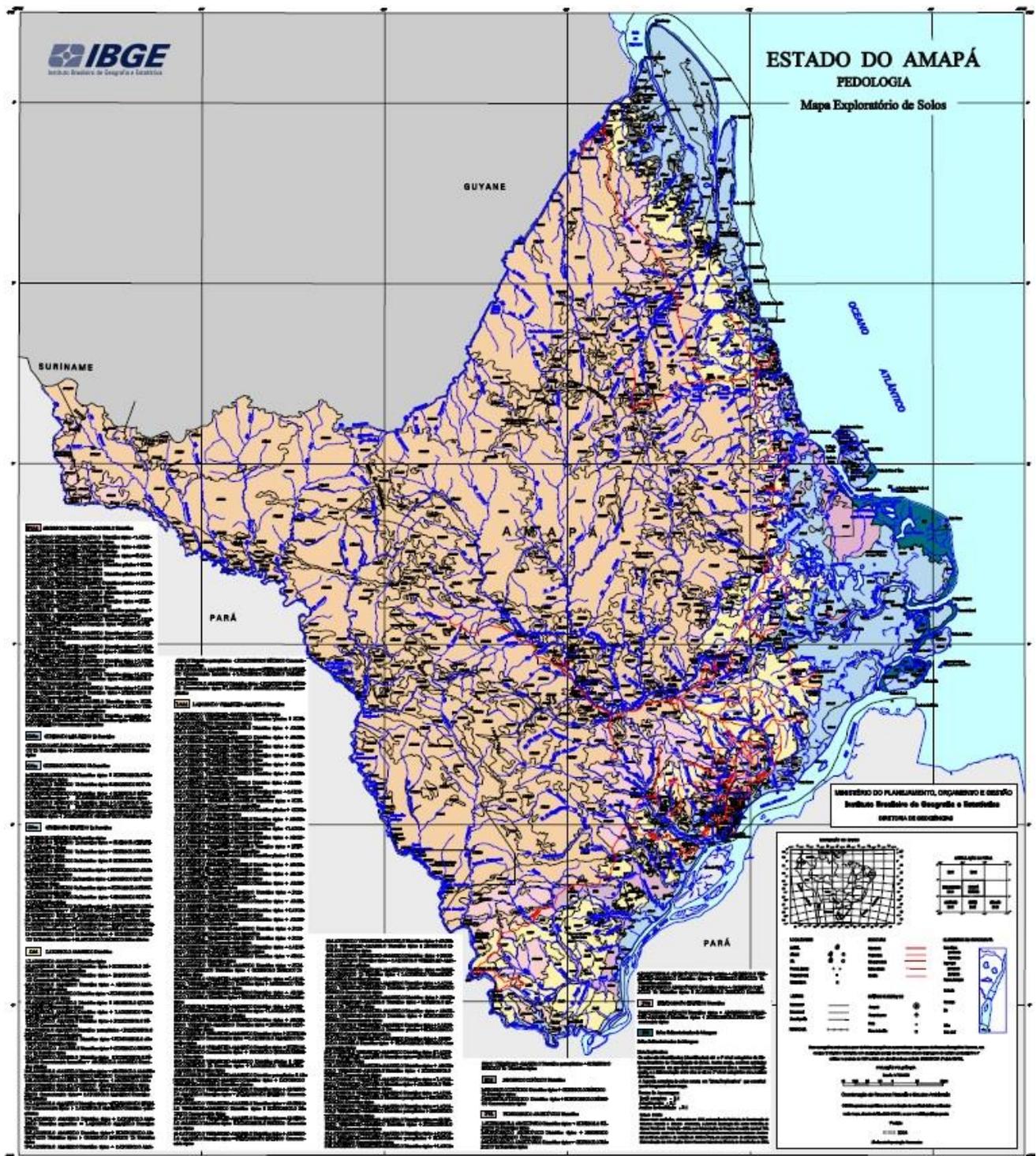


Figura 2.3 – Principais tipos de solos do Estado do Amapá  
<https://portaldemapas.ibge.gov.br/portal.php#homepage>, consulta em 27/08/2019)

Os latossolos, largamente dominantes na paisagem, são solos com textura média a pesada, argilosos e bastante espessos, em geral com mais de 2 m de profundidade. São solos ácidos, lixiviados, com baixa capacidade de troca e dessaturados. Os podzólicos são similares aos latossolos em muitas de suas

características, porém possuem uma razão textural entre os horizontes A e B superior a 1,2, bem como um horizonte B plúntico bem desenvolvido. Estes solos são comumente relacionados a uma rocha original com conteúdo em quartzo relativamente elevado, tais como as ácidas do embasamento ou sedimentos do Grupo Barreiras.

### 2.1.3. Vegetação

A cobertura vegetal do estado é variável, apresentando quatro tipos principais: cerrado, formações pioneiras, floresta densa e áreas de contato floresta densa-cerrado (figura 2.4). O cerrado ocupa predominantemente a faixa sedimentar terciária (Barreira) de direção Norte-Sul, limitada a leste pelas áreas quaternárias com formações pioneiras (terrenos aluviais e áreas de mangues) e a oeste pelas áreas de floresta densa (florestas de terra firme) que recobrem os terrenos cristalinos do embasamento pré-cambriano. Acompanhando toda a área de contato entre o Pré-cambriano e o Terciário, ocorre uma área de contato entre a floresta densa e o cerrado, com interpenetração descontínua entre esses domínios (Figura 2.4). A floresta densa, distinta daquela que aparece na bacia sedimentar Amazônica, recobre a maior parte do estado do Amapá, associada aos terrenos do Planalto Residual Baixo Amazonas e da Depressão periférica Norte do Pará. Pontos da floresta densa podem ser encontrados nos terraços e na planície costeira, associada a “buritizais”.



#### 2.1.4. Clima

A caracterização climática do Estado do Amapá foi efetuada com dados obtidos em duas estações existentes (Amapá e Macapá).

Nas figuras 2.5 e 2.6 são apresentadas as médias mensais das temperaturas mínimas, médias e máximas para Macapá e Amapá. As médias mensais de temperatura máxima variam entre 30°C e 35°C e apresentam o mesmo comportamento que a temperatura média, uma pequena elevação no segundo semestre, enquanto as médias mensais de temperatura mínima oscilam em torno de 20 °C. Pode-se notar que as temperaturas mínimas são menores nos últimos seis meses do ano, indicando que o verão experimenta variações de temperatura maiores que o inverno, ou seja, maior amplitude térmica. Em geral, observam-se variações em torno de 10°C entre as médias mensais das temperaturas máxima e mínima.

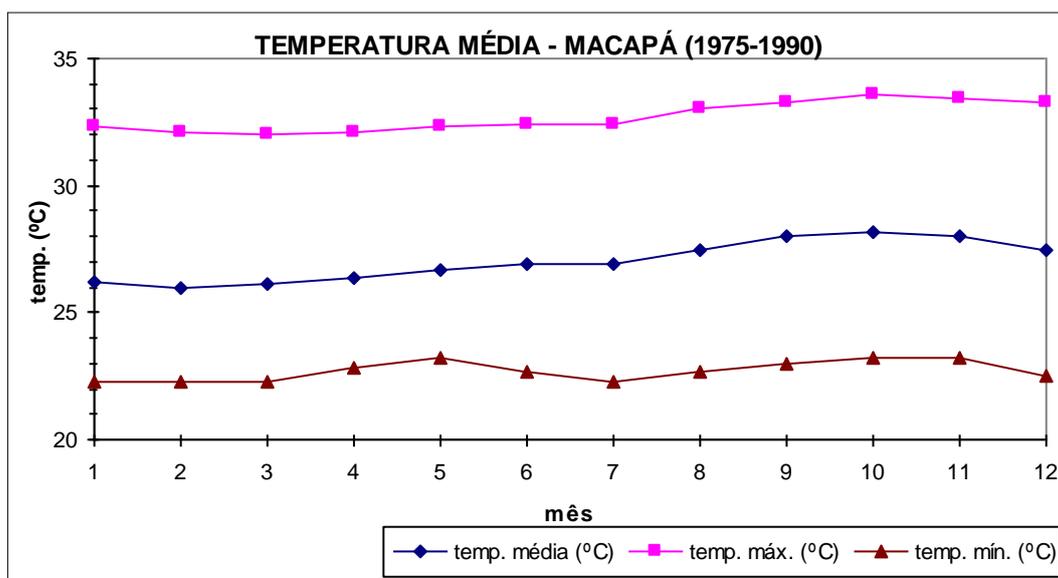


Figura 2.5 - Médias mensais de temperatura para a Estação Macapá.

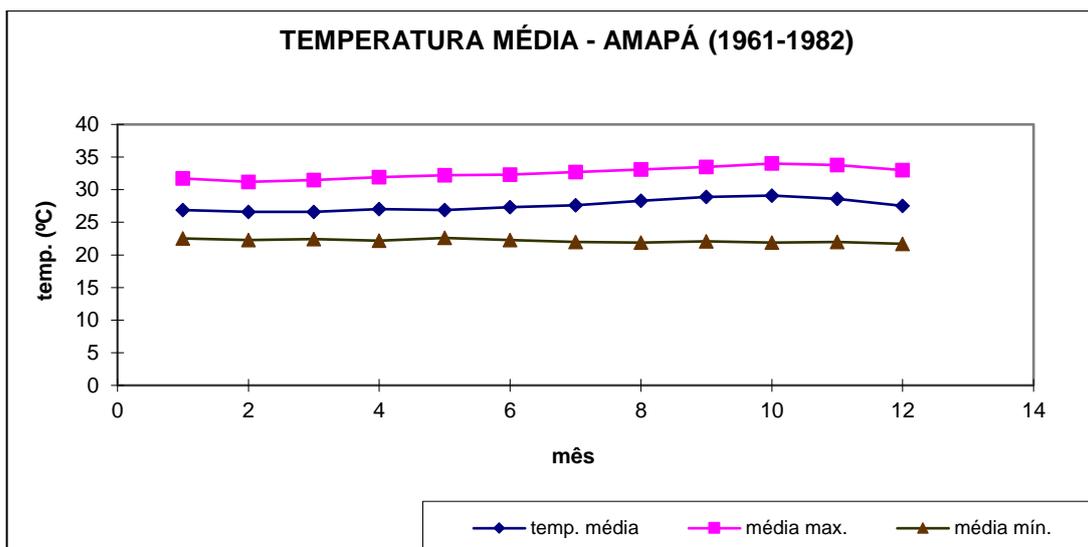


Figura 2.6 - Médias mensais de temperatura para a Estação Amapá.

Nas figuras 2.7 e 2.8 são apresentadas as temperaturas médias do ponto de orvalho para as duas estações. A média da temperatura do ponto de orvalho máxima é da ordem de 26°C. A média da temperatura do ponto de orvalho mínimo oscila em torno de 20°C.

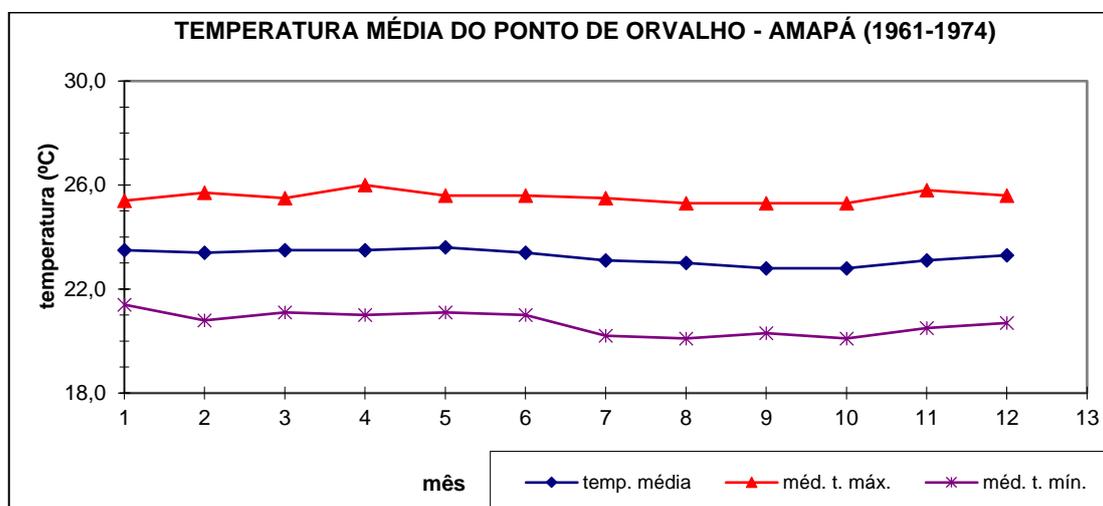


Figura 2.7 - Médias mensais de temperatura de ponto de orvalho para a Estação Amapá.

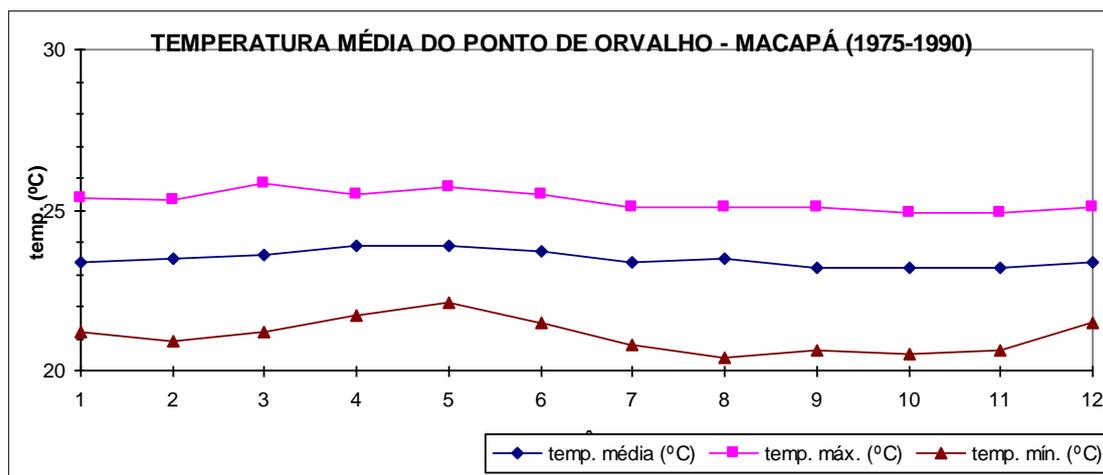


Figura 2.8 - Médias mensais de temperatura do ponto de orvalho para a Estação Macapá.

Nas figuras 2.9 (Amapá) e 2.10 (Macapá) apresenta-se a variabilidade anual da precipitação nas duas estações. O ano de 1967 foi o ano mais chuvoso registrado entre 1967 e 1974 e o ano mais seco foi 1968, com aproximadamente um terço da precipitação registrada em 1967.

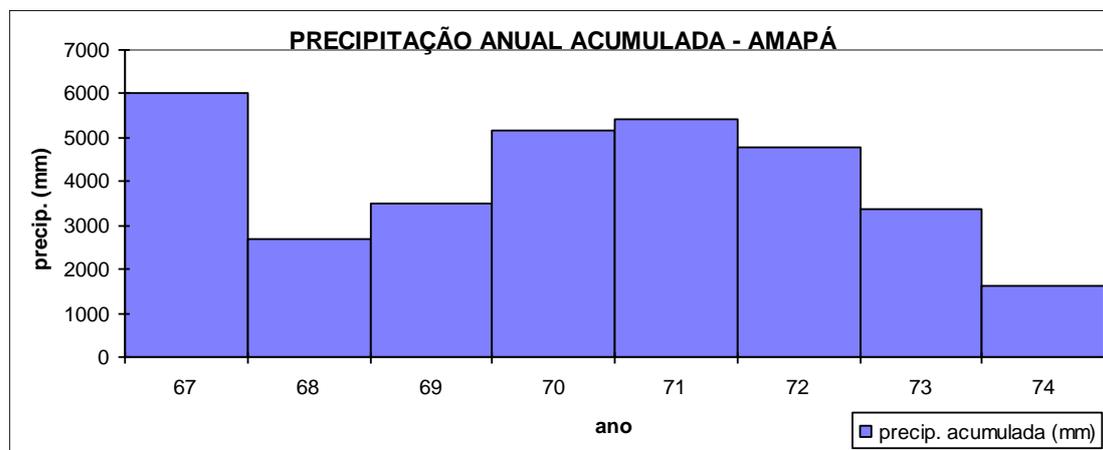


Figura 2.9 - Precipitação anual acumulada para a estação de Amapá.

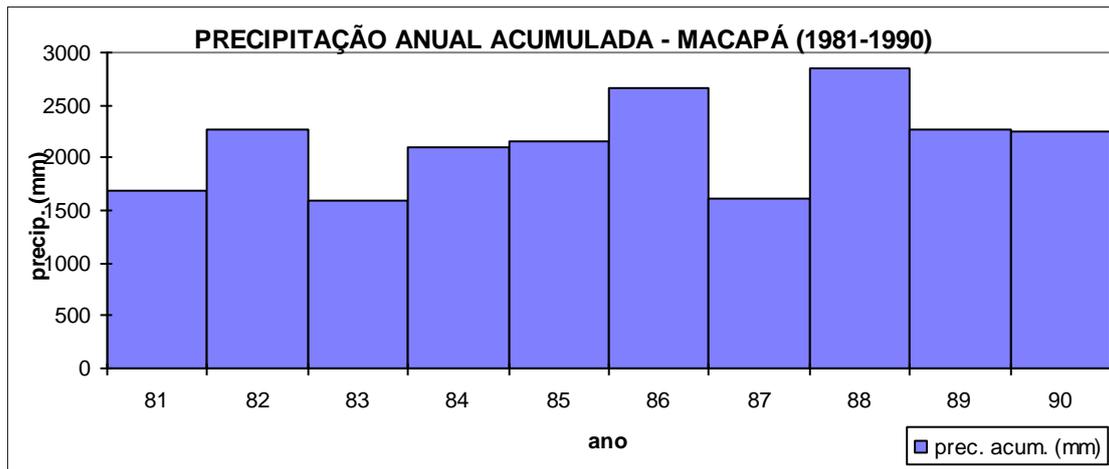


Figura 2.10 - Precipitação anual acumulada para a estação de Macapá.

Para a estação do Amapá foi observado que a frequência relativa do vento é muito alta nos quadrantes Q1 e secundariamente no quadrante Q2 (figura 2.11). É possível observar que a frequência em Q1 é alta nos primeiros meses do ano, passando por um mínimo nos meses de junho e julho e voltando a subir nos meses seguintes. Esta variação pode estar relacionada ao deslocamento da ZCIT (Zona de Convergência Intertropical), que atinge sua posição extrema ao sul entre os meses de março e abril. O vento em Macapá (figura 2.12) apresenta algumas características em comum com o vento observado na estação meteorológica do Amapá. Em geral, são observadas velocidades médias inferiores a 5 m/s e alta frequência nos quadrantes Q1 e Q2, ou seja, frequência mais alta em Q1 no mês em que a ZCIT atinge sua posição extrema ao sul, com tendência do vento girar para o quadrante Q2 à medida que a ZCIT se desloca para o norte. Pode-se observar ainda que as frequências em Q1 e Q2 são menores na estação de Macapá, devido à alta frequência no quadrante Q4.

Todos os parâmetros observados nas estações de Macapá e Amapá apresentaram em média o mesmo comportamento, com exceção do vento e precipitação, porém, essas diferenças podem ser atribuídas aos diferentes períodos analisados.

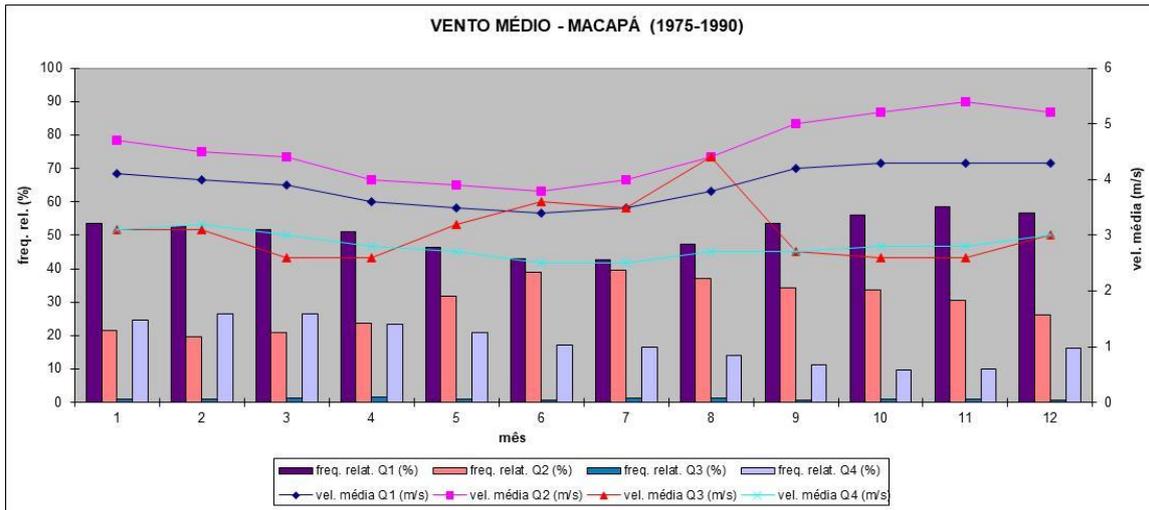


Figura 2.11 - Variabilidade média e frequência relativa média do vento no período entre 1975 e 1990 na estação Macapá.

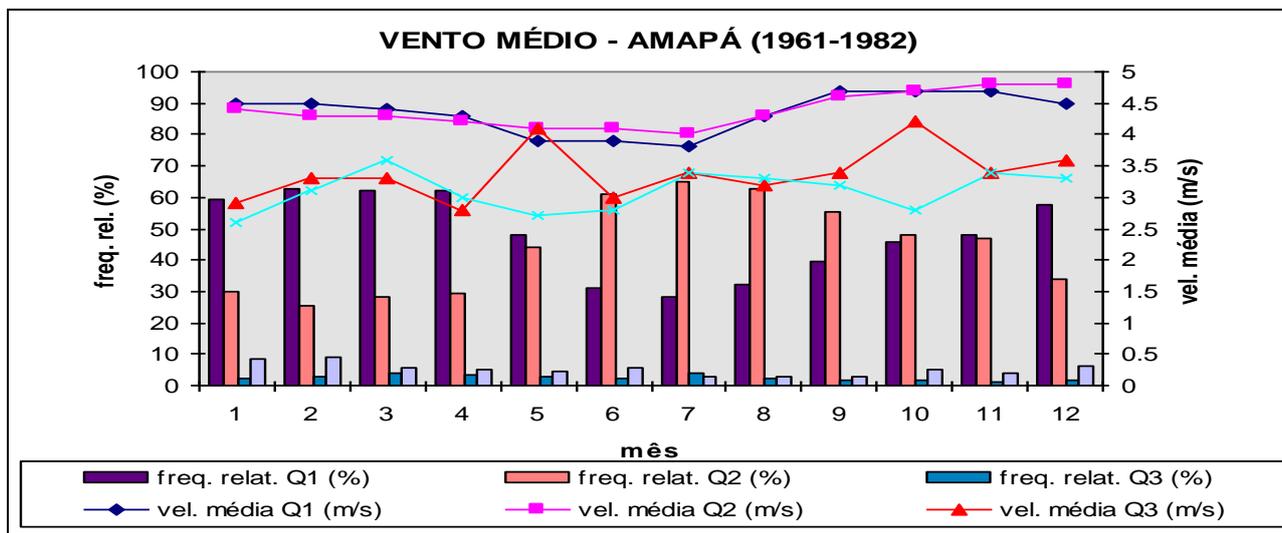


Figura 2.12 - Variabilidade média e frequência relativa média do vento no período entre 1961 e 1982 na estação Amapá.

## **2.2. AS ÁREAS ESTUDADAS.**

As áreas estudadas estão localizadas em compartimentos geomorfológicos com características diferenciadas (Figura 2.1). A região de Serra do Navio localiza-se no Planalto residual do Amapá, representando, portanto uma zona de altitude dentro do Estado (cerca de 500m). Assenta-se sobre rochas metamórficas do Grupo Vila Nova e é toda recoberta pela floresta equatorial densa. A área de Tartarugalzinho localiza-se na zona do cerrado, na transição entre diferentes tipos de relevo (Morraria do Amapá, Depressão periférica e Planície marinha-fluvial Macapá-Oiapoque).

### **2.2.1. Serra do Navio**

Esta área foi selecionada em função de sua localização geográfica, facilidade de acesso e possibilidade de se estudar o impacto provocado pela alteração antrópica da cobertura vegetal no comportamento dos ciclos de espécies químicas em uma bacia hidrográfica de controle. A bacia hidrográfica escolhida, a do igarapé Pedra Preta, está localizada no vale do rio Amapari, dentro da área de concessão da ICOMI (Figura 2.13). A bacia selecionada tem uma área total de 164 ha e encontra-se situada a montante da cidade de Serra do Navio. Apresenta um relevo bastante variado, com cotas que variam de 320 m (ponto mais alto do divisor de águas) a 80 m, na região da foz do igarapé Pedra Preta. A bacia hidrográfica, embora não contendo minério, foi parcialmente alterada pelas atividades mineradoras. Na sua parte montante, com cerca de 34 ha, a floresta é natural, sem sinais de alteração; a parte média da bacia, embora com vegetação natural, tem um lago que foi formado devido ao deslizamento de um bota-fora (área de depósito de material estéril resultante da lavra); na parte jusante da bacia, a topografia original foi totalmente alterada devido à construção de estradas, bota-fora e lagoa de decantação.

A vegetação da área é típica de região de floresta tropical úmida, apresentando dois extratos principais: as árvores de grande porte, com alturas de até 40 m e um extrato inferior composto principalmente por palmeiras. A vegetação rasteira praticamente inexistente. A quantidade de vegetação jovem é grande, principalmente nas áreas de maior declividade, onde a penetração de luz é maior. Nessas regiões pode-se, observar alguma vegetação de pequeno porte, ao nível do chão, que permite caracterizar um ecossistema da Floresta Submontana de Árvores Emergentes. A floresta desse ecossistema, de alto porte e elevado potencial de madeira, apresenta muitas espécies emergentes, caracterizando-se, sobretudo pela presença constante de angelim-pedra, maçaranduba e maparajuba.

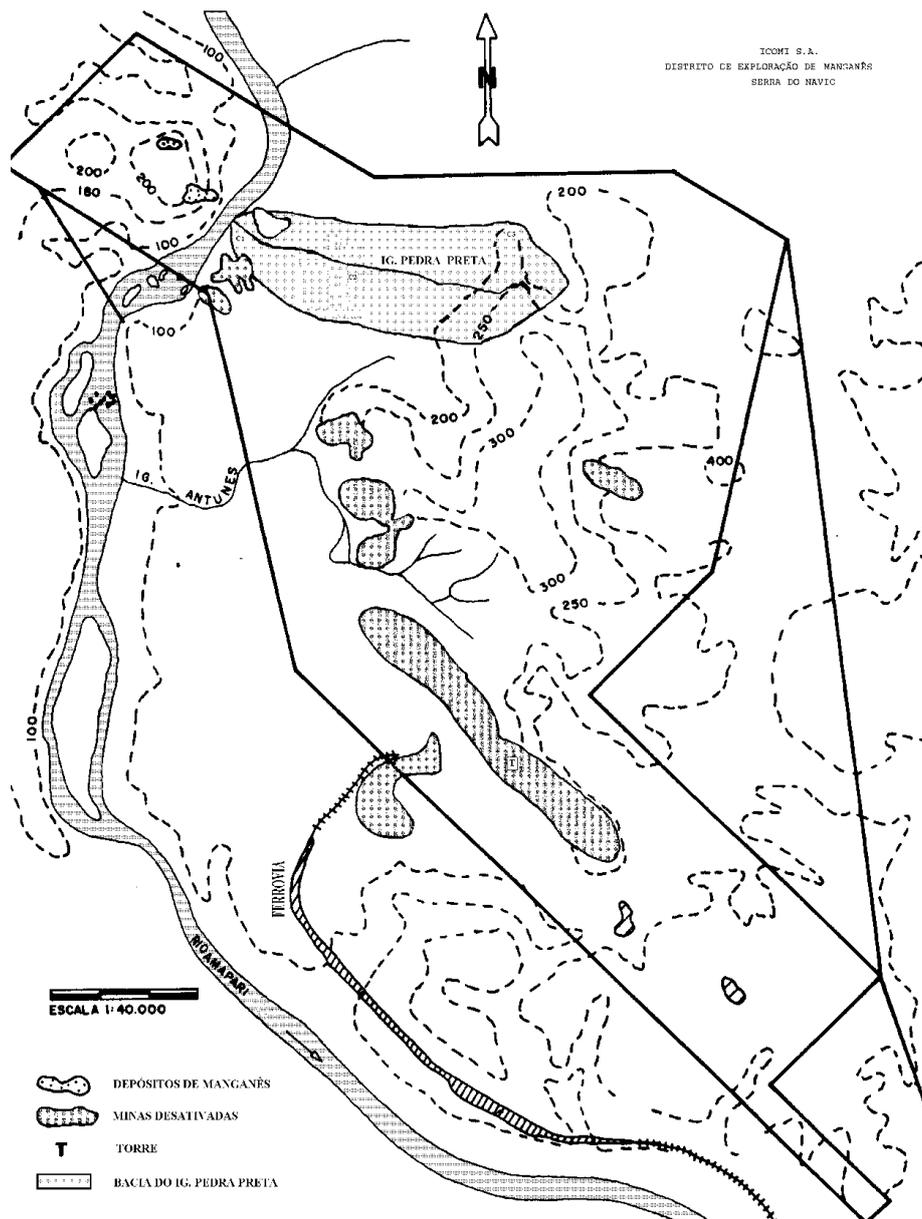


Figura 2.13 - Área de concessão da ICOMI S.A.

Quanto à geologia, a área se caracteriza pela presença de depósitos manganesíferos. As elevações que continham o minério, antes da lavra, alongavam-se por cerca de 10 km em direção geral N30°W, a leste do rio Amapari com altitudes entre 90 e 350 metros, nessa região. As rochas mais representativas que afloram em Serra do Navio são componentes de uma seqüência de metassedimentos pré-cambrianos altamente metamorfizados representados por anfibolito, biotita-granada-xisto, queluzito (gondito), quartzo-anfibólio-diopsídio com pirrotita e calcita e quartzo-granada com biotita e silimanita. O embasamento granítico aflora a leste e oeste da serra e é constituído por um granito leucocrático de granulação grossa (Silva et al., 1963).

Os solos da região são altamente evoluídos e representam estágios de equilíbrios com as condições locais de alta precipitação pluvial, clima tropical com alternância anual de estações seca e chuvosa e floresta amazônica densa, que é responsável pela espessa cobertura vegetal, produtora de grandes quantidades de ácidos orgânicos. Nestas condições, os silicatos formadores das rochas são rapidamente alterados para caulinitas, e óxidos e hidróxidos de alumínio e ferro. O quartzo também se altera, liberando sílica para as soluções. Os componentes solúveis são removidos em solução aquosa e somente os óxidos de ferro, manganês e alumínio, relativamente estáveis, permanecem no perfil. A intensidade da decomposição intempérica é grande e seus efeitos atingem profundidades superiores a 100m. Na região drenada pela bacia do igarapé Pedra Preta, afloram blocos decamétricos de crostas ferruginosas endurecidas (lateritas/courações) de cor vermelho amarronzada, geralmente com feições porosas alveolares, englobando blocos decamétricos a métricos de minério de manganês oxidado de origem gondítica com baixo teor de Mn, além de óxido de manganês maciço, quimicamente enriquecido. Muitos blocos lateríticos apresentam ainda um recobrimento de cor preta, constituído por óxido-hidróxidos de manganês, como resultado da remobilização do manganês no ambiente. A cobertura pedológica na área estudada caracteriza-se por apresentar um perfil com espessura variável de 1 a 3 metros. Trata-se de um latossolo amarelo-amarronzado, que capeia um horizonte ferruginoso endurecido com 4 a 6 metros de espessura que, por sua vez, recobre um pacote saprolítico de 30 a 45 metros, originário da decomposição das rochas da região.

Nessa área as coordenadas do local denominado Torre (0,9306; -52,0089), igarapé Pedra Preta na floresta (0,9236; -51,9994) e na foz (0,9306; -52,0089).

### 2.2.2. Tartarugalzinho

A área de Tartarugalzinho, situada a 230 km a nordeste de Macapá (figura 2.1) nas coordenadas (1,5058; -54,9119), foi selecionada por sugestão de órgãos governamentais do Estado do Amapá, em função da existência de fortes indícios de contaminação mercurial elevada, devido às atividades de garimpo. Os garimpos aí instalados são os mais antigos do Amapá e, portanto, seria de se esperar que grandes quantidades de mercúrio tivessem sido introduzidas nesse ecossistema. Os rios da região, mas principalmente o lago Duas Bocas bem como lagos a jusante dos garimpos, constituem ricos bancos genéticos da ictiofauna flúvio-lacustre do Estado do Amapá, possuindo uma grande importância pesqueira. Sua produção não só é consumida pelas populações locais, mas também abastece grande parte do mercado de Macapá. A pecuária é também uma atividade importante na região, além de projetos de florestamento.

Nessa região a vegetação dominante é o cerrado com matas de galerias, que se encontram sobre a faixa sedimentar terciária. Os solos são predominantemente do tipo laterítico, sendo comuns solos do tipo glei eutróficos e solos aluviais distróficos e eutróficos. O clima é do tipo equatorial úmido com um período mais seco entre agosto e outubro (Ratisbona, 1976).

Devido às características dos estudos efetuados nesta área, não foi selecionada uma área de controle, e, portanto não serão avaliados os fluxos das espécies químicas. O objetivo dos estudos realizados na região de Tartarugalzinho é avaliar o grau de contaminação devido ao mercúrio empregado nos garimpos, bem como determinar os estoques de mercúrio metálico nos sedimentos e solos da região.

### 3. Materiais e Métodos.

A diversidade de materiais e métodos empregados neste projeto deve-se à complexidade inerente à interdisciplinaridade da pesquisa. Neste capítulo, os locais e métodos de coletas, bem como os métodos de preparação e de análise dos diferentes tipos de amostras são descritos de forma resumida, uma vez que os detalhes foram apresentados em relatórios anteriores.

Os trabalhos foram iniciados em junho de 1995 e encerrados em junho de 1997. Entretanto, em função da disponibilidade dos equipamentos e das condições de trabalho no campo, os períodos de coletas foram diferentes para os diferentes compartimentos. Uma série de amostras de águas de chuva e rios coletadas entre julho de 1993 e junho de 1994 para outro projeto (Forti, 1994) foram incorporadas a este conjunto, para permitir uma melhor análise estatística e os estudos de calibração do modelo MAGIC (Forti et al., 1992). Na tabela 3.1 são mostrados os períodos de amostragem para cada compartimento.

Tabela 3.1 – Períodos de coletas dos diferentes tipos de amostras e parâmetros utilizados nos trabalhos.

Tipo de Amostra/Dados	Serra do Navio	Tartarugalzinho
Dados Meteorológicos	Julho 96 - Junho 97	Setembro 96 - Maio 97
Água de Chuva	Julho 93 - Junho 94 ; Junho 95 - Junho 97	Janeiro 96-Junho 97
Transprecipitação	Julho 93-Junho 94; Junho 95-Junho 97	-
Águas de Rios	Julho 93 - Junho 94; Junho 95 - Junho 97	-
Água do Solo	Julho 96 - Junho 97	-
Água Subterrânea	Julho 96 - Junho 97	-
Sedimentos em Suspensão	Julho 93 - Junho 94; Junho 95-Junho 97	-
Sedimentos de Fundo	Julho 94; Março 95; Maio 96	Setembro 95; Maio 96; Julho 96; Março96
Solos	Julho 94; Março 95; Julho 96; Março 97	Julho 96
Aerossóis atmosféricos	Maio 96 - Junho 97	Janeiro 96 - Maio 97
Cabelos	Junho 94 - Abril 97	Junho 94 - Abril 97
Vegetação	Junho 94	AGUAPÉ JEAN
Peixes	Junho 94 - Março 97	Junho 94 - Março 97

### 3.1. LOCAIS DE AMOSTRAGEM.

#### 3.1.1. Serra do Navio.

O mapa topográfico da bacia do Igarapé Pedra Preta com a indicação dos principais pontos de amostragem é apresentado na Figura 3.1. Os coletores de chuva foram instalados em locais abertos e longe de obstáculos (distância mínima equivalente à distância da projeção do objeto mais alto e mais próximo). Foi instalado um coletor na "Torre" (ponto T na Figura 2.13), região mais alta (350 m) na área do polígono de concessão da ICOMI a cerca de 6 km da bacia do igarapé Pedra Preta; as amostras coletadas nesse ponto foram utilizadas como controle das entradas de espécies químicas na região (deposição seca e úmida). Nessa mesma região, foram instalados os coletores de aerossóis e a estação meteorológica automática.

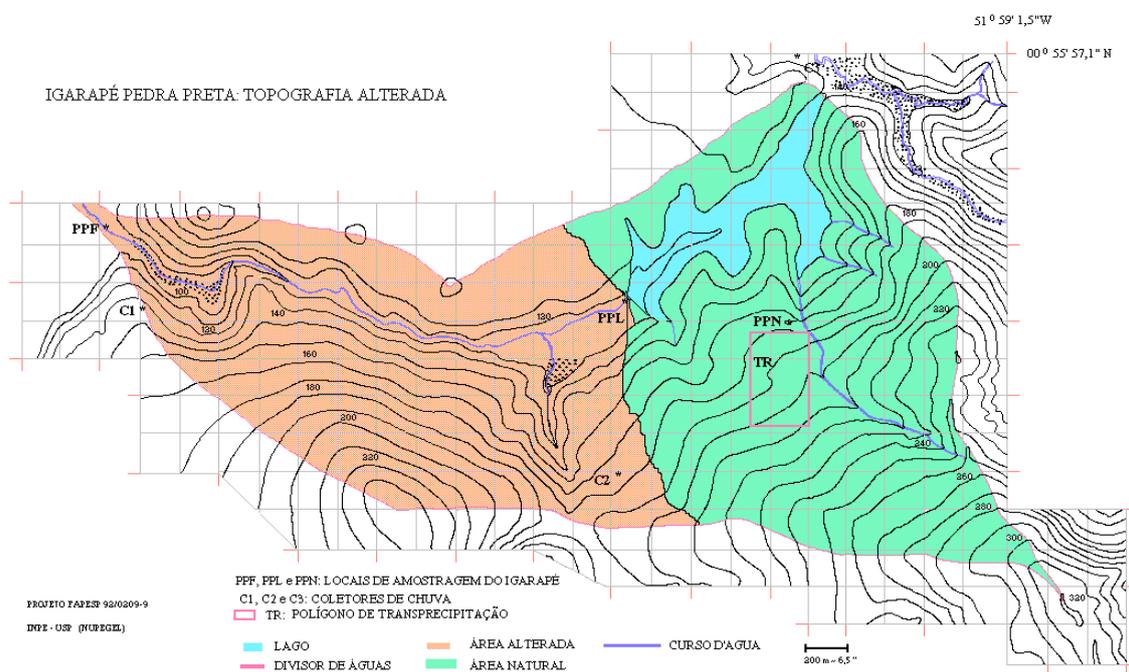


Figura 3.1 - Mapa da Bacia do Igarapé Pedra Preta indicando os locais de amostragens das águas de chuva e de rio.

Na bacia do igarapé Pedra Preta, foram instalados três coletores de chuva, denominados C1, C2 e C3, em áreas de clareiras (C). Os coletores de transprecipitação (TR) foram instalados utilizando-se dois

esquemas: a) sobre uma malha de 300 pontos, separados por uma distância aproximada de 5 m (30 coletores), e sendo através de um sorteio (com base em um programa de números aleatórios), mudados de lugar toda semana e b) sobre uma linha fixa, aproximadamente perpendicular às curvas de níveis, separados por uma distância de cerca de 5 m (20 coletores) (Forti & Neal, 1992). As amostras de água do igarapé foram coletadas em dois locais: na floresta e na foz, codificadas como PN e PF, respectivamente. Foram instaladas três caixas lisimétricas com duas profundidades de coletas (20 cm e 100 cm). As caixas estão localizadas em cada lado do eixo de drenagem, e as das cotas mais altas têm como função amostrar as águas que atravessam o solo preferencialmente na direção vertical e as das cotas mais baixas as águas com movimento lateral (SSA, SSB e SSC): com esta técnica foram amostradas as águas livres no solo. Para coletar as águas do lençol suspenso, foram instalados 4 piezômetros, 3 na margem esquerda do igarapé em diferentes profundidades (PI: 51 cm, PII: 2,51 m, PII: 3,97 m,) e 1 na margem direita (PIV: 1,25 m) (Figura 3.2). As coletas foram iniciadas em maio de 1996. Além das soluções, sobre as topossequências foram coletadas amostras de perfis de solos (SN# indicados na figura 3.2) e amostras de solo superficial. Estas últimas, coletadas a partir do perfil SN100 em direção ao igarapé a cada 30 m. Na área degradada, foram coletadas 10 amostras de solo superficial, sobre uma linha aproximadamente perpendicular às curvas de nível. Foram coletados em PN e em PF sedimentos de fundo e em suspensão. Na bacia de decantação, localizada na foz do igarapé, foram coletadas amostras de perfis de sedimentos de fundo.

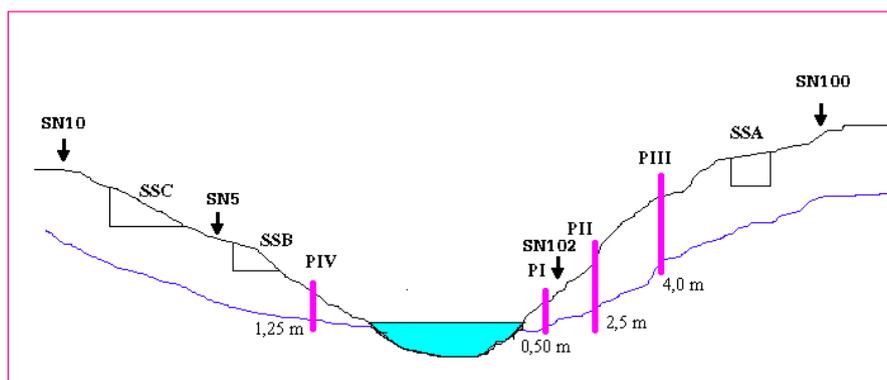


Figura 3.2 - Esquema da localização das caixas lisimétricas, piezômetros e locais de amostragem dos solos.

### 3.1.2. Tartarugalzinho.

O mapa topográfico da área de Tartarugalzinho traz a indicação dos principais pontos de amostragem (figura 3.3). Para realizar o controle do transporte atmosférico foi instalada uma base para permitir coleta de amostras e dados atmosféricos. Nessa base foram instalados dois coletores de chuva (dos tipos “wet-only” e “bulk”), um amostrador de aerossóis e uma estação meteorológica automática. Essa base foi instalada a cerca de 2 km do garimpo principal (da Fofoca). Além dessas amostras e dados, foram coletadas também amostras de solos, de sedimentos de fundo (nos lagos Duas Bocas e Pracuúba), de peixes e de cabelos humanos para a dosagem de Hg, além de alguns metais pesados.

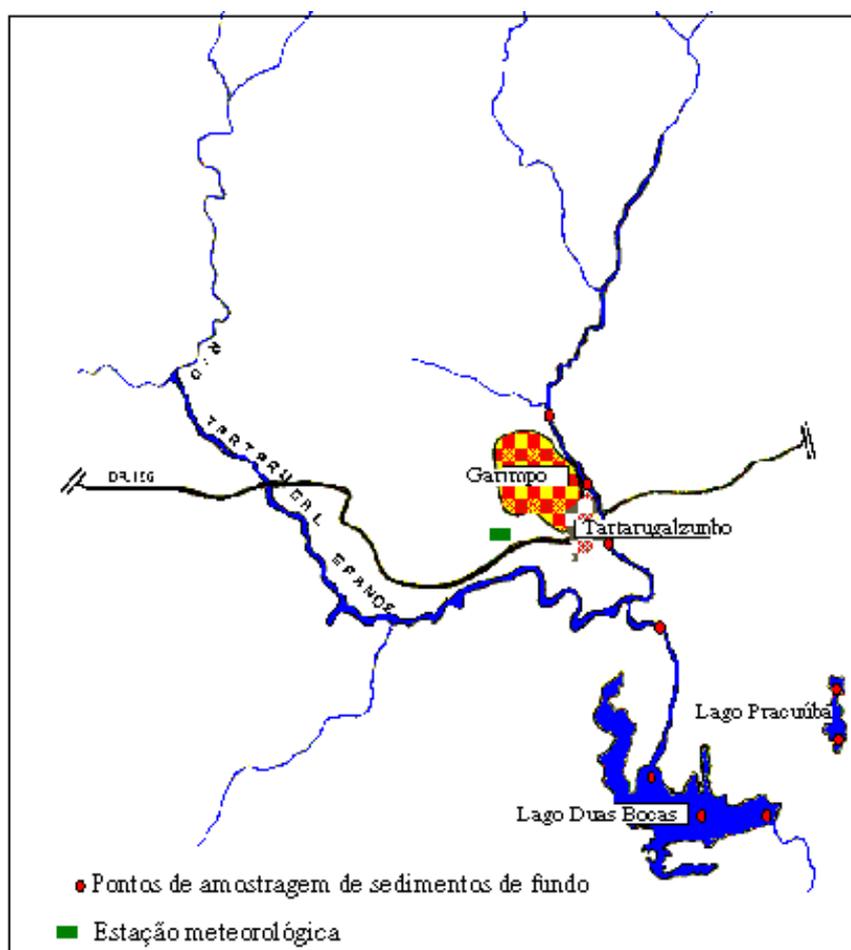


Figura 3.3 - Município de Tartarugalzinho: Esquema mostrando as posições relativas dos locais de amostragem de sedimentos e da estação meteorológica

### 3.1.3. As Estações Meteorológicas de Serra do Navio e do Tartarugalzinho

Com o objetivo de estudar a circulação atmosférica da região e, assim, determinar o transporte das espécies químicas, foram instaladas estações meteorológicas em Serra do Navio e Tartarugalzinho.

A aquisição de dados iniciou-se em 25 de janeiro de 1996 em Serra do Navio e em 30 de janeiro de 1996 em Tartarugalzinho. Na tabela 3.4 são apresentados os períodos em que os dados foram coletados.

Tabela 3.4 - Relação de períodos em que os dados meteorológicos estão disponíveis

Serra do Navio	Tartarugalzinho
25 de janeiro a 10 de março de 1996	29 de janeiro a 8 de fevereiro de 1996
16 de junho a 13 de maio de 1997	4 de maio a 22 de maio de 1996
	16 de agosto a 24 de maio de 1997

As falhas na coleta de dados, principalmente em Tartarugalzinho, foram devido às dificuldades técnicas e operacionais agravadas pelo difícil acesso à região em questão.

A partir da table 3.4 ferifica-se que os períodos cobertos por este estudo não são os mesmos para as duas estações, mas as informações obtidas são valiosas para a análise e interpretação da situação meteorológica da região.

#### 3.1.3.1 - Localização das Estações Meteorológicas

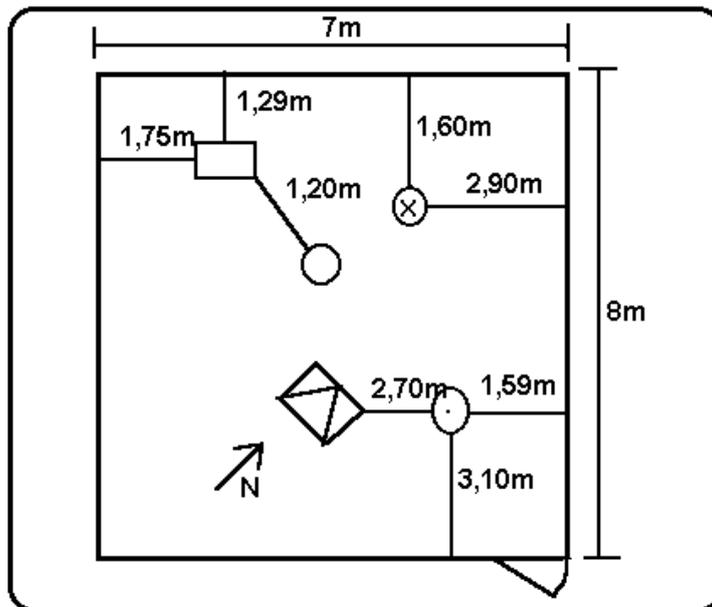
Para descrever a circulação local foram adquiridas duas estações meteorológicas automáticas “Campbell”. Uma das estações foi instalada em Serra do Navio a outra estação foi instalada em Tartarugalzinho (figuras 3.4, 3.5, 3.6 e 3.7).



Figura 3.4 – Foto da Estação em Serra do Navio.



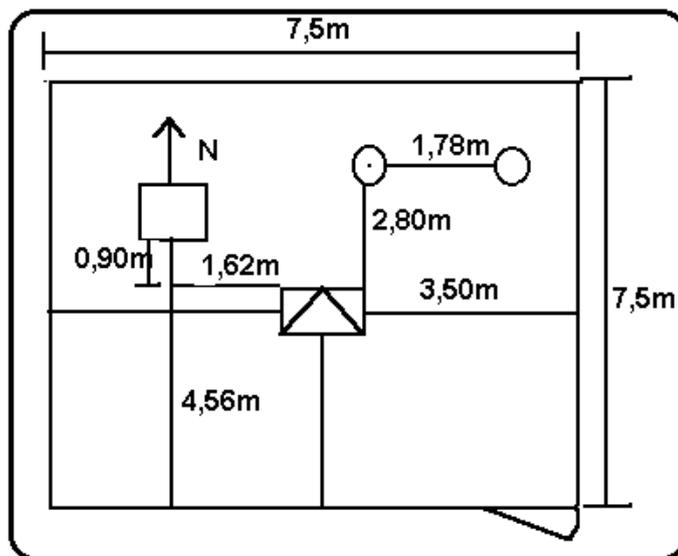
Figura 3.5 – Foto da Estação em Tartarugalzinho.



Legenda:

-  Coletor Wet/Dry
-  Estação Meteorológica
-  Coletor de deposição úmida e seca
-  Pluviômetro
-  Minivol (amostrador de material particulado)

Figura 3.6 - Diagrama da instalação dos equipamentos em Serra do Navio



Legenda:



Figura 3.7 - Diagrama da instalação dos equipamentos em Tartarugalzinho

### 3.1.3.2 - Descrição das Estações Meteorológicas.

As estações meteorológicas consistem em estações automáticas “Campbell” com “dataloggers”, sendo instrumentos compactos e de fácil operação, depois de corretamente instaladas. Foram instalados sensores para medir os seguintes parâmetros meteorológicos: pressão atmosférica, temperatura do ar, umidade relativa, radiação solar total, radiação solar líquida, velocidade do vento, direção do vento, desvio padrão da direção do vento, precipitação e temperatura do solo.

O registro dos dados é feito pelo “datalogger” que pode ser programado de acordo com as necessidades do usuário para o armazenamento de dados; para as estações instaladas a resolução foi de 60 minutos para uma capacidade de armazenamento máxima de 15 dias.

Estações meteorológicas automáticas são convenientes para este tipo de experimento, pois dispensam a presença contínua de um observador para a leitura de dados. Desta forma, estipula-se um período de armazenamento de dados e, ao fim deste período, um técnico dirige-se ao local onde está instalada a estação, passa as informações registradas no “datalogger” para um módulo de memória, que podem ser transferidas para um microcomputador. Um programa lê as informações e decodifica-as. As estações são alimentadas por uma bateria solar. Uma das desvantagens das estações automáticas é que alguns sensores são frágeis e podem facilmente ser danificados, como é o caso dos sensores de vento, que são peças plásticas e podem quebrar-se com o peso de um pássaro que eventualmente pouse em suas hastes. O sensor de radiação é protegido por uma semi-esfera de acrílico, que está sujeita as variações de temperatura, que podem causar rachaduras e comprometer as medidas.

Neste projeto, as estações foram programadas para registrar: médias horárias da temperatura do ar e umidade relativa; valores instantâneos para radiação solar total, radiação solar líquida e pressão atmosférica; médias vetoriais horárias para velocidade e direção do vento. As estações foram programadas de forma que fosse registrada a precipitação acumulada de cada hora e a temperatura média do solo a cada três horas.

### 3.1.3. 3 - Apresentação dos dados meteorológicos

Neste item é apresentada uma análise climática para a região de Serra do Navio e para a de Tartarugalzinho, tendo como base os dados meteorológicos coletados nas duas estações automáticas.

#### 3.1.3.3.1 Os dados meteorológicos de Serra do Navio

Os resultados aqui apresentados auxiliam a interpretação dos dados de CPC, distribuição de tamanho de gotas de chuva, composição da precipitação e da atmosfera, do ponto de vista da circulação e consequente transporte de espécies químicas através da atmosfera. Os dados serão apresentados como valores médios mensais, permitindo a visualização do comportamento médio. Além disso, será apresentada uma descrição das condições sinópticas, tendo como base boletins de análise de modelos numéricos publicados pelo Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos (INPE/CPTEC), análise de cartas sinópticas da Marinha e imagens de satélite.

Na figura 3.8 observa-se que o comportamento da temperatura em Serra do Navio é muito semelhante ao observado para as estações de Macapá e Amapá, no entanto com valores mais baixos, o que pode ser uma consequência da altitude, uma vez que Serra do Navio encontra-se a 289 m de altitude, e as outras ao nível do mar.

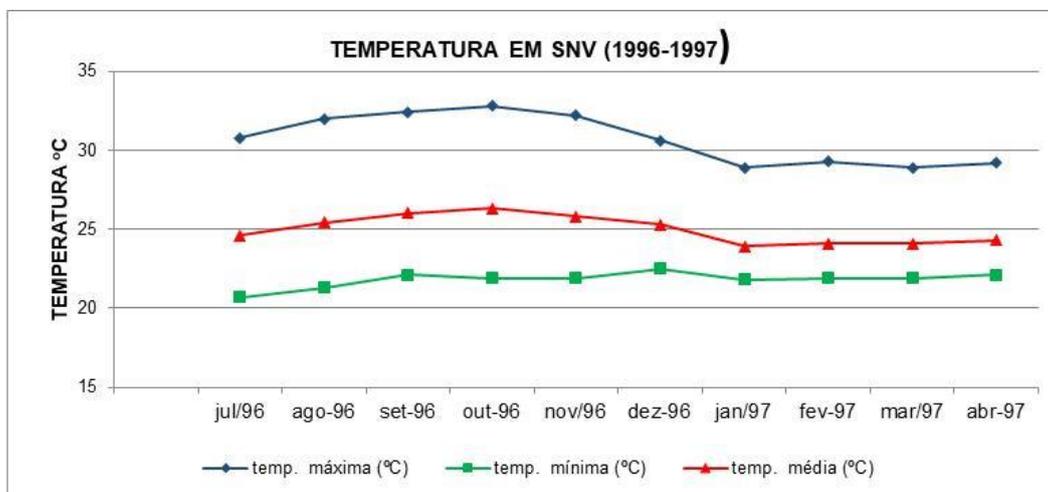


Figura 3.8 - Temperatura média mensal em Serra do Navio.

Na figura 3.9 temos a Umidade relativa (UR) em Serra do Navio. A UR média varia entre 80 e 90%, atingindo um valor mínimo no mês de outubro. Deve-se observar que os valores da UR estão superestimados em virtude de um erro de calibração do sensor de UR da estação meteorológica.

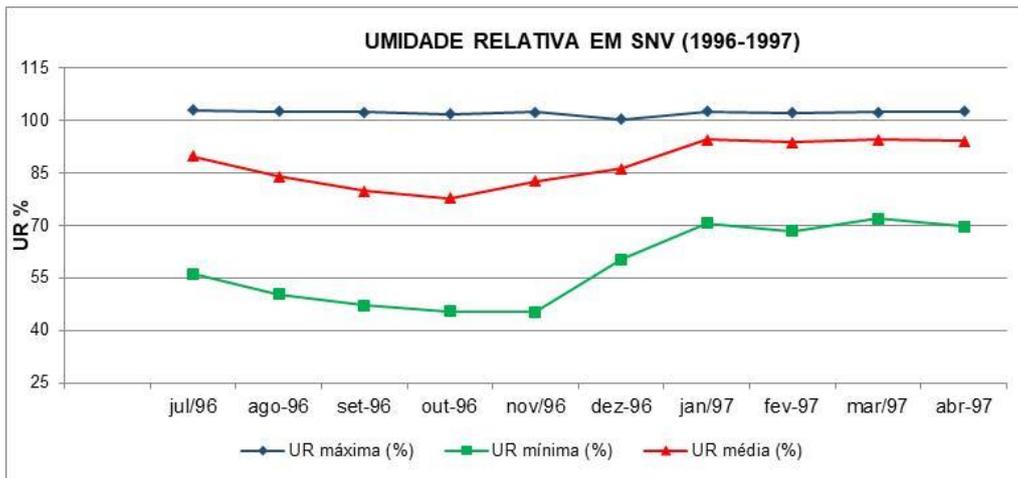


Figura 3.9 - Umidade Relativa média mensal.

Na figura 3.10 é apresentada a variação da pressão medida em Serra do Navio, onde a média da pressão é da ordem de 980 mb. Os baixos valores são influenciados pelo efeito da altitude.

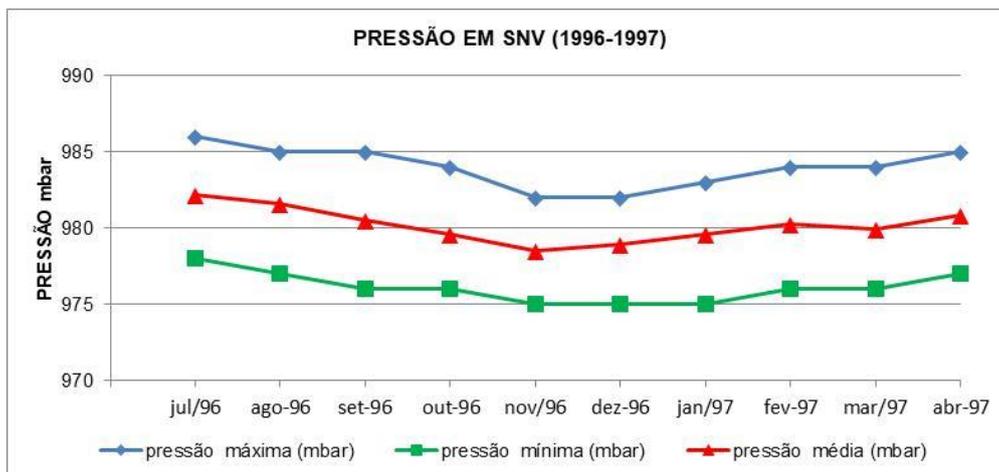


Figura 3.10 – Variação da pressão média mensal

A precipitação mínima observada em Serra do Navio ocorreu no mês de setembro (Fig. 3.11), com aproximadamente 60 mm e a máxima ocorreu em abril, com aproximadamente 300 mm. Estes resultados estão em acordo com os obtidos para as estações de Macapá e Amapá.

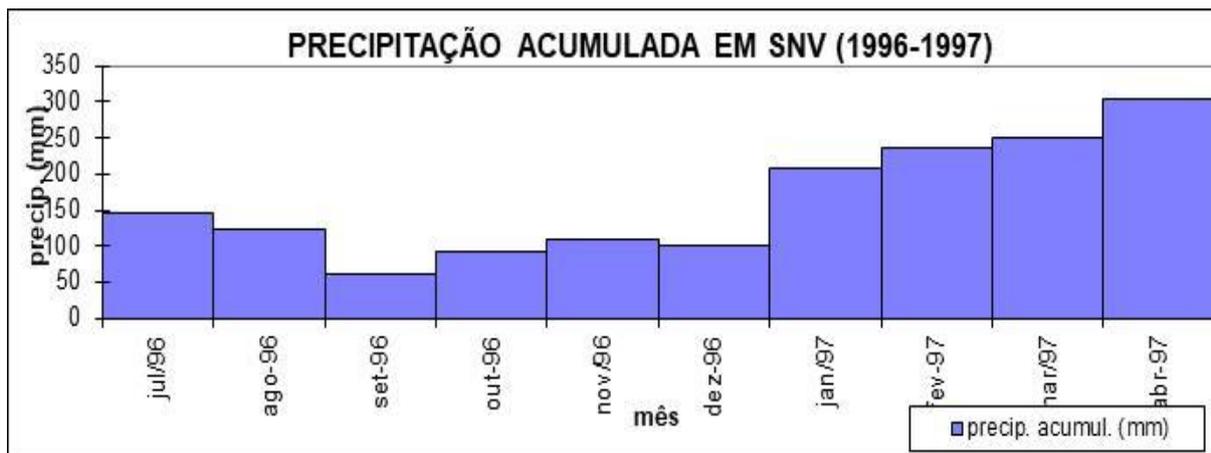


Figura 3.11 - Precipitação acumulada mensal em Serra do Navio.

A velocidade média do vento manteve-se sempre abaixo de 3 m/s, e a frequência relativa manteve-se alta nos quadrantes Q1 e Q2 (figura 3.12).

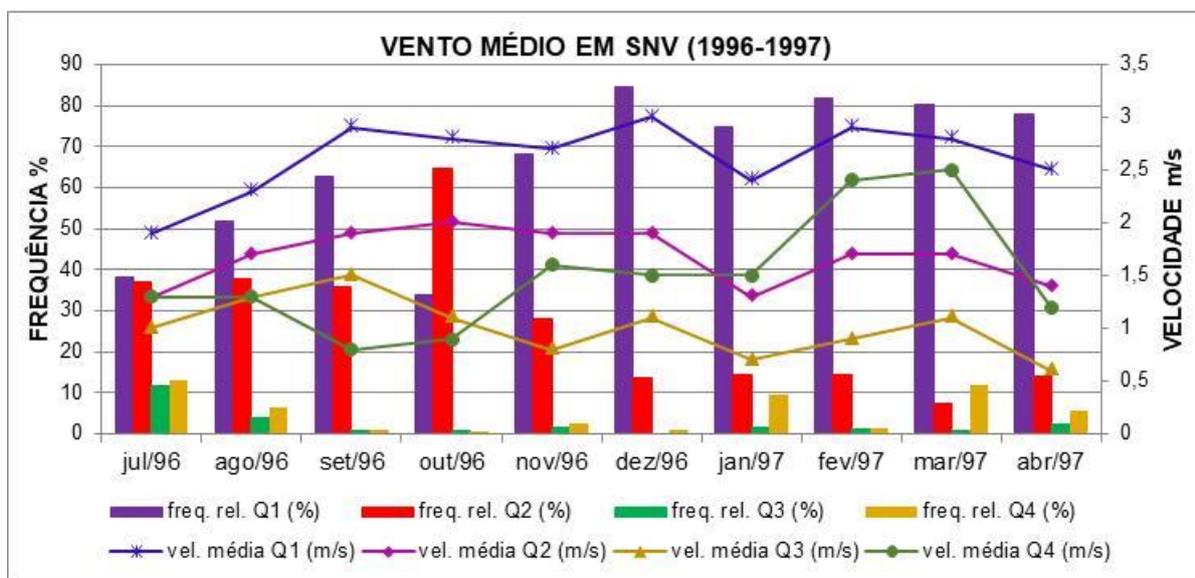


Figura 3.12 - Velocidade média e frequência relativa em cada quadrante.

### 3.1.3.3.2 Os dados meteorológicos em Tartarugalzinho

Na figura 3.13 podem-se observar as médias de temperatura entre setembro de 1996 e maio de 1997. Acompanhando a mesma tendência observada em Serra do Navio, ocorre um declínio de temperatura a partir do mês de dezembro. A temperatura média oscila em torno de 26°C, enquanto que a média da temperatura máxima varia entre 30°C e 35°C e a média da temperatura mínima varia entre 20°C

e 23°C. O mês de abril destacou-se como o mês com menor temperatura média, cujo valor esteve bem próximo ao valor da média da temperatura mínima.

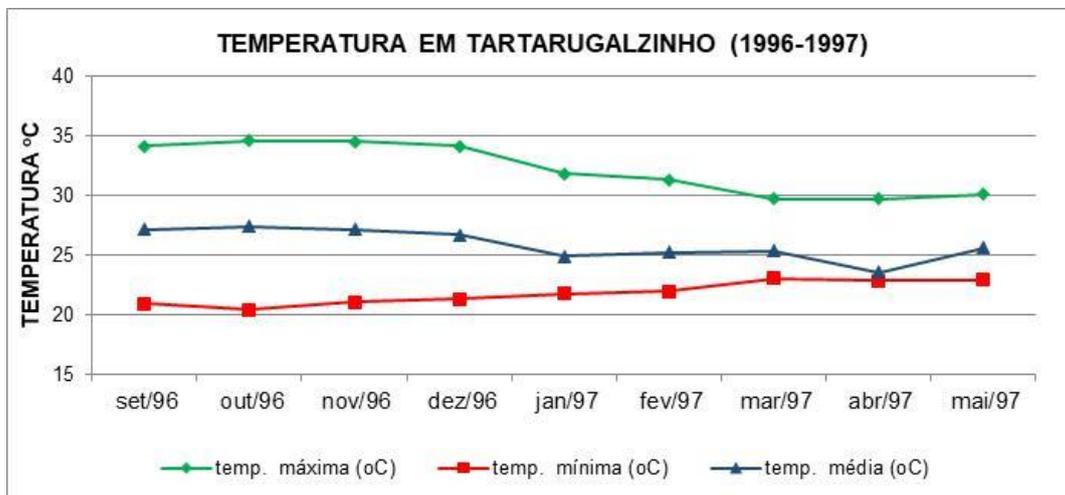


Figura 3.13 - Temperatura média mensal em Tartarugalzinho.

O comportamento da UR em Tartarugalzinho é muito semelhante ao de Serra do Navio. É observado um mínimo da UR média no mês de outubro de 1996 e a partir de janeiro esse valor é praticamente constante (figura 3.14). As médias da UR variam entre 70 e 90% e as médias da UR mínima variam entre 40 e 60%, enquanto as médias da UR máxima diária permanecem praticamente constantes, da ordem de 100%.

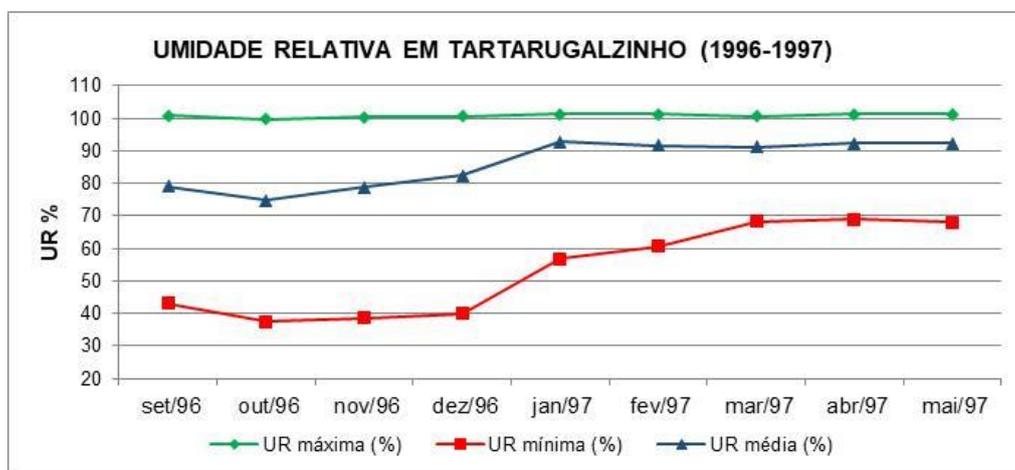


Figura 3.14 - Umidade Relativa média mensal.

A média mensal de pressão oscila em torno de 1010mb (Figura 3.15). Durante o período é observado um mínimo no mês de novembro. As mínimas oscilam em torno de 1005mb, enquanto as máximas oscilam em torno de 1007mb.

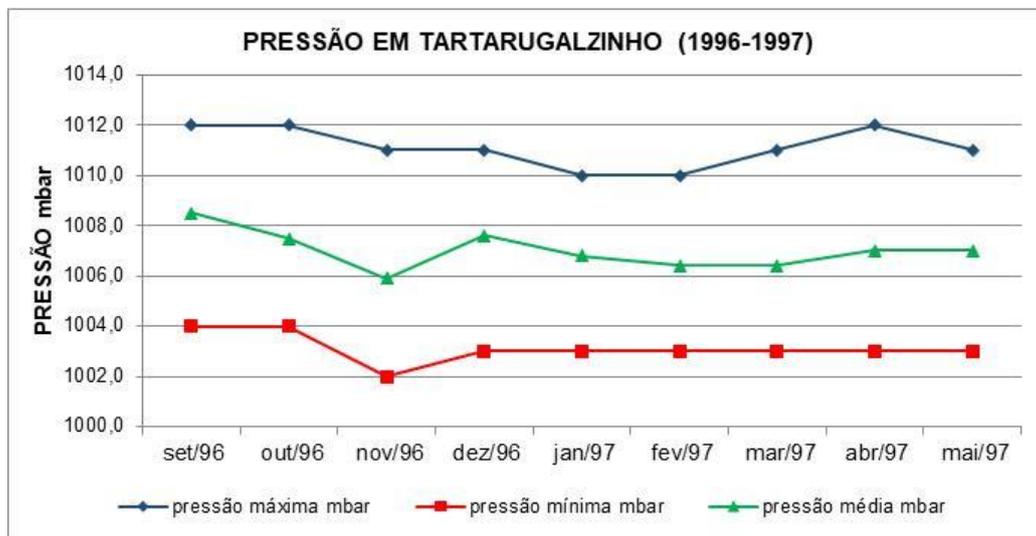


Figura 3.15 - Pressão média mensal em Tartarugalzinho.

A precipitação em Tartarugalzinho apresentou algumas diferenças com relação à Serra do Navio para o período estudado (figura 3.16). O valor mínimo observado (0,1 mm) é bem inferior ao de Serra do Navio (61,3 mm), embora os mesmos tenham ocorrido no mês de setembro nas duas localidades. O valor máximo registrado em Tartarugalzinho ocorreu em janeiro (344 mm), enquanto que o valor máximo em Serra do Navio ocorreu em abril (305mm).

As diferenças entre as duas estações refletem as características das duas regiões, uma vez que os ecossistemas não são os mesmos. Tartarugalzinho é uma boa ilustração de clima de cerrado, com um período mais seco (3 meses com UR ao redor de 40%), enquanto que Serra do Navio não tem uma sazonalidade da umidade relativa tão pronunciada (UR ao redor 50%), mais típico para ecossistemas florestais. As diferenças de precipitação acumulada abaixo de 100 mm também refletem esta diferença; nos meses de outubro a dezembro, em TRT, ela é sempre acima de 100 mm mesmo no período de seca em SNV.

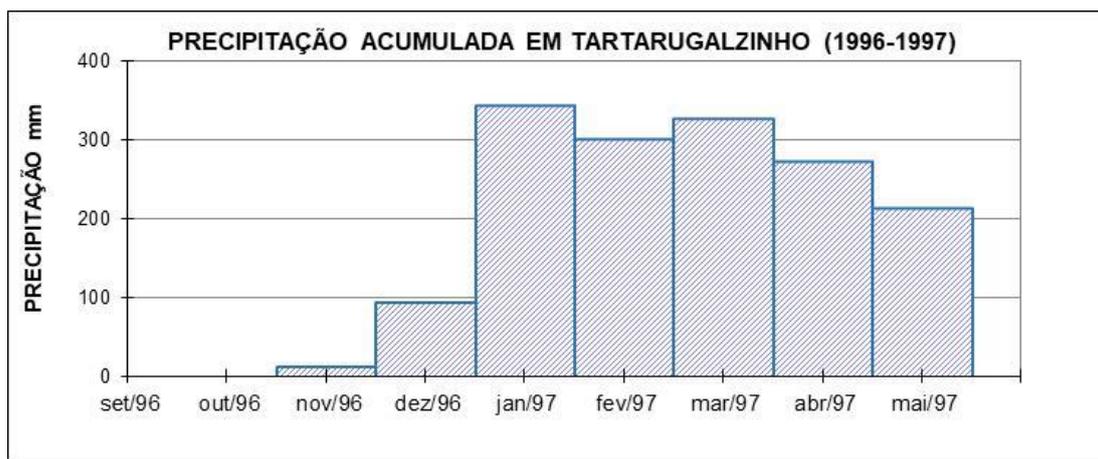


Figura 3.16 - Precipitação acumulado mensal em Tartarugalzinho.

Na figura 3.17 mostra-se que a velocidade média do vento é mais alta nos quadrantes Q1 e Q2 e que os ventos têm frequência relativa maior nos quadrantes Q1, Q2 e Q4.

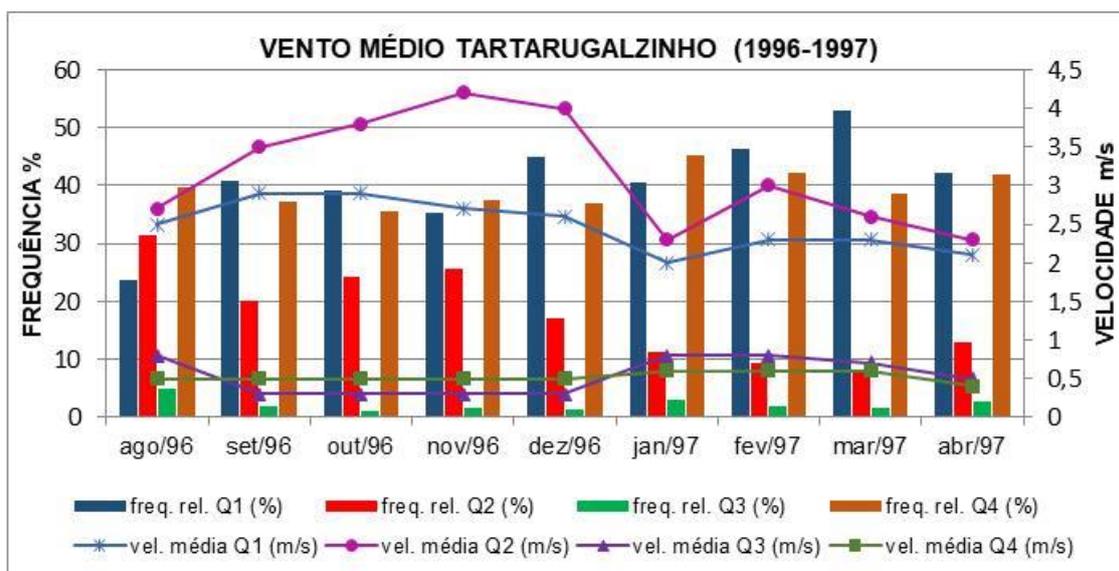


Figura 3.17 - Velocidade média e frequência relativa do vento em Tartarugalzinho.

Analisando-se todos os dados climatológicos disponíveis algumas conclusões podem ser apresentadas. Na estação de Amapá a temperatura média mensal oscilou entre 26°C e 29°C, enquanto que na de Macapá variou entre 26°C e 28°C. Em ambas as estações o mês mais quente é outubro. As temperaturas médias mensais de bulbo úmido e de ponto de orvalho variam menos de 1°C. A temperatura média de bulbo úmido permanece na faixa dos 24°C e a temperatura média do ponto de orvalho na faixa dos 23°C, nas duas estações. Os valores mínimos da média mensal de precipitação foram observados no mês de outubro no Amapá e setembro em Macapá. Em média, o

mês mais chuvoso em Macapá é abril, enquanto que no Amapá é maio. Assim como a precipitação, também é observado um ciclo sazonal do vento, com frequências altas no quadrante NE nos primeiros meses do ano, atingindo um máximo no mês mais chuvoso, com tendência a diminuir. A frequência do quadrante SE aumenta à medida que diminui no quadrante NE, passando por um máximo nos meses de junho ou julho. Esta variação anual da frequência está relacionada ao deslocamento da ZCIT. Em média, Serra do Navio e Tartarugalzinho encaixam-se no mesmo quadro dessas outras duas estações. Observou-se ainda uma grande variabilidade interanual no ciclo hidrológico para a estação de Amapá. Rocha et al. (1989) atribuíram essa variabilidade nas décadas de 60 e 70 à influência de fenômenos de grande escala e não a mudanças no regime hidrológico devido ao desmatamento. Marengo (1992) observou que anos mais chuvosos na região Amazônica são caracterizados por um centro de alta pressão anômalo no Atlântico Norte tropical, ventos de alísios de nordeste mais intensos, temperatura da superfície do Atlântico Norte mais baixas e aumento de nebulosidade. A intensificação dos alísios de nordeste podem intensificar a convergência e favorecer a atividade convectiva. Nos anos mais secos, Marengo observou um comportamento totalmente oposto da circulação, sendo que os anos mais secos tendem a coincidir com os eventos mais fortes de El Niño.

Marengo (1995) identificou um centro semi-permanente de convecção sobre a foz do rio Amazonas. Este subcentro apresenta variação interanual de intensidade e localização, constituindo outro mecanismo responsável pela variabilidade interanual da precipitação.

#### **3.1.4. Hidrologia da Serra do Navio**

Foram construídas infraestruturas para medida de vazão do igarapé Pedra Preta, tanto na saída da sub-bacia natural (PN) como na saída da bacia (PF). Entretanto, o equipamento para medidas de vazão, instalado em PN, jamais funcionou durante todo o período do projeto. Na saída da bacia (PF) foi planejada a realização de medidas de fluxo manualmente, o que foi realizado esporadicamente. O sistema automático (instalado em PN) não funcionou, apesar dos esforços; o equipamento para a aquisição dos dados (Datalogger) não funcionou devido à alta umidade do ambiente da floresta.

Para avaliar os processos físico-químicos nessa bacia é importante estimar o balanço hidrológico. Para tal, o componente relativo à vazão superficial do balanço hidrológico foi estimado a partir de dados meteorológicos e hidroquímicos. Entretanto, são necessárias algumas considerações a respeito da aproximação utilizada. A equação de balanço de água para uma bacia hidrológica pode ser escrita como:

$$P = ET + R + G + \Delta S \cong ET + Q \quad (1)$$

Onde P é a entrada de água na bacia via precipitação, ET é a evapotranspiração, R é o fluxo superficial mais subterrâneo, G é a recarga subterrânea,  $\Delta S$  é a variação anual do armazenamento de água na bacia, e Q é o fluxo de água medido no canal. Desta equação a variável evapotranspiração é a mais difícil de medir.

Claassen & Halm (1996) apresentam um método de estimativa de valores médios de ET baseado na concentração de cloreto nas águas que circulam na bacia. Sendo [Cl<sub>B</sub>] e [Cl<sub>P</sub>] as concentrações de Cl- na água subterrânea e na chuva respectivamente, pode-se estimar ET através da relação:

$$ET = \frac{P \cdot ([Cl_B] - [Cl_P])}{[Cl_B]} \quad (2)$$

Na tabela 3.5 mostra-se, na coluna rotulada “clor”, valores médios mensais de ET [mm], para o período de Junho/96 a Agosto/97, calculado pela equação 2. O fluxo médio mensal de água que corre através do igarapé pode então ser estimado com a ajuda da equação 1. Nesta tabela é mostrada a precipitação medida na clareira e a precipitação “efetiva” já descontada a interceptação pela vegetação.

Tabela 3.5. Balanço hidrológico na Bacia do igarapé Pedra Preta. Chuva efetiva refere-se à chuva medida acima da vegetação, subtraída a quantidade que foi interceptada pela mesma. A evapotranspiração foi calculada através das concentrações de cloreto nas águas de chuva e igarapé (coluna ‘clor’) e através da equação de Penman-Monteith (coluna ‘mod’). As vazões são as calculadas através da equação de balanço (1) e as medidas (coluna ‘med’).

		Região Natural de Floresta						Saída da Bacia				
Mes	Chuva (mm)	Chuva Efetiva (mm)	ETP (mm)		Vazão (l/s)			ETP (mm)		Vazão (l/s)		
			clor	mod	clor	mod	med	clor	mod	clor	mod	med
Fev/96	126	76	22	70	15	16		26	70	250	183	
Mar	457	362	163	115	54	41		55	115	1008	525	
Abr	314	187	93	115	25	30		75	115	600	416	
Mai	334	284	165	113	32	38		167	113	420	454	
Jun	340	309	178	112	35	46		148	112	482	435	
Jul	198	177	84	70	25	37	16	67	70	329	370	96
Ago	122	122		76		25			76		216	
Set	71	53	37	76	4	12	7	32	87	97	88	30
Out	135	126	37	118	24	7		35	118	250	59	
Nov	130	106	70	100	10	4	4	70	100	150	55	22
Dez	57	50	22	64	8	2		21	69	91	21	22
Jan/97	251	251		66		26			66		286	
Fev	158	76	13	62	17	15	3	7	62	378	203	30
Mar	308	316	159	68	42	41	11	171	68	344	440	30
Abr	328	269	132	70	37	47	5	122	70	516	521	31
Mai	379	193	188	72	1	40	7	114	72	665	545	56
Jun	4	3	2	36	1	20	8	2	35	7	201	42

Para efeito de comparação dos resultados, foi efetuado também um balanço de água na bacia do igarapé Pedra Preta utilizando um modelo numérico. A figura 3.18 mostra um diagrama com os principais componentes de um modelo simplificado aplicado à bacia em questão. Uma parte da chuva que atinge a região retorna imediatamente para a atmosfera na forma de vapor d’água; outra parte é parcialmente interceptada pela vegetação, e a excedente atinge o solo. No solo, ela alimenta a camada superficial,

sendo consumida pela vegetação através da evapotranspiração. Quando esta camada atinge o seu potencial máximo de armazenamento, qualquer entrada de água no solo irá alimentar um reservatório subterrâneo. A água desse reservatório recarregará posteriormente os cursos superficiais de água.

### Modelo hidrológico simplificado da bacia do igarapé Pedra-Preta

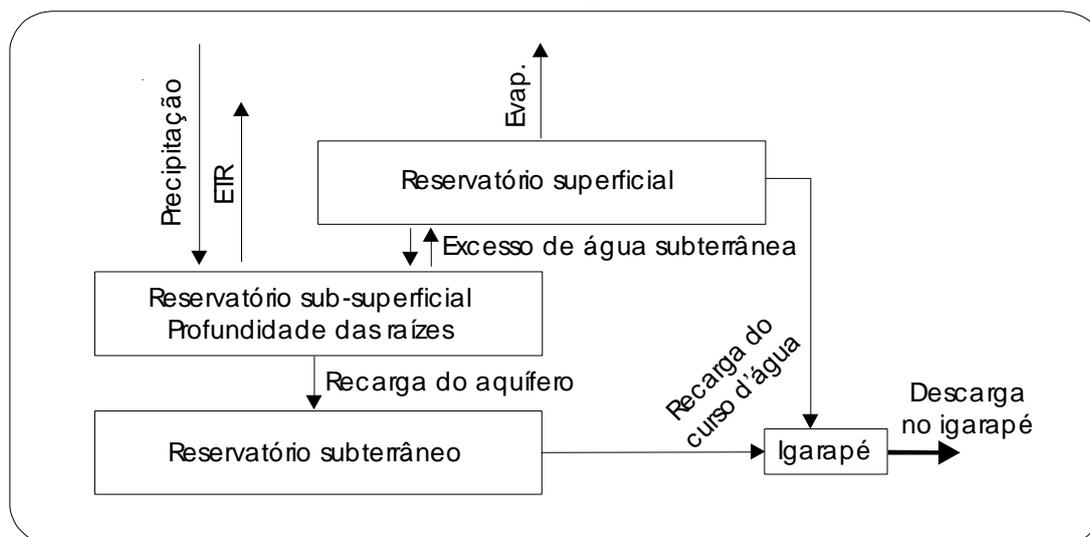


Figura 3.18 - Diagrama esquemático mostrando as principais componentes do ciclo hidrológico utilizadas no modelo hidrológico.

Para a aplicação do modelo a bacia foi dividida em duas sub-bacias. Uma delas representa uma região de floresta natural, e a outra uma região com o solo praticamente descoberto. O lago existente no interior da bacia, na região de floresta natural, não foi levado em consideração no modelo devido à inexistência de medidas de variáveis relevantes para a dinâmica hídrica do mesmo. Por exemplo, o monitoramento contínuo da vazão à saída do lago possibilitaria uma estimativa do tempo de residência da água em seu interior e de sua taxa de descarga. Desta forma o efeito ‘amortecedor’ do lago sobre os fluxos na saída da bacia poderiam ser considerados. Devido às dimensões da bacia (pequena), este efeito não deve ser importante para o balanço hídrico mensal, mas se torna bastante importante para simulações de eventos de curta duração temporal.

Os resultados calculados pelo modelo são mostrados na tabela 3.5. Os valores da evapotranspiração (coluna rotulada “mod”) referem-se à evapotranspiração real (ETR) calculada pelo modelo. Basicamente, ETR leva em consideração o excesso ou falta de água de chuva que chega ao sistema e a

quantidade de água disponível às plantas, na camada superficial do solo. Se o sistema é capaz de suprir as necessidades hídricas da vegetação, então  $ETR = ETP$ . Caso contrário  $ETR < ETP$ .

As estimativas da vazão média mensal no igarapé, geradas pelo modelo em dois pontos da bacia, estão mostradas na figura 3.19. A taxa de evapotranspiração potencial (ETP) utilizada pelo modelo foi obtida a partir de dados meteorológicos, utilizando-se a equação de Penman-Monteith. Em alguns meses, quando essas informações da estação meteorológica eram insuficientes ou inexistentes, estimou-se a ETP através da equação de Thornthwaite, que necessita apenas de valores médios mensais da temperatura ambiente e da radiação solar incidente.

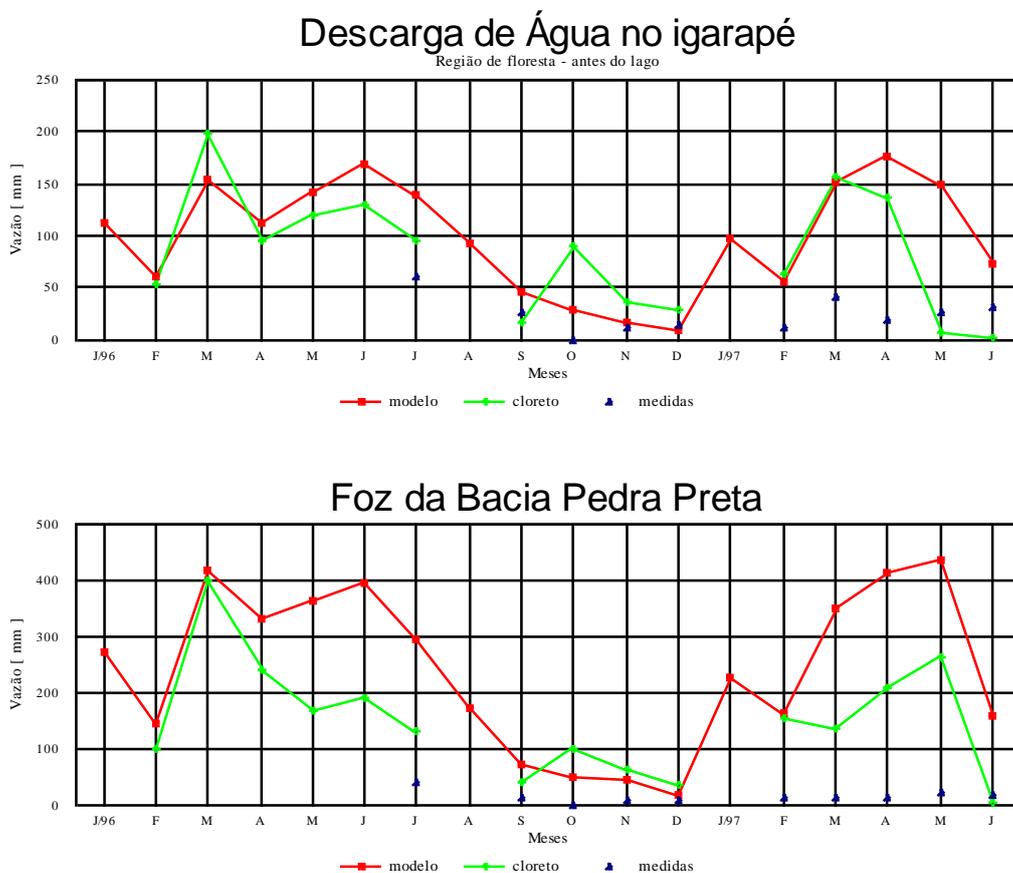


Figura 3.19 - Fluxo de água [mm] mensal no igarapé em dois pontos da Bacia Pedra Preta: região de floresta, e foz. Os valores apresentados correspondem às estimativas realizadas pelo método do cloreto, pelo modelo hidrológico, e por medidas esporádicas nos locais.

Pode-se ver pela figura 3.19 que as vazões estimadas pelo método do cloreto e pelo modelo hidrológico não apresentam boa concordância na escala de tempo mensal. Apenas mostram tendências semelhantes quanto ao aumento ou diminuição do fluxo ao longo dos meses. Vários aspectos contribuem para essas

discordâncias. Com relação ao modelo hidrológico utilizado, o fato de não ter sido possível calibrá-lo e de não ter sido considerado o lago no interior da bacia, contribuem sobremaneira para as discrepâncias observadas nas estimativas da vazão. Essas discrepâncias são ainda maiores quando se consideram as vazões medidas no igarapé nos pontos de floresta e foz da bacia. Em ambos os casos, os valores dos fluxos medidos são bem menores do que os estimados pelo método do cloreto ou pelo modelo hidrológico. Essas diferenças marcantes encontradas são provavelmente devidas à sistemática utilizada para a medição da vazão. Se os fluxos tivessem sido monitorados ininterruptamente com um linígrafo, provavelmente as vazões médias integradas durante o mês seriam mais coerentes com as duas outras estimativas apresentadas.

Mesmo considerando a existência de discrepâncias entre os valores obtidos com o modelo teórico e com os cálculos através da concentração do cloreto nas águas, considerou-se pertinente estimar o balanço hidrológico a partir dessas concentrações. Primeiro, pela necessidade de avaliar esses valores e segundo, porque, quando o intervalo de tempo é mais longo, como, por exemplo, seis meses, as discrepâncias são, aparentemente, menores. O tempo de residência dessas águas nessa bacia é ligeiramente inferior, ou da ordem de seis meses.

Os trabalhos cobriram vários períodos hidrológicos que, para simplicidade nos cálculos e facilidade na compreensão, foram divididos em períodos de baixa (segundo semestre de cada ano) e alta precipitação (primeiro semestre de cada ano), período anual (cada um dos três anos: julho93 a junho94, junho95 a maio96 e junho96 a junho97) e o período total: julho de 1993 a junho de 1997. O balanço hidrológico, para a bacia do igarapé Pedra Preta, foi calculado a partir dos resultados das medidas dos volumes precipitados através da precipitação e da transprecipitação. A evapotranspiração foi calculada a partir das concentrações de cloreto nas águas de chuva e do igarapé. Considera-se que essas concentrações representam os valores das concentrações do fluxo de base, uma vez que a maior parte das coletas foi realizada na parte mais baixa da hidrógrafa (Claassen & Halm, 1996). Com os valores da precipitação e da evapotranspiração foi estimada vazão do igarapé para os diferentes períodos, valores estes utilizados para calcular os fluxos anuais das diferentes espécies químicas. Os resultados desse balanço são mostrados na tabela 3.6..

Tabela 3.6 – Balanço hidrológico, em mm, estimado através do cálculo da evapotranspiração (ET), para os diferentes períodos considerados (PN: saída da área natural da bacia, PF: saída da bacia como um todo).

Períodos	Transprec. (mm)	Precipitação (mm)	ET em PN (mm)	ET em PF (mm)	Intercep. (mm)	Vazão – PN (mm)	Vazão – PF (mm)
Total	5149,2	6268,1	2582,3	2274,5	1118,9	2566,9	3993,6
JL93-JN94	2017,0	2305,7	958,3	952,9	288,7	1058,8	1352,8
JN95-MA96	1394,4	1799,5	680,2	511,9	405,1	714,2	1287,6
JN96-JN97	1677,6	2108,3	921,4	788,4	430,7	756,2	1319,9
Seco 93	834,3	944,4	305,5	286,0	110,2	528,8	658,4
Chuvoso 94	1243,0	1415,9	675,3	688,2	172,9	567,7	727,7
Seco 95	485,6	569,2	236,7	189,8	83,6	248,9	279,3
Chuvoso 96	1217,5	1570,8	621,8	470,2	353,3	595,6	1100,6
Seco 96	512,1	591,1	249,7	224,9	78,9	262,4	366,2
Chuvoso 97	856,7	1176,8	493,3	415,4	320,0	363,5	761,4

## 3.2. COLETA DE AMOSTRAS

### 3.2.1. Amostragem para determinação do Mercúrio.

O Hg ocorre na natureza sob diversas formas químicas, frequentemente voláteis, instáveis e em baixas concentrações (níveis de ppb). Para cada tipo de amostra, a coleta e preservação para a análise representa um desafio específico. Para os solos, sedimentos e peixes, a conservação de amostras não é difícil devido às maiores concentrações de Hg. No entanto, para amostras de vegetação e, sobretudo águas, os riscos de perda de Hg e contaminação das amostras são altos. As plantas absorvem e exsudam vapor de Hg, e este é capaz de atravessar embalagens de polietileno com facilidade. A água (de chuva, de superfície, subterrânea) é a matriz mais problemática no que diz respeito às análises de Hg. Os níveis de Hg total normalmente não ultrapassam algumas partes por trilhão, o que exige um protocolo de coletas rigorosamente limpo e o emprego de materiais como garrafas de Teflon®, ácidos ultrapuros, etc. A análise deve ser, na medida do possível, feita logo após a coleta, para evitar o uso de preservantes e assim minimizar os riscos de contaminação. Com níveis tão baixos de Hg, a análise praticamente só pode ser realizada por espectrofotometria de fluorescência atômica com geração de vapor a frio e pré-concentração em lâ de ouro. A maior disponibilidade desta técnica em anos recentes permitiu obter dados confiáveis sobre as concentrações de Hg total e metil-Hg(MeHg) em águas naturais, e os mesmos indicam que praticamente todos os dados produzidos há mais de 3 anos eram bastante superestimados devido aos problemas analíticos e de contaminação das amostras, o que levou a uma total revisão dos fluxos estimados de Hg entre os compartimentos ambientais.

Nesta seção são descritos os métodos de preparo das amostras e técnicas analíticas utilizadas, nos diferentes laboratórios envolvidos nesta parte do projeto, para as análises do Mercúrio.

#### 3.2.1.1 - Águas e material em suspensão.

O Hg total nas águas da precipitação, transprecipitação e do igarapé Pedra Preta foram analisadas no laboratório Brooks Rand nos USA. As amostras foram coletadas durante dez meses em recipientes fornecidos pelo laboratório e preservadas com ácido clorídrico ultrapuro.

O material em suspensão nos diferentes cursos d'água foi coletado uma vez por mês e sua concentração obtida pelo método de floculação. Esse método, desenvolvido no Laboratório de Radioisótopos do Instituto de Biofísica da UFRJ, consiste em obter uma mistura de 25 l de amostra de água de superfície com Hidróxido de sódio e Sulfato de alumínio; após a decantação (equivalente à pré-concentração) a amostra é secada a 50°C e a seguir processada da mesma forma que o sedimento de fundo.

### 3.2.1.2 - Sedimentos de fundo e solos.

Nos lagos da área de Tartarugalzinho a variação vertical dos teores de Hg nos sedimentos de fundo foi determinada através da análise de testemunhos de sondagens obtidos com perfilador remoto (core sampler) ou manualmente (tubo). Amostras superficiais dos sedimentos de fundo de lagos e rios das duas áreas estudadas foram coletados com uma draga de Ekman. Todas as amostras foram congeladas, e assim permaneceram até tratamento.

Perfis de solos, abertos em trincheiras ou definidos por tradagem manual, permitiram a obtenção de amostras dos diferentes horizontes pedológicos e da camada vegetal morta (serapilheira). Estas amostras também foram congeladas até tratamento.

Na preparação das amostras foram tomados todos os cuidados necessários para se evitar qualquer tipo de contaminação com mercúrio (laboratórios limpos, vidraria utilizada com uso exclusivo para esta atividade, lavagem do material utilizado seguindo padrões internacionais, uso de reagentes ultrapuros, etc.). Uma vez descongeladas, as amostras de sedimento foram peneiradas em 62 µm (interessa a fração < 62 µm) e as amostras de solos em 2 mm (interessa a fração < 2 mm). As amostras (solo e sedimento) foram então secas a 50° C e armazenada em saco plástico ou frasco de borosilicato.

### 3.2.1.3 - Peixes.

Os peixes, comprados diretamente dos pescadores, foram identificados, medidos e pesados antes de serem congelados. As amostras liofilizadas foram pesadas em sacos de polietileno. Foram analisadas as seguintes espécies de peixe: Tucunaré (*Cichla temensis*, *Cichla ocellaris*), Piranha (*Serrasalmus* spp.) e Traíra (*Hoplias* sp.).

Visando avaliar preliminarmente a biodisponibilidade do Hg nos dois lagos de coleta (Duas Bocas e Pracuúba), realizaram-se medidas de metilmercúrio (MeHg) em amostras de Tucunaré pitanga (*C. temensis*) de peso e tamanho comparáveis, por digestão alcalina, extração em ditizona em benzeno e quantificação por cromatografia gasosa com detector de captura de elétrons (Akagi & Nishimura, 1991). Determinaram-se ainda os potenciais de metilação líquida de Hg em sedimentos superficiais às margens dos dois lagos. Amostras e controles acidificados em quantidade equivalente a um grama de massa seca foram incubados a 25°C no escuro com  $^{203}\text{Hg}$  ( $1.4 \mu\text{g.g}^{-1}$ ) por três dias. Após interrupção da incubação com 1 ml de HCL 4N, o Me  $^{203}\text{Hg}$  formado foi determinado por lixiviação ácida, extração em tolueno e quantificação por cintilação líquida (Guimarães et al, 1995).

#### 3.2.1.4 - *Vegetais.*

As amostras de plantas foram inicialmente lavadas com água deionizada e, em seguida, com água destilada. Posteriormente, essas plantas foram acondicionadas em sacos de papel e secadas em estufa a 48° C até peso constante. Em seguida, foram colocadas novamente no saco plástico em que foram coletadas inicialmente e moídas manualmente até ficarem quase na forma de pó. As plantas analisadas foram Aguapé (*Eichhornia azurea*) e uma espécie arbórea de pequeno porte, não identificada, existente na mata da bacia do igarapé Pedra Preta.

#### 3.2.1.5 - *Cabelos humanos.*

Para as análises de cabelo foram amostrados indivíduos representando uma larga faixa de idade. Um questionário sobre dieta e outros hábitos era aplicado a cada doador.

Amostras de cabelos são mais fáceis de coletar e preparar do que as outras amostras biológicas, como o sangue, a urina e outros tecidos. Além disso, é uma coleta melhor tolerada por ser menos invasiva. O mercúrio absorvido e concentrado pelo cabelo apresenta notável estabilidade e assim, as amostras podem ser estocadas a temperatura ambiente por anos sem perdas de Hg ou metilmercúrio. Análises realizadas no sentido do comprimento das mechas permitem levantar a história recente da incorporação de Hg, uma vez que a taxa de crescimento do cabelo varia pouco. Para os casos de urina e sangue, os níveis de Hg encontrados são variáveis e de interpretação mais complexa. A análise por ativação com nêutrons instrumental, devido à sua capacidade multielementar, tem sido aplicada por diversos autores para a análise de um grande número de elementos-traço no cabelo (Krishnan et al., 1985; Muramatsu & Parr, 1988). No caso específico do mercúrio e de outros elementos, como arsênio, selênio e antimônio, além da análise puramente instrumental, também têm sido aplicadas separações químicas (Vasconcellos et al., 1994).

As amostras de cabelos humanos devem ser coletadas seguindo o procedimento recomendado pela Agência Internacional de Energia Atômica (IAEA). O cabelo deve ser cortado com tesoura, em vários pontos da cabeça, preferencialmente da área occipital e o mais próximo possível do escalpo. A quantidade mínima deve ser de 0,5 g, sendo, entretanto a quantidade ideal de 2 g. A porção próxima ao escalpo é amarrada com uma linha para permitir a identificação. A amostra deve ser colocada em um envelope plástico devidamente descontaminado. O procedimento de preparação da amostra para análise é o seguinte: a) congelar em nitrogênio líquido, b) cortar em segmentos, com o menor comprimento possível, ou pulverizar em um homogeneizador de Teflon®, c) transferir para um béquer e lavar com acetona (a amostra deve ser coberta completamente com o solvente), d) agitar frequentemente por um período de 10 minutos, e) deixar decantar e permitir a evaporação do solvente à temperatura ambiente.

Repetir a lavagem com acetona. A seguir, lavar três vezes com água destilada e finalmente com acetona. Cada etapa de lavagem deve durar 10 minutos, descartando-se sempre cuidadosamente o solvente. Deixar secar no béquer aberto e transferir para um recipiente descontaminado.

### **3.2.2. Amostragem de água para determinações químicas e físico-químicas.**

Para a coleta das águas de chuva, foram utilizados dois tipos de coletores. O coletor do tipo "wet-only" (fig 3.18a) e o do tipo "bulk" (fig 3.18b). O coletor wet-only (marca MTX-Italy) tem um sensor que aciona um mecanismo que permite sua abertura assim que se inicia a precipitação. Com isso, não há deposição de partículas sobre o recipiente de coleta. No coletor "bulk" o recipiente de coleta permanece exposto todo o período recebendo o particulado que é depositado por gravidade e a área do funil foi de 167,42mm.



(a)



(b)

Figura 3.20 - Foto do coletor “wet-only” (a) e do “bulk” (b).

Para cada amostra coletada, foram obtidas alíquotas de cada tipo de coletor. Cada alíquota foi dividida em alíquotas com espécies em solução (amostra filtrada em filtros com  $0,22\ \mu\text{m}$  de diâmetro de poro) e alíquotas totais (sem filtrar).

Em Serra do Navio, foram instalados dois coletores (um “wet-only” e um “bulk”) na Estação Meteorológica e três coletores do tipo “bulk” em clareiras da bacia do igarapé Pedra Preta. Os coletores de transprecipitação instalados sob a floresta foram do tipo “bulk”. Em Tartarugalzinho foram instalados dois coletores (“wet-only” e “bulk”) na Estação meteorológica.

A concentração das espécies químicas nas amostras de chuva tem um componente que depende do total e da taxa de precipitação durante o período de amostragem. Assim, quanto maior a quantidade de chuva, mais diluída será a amostra. Além disso, quanto maior a taxa de precipitação, maior será a remoção das espécies químicas da atmosfera. Por esta razão, é necessário conhecer o total acumulado e a taxa de precipitação durante o período em que os coletores ficaram expostos para a obtenção da amostra. Em Serra do Navio, devido à disponibilidade de pessoal e equipamentos, foram medidos os volumes coletados para todas as amostras, permitindo assim estimar a precipitação durante todo o período de coletas. Foram também coletados dados de precipitação através de um pluviômetro localizado na bacia do igarapé Pedra Preta e da estação meteorológica. Com esses dados, registrados a cada minuto, foram calculadas as taxas de precipitação para alguns intervalos de coletas de aerossóis e chuva. A quantidade de amostras disponíveis permite uma boa análise estatística dos dados, bem como cálculos da deposição das espécies químicas sobre a bacia em estudo.

Em Tartarugalzinho, não foi possível realizar medidas dos volumes amostrados, devido ao alto risco de contaminação das amostras; contava-se com o bom desempenho da estação meteorológica. Infelizmente, do início de operação em janeiro de 1996 até agosto do mesmo ano, os dados foram obtidos irregularmente ou falhos, o que não permite estimar corretamente as entradas das espécies químicas para o sistema. Houve também falha na coleta das amostras, com períodos sem amostragem ou longos intervalos de tempo de exposição dos coletores. Entretanto, esses problemas não invalidam as discussões sobre a química dessas águas. A frequência prevista para as coletas das amostras foi a cada 15 dias, porém, devido a problemas logísticos, várias amostras foram obtidas com períodos variados. A lista das amostras com os resultados analíticos são apresentados na tabela A3.2 do Apêndice 3 – Dados Extras.

Os recipientes coletores utilizados são de material quimicamente inerte (polietileno ou polipropileno). No campo, sempre que possível, foram protegidos de exposição direta ao sol. Esses recipientes foram sempre descontaminados a cada coleta (troca de recipiente). O procedimento para descontaminação foi o seguinte: recipientes imersos por 24 horas em uma solução de ácido nítrico 10% em volume e, após esse período, enxaguados com água deionizada com um volume total cinco vezes o volume do recipiente. Nas amostras de chuva com períodos de coletas superior a sete dias foram colocados, no

recipiente de coletas, o bactericida timol na proporção de 10 mg para cada 500 ml de amostra coletada (Gillet & Ayres, 1991).

As análises químicas foram feitas o mais rápido possível, entretanto devido à distância e problemas de transporte, nem sempre foi possível realizá-las nos dois meses subsequentes às coletas. Por esta razão, todas as amostras foram preservadas de tal modo que as espécies de interesse pudessem ficar estabilizadas por longo período (um ano). Foram realizados testes de estabilidade e não foram notadas diferenças significativas ao longo desse período. As espécies químicas analisadas foram as seguintes:  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{SO}_4^{2-}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Mn}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ . Além disso, foram analisados, em algumas amostras, o teor de carbono orgânico total, o Hg total e medidos o pH, a alcalinidade e a condutividade.

As alíquotas das amostras utilizadas para a análise de metais foram armazenadas em garrafas de polietileno comum. Para a análise dos ânions e dos orgânicos, foram utilizados frascos de polietileno de alta densidade e vidro de borosilicato, respectivamente.

Todas as amostras das soluções aquosas foram filtradas em filtros de membrana com 0,2  $\mu\text{m}$  de poro para separar a fração solúvel e prevenir a solubilização do material em suspensão. A filtragem com esse diâmetro de poro elimina também bactérias, pois elas são, em geral, maiores do que 0,2  $\mu\text{m}$ .

Todas as amostras, após a preservação apropriada, foram armazenadas em geladeira a 4°C. A preservação das amostras seguiu o procedimento recomendado por Appelo & Postma (1994), apresentados na tabela 3.7.

Tabela 3.7 - Preservação de amostras líquidas para a análise química da composição química segundo Appello & Postma (1994).

<b>Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup>, Na<sup>+</sup>, NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, Si e PO<sub>4</sub><sup>3-</sup></b> - *Acidificada a pH < 2 com 1% em volume HNO <sub>3</sub> supra-puro, em polietileno para AAS, ICP ou cromatografia; aprox. 15ml de amostra.
<b>Metais pesados</b> - *Acidificada a pH < 2 com 1% em volume HNO <sub>3</sub> supra-puro, 15 ml de amostra para a maioria das técnicas.
<b>SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e Cl<sup>-</sup></b> - *Não é necessário preservar, armazenar em frascos de alta densidade ou vidro, 10ml para cromatografia líquida.
<b>NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e NO<sub>2</sub><sup>-</sup></b> - *Armazenar sob refrigeração e analisar em 24h, no caso de não adicionar preservantes. Ou, adicionar um bactericida como o timol. Observar que o nitrato pode formar amônio em ambientes redutores e que o nitrito pode se autodecompor mesmo com bactericida. A filtragem irá eliminar as bactéria que são maiores do que 0,2 µm, 10 ml para cromatografia líquida.
<b>Alcalinidade</b> - *Titulação no campo com método de Gran (Stum & Morgan, 1981).
<b>pH, Temp.e Cond.</b> - * Medidos no campo imediatamente após a coleta, em amostras frescas.

As amostras de sedimentos em suspensão, nas águas do igarapé Pedra Preta, foram obtidas pela filtragem de um volume conhecido de água, em filtros com 0,2 µm de diâmetro de poro. A quantidade de sedimento em cada filtro foi obtida por gravimetria. Esses filtros foram solubilizados em meio ácido (HNO<sub>3</sub> 16N + HF 48%), lavados com H<sub>2</sub>O DI (18mΩ) e recompostos a um volume final de 50 ml com H<sub>2</sub>O DI (18mΩ). Esse mesmo procedimento foi empregado para os brancos e amostra de referência.

O extrato aquoso da fração solúvel de uma série de 54 amostras de aerossóis atmosféricos foi obtida em 15 ml de água ultrapura (18 MΩ) e submetida ao ultrassom por 1 hora.

### 3.2.3. Amostragem de aerossóis: coleta e preparação.

Para a coleta do material particulado foram utilizados amostradores portáteis miniVOL da AIRmetrics instalados em Serra do Navio e Tartarugalzinho. O amostrador é basicamente composto por uma bomba controlada por um cronômetro programável em 6 ciclos em 24 horas durante uma semana. O aparelho possui dois sistemas que abortam a amostragem: o primeiro, monitora e aborta a amostragem no caso de queda de fluxo de ar (podendo ser ajustado o fluxo de corte), e o segundo aborta quando a bateria deve ser recarregada, evitando danos causados pela utilização da bateria com baixa voltagem. O amostrador utiliza um totalizador de tempo para registrar o número de horas que a bomba funcionou e um rotâmetro que mede o fluxo de ar durante o período de amostragem. O sistema de coleta foi projetado para reter partículas com diâmetro aerodinâmico ≤ 10 µm para o fluxo

de 5 l/min em condições ambiente. Foram utilizados filtros de membrana de policarbonato da marca Nuclepore com diâmetro de 47 mm e com poros de 0,4µm.

Na tabela A.1 (Anexo A) são apresentadas as informações referentes às datas e locais de amostragem.

Para a instalação, o equipamento exige apenas um mastro ou antena de 1 ¼ polegadas de diâmetro e estar a no mínimo a 30 cm de qualquer restrição ao fluxo de ar. Acompanham cada MiniVOL duas baterias, com duração de aproximadamente 24 horas e um carregador, além de um cronômetro que utiliza como fonte de energia uma pilha alcalina. Em Tartarugalzinho, devido à impossibilidade de troca da bateria a cada 24h, o sistema de alimentação do MiniVOL foi adaptado a uma bateria de automóvel recarregada a cada 15 dias, no momento da troca dos filtros. Em Serra do Navio, os amostradores de aerossol funcionaram ligados diretamente à rede elétrica. Para evitar a entrada de água e insetos no sistema de coleta foram adaptados um “cap” maior e uma tela aos aparelhos. Testes realizados em Serra do Navio comprovaram que estas mudanças não alteraram o diâmetro de corte do aparelho. Os MiniVOL tanto de Serra do Navio como de Tartarugalzinho foram instalados junto à estação meteorológica.

Após um banho em álcool para limpeza e secagem, o sistema de coleta é montado em laboratório e armazenado em potes plásticos para o transporte até o campo, onde são trocados pelo outro sistema em uso. O segundo sistema de coleta é então transportado em seu pote até o laboratório onde é retirado o filtro amostrado, guardando-o na placa de Petri. Desmontado o sistema de coleta, ele é limpo e armazenado para a próxima troca. Este procedimento e o uso de pinças para manipular os filtros e partes do equipamento que estejam em contato com ele diminui a contaminação. Após serem pesados cuidadosamente, os filtros foram armazenados e transportados em placas de Petri milipore de 47 mm. Ao chegar ao laboratório em São Paulo, eles foram separados em lotes de acordo com o tempo de amostragem. Cada lote continha filtros suficientes para a amostragem mensal e um sobressalente para ser utilizado como branco de controle.

#### **3.2.4. Amostragem de solos e sedimentos.**

Na bacia do igarapé Pedra Preta, a cobertura pedológica foi estudada através de perfis de solos dispostos em uma sequência ao longo de uma encosta. Desse modo foi possível inferir as relações geométricas entre os diferentes horizontes, isto é, determinar a organização lateral dessa cobertura. É o que se convencionou chamar de análise tridimensional (Boulet, 1988). As coberturas pedológicas estudadas desta forma aparecem, muitas vezes, como sistemas de transformação, onde uma cobertura inicial transforma-se em outra, frequentemente, muito diferente. Para a realização da análise tridimensional,

estudaram-se duas seções transversais do topo à base da encosta, através de trincheiras e de tradagens intermediárias (Figuras 3.21a e b). Em cada uma delas, executou-se uma descrição morfológica detalhada, de modo a definir os limites entre os diferentes horizontes. A partir das observações de campo e com auxílio do pedo-comparador, desenhou-se o corte topográfico, tendo como resultado final a reconstituição da organização bidimensional da cobertura pedológica por aproximação geométrica (Boulet, 1988). Obteve-se, assim, a imagem da estrutura horizontal da cobertura pedológica, composta de curvas de iso-diferenciação, da área natural da bacia de drenagem. Essa reconstituição foi associada a análises químicas e de lâminas delgadas, para permitir inferir informações sobre a gênese e a dinâmica da cobertura pedológica e, portanto, correlacionar as diferentes espécies químicas entre si. Além do estudo de duas topossequências, foram efetuadas coletas de amostras de solos superficiais e em perfis de profundidade para determinação de Hg, Fe, Al, Mn, Cu, Zn, capacidade de troca de cátions (CTC), saturação das bases (BS), densidade e outros parâmetros clássicos utilizados para o balanço de massa.

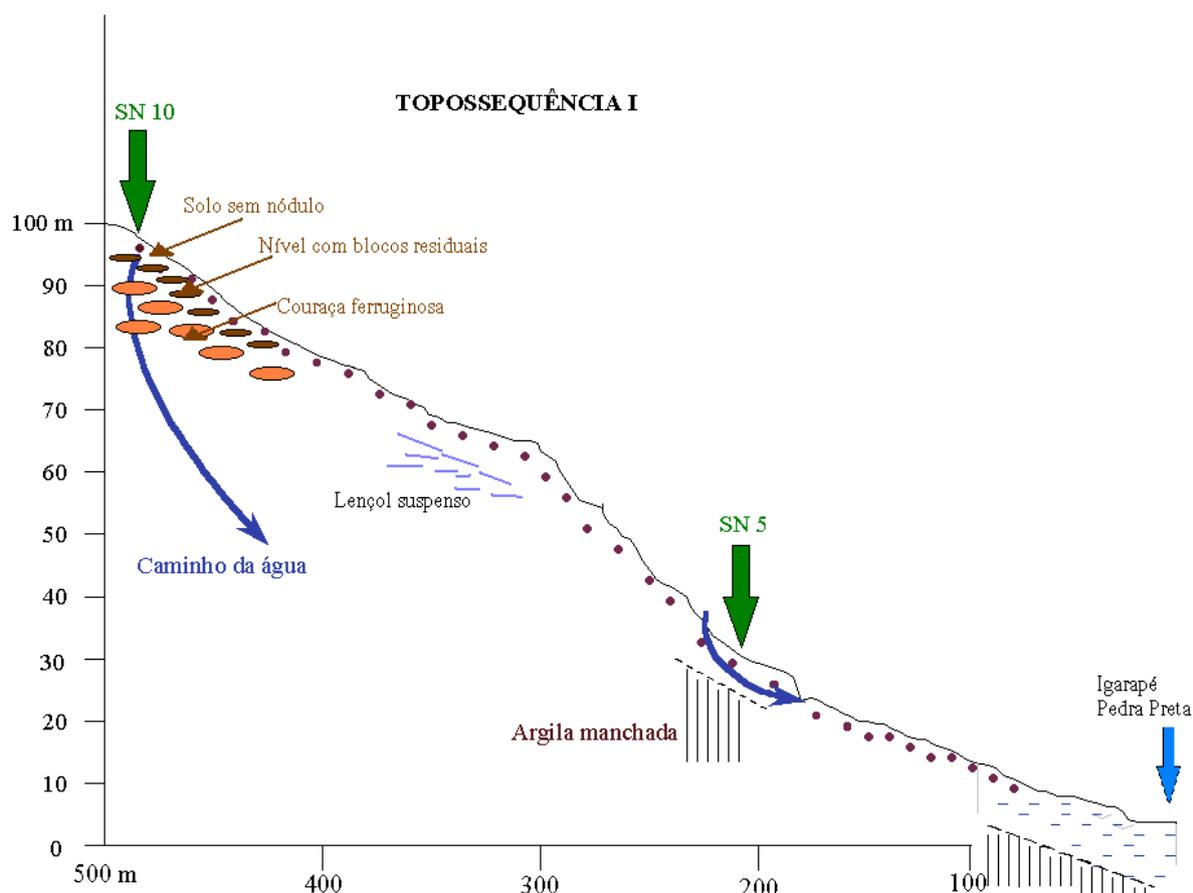


Figura 3.21a - Esquema da topossequência I

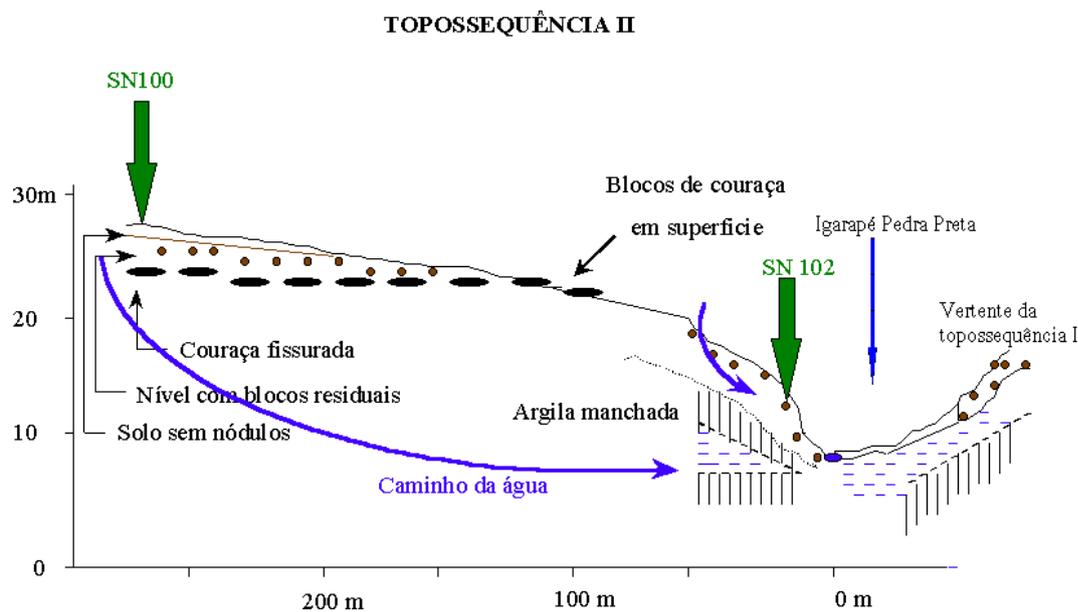


Figura 3.21a - Esquema da topossequência II

### 3.3. ANÁLISES LABORATORIAIS

#### 3.3.1. Técnicas analíticas para determinação do mercúrio.

Na primeira fase do projeto, dois tipos de técnicas foram utilizadas para determinação do mercúrio, permitindo assim a intercomparação dos resultados e garantindo a qualidade dos mesmos. Os laboratórios da Seção de Química Analítica do CENA e de Radioisótopos do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da UFRJ utilizam a Espectrometria de Absorção Atômica com geração de Vapor Frio e digestão das amostras por via úmida e o laboratório de Supervisão de Radioquímica do IPEN utiliza a análise por ativação neutrônica.

As técnicas de digestão das amostras utilizadas no CENA e na UFRJ são rigorosamente idênticas. Todas as amostras são digeridas em meio ácido e oxidante ( $\text{KMnO}_4$ , 5%), em sistema aberto a  $60^\circ\text{C}$ , a fim de obter todo o mercúrio na forma  $\text{Hg}^{+2}$ . O mercúrio é então reduzido a  $\text{Hg}^0$ , em sistema de injeção em fluxo, pelo cloreto estanoso. Depois de uma separação da fase gasosa e líquida, o vapor de mercúrio é

levado, pelo gás de arraste, até uma célula de quartzo colocada na frente do feixe de luz emitido pela lâmpada de mercúrio. A leitura da absorção, proporcional à concentração, é feita a 253,7 nm.

A análise por ativação neutrônica é um dos métodos mais importantes dentre os disponíveis para a análise de elementos a níveis de traço. A principal vantagem deste método é a capacidade de determinação de muitos elementos com alta sensibilidade, sendo possível a sua determinação em níveis de ppb (ng/g) até %, com exatidão e precisão. No caso do Hg, é difícil empregar simplesmente a técnica de análise por ativação instrumental devido ao baixíssimo nível de concentração e às possíveis interferências de elementos presentes na matriz. Nesta situação, recorre-se à separação radioquímica para evitar a interferência de elementos da matriz e para melhor sensibilidade do método. Após o preparo, as amostras juntamente com os padrões são irradiadas no reator IEA-R1 do IPEN/CNEN-SP. Irradiam-se também, para controle de qualidade analítica, materiais de referência contendo quantidades conhecidas de mercúrio, como os padrões: Fish Flesh Homogenate (IAEA), MA-A-2/TM (Hg=0,470 ± 0,02 ppm) e Chinese Human Hair, SHINR-HH (Hg=2,160 ± 0,21 ppm).

### 3.3.2. Análises química e físico-química das soluções aquosas.

Após a coleta das amostras de águas e no máximo decorridas 24 h, foi medido o pH utilizando-se um eletrodo combinado de vidro Ag/AgCl e medidor de bancada com sensibilidade de 0,001 Volt. A condutividade foi medida com um condutivímetro de campo e a alcalinidade foi medida efetuando-se uma titulação de Gran com solução de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 10<sup>-2</sup>N. Essas medidas foram realizadas para amostras com volume coletado superior a 200 ml.

Nos extratos aquosos, os íons maiores, em solução, foram dosados utilizando-se a técnica de cromatografia líquida de íons com um equipamento DIONEX DX500 do laboratório do NUPEGEL/IAG-USP. Para os cátions foi utilizada uma coluna separadora CS12 e ácido metanosulfônico como eluente. Para os ânions foi utilizada uma coluna separadora AS4A e carbonato/bicarbonato de sódio como eluente, com um detetor eletroquímico. Para os metais foi utilizado um detetor UV/Vis, coluna separadora CS5A, reação pós-coluna com 4-(2-piridilazo) resorcinol e eluente PDCA (piridina ácido. dicarboxílico) e comprimento de onda de 530 nm no visível; para o Al<sup>3+</sup> a coluna separadora foi a mesma e eluente ácido sulfúrico/sulfato de amônio e reação pós coluna em pirocatecol violeta em 530 nm no visível. A precisão dessas análises depende da configuração do sistema, da faixa de concentração das amostras e do elemento analisado. Em média, a precisão foi sempre melhor do que 90%. A acuracidade foi medida utilizando-se amostras de referência. Os valores obtidos, certificados e a identificação são mostrados na tabela 3.8.

Parte das análises de metais, em uma série de 220 amostras, foi analisada por Espectrometria de Absorção Atômica (AAS) com forno de grafite no laboratório de química analítica do CENA/USP.

Tabela 3.8 - Resultados das análises químicas realizadas por cromatografia líquida de íons (DIONEX DX500) para os padrões de referência utilizados pelo Institute of Hydrology (IH-UK), amostras certificadas e os padrões utilizados neste trabalho, em  $\mu\text{M}$ .

Espécie	IH-UK	TM28	NUPEGEL
		$\mu\text{M}$	
Na <sup>+</sup>	8,7± 0,6		9,6
K <sup>+</sup>	5,1± 0,3		5,4
Mg <sup>2+</sup>	8,2± 0,5		8,4
Ca <sup>2+</sup>	10,0± 0,6		10,9
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	11,1± 0,8		11,4
Cl <sup>-</sup>	2,8± 0,3		2,7
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	7,9± 0,8		7,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10,4± 0,7		10,1
Fe <sup>3+</sup>		0,56 ± 0,15	0,53
Mn <sup>2+</sup>		0,140 ± 0,042	0,11
Zn <sup>2+</sup>		0,36 ± 0,09	0,36
Cu		0,096 ± 0,042	0,07

### 3.3.3 Análises química e físico-química dos aerossóis.

**Processo gravimétrico:** Realizado nos laboratórios do GEPA no Instituto de Física da USP, este processo fornece concentração no ar de particulado inalável. Consiste essencialmente em pesar os filtros antes e após a amostragem utilizando uma balança para determinar, através da diferença entre as medidas, a massa de particulado depositado e, com o volume do ar que atravessou o filtro, a concentração.

Trabalhando com quantidades de massa da ordem de poucas centenas de microgramas, além de utilizar uma balança com sensibilidade de 1  $\mu\text{g}$ , alguns cuidados devem ser tomados para que os resultados não sejam alterados pelos efeitos da carga eletrostática, umidade e temperatura. Para eliminar a carga eletrostática proveniente do processo de fabricação e de amostragem, os filtros foram colocados em caixas plásticas cobertas por folhas de alumínio e expostos a radiação alfa e gama de fontes de Polônio 210.

**Microscopia de varredura:** Tem como objetivo fazer um levantamento da forma das partículas presentes na amostra e de sua composição, através da combinação do microscópio de varredura com um sistema de detetor de Si (Li) para raios X . Após a gravimetria, as análises foram realizadas nos laboratórios do NUPEGEL, utilizando um microscópio de varredura Jeol 330A da Noran acoplado a

um sistema de micro-análise de energia dispersiva de raio X (EDS) com limite de detecção da ordem de 20 nm.

O procedimento de análise para a caracterização de uma partícula exige uma separação espacial entre as partículas para evitar interferências. São analisadas partículas com diâmetro de 1 a 30  $\mu\text{m}$ . Filtros do tipo Nuclepore podem ser examinados diretamente, já que não interferem para a detecção de raios X. Assim que são escolhidos os filtros a serem analisados, eles são cortados em dois pedaços e enviados para análise: o menor pedaço do filtro ( 1/4) é analisado por microscopia e o maior é analisado por ativação neutrônica ou por cromatografia iônica.

**Ativação neutrônica (INAA):** Processo analítico realizado no IPEN, que fornece a composição elementar das partículas que compõem a amostra. No INAA ( *Instrumental Neutron Activation Analysis*) a amostra é bombardeada com nêutrons em um reator nuclear. Muitos elementos são capazes de capturar um nêutron e se converter num isótopo radioativo. A emissão de raios  $\gamma$  com energias características no processo de decaimento destes isótopos permite uma análise qualitativa dos elementos presentes na amostra (Strauss,1978). A discriminação de energia dos raios  $\gamma$  é feita por um detetor Ge(Li) em conjunto com um analisador multicanal. O espectro obtido é então processado por um computador. A análise quantitativa é dada pela relação entre o número de raios  $\gamma$  emitidos em cada pico de energia e o peso de cada isótopo presente na amostra.

O INAA é um processo não destrutível, em que as amostras podem ser analisadas diretamente no filtro com baixos índices de impurezas de *background* devido ao grande poder de penetração dos nêutrons e raios  $\gamma$ . Podem ser detectados de 20 a 30 elementos, segundo a meia vida dos produtos da irradiação. Irradiações curtas podem determinar a presença de Al, Br, Ca, Cl, Cu, In, Mg, Na, S, Ti e V; e longas são capazes de determinar Sb, As, Ce, Cr, Co, Eu, Ga, Au, Fe, La, Hg, K, Sm, Sc, Se, Ag, W e Zn.

A sensibilidade depende, no entanto da seção de captura de nêutrons para formação dos isótopos, de sua meia vida e concentração na amostra. Alguns elementos só podem ser determinados em altas concentrações.

**Análise PIXE:** A análise PIXE (*Particle Induced X-ray Emission*) foi realizada em algumas amostras de Serra do Navio e de Tartarugalzinho para o levantamento preliminar da composição elementar do aerossol coletado naqueles sítios. A análise PIXE consiste em um método multielementar não destrutivo cujo princípio é a análise dos raios X emitidos pela amostra que foi irradiada com um feixe de prótons. Essa análise está sendo realizada no LAMFI (Laboratório de Análise dos Materiais por Feixe Iônico) do Instituto de Física da USP. O arranjo experimental

consiste em um acelerador tipo Van de Graaff onde o feixe de prótons é produzido e acelerado até atingir a amostra. Os raios X emitidos pela amostra no processo de desexcitação são analisados por um detetor de Si(Li).

#### **3.3.4. Análises mineralógica, química e físico-química dos sedimentos e dos solos.**

As amostras de solos e de sedimentos, preparadas no campo, foram submetidas a análises mineralógicas, químicas e físico-químicas.

Os sedimentos foram separados, por peneiramento, em três frações granulométricas. Uma, superior a 2mm foi abandonada, enquanto que as outras duas (entre 2mm e 0,062mm e inferior a 0,062mm) foram submetidas a estudos mineralógicos e químicos.

Os solos foram separados, inicialmente, em duas frações granulométricas: uma acima de 2mm, foi igualmente abandonada, enquanto que a outra (inferior a 2mm - terra fina) foi analisada mineralógica e quimicamente. Desta fração foram separadas concreções ferruginosas, com diferentes granulometrias e o restante da terra fina foi moído e reduzido a pó.

As análises mineralógicas foram conduzidas por microscopia óptica e por difratometria de raios-X, utilizando-se um difratômetro de raios-X da Philips, com tubo de Cu, operando entre 3 e 80° com velocidade de 0,02° por segundo.

As análises químicas para mercúrio foram obtidas por absorção atômica e as análises multielementares (incluindo o mercúrio) por ativação neutrônica, segundo técnicas já relatadas.

Determinações físico-químicas na fração terra fina dos solos foram executadas segundo técnicas padrões preconizadas para os estudos de solos. Assim, foram determinados o pH, a capacidade de troca catiônica (CTC), a saturação em bases (V) e os cátions trocáveis.

## 4. RESULTADOS

Neste capítulo estão descritos os principais resultados obtidos neste estudo bem como a caracterização de diferentes compartimentos que típicos dos ecossistemas estudados e que se encontram no domínio da Floresta Amazônica. Para efeito de apresentação, este capítulo foi subdividido em duas partes:

■ Na primeira são apresentados os resultados obtidos no estudo da bacia do igarapé Pedra Preta (Serra do Navio), onde as pesquisas realizadas permitiram elaborar um balanço geoquímico do Hg e das principais espécies químicas envolvidas no ciclo geoquímico desse ecossistema florestal, considerado como não contaminado por mercúrio proveniente de atividades de garimpo. Nesta bacia foram identificadas as entradas atmosféricas (chuva e aerossóis), um componente de sua interação com a vegetação (transpecipitado), um componente da interface solo-planta (serapilheira), alguns segmentos do solo (compartimento mineral e soluções do solo) e as saídas típicas da microbacia hidrográfica objeto deste estudo (águas subterrâneas e superficiais e sedimentos em suspensão). A partir das relações (entradas X saídas) é apresentada uma discussão sobre os possíveis processos físico-químicos atuantes nessa área de controle;

■ Na segunda parte são apresentados os resultados obtidos na região de Tartarugalzinho. A abordagem neste caso foi diferente da anterior, pois teve como enfoque o estudo da contaminação por mercúrio em uma área altamente afetada por atividades de mineração de ouro, com utilização do Hg (garimpo). Neste sítio o objetivo foi definir e caracterizar o comportamento do mercúrio bem como avaliar o nível de contaminação mercurial.

#### **4.1. OS CICLOS DAS ESPÉCIES QUÍMICAS NA BACIA DO IGARAPÉ PEDRA PRETA (SERRA DO NAVIO) - ECOSISTEMA FLORESTA TROPICAL ÚMIDA, SEM CONTAMINAÇÃO DE MERCÚRIO POR ATIVIDADES DE GARIMPO.**

A bacia do igarapé Pedra Preta (fig.3.1) foi escolhida como área de controle para os estudos sobre o ciclo das diferentes espécies químicas consideradas neste projeto. Sua escolha obedeceu a diversos critérios (posição, acesso, características fisiográficas, etc.), entretanto o mais importante foi o fato de a região não apresentar nenhuma atividade de garimpo de ouro, seja atual, seja pretérita. Portanto, para o elemento mercúrio, a bacia serviria de referência ou área de controle para a região. Entretanto, a bacia sofreu atividades antrópicas, sobretudo em sua porção inferior (mineração de manganês - Morro da Mina, Serra do Navio). Os estudos referentes aos ciclos das diferentes espécies químicas foram realizados na área montante da bacia, aqui denominada sub-bacia natural (**PN**), onde as influências diretas da mineradora não ocorreram, exceto pelo transporte de poeira em suspensão na atmosfera durante períodos de estiagem prolongada. Para estimar os efeitos da mineração na bacia como um todo, efetuou-se a comparação entre os resultados da composição química para as amostras coletadas na saída da sub-bacia natural (**PN**) e para as coletadas na saída da bacia, na foz do igarapé (**PF**), estando essas águas com influência da área degradada. Na sub-bacia natural foram coletadas amostras de chuva (**C**), de transprecipitação (**TR**), solos (superficiais e em perfis de profundidade), água livre no solo (lisímetros), águas subterrâneas (piezômetros), água do igarapé (**PN**), sedimentos em suspensão e aerossóis. Na parte alterada foram coletadas amostras de solo (superfície), águas do igarapé na foz (**PF**), sedimentos em suspensão (**SS**) e precipitação (**C**). As entradas atmosféricas via precipitação e aerossóis são as mesmas tanto na sub-bacia natural quanto na bacia como um todo. Sempre que os dados permitirem, serão mostradas as variações mensais das concentrações das diferentes espécies químicas. Entretanto, os cálculos das quantidades de cada espécie química considerada para cada um dos compartimentos foram efetuados para o período total de amostragem (ver tabela 3.1) e para os diferentes períodos de maior (primeiro semestre do ano) e de menor (segundo semestre do ano) precipitação. Isso porque as diferenças básicas nos fluxos das espécies químicas, para esses sistemas de florestas, são impostas pela quantidade de água que circula através do mesmo, sendo a comparação feita com base nesses resultados.

#### 4.1.1. Entradas Atmosféricas: precipitação e aerossóis

As entradas atmosféricas para o sistema ocorrem principalmente através da deposição úmida (chuva) e deposição seca (aerossóis). Os resultados obtidos referem-se à composição química das águas da chuva e dos aerossóis, bem como à determinação das possíveis fontes das espécies químicas presentes e das transferências inter-reservatórios das mesmas.

##### 4.1.1.1 - As águas de chuva

Como as amostras foram coletadas em dois locais diferentes, foi possível efetuar um estudo comparativo entre a composição química das precipitações nesses locais. Nas figuras 4.1 e 4.2 são mostradas as sequências temporais das concentrações em  $\mu\text{M}$ , dos cátions (a) e ânions (b) para os dois locais.

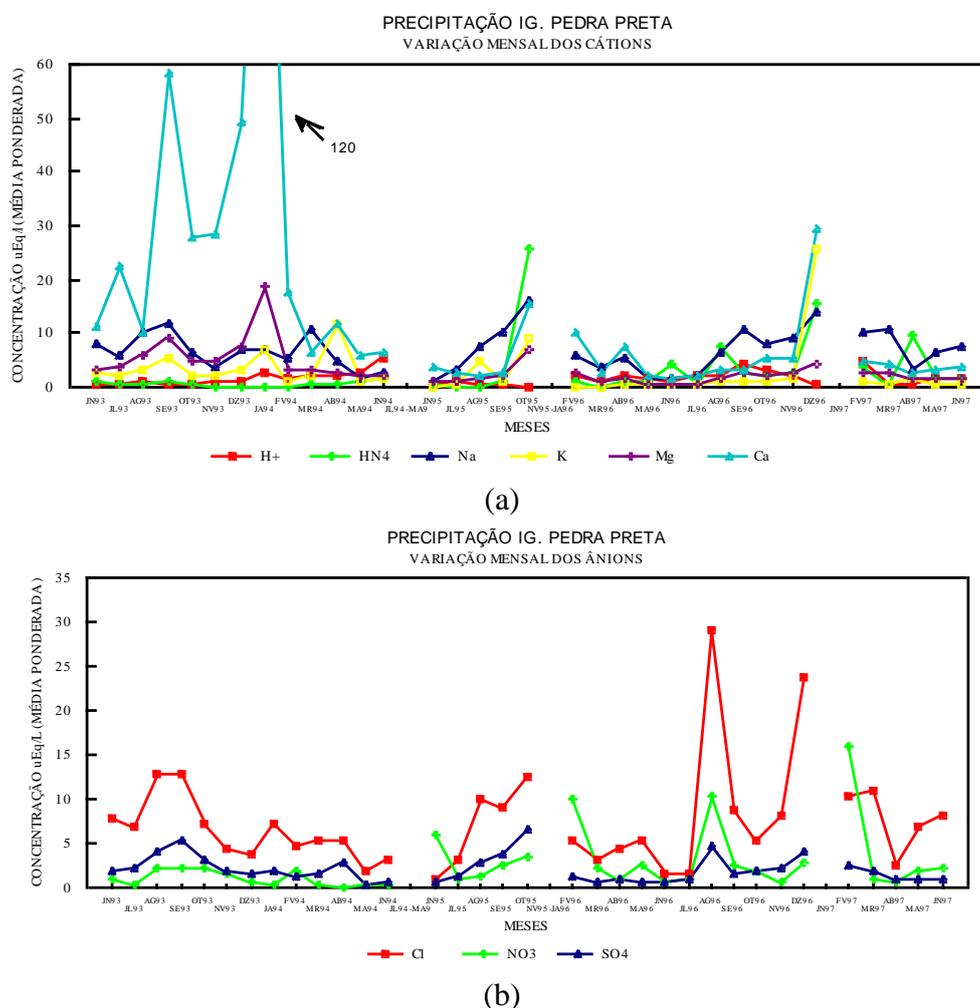
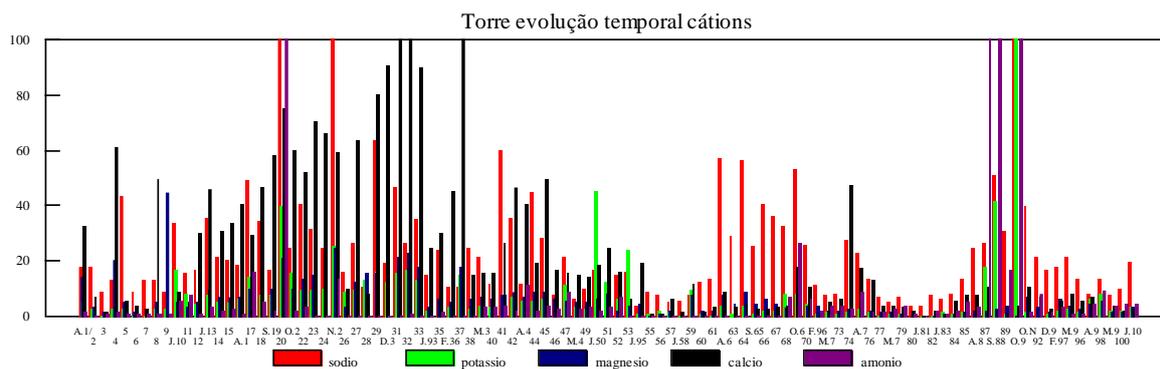
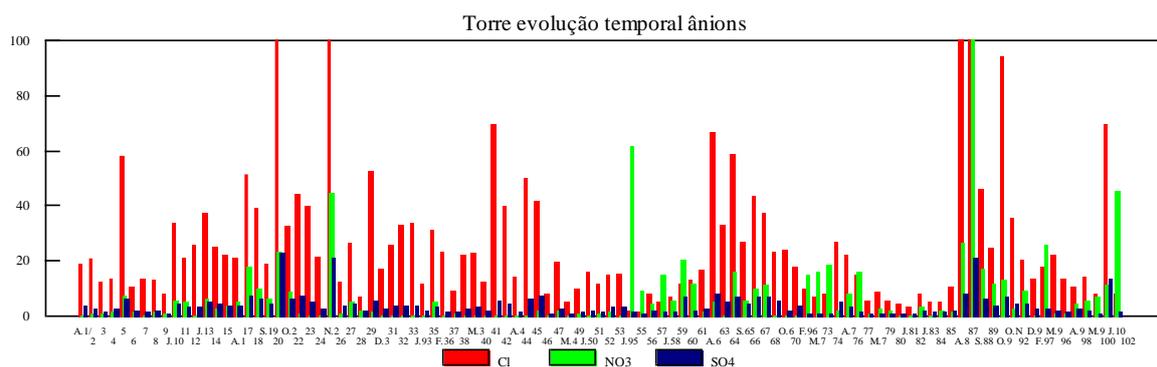


Figura 4.1 - Sequências temporais das concentrações médias mensais ( $\mu\text{M}$ ) das diferentes espécies químicas nas águas de chuva coletadas nas clareiras, na bacia do igarapé pedra Preta; (a) cátions e (b) ânions.



(a)



(b)

Figura 4.2 - Sequências temporais das concentrações semanais ( $\mu\text{M}$ ) das diferentes espécies químicas nas águas de chuva coletadas na Torre em Serra do Navio; (a) cátions e (b) ânions.

Foi aplicado a estes resultados o teste de hipótese de igualdade entre as populações, a fim de comparar os valores das concentrações dos íons em solução entre as amostras coletadas com o coletor “bulk” e o “wet-only”. Este teste não foi efetuado para os metais devido ao número limitado de amostras e foram consideradas somente as amostras emparelhadas (total de 23). O teste efetuado, considerando um intervalo de confiança com 95% de probabilidade e ao nível de 1% de significância, mostrou que não existem diferenças estatisticamente significativas entre as composições das precipitações coletadas com os dois diferentes coletores.

Nas tabelas 4.1(a, b) e 4.2 são apresentadas as estatísticas para as amostras da Torre e da clareira, respectivamente. A comparação entre os teores das diferentes espécies analisadas entre os dois locais não apresentam diferenças estatisticamente significativas, exceto para o  $[\text{H}^+]$  e para o  $[\text{Mn}^{2+}]$ . Essa diferença é atribuída à circulação de veículos da mineradora no entorno dos coletores da clareira, ressuspendendo poeira do solo rica em manganês. Assim, os valores médios aqui considerados são aqueles obtidos com o coletor tipo “bulk”.

Tabela 4.1a - Estatísticas para a composição química das chuvas coletadas em Serra do Navio, na Torre, para o coletor do tipo “bulk”, em  $\mu\text{Eq/l}$ . (Valores em negrito apresentam diferenças estatisticamente significativas entre Torre e Clareira)

Torre	N	M.Art.	Mediana	Moda	M.Pond.	Std	Min.	Max
bulk					$\mu\text{Eq/l}$			
H <sup>+</sup>	106	8,66	3,72	4,57	<b>7,84</b>	15,7	0,001	95,5
Alc	53	3,95	-1,20		1,31	116	-213	709
Na <sup>+</sup>	109	23,5	17,8		16,9	21,0	3,48	128
K <sup>+</sup>	109	7,16	2,87		4,83	13,0	0,000	112
Mg <sup>2+</sup>	109	12,4	8,60	0,00	10,3	13,0	0,000	89,6
Ca <sup>2+</sup>	108	42,9	17,3	0,00	36,8	53,9	0,000	238
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	108	15,7	1,67	0,00	8,06	78,1	0,000	759
Cl <sup>-</sup>	109	27,2	19,4	25,50	21,2	30,8	1,05	209
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	108	7,75	2,34	0,00	8,88	18,3	0,000	167
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	108	7,39	5,49		6,13	7,49	0,760	45,6
Al <sup>3+</sup>	70	6,56	5,56	5,56	6,90	3,52	0,450	15,5
Fe <sup>3+</sup>	92	0,914	0,540	0,540	0,787	1,36	0,000	11,7
Mn <sup>2+</sup>	92	1,58	0,880	0,360	1,10	2,90	0,000	25,5
Cu <sup>2+</sup>	30	0,303	0,220		0,281	0,376	0,020	1,90
Zn <sup>2+</sup>	78	5,05	2,98	9,18	<b>4,77</b>	5,43	0,000	27,5
Si	65	34,4	14,2	7,12	33,1	39,8	7,12	256

Tabela 4.1b - Estatísticas para a composição química das chuvas coletadas em Serra do Navio, na Torre, para o coletor tipo “wet-only”, em  $\mu\text{Eq/l}$ .

Torre	N	M.Art.	Mediana	Moda	M.Pond.	Std	Min.	Max
Wet-only					$\mu\text{Eq/l}$			
H <sup>+</sup>	23	5,96	5,13		4,65	2,93	1,32	12,3
Alc	22	-0,42	0,50	0,39	-3,28	13,7	-44,0	19,4
Na <sup>+</sup>	23	15,2	17,4		12,753	7,12	2,40	27,0
K <sup>+</sup>	23	1,36	1,18		1,24	1,21	0,00	5,70
Mg <sup>2+</sup>	20	4,18	4,15		4,22	2,07	1,46	7,74
Ca <sup>2+</sup>	22	6,95	5,75		7,32	5,23	0,64	24,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	23	13,6	5,26	0,0001	7,67	17,6	0,00	70,6
Cl <sup>-</sup>	23	20,6	16,8		17,7	24,1	2,96	108
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	23	8,48	4,63		7,55	10,8	0,00	47,9
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	23	6,73	4,20	4,20	5,64	8,22	0,740	32,4

Tabela 4.2 - Estatísticas para a composição química das chuvas coletadas em Serra do Navio, nas Clareiras (amostras compostas para os três coletores), em  $\mu\text{Eq/l}$ . (Valores em negrito apresentam diferenças estatisticamente significativas entre Torre e Clareira)

Clareira	N	M.Art.	Mediana	Moda	M.Pond.	Std	Min.	Max
bulk					$\mu\text{Eq/l}$			
H <sup>+</sup>	118	5,29	4,22	4,47	<b>5,13</b>	5,11	0,00	31,6
Alc	82	38,4	4,95		33,4	189	-152	1594
Na <sup>+</sup>	132	22,7	18,1	17,4	17,9	17,9	2,94	123
K <sup>+</sup>	132	9,42	3,15	0,00	6,37	34,4	0,00	378
Mg <sup>2+</sup>	132	10,0	6,87	1,18	8,41	9,18	0,900	46,2
Ca <sup>2+</sup>	131	37,8	14,9	4,14	35,0	52,5	1,96	269
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	128	12,5	2,34	0,00	9,99	64,3	0,00	673
Cl <sup>-</sup>	132	24,2	17,5		18,7	23,6	1,93	153
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	128	6,91	2,95	0,00	5,55	10,7	0,00	67,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	130	6,87	4,76	2,90	5,01	6,34	0,520	37,4
Al <sup>3+</sup>	70	6,85	5,56	5,56	6,74	4,58	0,600	22,2
Fe <sup>3+</sup>	87	1,34	0,358		1,03	8,54	0,00	80,0
Mn <sup>2+</sup>	102	4,09	1,67	0,367	<b>2,62</b>	5,31	0,00	21,8
Cu <sup>2+</sup>	24	0,363	0,240		0,310	0,384	0,00	1,50
Zn <sup>2+</sup>	86	4,03	1,88	3,06	3,03	12,2	0,160	114
Hg	11	0,05	0,04	0,06	0,04	0,036	0,02	0,12
Si	65	44,6	14,2	7,12	42,5	80,9	7,12	584

Os valores médios de pH, calculados a partir dos valores médios de [H<sup>+</sup>], são de 5,10 para a Torre (bulk), de 5,33 para a Torre (wet) e de 5,29 para as Clareiras. Esses valores são normais e próximos aos valores de equilíbrio e variam ligeiramente entre as estações de chuva e seca, sendo um pouco mais baixos na estação seca.

Os valores das médias, medianas e modas, mostrados nas tabelas 4.1 e 4.2 apresentam diferenças significativas essas diferenças indicam que esses dados não têm uma distribuição normal de probabilidades. Entretanto, como o número de elementos amostrais é maior do que 30, para a maioria do conjunto, pode-se considerar que a distribuição de probabilidades é aproximadamente uma normal. Foram calculadas as médias ponderadas para retirar o efeito de diluição causado pelo volume variável de precipitação isto é essa média representa o valor médio normalizado para volume equivalente para cada elemento amostral. A partir desses valores médios, foram calculados os valores dos fatores de fracionamento  $F_{Cl}$  e a partição entre a contribuição marítima e outras fontes para essas amostras (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Fator de fracionamento  $F_{Cl}$ , contribuição marítima e de outras fontes para a composição da água de chuva da Torre e das Clareiras em Serra do Navio.

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
<b>CONC.MAR</b>								
referência mEq/l	485	10,6	110,2	21,4	2x10 <sup>-6</sup>	566	5x10 <sup>-6</sup>	58,6
<b>TORRE</b>								
$F_{Cl}$	0,93	12,0	2,42	44,5	-	-	-	2,4
MÉD.POND. µEq/l	16,9	4,83	10,3	36,8	8,06	21,2	8,88	6,13
CONT.MARÍTIMA µEq/l	16,9	0,42	3,98	0,84	-	21,0	-	2,10
OUTRAS FONTES µEq/l	-	4,70	5,60	36,5	8,06	-	8,88	4,0
<b>CLAREIRA</b>								
$F_{Cl}$	1,08	16,5	2,42	49,5	-	-	-	2,7
MÉD.POND. µEq/l	17,9	6,37	8,41	35,0	9,99	18,7	5,55	5,01
CONT.MARÍTIMA µEq/l	15,8	0,37	3,50	0,74	-	18,7	-	1,86
OUTRAS FONTES µEq/l	-	5,80	5,00	35,90	9,99	-	5,70	14,20
Williams et al., 1997(1990)	2,4	0,8	0,9	2,4	3,0	4,6	4,2	2,0
Lesack & Melack, 1991(1984)	2,5	0,7	1,5	2,1	6,6	4,7	3,5	4,5

Tanto as contribuições marinhas como a de outras fontes são equivalentes entre os dois locais de amostragem.

Comparando-se esses resultados com os outros, obtidos em 1990 (Williams et al., 1997) e 1984 (Lesack & Melack, 1991) para a região Central da Amazônia, verifica-se que, devido à proximidade com o mar, as águas de chuva em Serra do Navio são ricas em íons de origem marinha mas, quando “outras fontes” são consideradas, observa-se que espécies oriundas principalmente da biomassa, como o amônio e o nitrato, têm concentrações similares.

Os coeficientes de Spearman para correlação por postos apresentados na tabela 4.4, ao nível de 5% de significância, estão marcados em negrito. Verifica-se que existem grupos de espécies químicas com boa correlação entre si. Esses grupos representam os conjuntos cuja origem é predominantemente marinha como o Cl<sup>-</sup>, o SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> e o Na<sup>+</sup>, aqueles de origem biogênica como o K<sup>+</sup>, o Mg<sup>2+</sup> e o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> e aqueles oriundos da poeira em suspensão como o Fe, o Ca<sup>2+</sup> o Mn e, possivelmente o Hg.



O fator 1 pode ser atribuído ao componente biogênico, com forte carga para o amônio. Entretanto, esse fator tem carga forte para espécies oriundas do solo, como por exemplo, a manganês e o cálcio. O fator 2, com forte carga de Cl, explica a variância oriunda do componente marinho entretanto, com forte carga para o Al. Esses dois fatores não fornecem uma clara separação entre as três fontes principais nessa região (biomassa, mar e solo). O fator 3 explica somente a variância do Zn, cuja fonte nessa região, até o momento, é desconhecida. Aparentemente ele está na atmosfera, sendo possível atribuí-lo à contribuição por parte das queimadas frequentes que ocorrem na região. Segundo Yamasoe (1994) o zinco é um bom traçador de queimadas, quando associado ao potássio. Entretanto, a carga do potássio no fator 3 é baixa.

A composição dessas águas mostra que existe uma partição quanto à origem dos elementos químicos, sendo a biomassa uma fonte importante. Para a região de Serra do Navio o componente biogênico, nessas águas de chuva, é mais significativo do que nas águas de chuva em Tartarugalzinho (mais próxima ao mar), conclusão esta suportada pelos valores de  $F_{Cl}$  que, para os íons biogênicos como o K e o Mg, são maiores em Serra do Navio. O Cl e o Na são predominantemente de origem marinha e o Ca tem uma contribuição oriunda da poeira do solo, para os dois locais. Quanto aos metais, não é possível fazer uma inferência segura. Pode-se afirmar, entretanto, que eles têm um componente oriundo da poeira do solo (partículas de minerais em suspensão).

#### 4.1.1.2 - Os aerossóis

Nas figuras 4.3 e 4.4 são apresentados os valores das concentrações do material particulado inalável (PI). Essas concentrações situam-se dentro do esperado para regiões remotas.

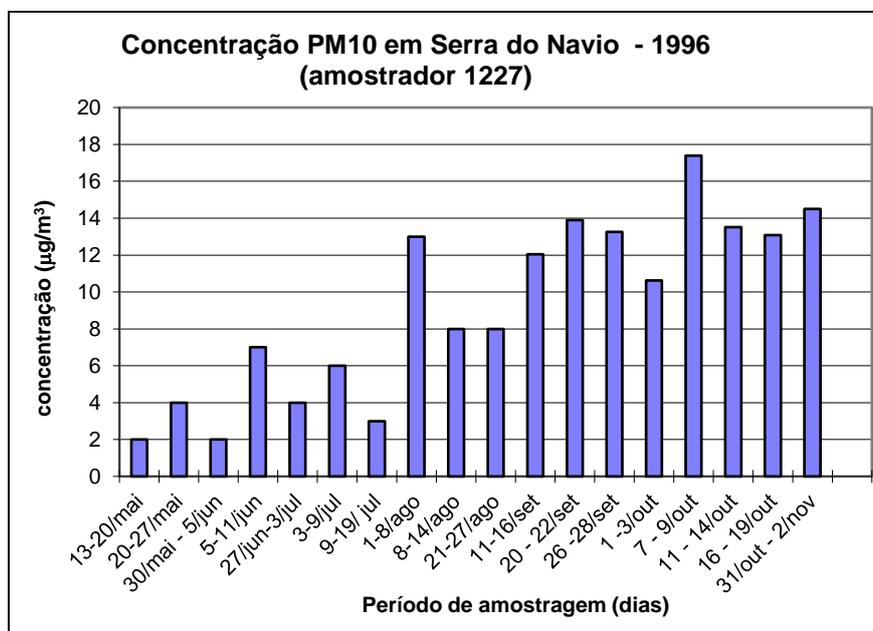


Figura 4.3 Variação da concentração de particulado inalável em Serra do Navio coletado com o amostrador de número de série 1227.

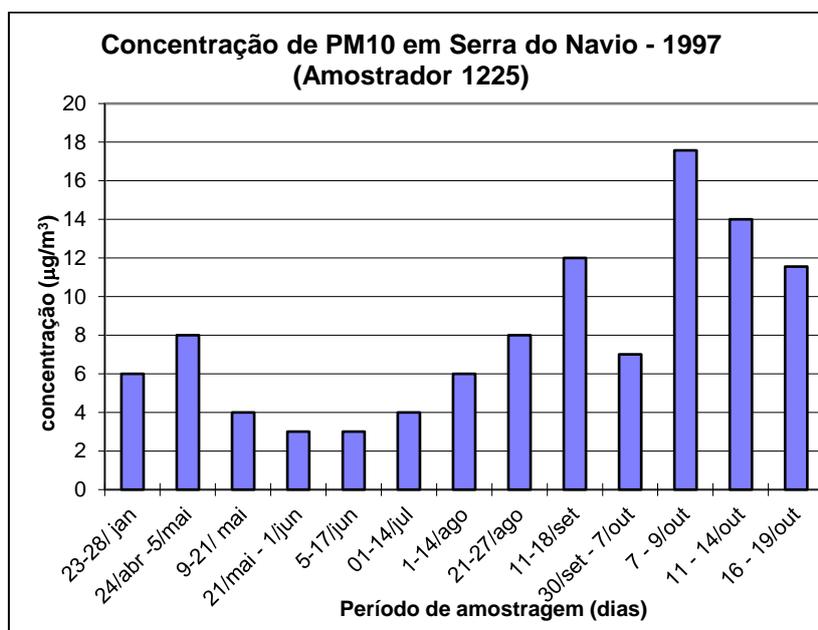


Figura 4.4 Variação da concentração de particulado inalável em Serra do Navio coletado com o amostrador de número de série 1225.

Em geral as concentrações medidas são maiores a partir de setembro, mas mesmo assim ainda são concentrações esperadas em áreas com poucas fontes de espécies químicas.

Na figura 4.5 são mostrados os valores médios obtidos para as diferentes espécies químicas no extrato aquoso do **PI**. O sulfato é o ânion majoritário nas amostras, sendo que sua concentração varia pouco ao longo do período analisado. O cloreto e o nitrato tendem a ter concentração mais elevada nas amostras coletadas a partir de agosto, quando os períodos de estiagem são mais longos e o total de precipitação é mais baixo.

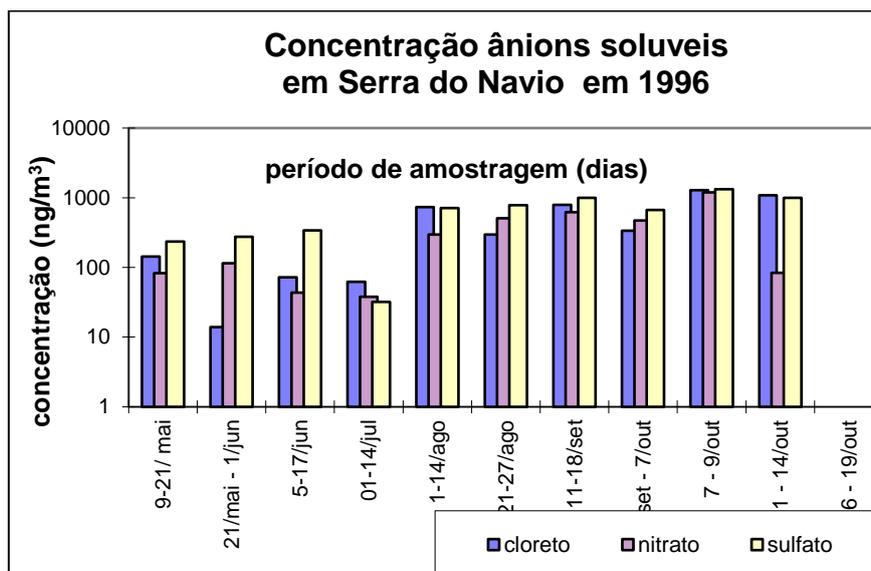


Figura 4.5 Concentração de ânions presentes no material particulado inalável coletado em Serra do Navio.

Na figura 4.6 estão apresentadas as médias das concentrações de cátions presentes nos extratos aquosos das amostras de aerossóis em Serra do Navio. Os cátions tendem a ter sua concentração mais elevada a partir de agosto, com o sódio como composto majoritário.

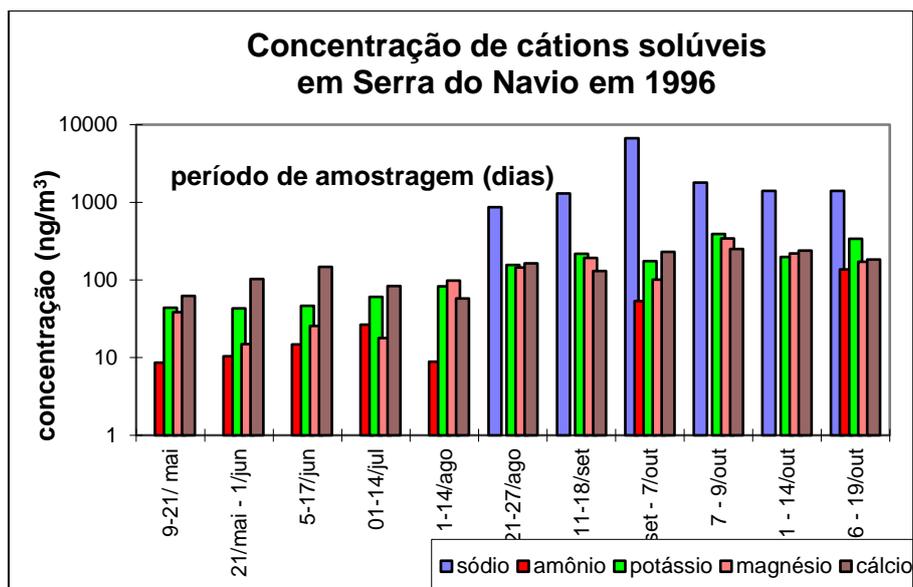


Figura 4.6 Concentração de cátions presentes no material particulado inalável coletado em Serra do Navio.

Para uma avaliação da eficiência da ativação por nêutrons em medir o mercúrio nos filtros, algumas amostras foram analisadas e os resultados qualitativos estão apresentados na Tabela 4.6. Observa-se que a resolução é muito baixa para a medida desse composto nos filtros de material particulado.

Tabela 4.6 - Resultado das análises de mercúrio em filtros pelo método de ativação neutrônica.

Nº FILTRO	Hg ppm	ELEMENTOS IDENTIFICADOS
SNVPA/ N001	<0,015	Na, K, As, Br,
SNVPA/ N002	<0,015	Na, Cr, Mn, As, Br
SNVPA/ N003 (BRANCO)	<0,015	Na, Sc, Cr, Br, Au
SNVPA/ N007	< 12.10 <sup>-6</sup>	Na, Cr, As, Br, Au
SNVPA/ N010	< 12.10 <sup>-6</sup>	Na, As, Br, Au
SNVPA/ N013	< 5.10 <sup>-6</sup>	Na, As, Cr, Br, Sb, Au
SNVPA/ N014	<2,5.10 <sup>-6</sup>	Na, As, Cr, Br, Sb, Au
SNVPA/ N031	<5.10 <sup>-6</sup>	Na, As, Cr, Br, Sb, Au
TRTPA/ T002	0,15 ±0,04	Na, Sc, Cr, Co, Br, Au, Hg
TRTPA/ T003(BRANCO)	<0,015	Na, K, As, Br, Au

Outro tipo de análise (PIXE) foi realizada em alguns filtros, também com o intuito de avaliar o seu limite de detecção para medida dos compostos da matéria particulada. Na figura 4.7 é mostrada a média da concentração dos elementos-traço identificados.

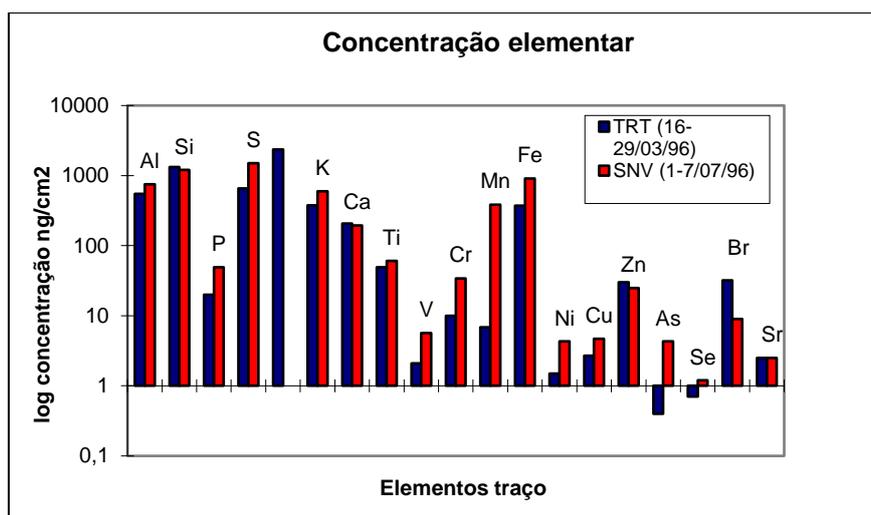


Figura 4.7 Análise PIXE de amostras de aerossol.

A partir dos dados de aerossóis obtidos em Serra do Navio, foi estimada a deposição seca total para algumas espécies químicas. Esses resultados são mostrados na tabela 4.8 em kg/ha. Fica evidente que as entradas através do componente de particulado inalável da deposição seca são baixas quando comparadas às entradas através da precipitação. Isso acontece porque em regiões remotas o componente de particulado grosso é dominante.

Tabela 4.7 - Deposição seca por particulado fino em uma coluna de 1.5 km, em kg/ha, ao longo dos dois semestres, no ano de 1996 a 1997, e total anual, extraída da fração solúvel do aerossol em PM10.

Espécie	Na <sup>+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Cl <sup>-</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	S	
Maio/96	a	0,014	0,45.10 <sup>-3</sup>	0,002	0,002	0,002	0,008	0,006	0,010	0,003
Out/96										
Nov/96	a	0,010	0,33.10 <sup>-3</sup>	0,002	0,001	0,002	0,007	0,003	0,009	0,003
Abr/97										
<b>total anual</b>		<b>0,013</b>	<b>0,43.10<sup>-3</sup></b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,002</b>	<b>0,008</b>	<b>0,006</b>	<b>0,009</b>	<b>0,003</b>

#### 4.1.1.3 - A relação entre os aerossóis atmosféricos e a chuva: modelagem

Com intuito de avaliar a transferência dos aerossóis atmosféricos entre o reservatório atmosfera e a hidrosfera, foi aplicado um modelo que simula os processos de remoção do aerossol por gotas de chuva. Esta transferência é relevante quando relacionada com os demais reservatórios, tais como a geosfera e biosfera.

- Metodo do modelo de remoção.

O modelo tem como hipótese a existência de uma "caixa fechada" entre o solo e a base da nuvem, da qual as espécies químicas são removidas pelas gotas de chuva. Nesse modelo não é incluída advecção de massa, e o efeito de *rainout*, ou seja, a remoção de material particulado (**MP**) incorporado pelas gotículas de nuvem. Outra hipótese diz que, uma vez incorporado pela gota, o material não sofre reação química. Este modelo foi inicialmente desenvolvido pelos Drs. K. D. Beheng do *Institut für Meteorologie* do *Forschungszentrum Karlsruhe* e F. Herbert da Universidade de Frankfurt, no qual foi acrescentado o equacionamento básico de processos de remoção de MP fornecido por Seinfeld (1986), por Pruppacher & Klett (1982) e por Volken (1994) e, portanto, denominado Beheng versão 2 (B.v.2.). Descrição detalhada desse modelo é encontrada em Gonçalves (1997).

O equacionamento tem como base a coleta de **MP** por uma gotícula precipitante (Engelman, 1968). Este autor descreve o processo de remoção de poluentes, por sua vez, como sendo constituído de repetidas exposições do MP às gotículas na nuvem ou às gotas em suspensão ou precipitantes, atuando como partículas coletoras destes. Esse processo pode ser inicialmente descrito como um decaimento temporal de níveis de concentração, podendo ser expresso conforme a equação:

$$X = X_0 \exp(-\Lambda t) \quad (1)$$

onde  $\Lambda$  é o chamado coeficiente de remoção de espécies químicas, ou coeficiente de “*washout*”, descrito a seguir.  $X_0$  e  $X$  representam as concentrações iniciais e finais das espécies químicas, respectivamente. Para obtermos a concentração de uma espécie química na água de chuva, efetuamos a diferença entre ambas as concentrações e integramos na altura entre a base da nuvem e a superfície.

Portanto, o coeficiente de remoção de MP pode dado na forma, expresso em  $s^{-1}$ :

$$\Lambda(D_p) = \int \frac{\pi}{4} D_g^2 V_t E(D_g, D_p) n(D_g) dD_g \quad (2)$$

onde o  $D_p$  é o diâmetro da partícula,  $D_g$  da gota coletora,  $V_t(D_g)$  a velocidade terminal,  $E(D_g, D_p)$ , a eficiência de coleta entre ambas e  $n(D_g)$  é a distribuição do número de gotas.

A eficiência de coleta,  $E$ , possui três termos de diferentes contribuições: o termo da difusão browniana, dominante em partículas muito pequenas (diâmetro  $\leq 0,1 \mu m$ ), o termo devido à

interceptação e o termo devido à impactação, dominante em partículas de tamanho "grande" ( $\geq 1 \mu\text{m}$  de diâmetro). Conseqüentemente podemos visualizar a eficiência de coleta **E** na figura 4.8 de acordo com as proposições de Seinfeld (1986) e Volken (1994), negligenciando-se os efeitos foréticos e eletrostáticos.

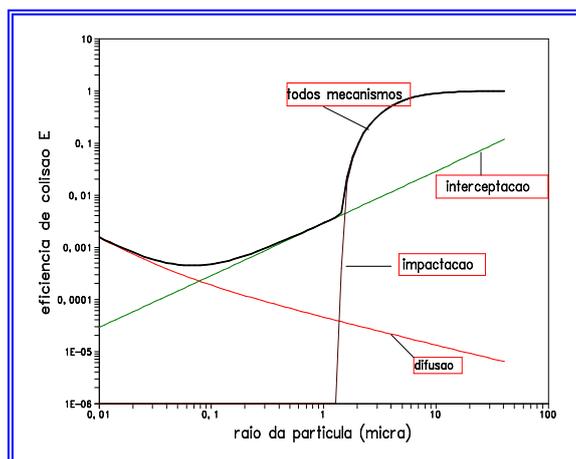


Figura 4.8. A figura acima mostra os valores calculados para os três principais mecanismos da eficiência de colisão em função do raio das partículas para as seguintes condições ambientais: pressão= 900 hPa, T=283 K e umidade relativa=0.95. A gota coletora possui o tamanho de 0.12 cm.

#### - Resultados do modelo de remoção.

Para a aplicação do modelo é necessário caracterizar alguns parâmetros físicos e químicos. Assim, os valores de temperatura, umidade relativa e pressão atmosférica foram fixados em 30°C, 85% e 1000 hPa, respectivamente, baseando-se na climatologia local de Serra do Navio. Estes parâmetros não oscilam muito na região e possuem efeitos negligenciáveis no modelo (Gonçalves, 1997). Para a altura da camada de mistura impôs-se o valor de 1500 m, valor este encontrado em alguns casos para a região florestal na Amazônia (Nobre *et al.*, 1996). As taxas de precipitação para os grupos de eventos selecionados estão mostrados na tabela 4.8.

Tabela 4.8 - Precipitação acumulada P (em mm), tempo de precipitação em minutos e a taxa de precipitação, R, em mm/h, introduzidos no modelo.

Mês	P(mm)	R (mm/h)	tempo (min).
abr/96	<b>88,01</b>	<b>21,29</b>	<b>248</b>
abr/96	<b>21,68</b>	<b>30,25</b>	<b>43</b>
jul/96	<b>135,60</b>	<b>34,04</b>	<b>239</b>
out/96	<b>16,60</b>	<b>33,20</b>	<b>30</b>
abr/97	<b>126,29</b>	<b>30,93</b>	<b>245</b>
abr/97	<b>27,16</b>	<b>14,17</b>	<b>115</b>
mai/97	<b>129,01</b>	<b>67,30</b>	<b>115</b>

Para caracterizar essas taxas é mostrado um exemplo na figura 4.9 ilustrando as altas taxas de precipitação para o evento do dia 15, pertencente ao grupo de eventos de abril de 1997. As concentrações do ar foram obtidas para o mesmo período de amostragem das coletadas na água de chuva.

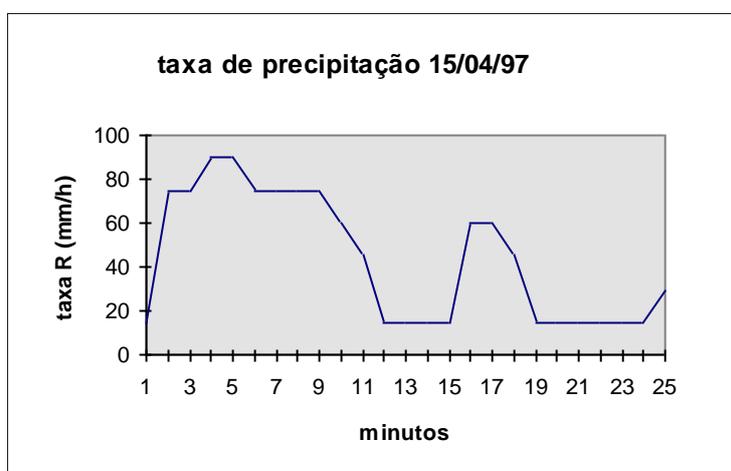


Figura 4.9. Taxas de precipitação para um dos eventos de abril de 1997, referente ao dia 15/04/97, evidenciando-se os altos valores obtidos, de até 90 mm/h.

Na tabela 4.9 são mostrados os valores das concentrações observadas, no ar e na água em  $\mu\text{g/l}$ , as concentrações modeladas para água de chuva e a razão das concentrações modeladas com a observadas, para os diferentes grupos de eventos, para o nitrato e para o sulfato. As concentrações modeladas foram obtidas, a partir da simulação dos processos de remoção de poluentes, descritos na metodologia acima, utilizando-se como dados de entrada para o modelo, a concentração das espécies químicas no ar, em  $\mu\text{g/m}^3$ , também mostrados na tabela 4.13.

Tabela 4.9 - Concentrações observadas em água de chuva ( $\mu\text{g/l}$ ) e no ar ( $\mu\text{g/m}^3$ ) e na modelagem numérica ( $\mu\text{g/l}$ ), para nitrato e sulfato, bem como a relação modelado/observado, em negrito, para diferentes grupos de eventos nos anos de 1996 e 1997.

	DATA	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>	DATA	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>--</sup>
	<b>maio/96</b>			<b>maio/97</b>		
ÁGUA $\mu\text{g/l}$	<b>13-20/5</b>	0,0455	0,0051	<b>20-27/5</b>	0,2026	0,0101
AR $\mu\text{g/m}^3$	<b>13-20/5</b>	0,1029	0,1084	<b>20-27/5</b>	0,1170	0,5808
MODELO		0,0210	0,0221		0,0094	0,0465
<b>MOD./OBS.</b>		<b>0,4612</b>	<b>4,3305</b>		<b>0,0462</b>	<b>4,6006</b>
	<b>julho/96</b>			<b>abril/97</b>		
ÁGUA $\mu\text{g/l}$	<b>01-15/7</b>	0,0282	0,0128	<b>22-28/4</b>	0,0279	0,0127
AR $\mu\text{g/m}^3$	<b>01-15/7</b>	0,0457	0,5130	<b>21-26/4</b>	0,1910	0,5500
MODELO		0,0006	0,0068		0,0124	0,0357
<b>MOD./OBS.</b>		<b>0,0215</b>	<b>0,5307</b>		<b>0,4438</b>	<b>2,8057</b>
	<b>abr./mai./97</b>			<b>Out./96</b>		
ÁGUA $\mu\text{g/l}$	<b>28/04-06/5</b>	0,0363	0,0156	<b>30/9-06/10</b>	0,0479	0,0207
AR $\mu\text{g/m}^3$	<b>26/04-05/5</b>	0,1880	0,5200	<b>30/9-07/10</b>	0,4726	0,6694
MODELO		0,0026	0,0072		0,0489	0,0692
<b>MOD./OBS.</b>		<b>0,0720</b>	<b>0,4629</b>		<b>1,0205</b>	<b>3,3391</b>

Os resultados referentes aos cátions não foram apresentados porque o modelo subestima os valores da concentração dessas espécies químicas em relação aos observados na água de chuva. A estimativa média para os cátions foi de 2 a 4% para o grupo de eventos de precipitação de abril de 97. Outras simulações de diferentes grupos de eventos mostraram resultados similares para todos os cátions.

Quanto à remoção do particulado de nitrato e sulfato, o modelo fornece resultados mais próximos dos observados, cerca de 14% e 83% respectivamente, para o grupo de eventos de abril de 1997. Nos demais grupos de eventos, há uma oscilação razoável das razões entre modelado e observado, embora quase sempre havendo uma superestimativa por parte do modelado para o sulfato (em até cinco vezes) e uma subestimativa para o nitrato (entre 2 e 46%), ainda que para alguns casos os resultados estejam próximos do observado como, por exemplo, outubro de 1996: concentrações de 0,0479  $\mu\text{g/l}$  contra 0,0489  $\mu\text{g/l}$ , em água de chuva, para o observado e modelado, respectivamente.

O modelo não incorpora o mecanismo “rainout”, que pode ser significativo nessa região, pois as nuvens podem alcançar grandes alturas devido à intensa convecção local. Por esta razão, o modelo

foi simulado com a concentração constante até 15 km de altura, incluindo-se de forma genérica o efeito “rainout”. Essa simulação fornece resultados mais próximos aos observados, da ordem de 20 a 45% (tabela 4.10).

Tabela 4.10 - Concentrações observadas em água de chuva ( $\mu\text{g/l}$ ), no ar ( $\mu\text{g/m}^3$ ) e no modelo ( $\mu\text{g/l}$ ) para ambos os eventos selecionados, bem como a relação modelado/observado fornecida em negrito. No segundo evento de abril, foi rodado o modelo com o topo da camada de mistura situada a 15 km de altura.

		Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>
Abr/97								
ÁGUA	14/4 A 22/4	0,3983	0,0479	0,0529	0,1170	0,8811	0,0332	0,0176
AR	16/4 A 21/4	1,2610	0,1395	0,1662	0,1745	1,2100	0,3190	1,0300
MODELO		0,0180	0,0020	0,0024	0,0025	0,0173	0,0045	0,0146
MOD/OBS		<b>0,0452</b>	<b>0,0415</b>	<b>0,0448</b>	<b>0,0213</b>	<b>0,0196</b>	<b>0,1366</b>	<b>0,8321</b>
mod. c/ 15 km		0,1799	0,0199	0,0237	0,0249	0,1726	0,0454	0,1465
mod/obs		0,4516	0,4155	0,4480	0,2127	0,1959	1,3662	8,3206

Ao incorporarmos este “ajuste de rainout”, há uma nítida superestimativa do modelo para o nitrato e para o sulfato, sugerindo que, se houver necessidade de incorporação deste “ajuste”, possivelmente essas duas espécies químicas têm concentração não homogênea dentro da camada de mistura e provavelmente as concentrações decrescem com a altura.

Uma possível alternativa para as disparidades encontradas entre os resultados observados e os modelados está na própria seqüência de amostragem das concentrações do ar e água, cujo período não é exatamente o mesmo, havendo possíveis flutuações nas concentrações, especialmente do ar. Deve-se levar em conta também a duração dos períodos de coletas, pois este é um fator gerador de discontinuidades.

A forma mais ou menos hidrosolúvel dessas espécies químicas no **MP** é, também, um fator importante no controle da remoção do **MP**. Algumas análises da composição total da precipitação i.é., considerando a fração solúvel mais a fração em suspensão, indicam que a fração em suspensão representa até 90% da fração total, como no caso do magnésio para algumas amostras.

Ao simular a concentração de água de chuva, a partir da remoção desta nova concentração de **MP**, 10 vezes mais elevada, encontram-se valores desta mesma ordem de grandeza, portanto, significativamente maiores que as mostradas na Tabela 4.10. Este resultado evidencia que parte da

diferença entre modelado e observado pode ser atribuída à presença significativa da parte em suspensão do material particulado.

- Simulação da concentração de Hg no ar.

Mesmo considerando as limitações do modelo, ele pode fornecer uma ideia das concentrações das espécies químicas na forma gasosa e particulada compatível com o encontrado nas águas de chuva. Tendo este princípio como base, foram estimadas as possíveis concentrações de Hg nas fases gasosa e particulada. Esses resultados estão mostrados na tabela 4.11. Esta tabela fornece também as concentrações em água observadas, para os eventos de julho e outubro de 1996, sendo estes, os dados utilizados como input para a simulação das concentrações no ar, bem como as relações entre as concentrações na água e no ar. A simulação foi igualmente efetuada de acordo com os parâmetros utilizados para as simulações nas tabelas 4.9 e 4.10, ou seja, a altura da camada de mistura considerada foi de 1500 m.

Tabela 4.11. Resultados da simulação das concentrações de Hg no ar, na forma particulada e na forma gasosa, em  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , concentrações de Hg na água de chuva em  $\mu\text{g}/\text{l}$  e razão entre as concentrações na água e no ar.

Gás/part=80%/20%	gás	particulado	água de chuva	relação
julho/96	2,10	0,53	<b>4,01</b>	1,53 : 1
outubro/96	10,40	2,51	<b>20,06</b>	1,55 : 1
gás/part=99%/1%				
julho/96	3,18	0,03	<b>4,01</b>	1,25 : 1
outubro/96	15,90	0,16	<b>20,06</b>	1,25 : 1

As variações das razões de matéria particulada e gasosa foram simuladas com a razão desde 80% de gás Hg para 20% do particulado de Hg, segundo Hacon et al. (1995), em Alta Floresta, até 1% para particulado e 99% para o gás. Esta última razão tem como base um valor médio entre Lamborg et al. (1995), apresentando concentrações menores que 1% para particulado, e Fitzgerald (1995), com concentração de 2% para o material particulado de Hg. Os resultados destas duas modelagens estão na tabela 4.11.

Fazendo-se uma comparação entre as concentrações do Hg em água de chuva sobre a concentração do mesmo, no ar, obtém-se, de acordo com o trabalho efetuado por Lamborg et al. (1995), uma relação média de 2,27:1, oscilando de 0,91:1 a 3,72:1. Estes resultados vêm ao encontro da extrapolação efetuada neste relatório, utilizando-se a mesma análise, pois foram encontrados valores entre 1,25:1 e 1,55:1 (tabela 4.11), portanto de mesma ordem de grandeza dos autores acima.

Consequentemente pode-se considerar esta abordagem obtida, através de modelagem numérica, como válida, a despeito do fato de ser uma extrapolação das concentrações de um reservatório para outro.

#### 4.1.2. A Transprecipitação.

A composição da precipitação na região como um todo, e em Serra do Navio em particular, caracteriza as entradas das espécies químicas através da chuva. As estatísticas para a química dessa precipitação já foram apresentadas e aqui será efetuada a comparação entre a composição da chuva que precipita sobre a bacia e a transprecipitação (chuva que atravessa o dossel).

O balanço hidrológico (tabela 3.5) mostra que, do total precipitado, cerca de 18% é interceptado pelo dossel. Entretanto, esse não é o único efeito do dossel sobre a precipitação. A chuva, ao precipitar através das copas das árvores, lava a vegetação incorporando em sua composição o material solúvel depositado sobre a mesma. Além disso, espécies muito solúveis são facilmente lixiviadas da vegetação (água de chuva percola através das partes permeáveis da vegetação removendo íons fracamente ligados). Caracteristicamente, a transprecipitação é enriquecida em relação à precipitação devido à incorporação de espécies químicas oriundas da biomassa aérea e da deposição seca sobre as copas. Entretanto, algumas espécies químicas, como o nitrato, podem ser absorvidas pela vegetação (Forti & Neal, 1992; Forti, 1994). Na tabela 4.12 são apresentadas as estatísticas para a composição da transprecipitação para o período total de amostragem, em  $\mu\text{Eq/l}$ .

Tabela 4.12 - Estatística para a composição química da transprecipitação (TR) em  $\mu\text{Eq/l}$ .

	N	M.Art.	Mediana	Moda	M.Pond.	Std	Min.	Max
	$\mu\text{Eq/l}$							
H <sup>+</sup>	104	0,66	0,47	0,24	0,78	0,60	0,001	3,39
Alc	102	108,3	65,1	92,0	79,18	128,7	0,00	956,0
Na <sup>+</sup>	109	58,94	48,72	46,54	43,78	35,19	0,00	199,0
K <sup>+</sup>	109	70,31	49,70	34,51	45,95	67,07	17,05	512,1
Mg <sup>2+</sup>	109	35,41	27,50	22,76	25,78	24,31	0,00	165,6
Ca <sup>2+</sup>	109	76,32	49,64	40,48	64,78	64,95	0,56	350,0
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	109	32,07	17,74	0,00	21,74	44,52	0,00	236,7
Cl <sup>-</sup>	109	99,36	45,90	52,10	51,57	250,6	12,49	2353
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	109	9,49	4,90	0,00	10,68	13,31	0,00	88,98
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	109	30,35	16,66	16,36	17,63	60,29	5,56	583,5
Al <sup>3+</sup>	20	7,29	4,82	3,15	5,90	6,06	1,71	27,15
Fe <sup>3+</sup>	21	0,71	0,26	0,33	0,32	0,96	0,00	3,23
Mn <sup>2+</sup>	21	0,76	0,39	0,39	0,63	0,88	0,04	3,32
Cu <sup>2+</sup>	21	0,33	0,22	,16	0,32	0,28	0,08	1,23
Zn <sup>2+</sup>	20	2,56	2,17	1,84	2,65	1,34	1,05	6,36
Hg	7	0,216	0,155	0,148	0,262	0,120	0,082	0,412
Si	13	23,74	23,4	22,4	26,06	8,33	10,2	35,2

Esses resultados de concentração, quando comparados aos da precipitação (Tabela 4.2) evidenciam que a chuva é neutralizada pela incorporação de cátions básicos da vegetação; a composição química da transprecipitação é enriquecida em relação à da precipitação para todas as espécies químicas analisadas, exceto para o manganês e o zinco. Entretanto, para se compararem as transferências entre os dois compartimentos, é necessário avaliar as quantidades de cada espécie química. Essa comparação pode ser feita calculando-se a razão entre as quantidades de cada espécie química na transprecipitação e na precipitação em kg/ha. Esses valores são mostrados na tabela 4.15 e foram calculados para os diferentes períodos aqui considerados a partir das tabelas 4.13 e 4.14. As razões foram calculadas como a diferença entre as quantidades de cada espécie química na transprecipitação e na precipitação dividido pelas quantidades na precipitação:  $[(\text{TR}-\text{C})/\text{C}]$ . Para as espécies químicas cujas entradas através da precipitação são maiores do que através da transprecipitação, a razão foi calculada como  $[(\text{C}-\text{TR})/\text{TR}]$ .

Tabela 4.13 – Entradas para a bacia do Igarapé Pedra Preta, das espécies químicas, em kg/ha, através da precipitação para os diferentes períodos de amostragem (JL: julho, JN: junho, MA: maio, S: seco, C: chuvoso, Total: período total).

ESPÉCIE QUÍMICA	Total JL93-JN97	JL93-JN94	JN95-MA96	JN96-JN97	S-93	C-94	S-95	C-96	S-96	C-97
kg/ha										
H <sup>+</sup>	0,31	0,04	0,02	0,04	0,007	0,04	0,002	0,02	0,01	0,02
Na <sup>+</sup>	24,7	3,44	2,29	3,83	1,61	1,71	1,19	1,27	1,13	2,01
K <sup>+</sup>	15,2	3,15	1,20	2,59	1,12	2,26	0,85	0,22	1,18	0,37
Mg <sup>2+</sup>	6,49	1,51	0,42	0,50	0,67	0,92	0,21	0,24	0,15	0,25
Ca <sup>2+</sup>	46,1	13,3	1,82	2,56	6,20	7,90	0,66	1,48	0,95	0,86
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	7,31	0,241	1,10	1,62	0,08	0,16	0,68	0,40	0,54	0,71
Cl <sup>-</sup>	41,3	5,21	3,51	7,87	2,66	2,29	1,75	2,18	2,69	3,24
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	22,2	1,39	3,36	4,32	0,86	0,42	0,72	3,11	1,16	0,32
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	15,3	2,36	1,64	2,04	1,34	0,91	0,98	0,60	0,72	0,79
Al <sup>3+</sup>	0,56	-	0,23	0,39	-	-	0,06	0,22	0,11	0,12
Fe <sup>3+</sup>	0,26	-	0,64	0,24	-	-	0,04	0,02	0,07	0,04
Mn <sup>2+</sup>	4,77	-	1,70	3,15	-	-	0,56	5,66	1,28	0,48
Cu <sup>2+</sup>	0,29	-	0,18	0,10	-	-	0,07	0,45	0,01	0,05
Zn <sup>2+</sup>	4,13	-	2,37	1,79	-	-	0,99	0,12	0,66	0,65
Hg	0,085	-	-	-	-	-	-	-	0,04	0,04
Si	9,22	-	6,87	4,02	-	-	2,46	0,81	1,09	-

Tabela 4.14 – Entradas para a bacia do Igarapé Pedra Preta, das espécies químicas, em kg/ha, através da transprecipitação para os diferentes períodos de amostragem (JL: julho, JN: junho, MA: maio, S: seco, C: chuvoso, Total: período total).

ESPÉCIE QUÍMICA	Total JL93-JN97	JL93-JN94	JN95-MA96	JN96-JN97	S-93	C-94	S-95	C-96	S-96	C-97
kg/ha										
H <sup>+</sup>	0,04	0,01	0,003	0,003	0,002	0,006	0,001	0,003	0,001	0,002
Na <sup>+</sup>	51,9	10,6	5,58	7,39	5,51	4,80	2,58	3,29	1,69	4,71
K <sup>+</sup>	92,5	11,9	14,7	19,6	7,27	4,01	7,28	7,39	5,22	11,3
Mg <sup>2+</sup>	16,1	2,40	2,30	2,68	1,41	0,89	1,12	1,20	0,63	1,69
Ca <sup>2+</sup>	66,9	13,4	5,20	6,43	8,56	4,83	2,35	3,19	1,30	4,40
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	20,2	0,77	2,95	6,44	0,50	0,24	1,28	1,93	1,53	4,02
Cl <sup>-</sup>	94,3	11,3	13,0	18,9	6,27	4,50	6,65	6,08	7,72	6,43
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	34,1	0,81	5,22	5,52	0,40	0,48	1,85	4,48	1,44	3,24
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	43,6	4,79	6,68	8,27	2,57	2,10	3,29	3,43	3,25	3,00
Al <sup>3+</sup>	2,02	-	0,80	1,24	-	-	0,29	0,42	0,66	0,21
Fe <sup>3+</sup>	0,41	-	0,26	0,14	-	-	0,06	0,30	0,09	0,01
Mn <sup>2+</sup>	0,64	-	0,13	0,53	-	-	0,06	0,04	0,12	0,32
Cu <sup>2+</sup>	0,32	-	0,12	0,21	-	-	0,06	0,07	0,04	0,14
Zn <sup>2+</sup>	2,07	-	1,14	1,43	-	-	0,52	0,74	0,42	0,88
Hg	0,44	-	-	-	-	-	-	-	0,098	0,20
Si	14,8	-	9,36	11,0	-	-	3,41	9,16	3,61	-

Tabela 4.15 – Razões [(TR-C)/C] entre as quantidades das espécies químicas, em kg/ha, na transprecipitação e na chuva para os diferentes períodos de amostragem (JL:julho, JN: junho, MA: maio, S: seco, C: chuvoso, Total: período total). Valores em negrito correspondem à precipitação enriquecida em relação à transprecipitação: [(C-TR)/TR]

ESPÉCIE QUÍMICA	Total JL93-JN97	JL93-JN94	JN95-MA96	JN96-JN97	S-93	C-94	S-95	C-96	S-96	C-97
kg/ha										
H <sup>+</sup>	<b>(6,8)</b>	<b>(3,2)</b>	<b>(12)</b>	<b>(12)</b>	(2,5)	<b>(5,5)</b>	(1,0)	<b>(6,7)</b>	<b>(13)</b>	<b>(0,9)</b>
Na <sup>+</sup>	1,1	2,1	1,4	0,9	2,4	1,8	1,2	1,6	0,5	1,3
K <sup>+</sup>	5,1	2,8	11	6,6	5,5	0,8	7,5	33	3,4	30
Mg <sup>2+</sup>	1,5	0,6	4,5	4,4	1,1	0,0	4,4	4,0	3,1	5,7
Ca <sup>2+</sup>	0,5	0,0	1,9	1,5	0,4	<b>(0,6)</b>	2,5	1,2	0,4	4,1
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,8	2,2	1,7	3,0	5,6	0,5	0,9	3,9	1,9	4,7
Cl <sup>-</sup>	1,3	1,2	2,7	1,4	1,4	0,1	2,8	1,8	1,9	1,0
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	0,5	<b>(22)</b>	0,6	0,3	<b>(1,1)</b>	1,1	1,6	0,4	0,2	0,0
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	1,8	1,0	3,1	3,1	0,9	1,3	2,4	4,8	3,5	2,8
Al <sup>3+</sup>	2,6	-	2,5	2,2	-	-	3,5	1,0	5,1	0,8
Fe <sup>3+</sup>	0,55	-	3,0	<b>(0,7)</b>	-	-	0,6	19	0,3	<b>(1,5)</b>
Mn <sup>2+</sup>	<b>(6,43)</b>	-	<b>(12)</b>	<b>(5,0)</b>	-	-	<b>(8,5)</b>	<b>(128)</b>	<b>(0,9)</b>	<b>(0,5)</b>
Cu <sup>2+</sup>	0,13	-	<b>(0,53)</b>	1,1	-	-	<b>(0,2)</b>	<b>(5,2)</b>	2,2	1,7
Zn <sup>2+</sup>	<b>(1)</b>	-	<b>(1,1)</b>	<b>(0,3)</b>	-	-	<b>(0,8)</b>	5,1	<b>(0,6)</b>	0,4
Hg	4,2	-	-	-	-	-	-	-	1,4	4,3
Si	0,61	-	0,4	1,7	-	-	0,4	10	2,3	-

Verifica-se que para a maioria das espécies químicas as entradas para a bacia através da transprecipitação são significativamente maiores do que através da precipitação. Isso ocorre devido aos processos de exsudação, solubilização e lixiviação dessas espécies da vegetação (Parker, 1983). Fica claro que a incorporação dos cátions básicos torna o pH mais básico e com isso, espécies químicas que estavam em solução nas águas de chuva são precipitadas passando à fase insolúvel na transprecipitação (ex. o Mn).

#### 4.1.3. As Águas dos Solos.

As águas dos solos foram amostradas entre junho-96 e junho-97. Foram amostradas águas livres dos solos em dois níveis, 20 cm (12 amostras) e 100 cm (5 amostras), e água do lençol suspenso existente nessa bacia (24 amostras). O esquema dos locais de amostragem dessas águas e dos solos é mostrado da figura 3.2. As medidas de alcalinidade, para essas amostras, não foram realizadas corretamente. Os valores apresentados nas tabelas foram calculados como a diferença entre a soma dos cátions de bases fortes e a soma dos ânions de ácidos fortes. Os valores positivos correspondem à alcalinidade ou capacidade de neutralização ácida (ANC), e os valores negativos correspondem à capacidade de neutralização básica (BNC) ou acidez mineral (Sturm & Morgan, 1981).

Tabela 4.16 – Valores médios, em  $\mu\text{Eq/l}$ , para as concentrações das diferentes espécies químicas nas águas livres do solo (caixas lisimétricas), durante o período junho96-junho97 (Total) com respectivos períodos seco (S-96) e chuvoso (C-97), amostrados em diferentes níveis (20 cm e 100 cm).

ESPÉCIE QUÍMICA	Total	Total	S-96	S-96	C-97	C-97
	20 cm	100 cm	20 cm	100 cm	20 cm	100 cm
H <sup>+</sup>	61,1	41,4	58,1	7,94	45,8	6,46
Na <sup>+</sup>	78,5	59,4	66,4	34,1	59,3	69,8
K <sup>+</sup>	29,7	29,7	24,2	18,7	23,0	29,7
Mg <sup>2+</sup>	27,2	31,1	26,5	52,3	28,3	18,0
Ca <sup>2+</sup>	18,2	21,5	21,7	25,4	25,8	38,3
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	24,8	25,6	23,6	33,3	26,1	6,89
ANC/BNC	-71	-48	-44	85	-43	-24
Cl <sup>-</sup>	55,0	43,7	46,4	18,3	55,2	39,9
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	145,7	125,9	116	20,3	97,2	116
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	23,9	20,8	20,6	6,48	26,1	24,3
Al <sup>3+</sup>	17,0	12,0	16,1	0,71	11,9	4,45
Fe <sup>3+</sup>	0,13	0,09	0,14	0,02	0,12	0,15
Mn <sup>2+</sup>	1,85	1,18	1,93	0,25	1,76	0,68
Cu <sup>2+</sup>	0,09	0,06	0,10	0,08	0,10	0,09
Zn <sup>2+</sup>	2,53	1,98	2,48	0,85	2,39	0,62
EN%	7	4	2	32	0,3	8

Na tabela 4.16 são mostrados os valores das médias aritméticas, em  $\mu\text{Eq/l}$ , das concentrações das diferentes espécies químicas para essas águas. Verifica-se que essas águas estão em equilíbrio, uma vez que a eletroneutralidade (EN) é inferior a 10%, exceto durante o período seco de 1996 em 100 cm de profundidade. Nesse período a alcalinidade é significativamente maior do que zero, enquanto nos outros se observa uma acidez mineral forte. Pode ser que exista nessa profundidade, alguma outra espécie química importante que cause esse desequilíbrio. Esse mesmo comportamento é observado para as águas do lençol suspenso: somente no período em que temos acidez mineral é que a EN é inferior a 10% (Tabela 4.17).

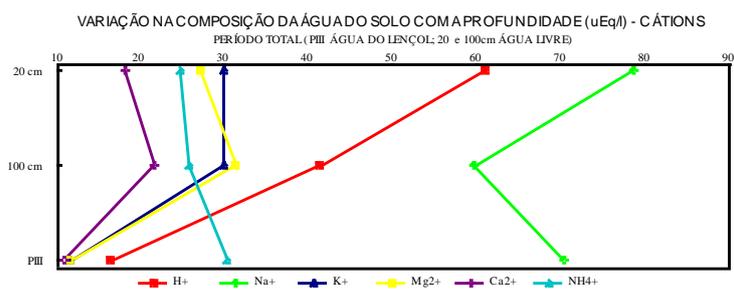
Nas águas livres do solo observa-se um decréscimo dos teores de  $\text{H}^+$ ,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{NO}_3^-$  e metais, com a profundidade. O pH da solução aumenta em função da incorporação dos cátions básicos e com isso, os metais precipitam. O  $\text{NO}_3^-$  deve estar sendo absorvido pela vegetação. O  $\text{Mg}^{2+}$  e o  $\text{Ca}^{2+}$  têm teores mais elevados na profundidade de 100 cm, o que é provavelmente resultante do transporte em solução. O  $\text{K}^+$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$  permanecem constantes. Durante o período mais seco, devido ao menor volume de águas circulando, o fluxo vertical deve ser menos importante. Porém, parece que os processos de absorção, adsorção e precipitação continuam importantes. O  $\text{Mg}^{2+}$  e o  $\text{NH}_4^+$ , durante o período mais seco, têm comportamento similar ao do período total.

Durante o período chuvoso, observa-se um aumento dos teores de  $\text{Na}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{NO}_3^-$  em 100 cm, provavelmente devido ao maior volume de água no sistema. Esses íons podem estar sendo transportados para níveis mais profundos. Uma análise detalhada da interação dessas soluções com o sistema solo-planta não é possível devido ao baixo número de amostras coletadas e pela impossibilidade de obtenção dos parâmetros que caracterizam a circulação dessas soluções nos solos.

Tabela 4.17 – Valores médios, em  $\mu\text{Eq/l}$ , para as concentrações das diferentes espécies químicas nas águas do lençol suspenso (piezômetros), durante o período junho96-junho97 (Total); períodos seco (S-96) e chuvoso (C-97) (PII: 250 cm., PIII: 50 cm e PIV: 60 cm)

ESPÉCIE	Total-PII	Total-PIII	Total-PIV	S-96-PII	C-97-PII
$\mu\text{Eq/l}$					
H <sup>+</sup>	2,74	16,3	5,25	4,31	0,79
Na <sup>+</sup>	72,6	70,2	59,4	73,4	71,6
K <sup>+</sup>	25,2	11,6	11,6	18,7	32,9
Mg <sup>2+</sup>	12,4	11,4	14,3	10,7	14,4
Ca <sup>2+</sup>	19,2	11,0	10,4	15,4	23,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	41,9	30,2	22,9	31,4	47,1
ANC/BNC	35	-16	39	31	40
Cl <sup>-</sup>	48,8	55,2	40,2	51,1	46,2
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	35,1	53,4	7,99	22,1	50,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	10,1	11,7	8,36	13,3	6,25
Al <sup>3+</sup>	5,59	5,59	1,20	5,93	5,09
Fe <sup>3+</sup>	4,85	1,38	1,01	5,81	3,69
Mn <sup>2+</sup>	1,05	0,87	0,78	1,02	1,10
Cu <sup>2+</sup>	0,41	0,04	0,01	0,19	0,77
Zn <sup>2+</sup>	1,74	1,77	1,09	1,29	2,48
EN%	21	7	20	20	19

Na tabela 4.17 são mostrados os valores das médias aritméticas, em  $\mu\text{Eq/l}$ , das concentrações das diferentes espécies químicas para as águas coletadas nos piezômetros (águas do lençol suspenso). A partição entre período seco e chuvoso foi efetuada somente para PII, devido à limitação do número de amostras. O cálculo da EN em % mostra que somente o piezômetro PIII está em equilíbrio. Como as análises químicas são confiáveis, o desequilíbrio de cargas pode ser atribuído a vários fatores, tais como baixo número de amostras, contaminação ou presença de ânions orgânicos. Assim, analisando os resultados para o período total (PIII) verifica-se que, em geral, as espécies químicas não estão sendo postas em solução nessas águas, tendo teores inferiores aos encontrados nas águas livres do solo. Exceção existe para o Na<sup>+</sup> e o Fe<sup>2+</sup>, que estão enriquecidos, e para alguns íons, como o NH<sub>4</sub><sup>+</sup>, cuja variação não é significativa. O comportamento discutido acima é mostrado na figura 4.10 onde são mostradas graficamente essas variações para o período total de amostragem.



(a)



(b)



(c)

Figura 4.10 - Gráfico da variação da composição química ( $\mu\text{Eq/l}$ ) das águas do solo, em profundidade (cm), e do lençol (PIII) para os cátions (a), ânions (b) e metais (c).

#### 4.1.4. Os Solos.

De maneira geral, os latossolos de Serra do Navio são solo ácidos ( $4,0 < \text{pH} < 5,3$ ) e muito pobres em matéria orgânica, tanto na área de floresta como na degradada ( $C_{\text{total}} < 4\%$ ). São constituídos principalmente por quartzo, caolinita e goethita, podendo apresentar traços de mica. Podem conter, em alguns níveis, nódulos ou concreções ferruginosas ricas em hematita. Nesses casos, foram amostradas separadamente a fração nodular e a fração pulverulenta do solo.

Foram analisadas amostras provenientes de 4 perfis de solos (SN5 e SN10 localizados na topossequência I, e SN100 e SN102 na topossequência II). Foram coletadas ainda amostras de superfície, ao longo da topossequência II (SN30 a SN240). A representação esquemática da localização dessas amostras encontra-se na Figura 3.2. Na área degradada, materiais pedológicos remobilizados devido aos trabalhos da mineração de manganês forneceram amostras de solo superficial, tanto em

locais já cobertos por vegetação rasteira, como em locais sem nenhuma cobertura vegetal. Nas amostras de superfície, assim como nos diferentes horizontes amostrados nos quatro perfis, foram determinados os teores de Hg total e de carbono total, composição mineralógicas, além de outros parâmetros como a densidade e pH.

O comportamento do mercúrio ao longo da topossequência I foi definido nos perfis SN5 e SN10. Em SN5 (Figura 4.11), os teores de Hg se distribuem diferenciadamente no perfil, apresentando valores em torno de 300ppb até 250cm de profundidade e valores bem menores, da ordem de 80ppb para a base do perfil. Em uma única amostra, representando uma concreção ferruginosa, situada a 150cm de profundidade, foi encontrado um teor discordante dos valores médios obtidos no perfil (843ppb, figura 4.11).

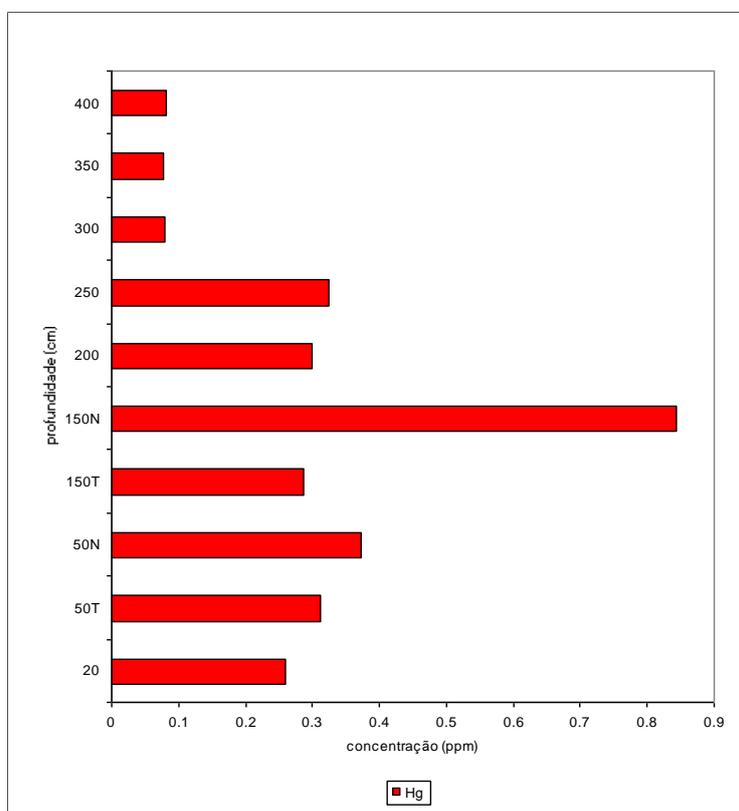


Figura 4.11 - Variação do Hg com a profundidade no perfil de solo SN5, Serra do Navio. N=concreções T=solo pulverulento.

De modo geral, não foi verificada a existência de correlação entre os teores de Fe e Mn e os de Hg. No entanto, não existe a menor dúvida que, para um mesmo nível, as concreções ferruginosas apresentam teores mais elevados em Hg que o solo pulverulento (matriz). Uma amostragem mais sistemática, realizada nos primeiros 70cm do perfil SN5 (7 amostras coletadas de solo pulverulento e 7 amostras de

concreções) mostrou variações entre 167 e 352ppb, com valores mais altos encontrados geralmente nas concreções (Tabela 4.18).

Tabela 4.18 - Hg em ppb os primeiros 70cm do perfil SN5.

Intervalo de profundidade em cm	Hg (ppb) Terra	Hg (ppb) Nódulo
0-3	167	229
3-6	192	145
6-10	179	177
10-15	192	171
15-20	198	216
30-40	198	229
60-70	230	352

O perfil SN10 (Figura 4.12) mostra valores de Hg que crescem regularmente de 197 ppb na superfície a 224 ppb a 110 cm de profundidade na fração pulverulenta do solo. Aqui também são amostrados, num mesmo nível, solo pulverulento e concreções. Nestas, os teores de Fe e Hg são sempre mais altos. O detalhamento da amostragem para os primeiros 70 cm mostrou valores de Hg entre 194 e 302 ppb (Tabela 4.19).

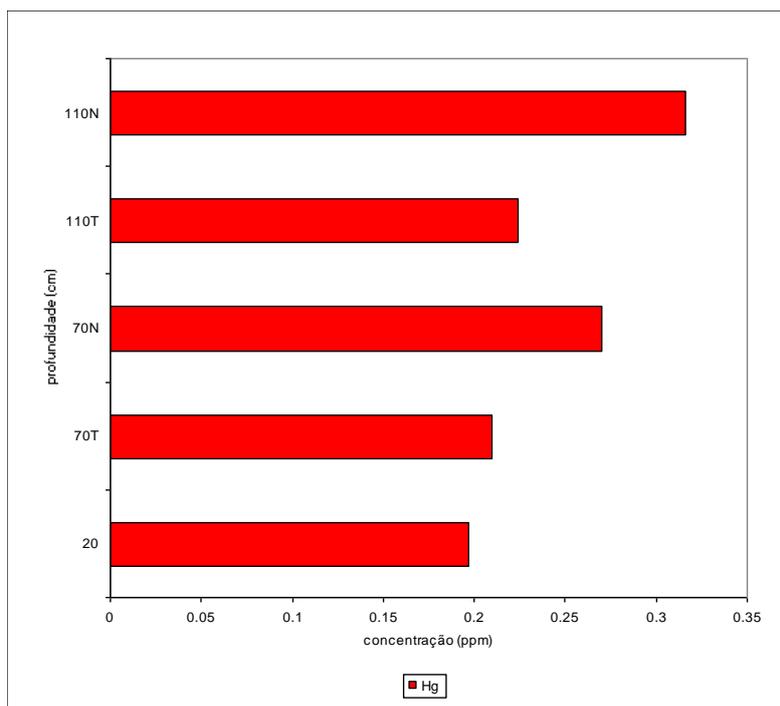


Figura 4.12 - Variação do Hg com a profundidade no perfil de solo SN10, Serra do Navio. N=concreções T=solo pulverulento.

Tabela 4.19 - Hg em ppb nos primeiros 70 cm do perfil SN10

Prof.(cm)	Hg ppb
0-3	217
3-6	194
6-10	206
10-15	206
15-20	194
30-40	228
60-70	302

O perfil SN102 (Figura 4.13) mostra valores decrescentes de Hg em direção à profundidade, variando de 203 ppb na superfície a 29 ppb a 370 cm de profundidade. Sempre que se analisaram as concreções separadas, estas mostraram valores mais altos de Fe e ligeiramente mais elevados de Hg que o solo pulverulento à mesma profundidade. O detalhamento da amostragem para os primeiros 70 cm mostra valores de Hg entre 94 e 226 ppb (Tabela 4.20).

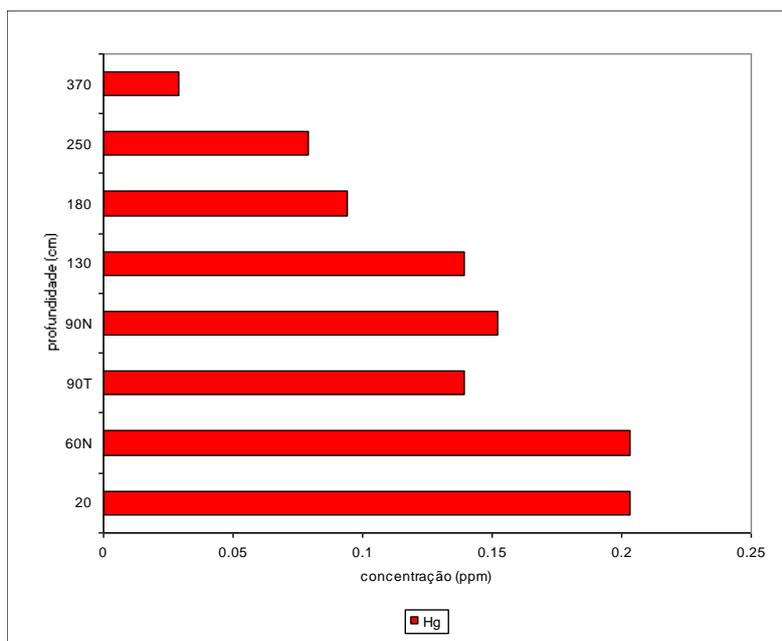


Figura 4.13 - Variação do Hg com a profundidade no perfil de solo SN102, Serra do Navio. N=concreções T=solo pulverulento.

Tabela 4.20 - Hg em ppb nos primeiros 70 cm do perfil SN102.

Prof.(cm)	Hg ppb Terra	Hg ppb Nódulos
0-3	101	
3-6	94	
6-10	171	199
10-15	171	226
15-20	157	185
30-40	157	
60-70	143	

O perfil SN100 (Figura 4.14) apresenta valores de Hg de 373 ppb à profundidade de 5 cm, 310 ppb à profundidade de 30-35 cm e 634 ppb à profundidade de 65-70 cm. Neste perfil, o valor mais alto de Hg corresponde ao valor mais alto de Fe. A amostragem desse perfil também foi detalhada para os primeiros 70 cm e mostrou valores entre 233 e 352 ppb (Tabela 4.21). O alto valor encontrado a 65-70 cm não foi reproduzido nessa segunda amostragem.

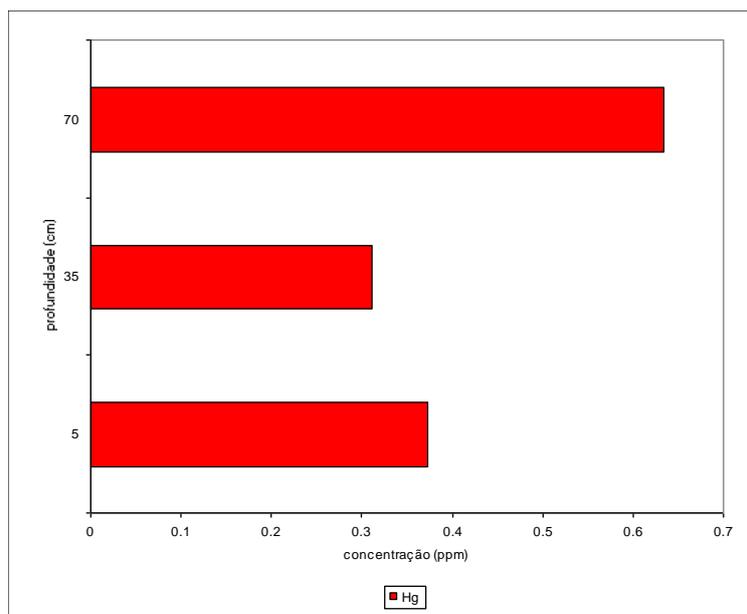


Figura 4.14 - Variação do Hg com a profundidade no perfil de solo SN100, Serra do Navio.

Tabela 4.21 - Hg em ppb nos primeiros 70 cm do perfil SN100.

Prof.(cm)	Hg ppb Terra	Hg ppb Nódulo
0-3	352	
3-6	345	
6-10	318	
10-15	233	
15-20	279	
30-40	266	
60-70	279	352

As amostras de solo coletadas na superfície, ao longo da topossequência II mostraram valores de Hg entre 242ppb e 431ppb. Observou-se uma tendência significativa de diminuição dos valores de Hg ( $R = 0.76$ ,  $p < 0.05$ ) do topo para a base da topossequência (Figura 4.15). Este comportamento poderia estar associado ao efeito de uma intensa lixiviação, resultante da drenagem oblíqua ao longo da topossequência. Roulet et al. (1996b) também observaram uma correlação significativa entre posição topográfica e teor de Hg. Neste caso os autores sugerem que as variações nas concentrações de Hg estavam diretamente ligadas ao fenômeno de podzolização e, portanto intensificação de processos de hidromorfia.

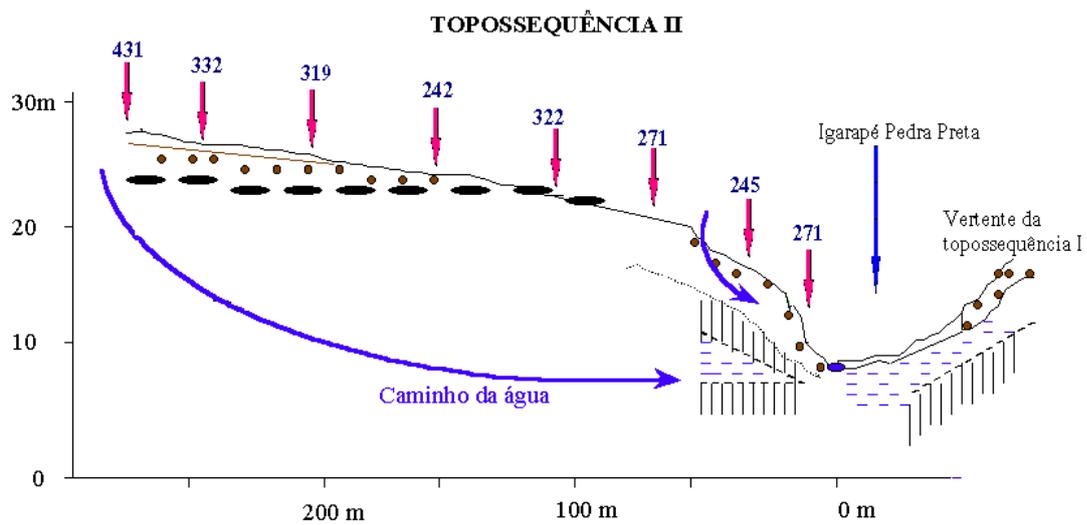


Figura 4.15 - Teores de Hg (ppb) nos solos de superfície da topossequência II.

Na área degradada, foram analisadas as amostras de números 1 a 5 em solo já coberto por vegetação rasteira e as de número 6 a 10 em área sem nenhuma cobertura vegetal (Tabela 4.22). São solos caoliníticos, com teores de Hg bem baixos, entre 57 e 103 ppb.

Tabela 4.22 - Hg em ppb na área de solos degradados

Amostras	Hg ppb
1	69
2	63
3	91
4	46
5	57
6	46
7	103
8	57
9	57
10	57

A diversidade da amostragem dos solos na região da Serra do Navio permitiu que fosse estudado o comportamento do Hg em função de vários parâmetros. Assim, verifica-se que o teor de Hg nos horizontes de superfície dos solos sob floresta situa-se sempre no intervalo de 200 a 400 ppb, apresentando uma diminuição consistente em direção aos níveis mais baixos da topossequência (Figura 4.15). As quantidades de Hg acumulado nos solos são apresentadas na tabela 4.23, onde nota-se uma concordância com os valores encontrados na região do Rio Tapajós por Roulet et al. (1996b). Com relação à profundidade no perfil, nos 2 perfis onde a amostragem chegou até cerca de 4 m, os teores de Hg diminuíram de forma consistente com a profundidade, chegando a valores inferiores a 100 ppb nos níveis mais profundos que 130 cm no perfil SN102 e 250 cm no perfil SN5 (Figuras 4.11 e 4.13). Nos horizontes que apresentam concrecionamento, ficou evidente que os teores de Hg são mais elevados nas concreções, acompanhando assim os mais altos teores de Fe (Figura 4.16) que, aliás, se refletem em maiores quantidade de goethita e na presença de hematita. Por outro lado, não foi encontrada correlação entre os teores de carbono total e o Hg total. Com relação à mineralogia dos solos, salvo nos casos de concrecionamento recém-apontados, não parece haver uma associação clara do Hg com a presença de certos minerais, como a goethita e os argilo-minerais.

Tabela 4.23- Mercúrio acumulado em solos da floresta de Serra do Navio

Serra do Navio	$\mu\text{g}/\text{m}^2$	$\mu\text{g}/\text{m}^2$
	0-20 cm	0-70 cm
SN100	73200	272880
SN102	36000	118800
SN10	49200	217440
SN5	44880	182160
Rio Tapajos (Roulet, 1996)	0-20 cm	0-60 cm
Solos ferralíticos lixiviados	31721 - 18740	189031 - 147460
Solos ferralíticos podzolizados	11779 - 9459	85778 - 37465

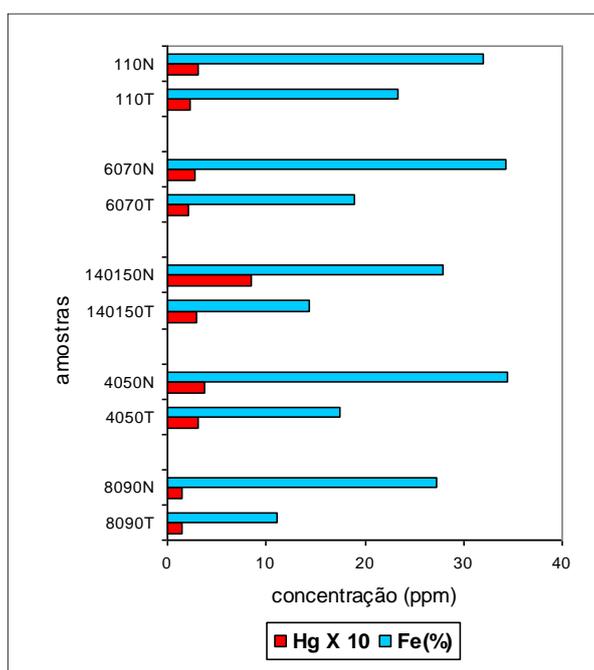


Figura 4.16 - Variação de Fe e Hg nas concreções e material pulverulento dos solos de Serra do Navio.

O conjunto das amostras de solo das topossequências I e II (34 amostras) foi analisado para os seguintes elementos: As, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, La, Sb, Sc, Se, Sm, Th, U, Yb e Zn. Os resultados mostram que apenas As, Br, Cr, Hf, Hg, Sb, Se, Th e U apresentam teores superiores ao *clarke* (Figura 4.17). Esses elementos configuram 2 conjuntos, um representado pelo Hf, U e Th, relacionado à filiação granítica, e outro, composto pelos demais elementos (As, Br, Cr, Hg, Sb e Se), que poderiam estar ligados a rochas máficas associadas a sulfetos.

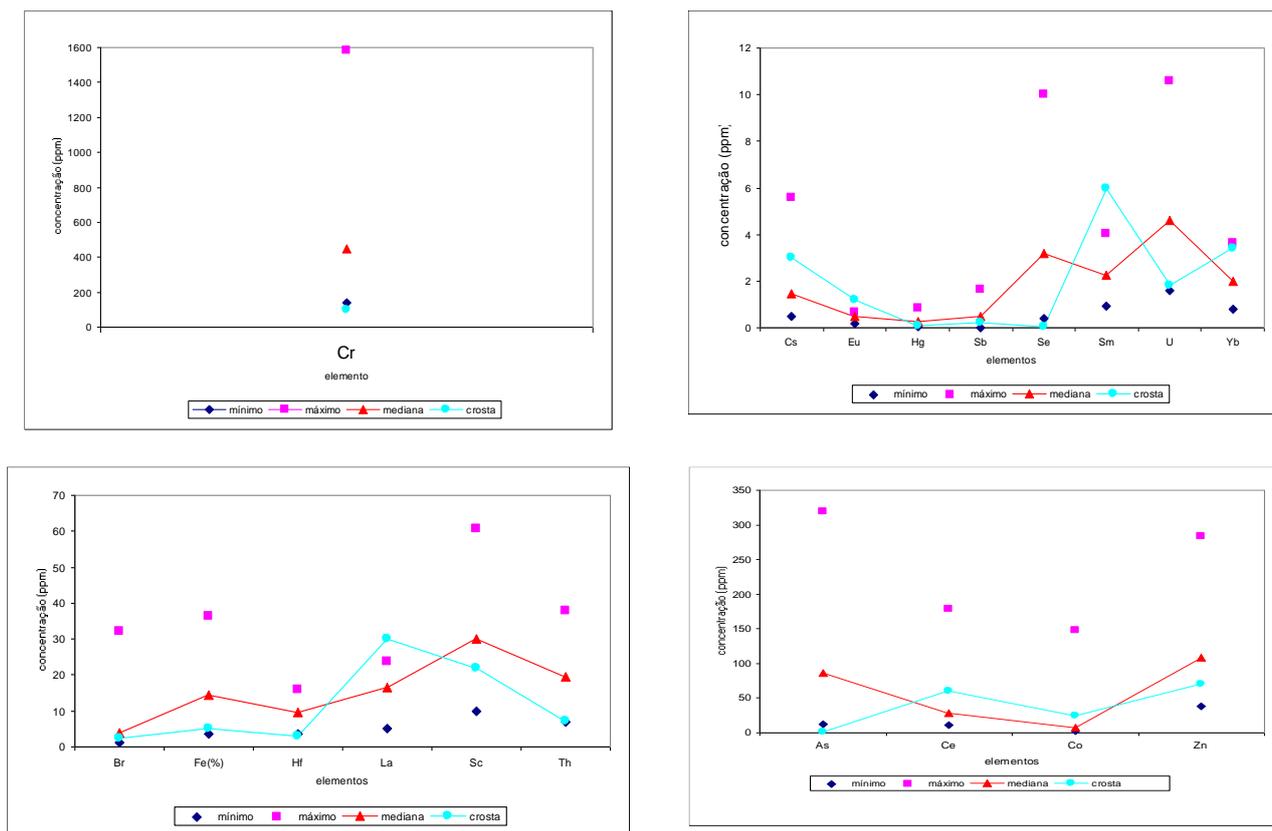


Figura 4.17 - Máximo, mínimo, mediana e clarke para as amostras de solos de Serra do Navio.

A análise fatorial modo R com rotação varimax para as 34 amostras permitiu a extração de 3 fatores que representam respectivamente 29,5%, 17,7% e 13,1% da variância total. As cargas predominantes para o primeiro fator correspondem a As, Cr, Fe e Sc, para o segundo a Eu, La e Sm, e para o terceiro a Ce, Co e Hg. O primeiro fator representa a associação rochas máficas - sulfetos, o segundo reúne as terras raras, podendo estar relacionado à assinatura geoquímica granítica, e o terceiro, Ce-Co-Hg, poderia representar uma associação ligada a nódulos manganésíferos, que costumam concentrar esses elementos. A falta de determinações do Mn para estas amostras impede a verificação direta dessa hipótese.

Quando se analisam os dados multielementares para as concreções ferruginosas em comparação com o material pulverulento do mesmo nível de solo, verifica-se que, além da maior concentração de Hg e Fe nas concreções, há também maior concentração de As, Cr e Sc. Assim, o fator 1 poderia estar refletindo o fato de que esta associação primária permanece na superfície.

#### 4.1.5. Os Sedimentos em Suspensão.

Os resultados relativos aos sedimentos em suspensão são apresentados e discutidos separadamente para a área natural (PN) e para a área total, que inclui a área degradada (PF). Foi calculada, para os dois conjuntos de dados, a matriz de correlação linear, com o coeficiente de Spearman de correlação por postos, ao nível de 5% de significância. Para avaliar a partição das espécies químicas entre a fase solúvel e sólida, foram analisadas também as razões entre os valores das concentrações de massa, de cada espécie química, no sedimento em suspensão e na solução aquosa, aqui denominado coeficiente EFS.

##### Sub-bacia natural do igarapé Pedra Preta.

Na tabela 4.24, são apresentados os coeficientes de correlação entre as espécies químicas aqui consideradas. Com base nesses coeficientes, essas espécies químicas podem ser divididas em dois grupos:  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Fe}^{3+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  e  $\text{Mn}^{2+}$ , que podem ser associados aos minerais principais da bacia, e,  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , que podem ser associados principalmente à biomassa.

Tabela 4.24 – Matriz de correlação mostrando o Coeficiente de Spearman e (Nível de Significância) para a área natural da bacia do igarapé Pedra Preta (PN).

	$\text{Na}^+$	$\text{K}^+$	$\text{Mg}^{2+}$	$\text{Ca}^{2+}$	$\text{Al}^{3+}$	Fe	$\text{SiO}_2$	Mn
$\text{Na}^+$	1,000 (1,000)	-	-	-	-	-	-	-
$\text{K}^+$	<b>0,930</b> <b>(0,002)</b>	1,000 (1,000)	-	-	-	-	-	-
$\text{Mg}^{2+}$	<b>0,832</b> <b>(0,006)</b>	0,720 (0,170)	1,000 (1,000)	-	-	-	-	-
$\text{Ca}^{2+}$	<b>0,960</b> <b>(0,001)</b>	<b>0,860</b> <b>(0,004)</b>	<b>0,890</b> <b>(0,003)</b>	1,000 (1,000)	-	-	-	-
$\text{Al}^{3+}$	0,454 (0,132)	0,454 (0,132)	0,330 (0,276)	0,496 (0,100)	1,000 (1,000)	-	-	-
Fe	0,231 (0,444)	<b>0,273</b> <b>(0,366)</b>	0,392 (0,194)	0,322 (0,286)	-0,035 (0,908)	1,000 (1,000)	-	-
$\text{SiO}_2$	<b>0,890</b> <b>(0,003)</b>	<b>0,930</b> <b>(0,002)</b>	<b>0,730</b> <b>(0,016)</b>	<b>0,840</b> <b>(0,005)</b>	0,441 (0,144)	0,290 (0,342)	1,000 (1,000)	-
Mn	0,434 (0,150)	0,461 (0,123)	0,270 (0,378)	0,503 (0,095)	0,310 (0,307)	0,343 (0,256)	0,490 (0,104)	1,000 (1,000)

Os valores das razões EFS são mostrados na Tabela 4.25; a partir da análise desses valores é possível deduzir que para o  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Ca}^{2+}$  a partição entre sedimento em suspensão e em solução pode estar

associada à quantidade de precipitação do período. Para o  $K^+$ , o componente do sedimento em suspensão predomina sobre o da solução. Isso ocorre provavelmente devido à alteração intempérica de minerais como a mica. O componente dominante para o  $Mg^{2+}$  é o da solução, evidenciando que sua fonte principal tem origem na decomposição da biomassa. Para a  $SiO_2$ , o componente dominante também é o da solução, devido ao pH do meio e à alta lixiviação.

Tabela 4.25 – Valores das razões entre a concentração de massa das espécies químicas no sedimento em suspensão e na solução – EFS, para a área natural da bacia.

Mês	$Na^+$	$K^+$	$Mg^{2+}$	$Ca^{2+}$	$Al^{3+}$	Fe	$SiO_2$	Mn
JL/93	1,26	1,41	0,80	0,67	719,47	663,09	0,43	66,72
AG	1,27	1,18	0,69	0,39	546,26	996,73	0,33	108,41
SE	0,95	0,64	0,49	0,32	3683,94	517,13	0,39	133,43
OT	1,23	1,68	0,83	0,91	812,73	1251,12	0,38	233,50
NV	1,61	1,90	0,85	0,28	572,91	942,51	0,34	50,04
DC	1,94	1,85	1,34	0,54	1119,17	3252,91	0,46	100,07
JA/94	1,32	2,15	0,97	1,13	759,44	1851,66	0,36	200,15
FV	1,48	1,41	1,52	0,88	346,41	792,38	0,50	50,04
MR	3,57	3,92	0,79	1,39	668,86	494,20	0,64	75,90
AB	2,58	5,55	0,76	1,97	259,56	642,25	0,81	75,90
MA	2,37	4,65	0,74	1,85	329,44	567,18	0,86	101,19
JN	5,90	4,00	1,39	2,04	259,56	352,29	0,21	25,02

Quanto ao  $Al^{3+}$ ,  $Fe^{3+}$  e  $Mn^{4+}$ , o componente dominante é o oriundo dos sedimentos em suspensão. Esse resultado era esperado, uma vez que essas espécies provêm da caolinita e óxi-hidróxidos de Al, Fe e Mn, presentes no perfil de alteração. Nessa sub-bacia a erosão mecânica é baixa, com valores de carga em suspensão entre 2,7 mg/L e 137 mg/L.

A proporção das diferentes espécies químicas encontradas no sedimento em suspensão indica que sua principal fonte são os nutrientes carreados para o canal do rio; na solução aquosa, algumas espécies como o Mn podem estar associadas ao material coloidal.

Na tabela 4.26 são mostradas as estatísticas, em  $\mu\text{Eq/l}$ , e os valores totais em  $\text{kg/ha/ano}$ , para as diferentes espécies químicas, exportados sob a forma de sedimento em suspensão da área natural da bacia.

Tabela 4.26 - Estatísticas para a composição química dos sedimentos em suspensão nas águas do igarapé Pedra Preta na saída da área natural da bacia (PN) em  $\mu\text{Eq/l}$ , e total exportado em  $\text{kg/ha/ano}$  (negrito).

	N	M.Art.	Mediana	Moda	M.Geom.	Var.	Std	Min.	Max	kg/ha/ano
Na <sup>+</sup>	24	7,41	7,23	7,17	7,24	2,70	1,64	4,38	11,5	<b>1,51</b>
K <sup>+</sup>	24	2,26	1,70	1,67	1,80	406	2,01	0,92	11,1	<b>0,75</b>
Mg <sup>2+</sup>	24	4,38	4,39	4,18	4,05	3,25	1,80	1,84	9,82	<b>0,47</b>
Ca <sup>2+</sup>	24	7,40	6,59	6,48	6,90	9,91	3,15	4,26	17,5	<b>1,30</b>
Al <sup>3+</sup>	24	226	153	115	162	61.10 <sup>3</sup>	247	42,9	1,23.10 <sup>3</sup>	<b>19,3</b>
Fe <sup>3+</sup>	24	53,8	41,4	41,4	47,1	968	31,1	22,0	128	<b>9,27</b>
Mn <sup>2+</sup>	24	1,71	1,10	1,10	1,30	2,00	1,42	0,32	5,10	<b>0,35</b>

#### Bacia total do igarapé Pedra Preta (Foz).

As amostras oriundas da foz do igarapé Pedra Preta têm um componente procedente da área natural da bacia e um da área degradada. Assim, os resultados obtidos para estas amostras refletem a influência da área degradada sobre os sedimentos em suspensão. Na Tabela 4.27, são mostrados os coeficientes de correlação entre as espécies químicas maiores, calculados para as amostras coletadas na foz do Igarapé. De modo diferente da área natural, na saída da bacia as espécies químicas consideradas apresentam correlação entre si com exceção do Fe<sup>3+</sup>. Esse comportamento isolado do Fe<sup>3+</sup> permite associá-lo à ocorrência de crostas ferruginosas endurecidas (lateritas/courças), presentes na área de drenagem. Quanto às outras espécies químicas, a existência de correlação entre elas indica que a variação das mesmas pode ser atribuída igualmente ao intemperismo dos minerais e à biomassa.

Tabela 4.27 - Matriz de correlação mostrando o Coeficiente de Spearman e (Nível de Significância) para a área total da bacia do igarapé Pedra Preta (PF).

	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Mn
Na <sup>+</sup>	1,000 (1,000)	-	-	-	-	-	-	-
K <sup>+</sup>	<b>0,650</b> <b>(0,031)</b>	1,000 (1,000)	-	-	-	-	-	-
Mg <sup>2+</sup>	<b>0,820</b> <b>(0,007)</b>	<b>0,920</b> <b>(0,002)</b>	1,000 (1,000)	-	-	-	-	-
Ca <sup>2+</sup>	<b>0,820</b> <b>(0,007)</b>	<b>0,664</b> <b>(0,028)</b>	<b>0,832</b> <b>(0,006)</b>	1,000 (1,000)	-	-	-	-
Al <sup>3+</sup>	0,441 (0,144)	<b>0,780</b> <b>(0,010)</b>	<b>0,700</b> <b>(0,020)</b>	<b>0,615</b> <b>(0,041)</b>	1,000 (1,000)	-	-	-
Fe	0,224 (0,458)	0,315 (0,297)	0,406 (0,179)	0,510 (0,0900)	0,224 (0,458)	1,000 (1,000)	-	-
SiO <sub>2</sub>	<b>0,902</b> <b>(0,003)</b>	0,545 (0,070)	<b>0,734</b> <b>(0,015)</b>	<b>0,755</b> <b>(0,012)</b>	0,343 (0,256)	0,461 (0,123)	1,000 (1,000)	-
Mn	<b>0,720</b> <b>(0,017)</b>	<b>0,990</b> <b>(0,001)</b>	<b>0,970</b> <b>(0,001)</b>	<b>0,713</b> <b>(0,018)</b>	<b>0,762</b> <b>(0,011)</b>	0,336 (0,266)	<b>0,615</b> <b>(0,041)</b>	1,000 (1,000)

Os valores das razões EFS para as águas da foz do igarapé (Tab. 4.28) evidenciam que o material erodido está sendo solubilizado, pois o componente dominante, para cada espécie, é o da solução aquosa. Nesta área, observa-se um aumento significativo da erosão, variando de 0,03 ton/m<sup>2</sup>/ano em PN até 2,2 ton/m<sup>2</sup>/ano em PF. Esta diferença ocorre devido à ausência de vegetação e à constante perturbação da topografia. O material erodido, associado aos materiais existentes na bacia, está sendo solubilizado desde sua origem até a foz.

Tabela 4.28 - Valores das razões entre a concentração de massa das espécies químicas no sedimento em suspensão e na solução (EFS), para a bacia como um todo.

Mês	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	Mg <sup>2+</sup>	Ca <sup>2+</sup>	Al <sup>3+</sup>	Fe	SiO <sub>2</sub>	Mn
JL/93	0,17	0,89	0,15	0,12	254,81	138,67	0,02	0,43
AG	0,13	0,18	0,08	0,06	122,91	42,04	0,02	0,12
SE	0,11	0,12	0,05	0,06	325,76	26,36	0,02	0,11
OT	0,14	0,63	0,11	0,06	289,79	116,94	0,02	0,44
NV	0,21	0,17	0,14	0,10	102,92	46,88	0,07	0,13
DC	0,26	0,30	0,11	0,08	85,94	75,32	0,11	0,21
JA/94	0,17	0,70	0,12	0,01	194,86	2,67	0,04	0,34
FV	0,37	3,87	0,49	0,27	904,83	387,60	0,08	1,28
MR	0,39	1,20	0,31	0,09	395,08	0,88	0,05	1,06
AB	0,28	0,40	0,17	0,14	138,02	76,34	0,13	0,35
MA	0,26	0,40	0,42	0,16	95,09	53,69	0,06	0,22
JN	0,25	0,21	0,09	0,10	30,95	42,05	0,06	0,07

Na tabela 4.29 são mostradas as estatísticas para a composição química dos sedimentos em suspensão nas águas do igarapé Pedra Preta na saída da bacia (**PF**) expressa pelos totais exportados, em kg/ha para as diferentes espécies químicas.

Tabela 4.29 - Estatísticas para a composição química dos sedimentos em suspensão nas águas do igarapé Pedra Preta na saída da bacia, na foz (**PF**) em  $\mu\text{Eq/l}$ , e total exportado em kg/ha/ano (negrito).

	N	M.Art.	Mediana	Moda	M.Geom.	Var.	Std	Min.	Max	kg/ha/ano
	$\mu\text{Eq/l}$									
Na <sup>+</sup>	24	7,69	7,43	6,86	7,39	5,06	2,25	4,04	12	<b>2,37</b>
K <sup>+</sup>	24	2,99	4,48	3,96	6,62	438	20,9	1,80	96,2	<b>7,20</b>
Mg <sup>2+</sup>	24	6,64	4,54	4,54	5,48	32,1	5,67	2,92	28,1	<b>1,11</b>
Ca <sup>2+</sup>	24	9,75	7,70	6,70	8,54	30,3	5,50	3,98	22,7	<b>2,69</b>
Al <sup>3+</sup>	24	706	463	275	397	35.10 <sup>4</sup>	596	0,43	2.10 <sup>3</sup>	<b>88,7</b>
Fe <sup>3+</sup>	24	170	126	98,4	111	24.10 <sup>3</sup>	155	3,75	695	<b>41,0</b>
Mn <sup>2+</sup>	24	17,9	10,7	5,46	11,8	372	19,3	3,28	80,1	<b>6,54</b>

Esses resultados evidenciam que a degradação da parte baixa da bacia, onde ocorreram desmatamentos, modificações da drenagem e dos solos, é responsável pela alteração significativa dos padrões de intemperismo. Observa-se que, além do aumento da carga de sólidos em suspensão no canal do rio, há um aumento significativo da carga de material em solução nessas águas.

Os valores dos coeficientes de correlação entre as espécies maiores evidenciam que, na área natural, essas espécies provêm principalmente da biomassa; na área degradada, elas provêm tanto da biomassa como dos minerais que estão no material em suspensão.

Na área natural da bacia, a composição dos sedimentos em suspensão mostra uma partição clara entre as espécies provenientes da biomassa, carreadas para o canal na forma de partículas, e aquelas provenientes dos minerais presentes no perfil de alteração. Na saída da bacia, onde a composição das águas e dos sedimentos reflete a integração dos processos da área de drenagem como um todo, não existe essa partição. Pode-se inferir que os processos de intemperismo/erosão na área degradada são a principal fonte do material em suspensão.

A quantidade de material em suspensão por litro de água exportado pela foz representa, em média, cerca de 70 vezes mais do que os valores na área natural. Uma parte significativa desse material está sendo solubilizado, indicando que existe uma intensificação do intemperismo químico. Na saída da bacia, foi construída uma lagoa de decantação para impedir que o material sólido proveniente desta área vá para o principal corpo d'água da região, o rio Amapari. Entretanto, os produtos do intemperismo em solução nas águas de drenagem, não somente dessa microbacia, mas de várias outras que drenam a área de concessão da mineração, estão sendo transportados para esse rio.

#### **4.1.6. Os sedimentos de Fundo.**

Foram analisadas 4 amostras de sedimento do fundo do rio Amapari e uma amostra do fundo do igarapé Pedra Preta. Compõem-se todas elas predominantemente de quartzo e caolinita. Traços de mica também estão presentes. Em uma amostra do rio Amapari aparece a goethita em pequena quantidade. Os teores de Hg nesses sedimentos variam de 190 a 450 ppb. Não há boa correlação entre o teor de Fe e o aparecimento do pico da goethita nos difratogramas, o que pode indicar que parte do Fe esteja amorfo. As amostras com maiores teores em Fe e Mn são também as que apresentam maiores teores em Hg.

Foram ainda estudadas amostras de sedimentos de um perfil coletado dentro da lagoa de decantação situada na foz do igarapé. Foi determinada a composição mineralógica e os teores de Fe desses sedimentos. São ricos em quartzo e caolinita, e freqüentemente apresentam mica, com incipiente transformação em filossilicato 2:1, cuja natureza não foi possível determinar. Os teores de Fe estão entre 6 e 9%. Os teores de Hg estão em torno de 39 ppb para as 4 primeiras amostras, correspondentes às profundidades de 0-5, 5-10, 10-15, 15-20 cm. As amostras 20-25 e 25-30 cm já apresentam teores um pouco mais altos (64,9 e 58,5 ppb), mas bem inferiores aos das demais amostras de sedimentos da região. No caso das amostras do perfil da lagoa de decantação não há correlação entre os teores de Fe e

Hg. Esperava-se que concentração da ordem de 200 a 400 ppb encontradas nos solos da floresta e no sedimento de fundo do igarapé Pedra Preta fossem encontradas no sedimento de fundo da lagoa. Entretanto, deve levar-se em conta o fato de que o perfil analisado foi coletado na entrada da lagoa onde o material depositado é grosso e rico em quartzo, enquanto sabe-se que os metais traço são preferencialmente adsorvidos sobre as partículas finas, ricas em argila. Coletar uma amostra de perfil na saída da lagoa foi impossível em razão das dificuldades de acesso.

As amostras de sedimentos de fundo do rio Amapari e do igarapé Pedra Preta foram submetidas à análise multielementar, tendo sido dosados, além do Hg, os seguintes elementos: Cs, Eu, Ho, Lu, Sb, Ta, Tb, U, W, Yb, Br, Co, Hf, La, Nd, Rb, Sc, Sm, Th, Ba, Ce, Cr, V, Zn, Zr, Fe, K, Mg, Mn, Na e Ti. A Figura 4.18 mostra os valores máximos, mínimos e a mediana para cada elemento, comparados com os valores médios da crosta (*clarke*). Os elementos que apresentam mediana significativamente mais elevada que o *clarke* são as TR (La, Ce, Sm, Eu, Lu), Th, Hf e Zn, o que caracteriza uma associação tipicamente granítica, indicando ser esta a natureza predominante das rochas fontes dos sedimentos. Além desses elementos, apresentam mediana superior ao *clarke* o Br, Se, Hg e Zn, que poderiam estar relacionados à existência de mineralizações sulfetadas a montante.

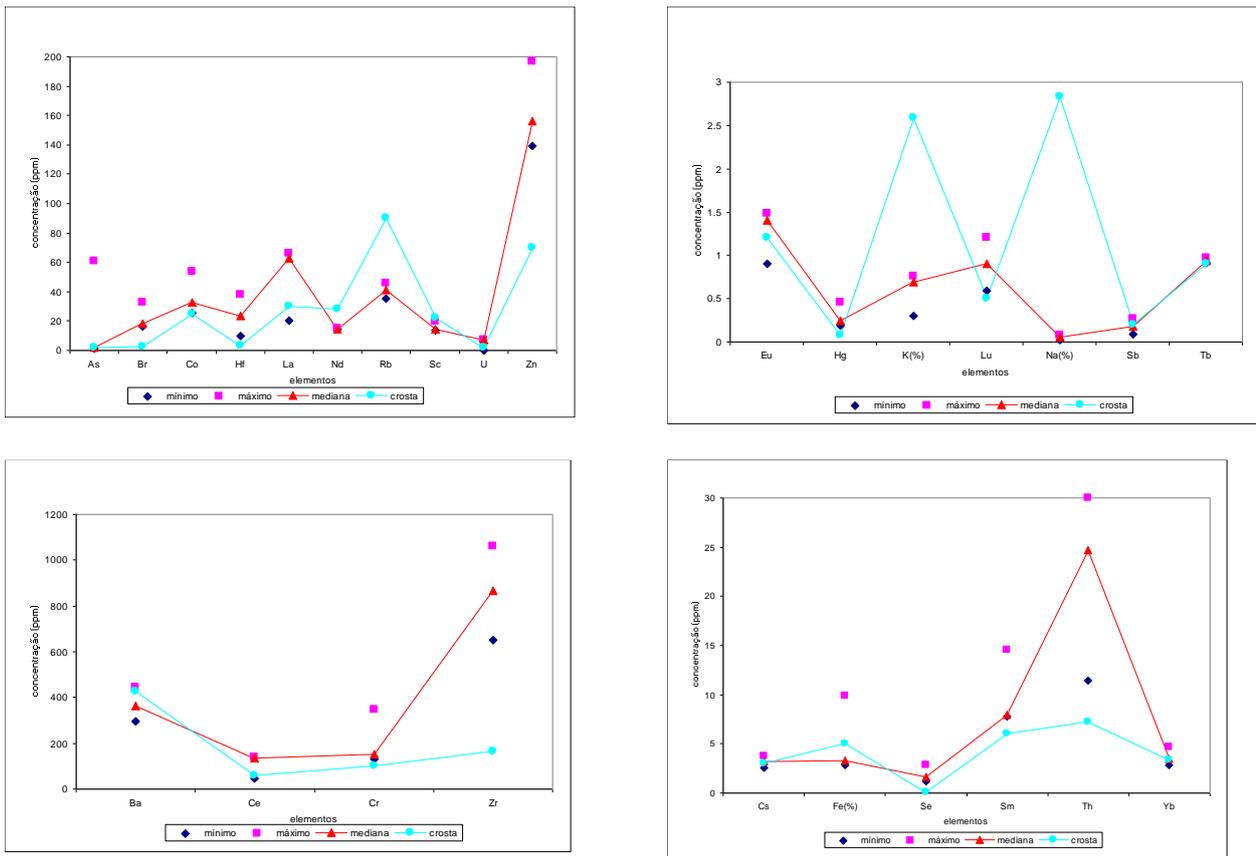


Figura 4.18 - Máximo, mínimo, mediana e clarke para as amostras de sedimentos de Serra do navio (n=5)

Os dados multielementares das amostras do perfil da lagoa de decantação na foz do igarapé foram tratados separadamente, dado sua natureza distinta em relação às amostras de fundo de rio. Como se trata nesse caso de amostragem em perfil tentou-se investigar a variação química dos sedimentos com a profundidade. Os resultados (Figura 4.19) mostram que até a profundidade amostrada não parece haver variação consistente dos teores dos elementos analisados com a profundidade.

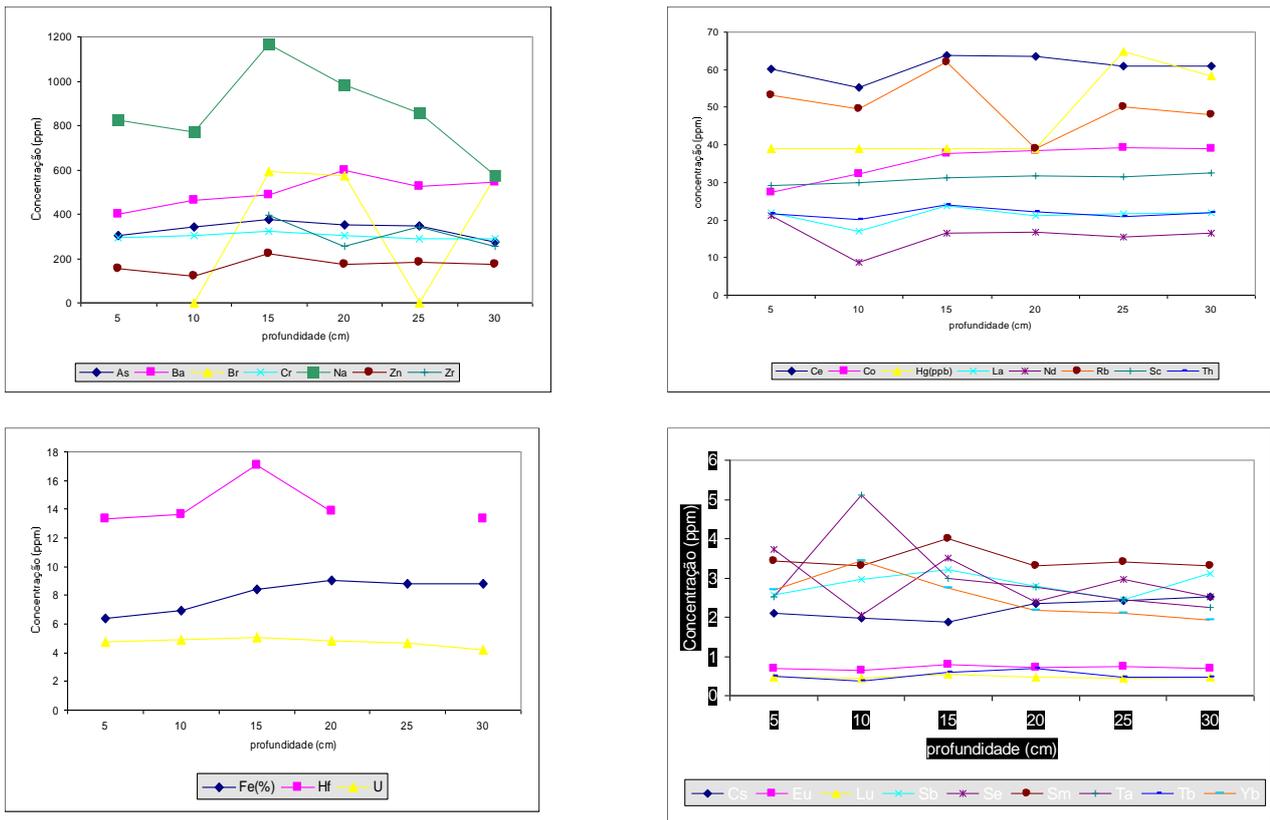


Figura 4.19 - Variação dos elementos traço com a profundidade no perfil da lagoa de decantação, Serra do Navio.

#### 4.1.7. As Águas do Igarapé Pedra Preta.

As águas do igarapé foram amostradas na saída da sub-bacia natural (PN) e na saída da bacia (PF). A composição das águas coletadas na foz do igarapé apresenta uma contribuição oriunda da área degradada. Sua caracterização permite, assim, extrair informações sobre os impactos, em pequena escala, causados pela degradação da porção inferior da bacia. Nas tabelas 4.30 e 4.31 são mostradas as estatísticas para essas águas, estando os teores em  $\mu\text{Eq/l}$ . A eletroneutralidade dessas águas, para o período total é de 1,2% em PN e 17% em PF, mostrando que os cátions e ânions dessas águas estão em balanço. Como não foram efetuadas medidas contínuas de vazão, não é possível efetuar uma média ponderada que represente a composição química média dessas águas sem o fator de diluição. Esse fator de diluição (variação no fluxo de água no momento da coleta) introduz um componente significativo na variância das concentrações.

Os resultados mostram concentrações maiores para todos os íons passíveis de remobilização do sistema através de intemperismo químico. Na última coluna das tabelas 4.30 e 4.31 são mostrados, para comparação, os resultados de um estudo realizado na Amazônia Central entre julho 1989 a julho 1990

(Williams et al., 1997a). Esses resultados referem-se a um par de bacias; uma natural e outra que foi desmatada, queimada e plantada com mandioca. As águas das duas bacias são mais ácidas do que as deste estudo, provavelmente devido à presença de matéria orgânica. Considerando a área natural, exceto para o nitrato e o ferro, as águas do igarapé Pedra Preta são mais ricas de modo semelhante ao que se observa na precipitação. O mesmo comportamento é observado para a área alterada; com exceção do nitrato, todas as outras espécies são mais enriquecidas. Na bacia do igarapé Pedra Preta, além de as entradas serem maiores, a área degradada é constituída quase que somente de solo nu, o que favorece o intemperismo.

Tabela 4.30 - Estatísticas para a composição química das águas do igarapé Pedra Preta na saída da área natural da bacia (PN) em  $\mu\text{Eq/l}$ .

	N	M.Art.	Mediana	Moda	Std	Min.	Max	Amaz. Central*
	$\mu\text{Eq/l}$							
H <sup>+</sup>	105	0,51	0,47	0,35	0,26	0,07	1,55	18,4
Alc	102	138	111	124	163	-56,6	1334	
Na <sup>+</sup>	111	57,3	85,0	110	20,0	0,00	181	11,1
K <sup>+</sup>	111	13,3	9,56	4,89	13,3	3,6	128	1,5
Mg <sup>2+</sup>	111	71,1	64,6	60,1	24,5	2,6	154	2,4
Ca <sup>2+</sup>	111	92,1	49,7	34,0	103	0,00	553	5,4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	110	2,80	1,79	0,00	4,15	0,00	25,4	0,4
Cl <sup>-</sup>	110	84,2	75,0	82,4	59,8	22,1	389	11,4
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	110	8,54	6,23	0,00	10,9	0,00	56,5	8,5
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	110	14,4	12,9	13,5	10,0	2,28	66,4	3,6
Al <sup>3+</sup>	20	1,75	1,57	0,36	1,13	0,36	4,50	5,7
Fe <sup>3+</sup>	20	1,60	1,66	1,29	0,80	0,66	3,18	1,5
Mn <sup>2+</sup>	20	0,81	0,74	0,64	0,35	0,24	1,96	0,07
Cu <sup>2+</sup>	20	0,22	0,20	0,04	0,13	0,04	0,62	
Zn <sup>2+</sup>	19	3,17	2,30	2,20	2,45	0,82	10,1	
Hg	11	0,05	0,04	0,04	0,02	0,02	0,09	
Si	13	270	244	241	51,4	210	370	180

\* Williams et al., 1997a

Tabela 4.31 - Estatísticas para a composição química das águas do igarapé Pedra Preta na saída da bacia como um todo (área natural e área degradada: PF) em  $\mu\text{Eq/l}$ .

	N	M.Art.	Mediana	Moda	Std	Min.	Max	Amaz. Central*
	$\mu\text{Eq/l}$							
H <sup>+</sup>	118	1,12	0,16	0,16	5,97	0,06	58,9	11,2
Alc	111	137	137	120	65,8	-25,4	326	
Na <sup>+</sup>	120	75,1	73,9	68,3	12,4	33,9	105	15,6
K <sup>+</sup>	118	21,6	20,1	20,5	9,75	5,55	70,3	5,4
Mg <sup>2+</sup>	121	87,3	81,8	71,2	27,2	5,50	230	5,8
Ca <sup>2+</sup>	120	118	96,9	86,1	57,2	14,4	311	8,6
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	121	6,17	5,31	0,00	5,54	0,00	25,5	1,0
Cl <sup>-</sup>	121	67,7	68,9	68,9	11,9	26,4	95,5	13,8
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	121	12,0	11,1	8,9	7,06	0,00	53,9	11,6
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	121	224	182	260	130	11,8	61,2	11,4
Al <sup>3+</sup>	21	1,16	0,60	,45	2,23	0,00	10,7	4,5
Fe <sup>3+</sup>	21	4,14	3,62	3,54	2,98	0,03	12,4	2,1
Mn <sup>2+</sup>	21	140	130	130	40,5	96,4	281,4	0,11
Cu <sup>2+</sup>	21	0,19	0,15	0,00	0,15	0,00	0,5	
Zn <sup>2+</sup>	19	2,71	2,10	1,18	1,97	0,60	9,20	
Hg	10	0,02	0,01	0,01	0,02	0,01	0,07	
Si	13	165	167	174	14,3	137	194	143

\* Williams et al., 1997a

Nas figuras 4.20 (a,b) e 4.21 são mostradas as variações das concentrações médias mensais em  $\mu\text{Eq/l}$  para as águas coletadas em PN e PF para o período de tempo coberto por este trabalho.

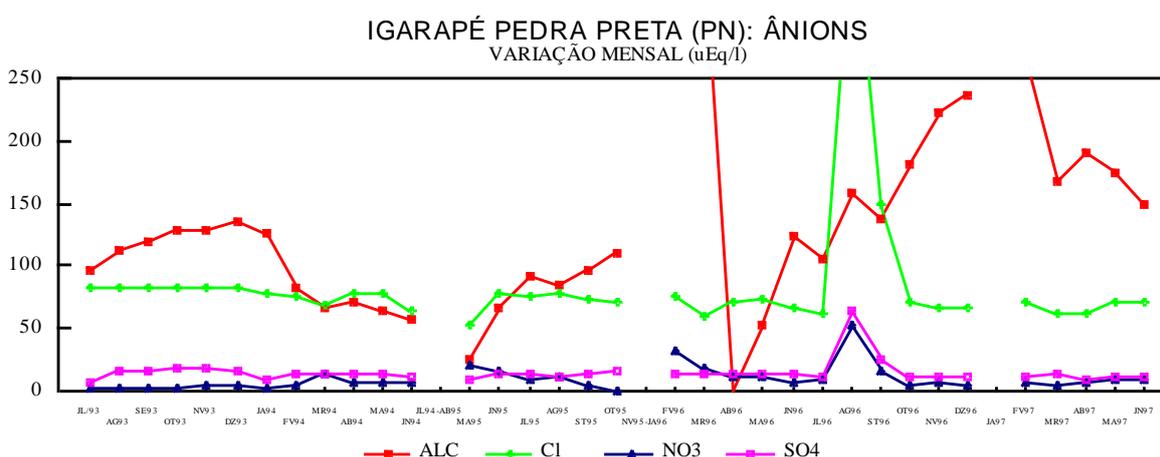
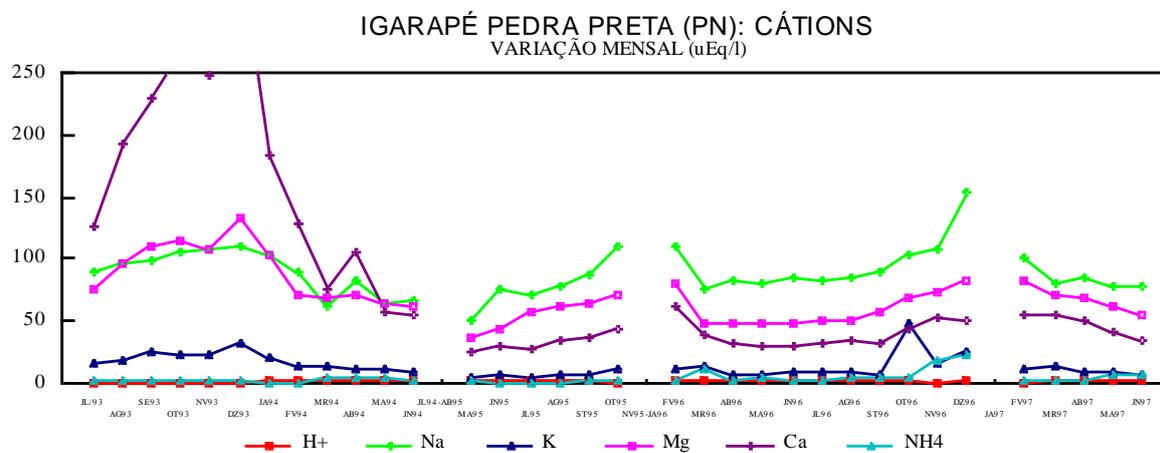
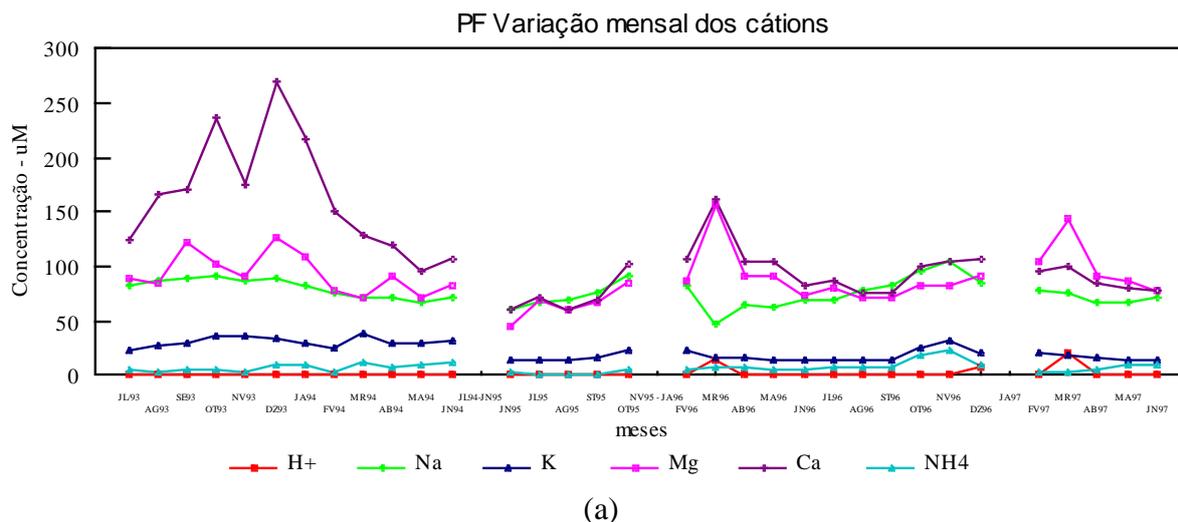
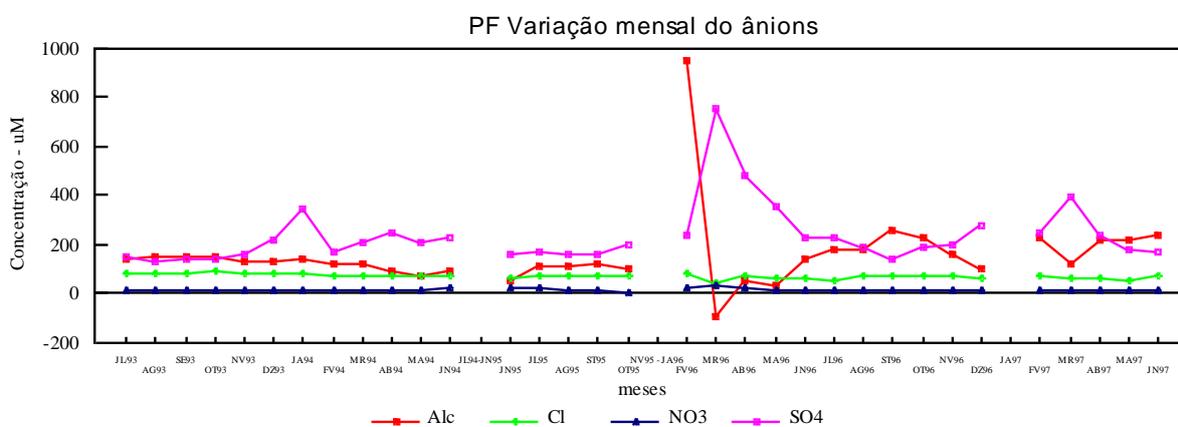


Figura 4.20 - Variação média mensal da concentração dos cátions (a) e ânions (b), em ( $\mu\text{Eq/l}$ ), para as águas do igaraapé Pedra Preta, coletadas na floresta (PN)



(a)



(b)

Figura 4.21 - Variação média mensal da concentração dos cátions (a) e ânions (b), em ( $\mu\text{Eq/l}$ ), para as águas do igarapé Pedra Preta, coletadas na foz (PF).

Esses gráficos evidenciam que existe uma baixa variabilidade na composição das amostras coletadas. Esses resultados podem ser atribuídos ao fato de que a maior parte das amostras foi coletada com o mesmo nível de água do igarapé, em geral no fluxo de base. Os valores mostrados nesses gráficos serão utilizados nas discussões e cálculos apresentados daqui em diante. Isto porque serão necessários os valores de vazão, os quais foram estimados anteriormente.

Para esse conjunto de amostras, foram calculados os coeficientes de Spearman para correlação por postos, para **PN** e **PF**. Esses valores são mostrados nas tabelas 4.32 e 4.33, respectivamente.



Tabela 4.33 - Coeficientes Spearman de correlação por postos e (Nível de Significância) para o conjunto de amostras de água do igarapé Pedra Preta na saída da bacia (PF).

	H+																
H+	1,000 (1,000)	Na+															
Na+	-0,659 (0,000)	1,000 (1,000)	K+														
K+	-0,262 (0,139)	0,598 (0,001)	1,000 (1,000)	Mg2+													
Mg2+	0,067 (0,705)	0,261 (0,140)	0,382 (0,031)	1,000 (1,000)	Ca2+												
Ca2+	-0,161 (0,362)	0,457 (0,010)	0,778 (0,000)	0,682 (0,000)	1,000 (1,000)	NH4+											
NH4+	0,282 (0,111)	0,099 (0,576)	0,302 (0,087)	0,112 (0,528)	0,234 (0,186)	1,000 (1,000)	Cl-										
Cl-	-0,752 (0,000)	0,661 (0,000)	0,512 (0,004)	0,105 (0,552)	0,397 (0,025)	-0,177 (0,317)	1,000 (1,000)	NO3-									
NO3-	0,391 (0,027)	-0,625 (0,000)	-0,474 (0,007)	-0,304 (0,085)	-0,367 (0,038)	0,009 (0,958)	-0,223 (0,208)	1,000 (1,000)	SO42-								
SO42-	0,751 (0,000)	-0,357 (0,043)	-0,103 (0,562)	0,417 (0,018)	0,101 (0,469)	0,307 (0,082)	-0,518 (0,003)	0,237 (0,180)	1,000 (1,000)	Al3+							
Al3+	0,129 (0,265)	0,193 (0,388)	0,123 (0,583)	0,018 (0,937)	0,114 (0,609)	-0,148 (0,509)	0,187 (0,403)	0,087 (0,697)	0,058 (0,796)	1,000 (1,000)	Fe3+						
Fe3+	-0,142 (0,527)	-0,033 (0,885)	0,130 (0,561)	0,047 (0,834)	-0,268 (0,232)	-0,040 (0,857)	0,183 (0,413)	-0,030 (0,894)	-0,184 (0,410)	-0,246 (0,272)	1,000 (1,000)	Mn2+					
Mn2+	0,522 (0,020)	0,027 (0,903)	0,379 (0,090)	0,748 (0,001)	0,809 (0,000)	0,421 (0,060)	-0,269 (0,229)	0,000 (1,000)	0,770 (0,001)	0,179 (0,424)	-0,118 (0,597)	1,000 (1,000)	Zn2+				
Zn2+	0,210 (0,374)	0,269 (0,253)	0,287 (0,223)	0,299 (0,204)	0,491 (0,037)	0,011 (0,964)	0,262 (0,266)	0,295 (0,210)	0,464 (0,050)	0,613 (0,009)	-0,199 (0,398)	0,492 (0,037)	1,000 (1,000)	Si			
Si	-0,272 (0,345)	-0,110 (0,703)	0,437 (0,130)	0,118 (0,682)	0,113 (0,696)	-0,319 (0,269)	0,050 (0,864)	0,099 (0,732)	0,116 (0,689)	0,044 (0,878)	0,201 (0,487)	0,176 (0,542)	-0,310 (0,327)	1,000 (1,000)	Hg		
Hg	0,529 (0,095)	0,055 (0,863)	0,351 (0,267)	0,560 (0,076)	0,642 (0,042)	0,105 (0,740)	-0,497 (0,116)	-0,697 (0,028)	0,497 (0,116)	0,055 (0,862)	0,018 (0,954)	0,816 (0,010)	-0,140 (0,966)	0,500 (0,480)	1,000 (1,000)		

Esses coeficientes indicam o grau de concordância entre os parâmetros considerados, aqui com 5% de significância. Verifica-se que, para a sub-bacia natural, as espécies químicas solúveis mostram um forte grau de concordância, sendo oriundas da precipitação, da biomassa e do intemperismo de micas e caolinitas, presentes no solo. A relação entre Zn e Cl pode indicar uma origem atmosférica para o Zn, coincidindo com o observado para a precipitação. Em PF, além dessas espécies químicas observa-se correlação significativa entre os metais. Eles devem estar sendo desmobilizados da área degradada, em função da intensificação do intemperismo.

Nas tabelas 4.34 e 4.35 são apresentados os resultados dos cálculos das saídas, em kg/ha, das espécies químicas através da sub-bacia natural e da bacia como um todo, para os diferentes períodos de tempo aqui considerados. A quantidade de material exportado através dos dois locais é variável para os

diferentes períodos, não apresentando um padrão definido entre período seco e chuvoso. Isso deve-se principalmente ao fato de que a quantidade de água circulando pela bacia em cada período também não apresentou um padrão definido. Por exemplo, a vazão do período chuvoso de 97 foi cerca de 30% menor do que a vazão do período seco de 93, em PN.

Tabela 4.34 – Saídas da bacia do igarapé Pedra Preta, das espécies químicas, em kg/ha, através da área natural (PN) para os diferentes períodos de amostragem (JL: julho, JN: junho, MA: maio, S: seco, C: chuvoso, Total: período total).

ESPÉCIE QUÍMICA	Total JL93-JN97	JL93-JN94	JN95-MA96	JN96-JN97	S-93	C-94	S-95	C-96	S-96	C-97
	kg/ha									
H <sup>+</sup>	0,01	0,006	0,007	0,006	0,001	0,004	0,001	0,004	0,001	0,002
Na <sup>+</sup>	33,8	21,9	16,3	22,6	12,4	9,65	4,54	11,3	5,89	7,16
K <sup>+</sup>	13,4	7,43	3,24	6,59	4,78	2,68	0,60	2,18	2,19	1,56
Mg <sup>2+</sup>	22,2	11,8	5,69	8,75	6,92	4,88	1,81	3,68	1,93	3,17
Ca <sup>2+</sup>	47,4	36,5	6,28	10,0	26,7	10,4	1,55	4,28	2,04	3,78
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	1,29	0,43	0,85	0,50	0,13	26,1	0,01	0,50	0,30	0,11
Cl <sup>-</sup>	76,7	30,0	21,7	33,0	15,4	14,5	6,65	14,0	12,2	8,16
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13,6	3,92	8,02	5,60	0,78	2,61	1,15	5,24	2,46	1,10
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	17,8	7,29	5,59	7,78	3,73	3,41	1,59	3,57	2,72	1,96
Al <sup>3+</sup>	0,23	-	0,12	0,05	-	-	0,03	0,12	0,03	0,01
Fe <sup>3+</sup>	0,44	-	0,33	0,10	-	-	0,10	0,23	0,06	0,05
Mn <sup>2+</sup>	0,33	-	0,18	0,10	-	-	0,06	0,11	0,05	0,06
Cu <sup>2+</sup>	0,10	-	0,08	0,02	-	-	0,03	0,05	0,01	0,005
Zn <sup>2+</sup>	1,52	-	0,51	0,31	-	-	0,30	0,21	0,18	0,13
Hg	0,015	-	-	-	-	-	-	-	0,006	0,006
Si	84,0	-	57,8	-	-	-	18,1	40,9	4,38	-

Tabela 4.35 – Saídas da bacia do igarapé Pedra Preta, das espécies químicas, em kg/ha, através da foz (**PF**) para os diferentes períodos de amostragem (JL: julho, JN: junho, MA: maio, S: seco, C: chuvoso, Total: período total).

ESPÉCIE QUÍMICA	Total JL93-JN97	JL93-JN94	JN95-MA96	JN96-JN97	S-93	C-94	S-95	C-96	S-96	C-97
kg/ha										
H <sup>+</sup>	0,05	0,002	0,06	0,03	0,001	0,002	0,001	0,057	0,003	0,028
Na <sup>+</sup>	69,0	24,6	18,0	22,6	13,2	12,1	6,12	15,1	7,03	12,4
K <sup>+</sup>	33,7	16,3	7,74	8,65	7,99	8,73	2,15	6,60	2,69	4,91
Mg <sup>2+</sup>	42,4	15,0	16,0	14,5	8,28	7,14	3,05	14,9	3,50	9,45
Ca <sup>2+</sup>	94,5	43,6	28,7	23,3	26,1	18,9	5,23	26,8	6,62	13,4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	4,44	1,79	1,21	1,80	0,600	1,22	0,02	1,30	0,75	0,83
Cl <sup>-</sup>	96,0	35,4	26,9	27,5	18,7	17,7	9,53	21,7	8,32	15,1
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	29,7	8,25	15,5	8,19	3,42	5,00	2,97	13,2	2,39	4,46
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	859	124	268	144	48,9	77,7	27,0	260	35,4	89,0
Al <sup>3+</sup>	0,27	-	0,09	0,10	-	-	0,02	0,09	0,05	0,03
Fe <sup>3+</sup>	0,20	-	0,67	1,19	-	-	0,29	0,38	0,191,89	1,00
Mn <sup>2+</sup>	100	-	70,7	43,0	-	-	11,3	59,4	13,6	29,5
Cu <sup>2+</sup>	0,16	-	0,12	0,04	-	-	0,03	0,09	0,02	0,02
Zn <sup>2+</sup>	2,31	-	1,02	0,73	-	-	0,19	1,08	0,29	0,44
Hg	0,066	-	-	-	-	-	-	-	0,02	0,04
Si	81,0	-	70,3	-	-	-	18,2	52,0	15,4	-

A partir dos dados das tabelas 4.34 e 4.35 foram calculadas as perdas ou retenções das espécies químicas entre **PN** e **PF**. Os valores da tabela 4.36 foram calculados através da expressão  $[(PF-PN)/PN]$  e os valores entre parênteses representam retenção relativa entre **PN** e **PF**.

Tabela 4.36 – Razões entre as quantidades das espécies químicas em kg/ha, na saída da área natural (PN) e nas saídas através da foz (PF): [(PF-PN)/PN]; para os diferentes períodos de amostragem (JL: julho, JN: junho, MA: maio, S: seco, C: chuvoso, Total: período total).

ESPÉCIE QUÍMICA	Total JL93-JN97	JL93-JN94	JN95-MA96	JN96-JN97	S-93	C-94	S-95	C-96	S-96	C-97
kg/ha										
H <sup>+</sup>	2,5	(2)	7,3	4,0	0,0	(1)	0,0	13	2,0	13
Na <sup>+</sup>	1,1	0,12	0,10	0,0	0,06	0,25	0,35	0,34	0,19	0,73
K <sup>+</sup>	1,5	1,2	1,4	0,33	0,67	2,3	2,6	2,0	0,23	2,2
Mg <sup>2+</sup>	0,91	0,27	1,8	0,66	0,20	0,46	0,69	3,1	0,81	2,0
Ca <sup>2+</sup>	0,99	0,19	3,6	1,3	(0,02)	0,73	2,4	5,3	2,2	2,5
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	2,4	3,2	0,43	2,6	3,8	3,7	1,4	1,6	1,5	6,5
Cl <sup>-</sup>	0,25	0,18	0,24	(0,20)	0,21	0,22	0,43	0,55	(047)	0,85
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	1,2	1,1	0,93	0,46	3,4	0,92	1,5	1,5	(0,03)	3,1
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	47	16	47	18	12	1,3	16	72	12	44
Al <sup>3+</sup>	0,17	-	(0,23)	0,94	-	-	(0,21)	(0,37)	0,61	1,8
Fe <sup>3+</sup>	3,6	-	0,99	11	-	-	1,8	0,64	2,2	19
Mn <sup>2+</sup>	305	-	403	433	-	-	181	525	256	526
Cu <sup>2+</sup>	0,52	-	0,56	1,1	-	-	0,15	0,78	0,62	2,0
Zn <sup>2+</sup>	0,52	-	0,99	1,3	-	-	(0,61)	4,1	0,55	3,1
Hg	3,4	-	-	-	-	-	-	-	1,8	4,8
Si	(0,04)	-	0,22	-	-	-	0,0	0,27	2,5	-

Verifica-se, no geral, que todas as espécies químicas em solução estão enriquecidas na foz (PF) em relação à área natural (PN), evidenciando assim o forte intemperismo presente na área degradada. Essas águas mostram evidente enriquecimento em metais pesados e uma tendência à acidificação, tendência esta observada em outros corpos d'água da área de concessão de mineração. Essa tendência foi observada através de algumas dosagens realizadas durante o período deste projeto, quando se observaram valores de pH baixos como 3,75 e teores de Al de 109µM.

#### **4.1.8. Diagramas dos Inventários das Quantidades de Espécies Químicas para a Bacia do Igarapé Pedra Preta.**

Dos vários modelos usados para estudar a interação água ↔ mineral em sistemas naturais optou-se pelos estudos de balanço de massa, pois estes podem fornecer resultados confiáveis para a determinação das transferências de espécies entre os diferentes compartimentos do ambiente terrestre (Velbel, 1986).

As taxas de transporte são expressas pelos fluxos de espécies químicas, através da superfície média da área de uma bacia de drenagem. Neste trabalho, os fluxos estimados foram: a deposição atmosférica através da precipitação (direta e transprecipitação) e o escoamento superficial, através das saídas de elementos em solução e em suspensão nas águas de drenagem. Além desses fluxos, foram estimadas as contribuições das águas dos solos.

Os fluxos atmosféricos foram medidos através da avaliação da precipitação total (água de chuva, de transprecipitação e deposição de particulado atmosférico) e seu conteúdo químico. Os fluxos devido à deposição seca não foram considerados, uma vez que as medidas realizadas foram do material particulado fino que, em áreas remotas é uma fração pouco significativa da deposição seca total. O fluxo anual foi calculado através da média ponderada das espécies de interesse (concentração na amostra, ponderada com a quantidade total da precipitação/transprecipitação). O fluxo devido ao escoamento superficial de espécies em solução/suspensão foi estimado através da média ponderada das espécies químicas dividida pela área e integrada para o intervalo de tempo considerado. Os dados disponíveis não permitem realizar um balanço de massa como o descrito por Velbel (1986), mas permitem estimar os fluxos anuais médios das espécies químicas aqui consideradas para cada compartimento amostrado. Os ânions só foram dosados na fase solúvel das soluções, uma vez que a abertura das amostras foi realizada com ácidos nítrico/clorídrico/fluorídrico. Nas figuras 4.22 até 4.24 os inventários são representados na forma de diagramas.

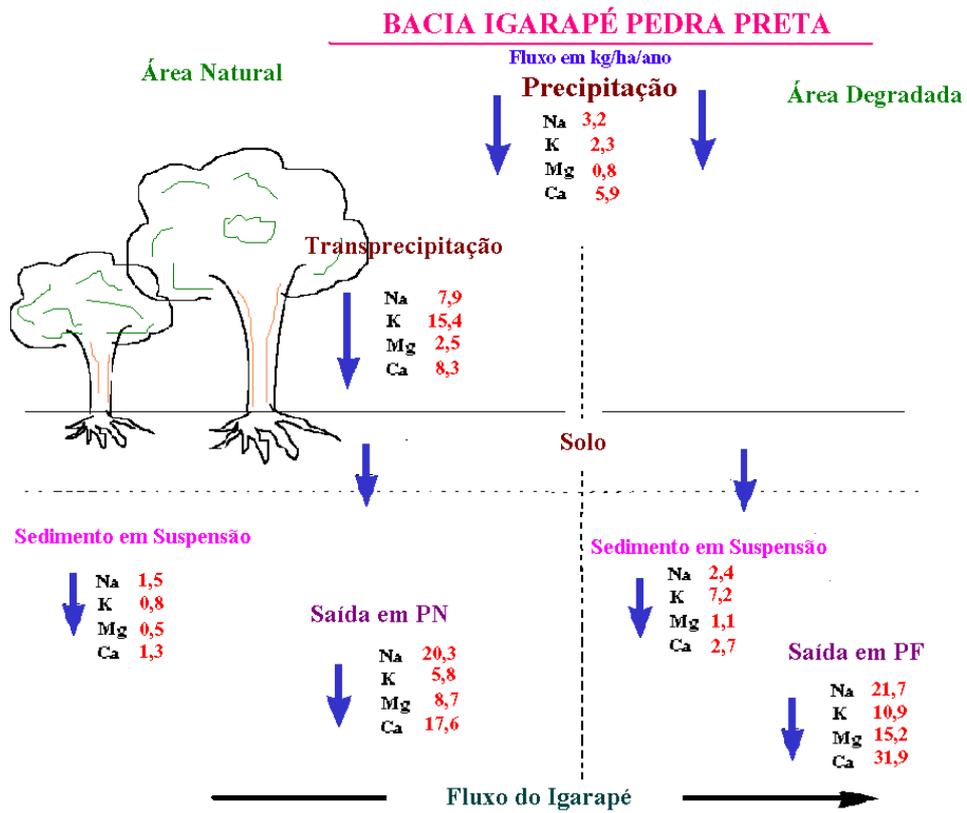


Figura 4.22 - Diagrama representando as quantidades médias anuais (kg/ha/ano) dos cátions maiores nas soluções aquosas que percolam através da bacia do igarapé Pedra Preta.

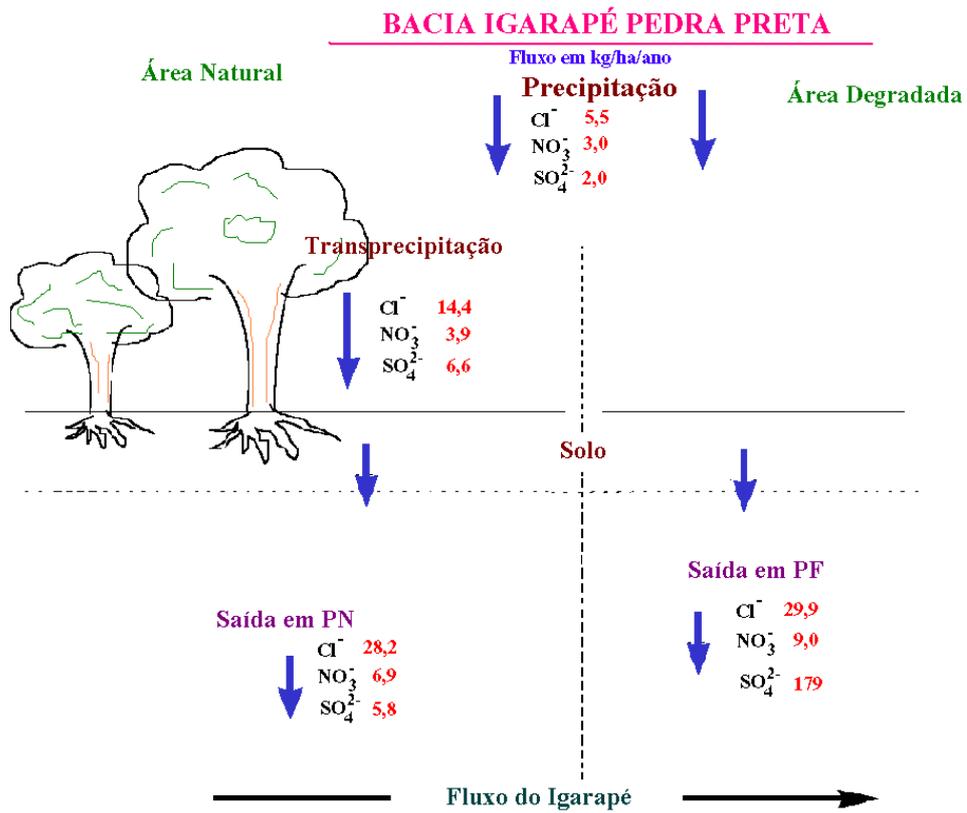


Figura 4.23 - Diagrama representando as quantidades médias anuais (kg/ha/ano) dos ânions principais nas soluções aquosas que percolam através da bacia do Igarapé Pedra Preta.

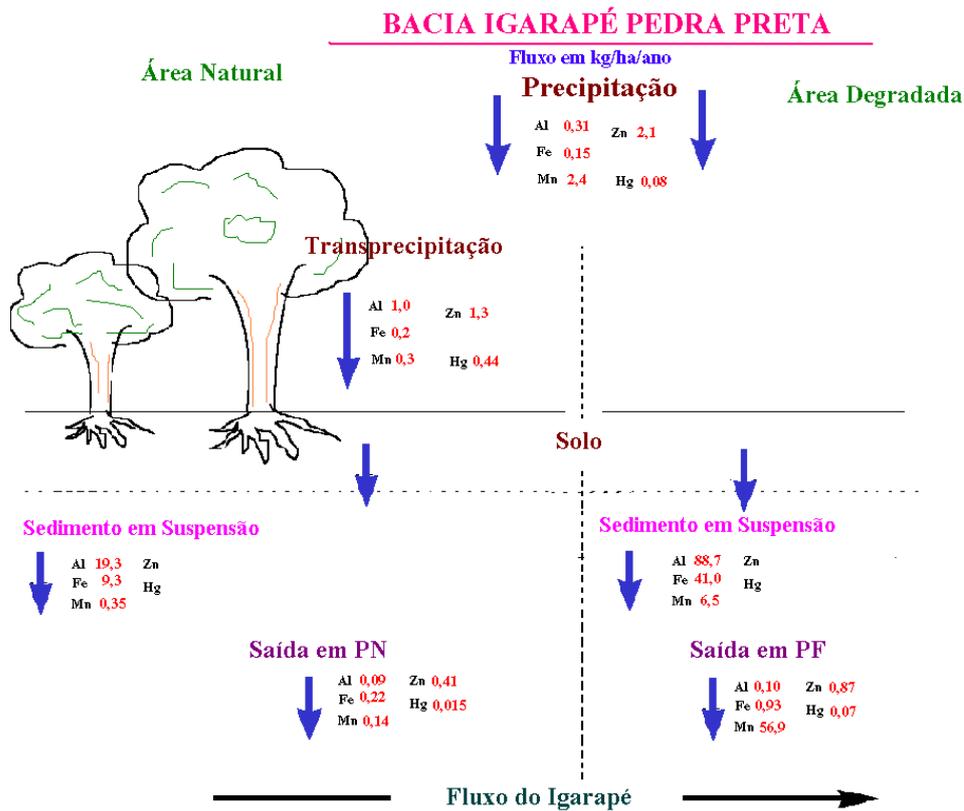


Figura 4.24 - Diagrama representando as quantidades médias anuais (kg/ha/ano) de alguns metais inclusive o Hg, nas soluções aquosas que percolam através da bacia do Igarapé Pedra Preta.

Através desses diagramas verifica-se que para os cátions as saídas são maiores do que as entradas, tanto na área natural como na degradada. Mesmo considerando a transprecipitação, como as entradas de solutos existem perdas aparentes, exceto para o K. Esse mesmo comportamento é observado para os ânions. Uma possível explicação para essas relações de entradas e de saídas pode ser a existência de um desequilíbrio do sistema, causado pelas atividades mineradoras nas proximidades da bacia ou, ainda pelo fato de que o material que entra através da deposição seca (não avaliada) é solubilizado no sistema solo-planta, enriquecendo as águas do igarapé. Quanto à área degradada, fica evidente a existência de um processo acentuado de intemperismo e lixiviação. Quanto aos metais, observa-se que, na área natural, o Fe não varia, enquanto Al, Mn e Zn diminuem, por precipitação favorecida por soluções básicas. O Hg sofre um enriquecimento na transprecipitação, provavelmente, devido à solubilização de material depositado sobre a vegetação. No compartimento solo o Hg é retido, uma vez que sua saída do sistema é praticamente nula (equivalente à entrada). Na área degradada, o Al e o Zn ficam retidos no solo, enquanto que o Fe e o Mn são enriquecidos nas águas de superfície, este último até dez vezes; o Hg está em equilíbrio no sistema.

#### 4.1.9. O Modelo MAGIC

O modelo MAGIC (**M**odel of **A**cidification of **G**roundwater **I**n **C**atchment; Cosby et al., 1985) descrito e aplicado anteriormente na região da Amazônia central (Forti et al., 1992), foi utilizado para simular os fluxos teóricos das entradas e saídas anuais dos íons maiores na área natural da bacia do igarapé Pedra Preta. O modelo foi calibrado em dois modos. No modo **A** foram utilizados os dados do período JL930JN94 e testados para os outros dois anos (JN95-MA96 e JN96-JN97). Em seguida o modelo foi calibrado no modo **B** utilizando-se o período JN95-MA96 e aplicado aos dois outros anos.

Nos dois modos de calibração foram utilizados os parâmetros da aplicação realizada na região Central da Amazônia (Forti et al., 1992) para o ano de início da simulação (1853). As curvas de deposição seca e úmida foram consideradas constantes até 1940, quando foi assumido como hipótese decréscimo linear até a data atual. Portanto, a hipótese é que a floresta recebe deposição constante até o início da exploração de manganês, e a partir desse período, a região passa a receber uma carga extra de deposição seca em função do desmatamento e dos trabalhos de extração de minério na vizinhança. Impõe-se também, um decréscimo linear da absorção pelo solo como artifício para compensar as entradas maiores através da transprecipitação (que não é considerada no modelo).

##### *4.1.9.1 - Resultados da aplicação do MAGIC para o modo de calibração A.*

Foi utilizada a versão 5.01 (31/10/91). Neste modo o modelo foi calibrado com os dados do período Julho 1993 a Junho 1994 e, em seguida, a calibração foi verificada utilizando-se os valores dos períodos Junho 1995 a Maio 1996 e Junho 1996 a Junho 1997.

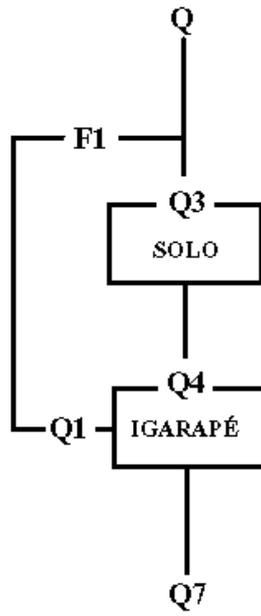
Condições de calibração para o modo **A**:

Período utilizado: 140 ANOS; início - 1853 e final – 1993.

Critério de convergência: 1,00 mEq/m<sup>3</sup>.

Intervalo de tempo para a integração: 0,2500 anos.

A rota do fluxo através da bacia é a esquematizada abaixo:



Onde

$F1 = \%$  é a porcentagem que não entra em contato com as áreas

	F1	Q1	Q3	Q4	Q7
	%	mm	mm	mm	mm
MÉDIA ANUAL	0	0	1060	.1060.	1060.

Descarga média anual: 1,060 m/ano  
Precipitação média anual: 2,310 m/ano

Valores utilizados para o ano de referência JL93-JN94:

mEq/m <sup>3</sup>	Fator de conc. Prec.	Fator de deposição	Conc. Sal Marinho	Conc. Em excesso
CA	28,8	3,3	0,2	28,6
MG	5,4	5,0	1,2	4,2
NA	6,5	4,0	5,5	1,0
K	3,5	1,5	0,1	3,4
NH4	0,6	2,0	0,0	0,6
SO4	3,1	1,5	0,7	2,5
CL	6,4	5,7	6,4	0,0
NO3	1,0	2,7	0,0	1,0

PH	6,83
H+	0,15
HCO3	34,44

Parâmetros de deposição para o ano de início da simulação - 1853:

mEq/m <sup>3</sup>	Fator de conc. Prec	mEq/m <sup>3</sup>	Conc. Sal Marinho	Conc. Em excesso
CA	0,2	1,0	0,2	0,0
MG	1,0	1,0	1,0	0,0
NA	4,5	1,0	4,5	0,0
K	0,1	1,0	0,1	0,0
NH4	0,0	1,0	0,0	0,0
SO4	0,5	1,0	0,5	0,0
CL	5,2	1,9	5,2	0,0
NO3	0,0	1,0	0,0	0,0

PH	5,66
H+	2,20
HCO3	2,30

Os parâmetros utilizados nas equações de equilíbrio termodinâmico e que descrevem a interação das soluções com os solos foram ajustadas para o igarapé Pedra Preta através do modelo e são as seguintes:

Constantes para o Solo	
SOIL DEPTH (M)	1,00
POROSITY (FRAC)	0,45
BULK DENSITY (KG/M3)	1223,60
CEC (MEQ/KG)	130,85
SO4 HALFSAT (MEQ/M3)	150,00
SO4 MAXCAP (MEQ/KG)	50,00
LOG10(KALOH3)	-8,02
LOG10(SALCA)	40,42
LOG10(SALMG)	41,30
LOG10(SALNA)	17,58
LOG10(SALK)	16,15
PK1 ORG	5,86
PK2 ORG	12,00
PK3 ORG	14,00
PORE VOLUME (M)	0,45
SOIL MASS (KG/M2)	1223,60

mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção Ano Inicial	Absorção Ano de referência	Intemperismo de Ano Inicial
CA	0,0	-20,0	45,0
MG	-3,0	-3,0	75,0
NA	0,0	0,0	60,0
K	0,0	-40,0	26,0
NH4	-10,0	-10,0	0,0
SO4	0,0	0,0	12,0
CL	0,0	0,0	0,0
NO3	-2,0	-1,0	0,0

(Valores negativos para taxas de absorção significam que elas são proporcionais às entradas)

Médias anuais	TEMP Graus C	PCO2 ATM	ORG mMOL/m <sup>3</sup>
igarapé	25,0	0,0011	300,0
solo	25,0	0,0220	100,0

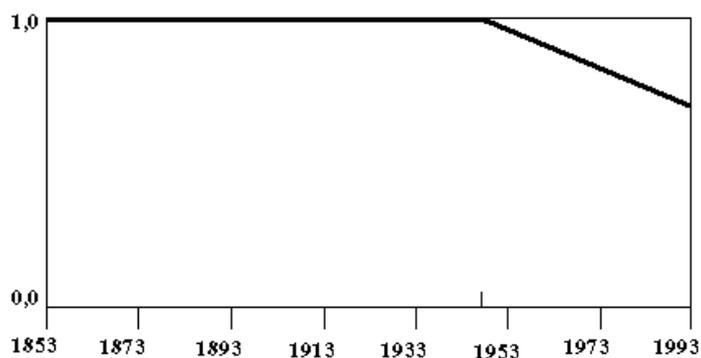
Entre as hipóteses, não foi considerado um possível processo de absorção pelas águas do igarapé e também não foi considerado qualquer tratamento químico no solo ou nas águas do igarapé.

A evolução temporal da deposição seca e úmida é incorporada ao modelo como hipótese; para o Ca, Mg, Na, K, NH<sub>4</sub>, SO<sub>4</sub>, Cl e NO<sub>3</sub> o nome da sequência é MINE e é representada pelo diagrama abaixo:



Quebra	Ano	Fator
-	1853	0,000
1	1853	0,250
2	1947	0,250
3	1993	1,000
-	1993	1,000

A evolução temporal para a absorção das espécies químicas pelo solo é incorporada ao modelo como hipótese; para o Ca, K e NO<sub>3</sub> o nome da sequência é MINEUP e é representada pelo diagrama abaixo:



Quebra	Ano	Fator
-	1853	0,000
1	1853	1,000
2	1947	1,000
3	1993	0,750
-	1993	1,000

Para os outros parâmetros não foi imposta qualquer variação durante o período de calibração.

Após ajustados os parâmetros, os resultado da calibração utilizando o período JL93-JN94, para os íons maiores, são os seguintes:

Concentração em mEq/m<sup>3</sup> das espécies químicas maiores na precipitação e nas águas do igarapé (valores calculados e medidos)

1993 média anual mEq/m <sup>3</sup>	Precipitação	Igarapé Modelo	Igarapé Medido
CA	28,8	82,7	<b>85,0</b>
MG	5,4	90,1	<b>91,8</b>
NA	6,5	88,7	<b>90,0</b>
K	3,5	17,2	<b>18,0</b>
NH4	0,6	2,3	<b>2,2</b>
SO4	3,1	14,6	<b>14,3</b>
CL	6,4	78,9	<b>80,0</b>
NO3	1,0	5,6	<b>6,0</b>
PH	6,8	5,9	<b>6,3</b>
H+	0,1	1,1	<b>0,6</b>

Valores das porcentagens de saturação das bases (valores medidos e calculados):

SOIL	MODELO	MEDIDO
ES %	8,9	
ECA %	4,6	2,9
EMG %	2,6	2,1
ENA %	2,2	1,9
EK %	1,3	1,2
BS %	10,7	8,1

Deposição seca e úmida e fluxo líquido por unidade de área da bacia, através do compartimento atmosfera:

mEq/m <sup>2</sup> /ano	Dep. Úmida	Dep. Seca	Dep. Total	Solo	Igarapé	Fluxo total	Dep. Úmida medido	Igarapé medido
CA	66,57	153,12	219,69	87,67	87,70	-132,00	<b>66,3</b>	<b>90,1</b>
MG	12,45	49,80	62,25	95,53	95,54	33,28	<b>12,7</b>	<b>97,0</b>
NA	14,97	44,91	59,88	94,00	94,01	34,13	<b>14,9</b>	<b>19,0</b>
K	8,06	4,03	12,09	18,28	18,28	6,18	<b>8,03</b>	<b>97,0</b>
NH4	1,34	1,34	2,68	2,40	2,40	-0,28	<b>1,33</b>	<b>2,36</b>
SO4	7,23	3,62	10,85	15,51	15,51	4,66	<b>4,90</b>	<b>15,2</b>
CL	14,71	69,16	83,87	83,66	83,67	-0,20	<b>14,7</b>	<b>84,6</b>
NO3	2,24	3,81	6,05	5,95	5,95	-0,10	<b>2,23</b>	<b>6,31</b>

Intemperismo, absorção e quantidade dos íons maiores no solo, por unidade da bacia, calculados através da calibração:

Solo	Intemperismo mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção mEq/m <sup>2</sup> /a no	Quantidade mEq/m <sup>2</sup>
CA	45,00	39,70	7462,3
MG	75,00	4,12	4159,1
NA	60,00	0,00	3628,5
K	26,00	11,43	2090,2
NH <sub>4</sub>	0,00	0,27	1,0
SO <sub>4</sub>	12,00	0,00	5446,6
CL	0,00	0,00	35,6
NO <sub>3</sub>	0,00	0,08	2,5

A partir desses resultados, observa-se que os fluxos estimados pelo modelo para as saídas através da área natural subestimam os valores para o Na e superestimam para o K. Os valores restantes estão dentro dos intervalos medidos.

Para verificar a validade da calibração, o modelo foi rodado com os dados do período JN/95-MA/96. Os dados de entrada, descarga anual, precipitação anual e concentrações das espécies químicas maiores na precipitação utilizados, são os seguintes:

Descarga média anual: 0,714 m/ano

Precipitação média anual: 1,800 m/ano

Parâmetros de deposição para o ano de referência 1996:

mEq/m <sup>3</sup>	Conc. na Precipitação	Fator de Deposição	Conc. Sal Marinho	Conc. em Excesso
CA	<b>5,1</b>	3,3	0,2	4,9
MG	<b>1,9</b>	5,0	1,1	0,8
NA	<b>5,5</b>	4,0	4,7	0,8
K	<b>1,7</b>	1,5	0,1	1,6
NH <sub>4</sub>	<b>3,4</b>	2,0	0,0	3,4
SO <sub>4</sub>	<b>1,9</b>	1,5	0,6	1,3
CL	<b>5,5</b>	5,7	5,5	0,0
NO <sub>3</sub>	<b>3,9</b>	2,7	0,0	3,9

PH	6,14
H	0,72

Os resultados da validação da calibração são apresentados abaixo:

Concentração em mEq/m<sup>3</sup> das espécies químicas maiores na precipitação e nas águas do Igarapé (valores calculados e medidos):

mEq/m <sup>3</sup>	Precipitação	Igarapé MODELO	Igarapé MEDIDO
CA	5,1	75,3	<b>44,0</b>
MG	1,9	121,2	<b>66,0</b>
NA	5,5	127,2	<b>99,0</b>
K	1,7	31,3	<b>12,0</b>
NH <sub>4</sub>	3,4	15,4	<b>6,6</b>
SO <sub>4</sub>	1,9	18,8	<b>16,0</b>
CL	5,5	78,9	<b>85,0</b>
NO <sub>3</sub>	3,9	26,2	<b>18,0</b>
H <sup>+</sup>	0,7	0,6	<b>0,92</b>

Deposição seca e úmida e fluxo líquido por unidade de área da bacia, através do compartimento atmosfera.

mEq/m <sup>2</sup> /ano	Dep.úmida	Dep. Seca	Dep. Total	Solo	Igarapé	Fluxo total	Dep.úmida medido	Igarapé medido
CA	9,18	21,11	30,29	53,76	53,77	23,47	<b>9,08</b>	<b>31,3</b>
MG	3,42	13,68	17,10	86,50	86,50	69,40	<b>3,43</b>	<b>46,8</b>
NA	9,90	29,70	39,60	90,84	90,85	51,25	<b>9,95</b>	<b>70,7</b>
K	3,06	1,53	4,59	22,37	22,37	17,78	<b>3,08</b>	<b>8,32</b>
NH <sub>4</sub>	6,12	6,12	12,24	10,97	10,97	-1,27	<b>6,12</b>	<b>4,71</b>
SO <sub>4</sub>	3,42	1,71	5,13	13,43	13,44	8,31	<b>3,42</b>	<b>11,6</b>
CL	9,90	46,53	56,43	56,31	56,32	-0,11	<b>9,89</b>	<b>61,0</b>
NO <sub>3</sub>	7,02	11,93	18,95	18,68	18,68	-0,27	<b>5,41</b>	<b>13,0</b>

Intemperismo, absorção e quantidade dos íons maiores no solo, por unidade da bacia, calculados através do modelo:

Solo	Intemperismo mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção mEq/m <sup>2</sup> /ano	Quantidade mEq/m <sup>2</sup>
CA	45,00	15,06	4937,1
MG	75,00	2,76	3565,3
NA	60,00	0,00	3829,8
K	26,00	12,24	1548,9
NH <sub>4</sub>	0,00	1,22	6,9
SO <sub>4</sub>	12,00	0,00	6829,5
CL	0,00	0,00	35,5
NO <sub>3</sub>	0,00	0,19	11,8

Observa-se uma discrepância muito grande entre os valores obtidos pelo modelo e aqueles medidos, o que demonstra que essa tentativa de calibração não foi adequada, embora quando da realização do primeiro relatório, com dados parciais, os resultados tenham sido falsamente melhores.

Para testar de modo definitivo a calibração no modo **A**, aplicou-se o MAGIC para o período JN96-JN97. Os dados de entrada utilizados foram os seguintes:

Descarga média anual: 0,756 m/ano

Precipitação média anual: 2,108 m/ano

Parâmetros de deposição para o ano de referência 1997.

MEq/m <sup>3</sup>	Conc. Prec.	Fator de Deposição	Conc. Sal Marinho	Conc. em Excesso
MG	<b>2,0</b>	5,0	1,8	0,2
NA	<b>7,9</b>	4,0	7,9	0,0
K	<b>3,1</b>	1,5	0,2	3,0
NH4	<b>4,3</b>	2,0	0,0	4,3
SO4	<b>2,0</b>	1,5	1,0	1,1
CL	<b>10,5</b>	5,7	9,2	1,4
NO3	<b>3,7</b>	2,7	0,0	3,7

PH	6,19
H	0,65
HCO3	7,73

Os resultados da validação utilizando-se o segundo período de tempo forneceu os seguintes resultados:

Concentração em mEq/m<sup>3</sup> das espécies químicas maiores na precipitação e nas águas do Igarapé (valores calculados e medidos)

mEq/m <sup>3</sup>	PRECIPITAÇÃO	IGARAPÉ MODELO	IGARAPÉ MEDIDO
CA	6,1	87,6	<b>66,0</b>
MG	1,9	127,0	<b>95,0</b>
NA	7,9	150,4	<b>130,0</b>
K	3,1	34,0	<b>22,0</b>
NH4	4,3	21,4	<b>3,7</b>
SO4	2,0	18,2	<b>21,0</b>
CL	10,5	166,7	<b>123,0</b>
NO3	3,7	27,4	<b>12,0</b>
H+	0,7	0,9	<b>0,8</b>

Deposição seca e úmida, fluxo líquido, por unidade de área da bacia, através do compartimento atmosfera.

	Dep.úmida	Dep.seca	Dep.Total	Solo	Igarapé	Fluxo Total	Dep. Úmida MEDIDOS	Igarapé MEDIDOS
mEq/m <sup>2</sup> /ano								
CA	12,75	29,33	42,09	66,19	66,20	24,11	<b>12,8</b>	<b>49,9</b>
MG	4,11	16,44	20,55	95,99	95,99	75,44	<b>4,11</b>	<b>71,9</b>
NA	16,63	49,90	66,53	113,68	113,69	47,16	<b>16,6</b>	<b>98,3</b>
K	6,62	3,31	9,93	25,68	25,68	15,75	<b>6,62</b>	<b>16,9</b>
NH4	9,00	9,00	18,00	16,14	16,14	-1,86	<b>9,00</b>	<b>2,78</b>
SO4	4,24	2,12	6,36	13,75	13,75	7,40	<b>4,24</b>	<b>16,2</b>
CL	22,18	104,23	126,40	126,02	126,04	-0,37	<b>22,2</b>	<b>92,7</b>
NO3	7,78	13,22	21,00	20,71	20,71	-0,29	<b>7,78</b>	<b>9,03</b>

Para o período JN96-JN97 os resultados da validação do MAGIC fornecem valores mais próximos daqueles medidos. Entretanto, para o amônio e nitrato os resultados são significativamente diferentes. Portanto, não é possível confirmar essa calibração e deste modo (**A**) o modelo não pode ser aplicado a essa bacia.

#### 4.1.9.2 - Resultados da aplicação do MAGIC para o modo de calibração **B**

Um fator importante nesse modelo é a quantidade de água circulando na bacia. Como os períodos 95/96 e 96/97 não apresentam diferenças muito grandes nos fluxos calculados optou-se pela tentativa de calibrar o modelo para o período 95/96 e verificar sua validade para os outros períodos. Essa segunda calibração foi denominada modo **B**.

A rota dos fluxos de água obedece ao mesmo esquema do modo **A**, onde

F1 = % - é a porcentagem que não entra em contato com as áreas

	F1	Q1	Q3	Q4	Q7
	%	mm	mm	mm	mm
MÉDIA ANUAL	0	0	714	714	714

Descarga média anual: 0,714 m/ano

Precipitação média anual: 1,800 m/ano

Os dados para o ano de início da simulação (1853) são os mesmos, as curvas de deposição seca e úmida e de uptake também são as mesmas; os parâmetros para o ano de referência (JN95-MA96) são os seguintes: Parâmetros de deposição para o ano de referência 1995/96.

mEq/m <sup>3</sup>	PRECIPITAÇÃO	FATOR DE DEPOSIÇÃO	SAL MARINHO	CONC. EXCES.
CA	5,1	2,0	0,2	4,9
MG	1,9	2,0	1,1	0,8
NA	5,0	2,0	4,7	0,3
K	1,0	1,5	0,1	0,9
NH4	1,0	1,0	0,0	1,0
SO4	1,5	1,5	0,6	0,9
CL	5,5	6,2	5,5	0,0
NO3	1,0	2,0	0,0	1,0

PH	6,13
H+	0,75
HCO3	6,753

As condições de equilíbrio para os solos da bacia, ajustados durante a calibração, são as seguintes:

CONSTANTES SOLO	
SOIL DEPTH (M)	1,00
POROSITY (FRAC)	0,45
BULK DENSITY (KG/M3)	1223,60
CEC (MEQ/KG)	130,85
SO4 HALFSAT (MEQ/M3)	150,00
SO4 MAXCAP (MEQ/KG)	50,00
LOG10(KALOH3)	-8,02
LOG10(SALCA)	38,87
LOG10(SALMG)	39,96
LOG10(SALNA)	17,29
LOG10(SALK)	15,24
PORE VOLUME (M)	0,45
SOIL MASS (KG/M2)	1223,60

Os valores da absorção ajustados são os seguintes:

SOLO mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção Ano Inicial	Absorção Ano de Referência	Intemperismo Ano Inicial
CA	0,0	-20,0	21,5
MG	-2,0	-3,0	36,0
NA	0,0	0,0	51,0
K	-15,0	-30,0	9,0
NH4	0,0	-13,0	4,0
SO4	0,0	0,0	10,0
CL	0,0	0,0	0,0
NO3	-2,0	-2,0	10,0

(Valores negativos para as taxas de uptake são proporcionais às entradas)

A calibração no modo **B** forneceu os seguintes resultados:

Média anual das concentrações das diferentes espécies químicas na precipitação e nas águas do igarapé;

mEq/m <sup>3</sup>	PRECIPITAÇÃO	IGARAPÉ MODELO	IGARAPÉ MEDIDO
CA	5,1	44,4	<b>44</b>
MG	1,9	65,5	<b>66</b>
NA	5,0	97,9	<b>99</b>
K	1,0	12,7	<b>12</b>
NH <sub>4</sub>	1,0	7,1	<b>6,6</b>
SO <sub>4</sub>	1,5	15,8	<b>16</b>
CL	5,5	85,8	<b>85</b>
NO <sub>3</sub>	1,0	18,6	<b>18</b>
H <sup>+</sup>	0,7	2,7	<b>0,9</b>

Deposição seca e úmida, fluxos totais, por unidade de área da bacia, através do compartimento da atmosfera, calculados a partir do modelo e os valores medidos:

mEq/m <sup>2</sup> /ano	Dep.úmida	Dep.seca	Dep.Total	Solo	Igarapé	Fluxo total	Dep.úmida MEDIDO	Igarapé MEDIDO
CA	9,18	9,18	18,36	31,67	31,67	13,31	<b>9,08</b>	<b>31,3</b>
MG	3,42	3,42	6,84	46,80	46,80	39,96	<b>3,43</b>	<b>46,8</b>
NA	9,00	9,00	18,00	69,90	69,90	51,90	<b>9,95</b>	<b>70,7</b>
K	1,80	0,90	2,70	9,079	0,07	6,37	<b>3,08</b>	<b>8,32</b>
NH <sub>4</sub>	1,80	0,00	1,80	5,04	5,04	3,24	<b>6,12</b>	<b>4,71</b>
SO <sub>4</sub>	2,70	1,35	4,05	11,29	11,2	97,24	<b>3,42</b>	<b>11,6</b>
CL	9,90	51,48	61,38	61,25	61,25	-0,13	<b>9,89</b>	<b>61,0</b>
NO <sub>3</sub>	1,80	1,80	3,60	13,31	13,31	9,71	<b>5,41</b>	<b>13,0</b>

Resultados para o intemperismo, uptake e quantidades das diferentes espécies químicas para o solo, por unidade de área da bacia:

Solo	Intemperismo mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção mEq/m <sup>2</sup> /ano	Quantidade mEq/m <sup>2</sup>
CA	21,50	7,97	4661,4
MG	36,00	1,29	2986,4
NA	51,00	0,00	2985,2
K	9,00	3,51	1845,0
NH <sub>4</sub>	4,00	0,75	3,2
SO <sub>4</sub>	10,00	0,00	5841,7
CL	0,00	0,00	38,7
NO <sub>3</sub>	10,00	0,27	8,4

Para verificar a calibração do modo **B**, aplicou-se o modelo aos dados gerados no período JN96-JN97.

Os dados de entrada são os seguintes:

Descarga média anual: 0,756 m/ano,

Precipitação média anual: 2,108 m/ano

Deposição para o ano de referência JN96-JN97:

mEq/m <sup>3</sup>	Conc. Precipitação	Fator de Deposição	Conc. Sal Marinho	Conc. em Excesso
CA	6,1	2,0	0,3	5,7
MG	2,0	2,0	1,8	0,2
NA	7,9	2,0	7,9	0,0
K	3,1	1,5	0,2	3,0
NH4	4,3	1,0	0,0	4,3
SO4	2,0	1,5	1,0	1,1
CL	10,5	6,2	9,2	1,4
NO3	3,7	2,0	0,0	3,7

PH	6,19
H	0,65
HCO3	7,73

Médias anuais para o ano de JN96-JN97, para as concentrações das espécies químicas na precipitação e nas águas do igarapé calculadas do modelo e valores medidos para as águas do igarapé:

mEq/m <sup>3</sup>	Precipitação	Igarapé Modelo	Igarapé Medido
CA	6,1	68,3	<b>66,0</b>
MG	2,0	81,8	<b>95,0</b>
NA	7,9	119,6	<b>130,</b>
K	3,1	17,6	<b>22,0</b>
NH4	4,3	14,9	<b>3,7</b>
SO4	2,0	15,5	<b>21,0</b>
CL	10,5	181,3	<b>123,0</b>
NO3	3,7	33,1	<b>12,0</b>
H+	0,7	4,5	<b>0,82</b>

Resultados das deposições oriundas do compartimento atmosfera e fluxos totais para as diferentes espécies químicas, por unidade de área da bacia, para o ano de JN/96-JN/97:

mEq/m <sup>2</sup> /ano	Dep.úmida	Dep.seca	Dep.Total	Solo	Igarapé	Fluxo total	Dep.úmida MEDIDO	Igarapé MEDIDO
CA	12,75	12,75	25,51	51,63	51,63	26,13	<b>12,8</b>	<b>49,9</b>
MG	4,11	4,11	8,22	61,84	61,85	53,62	<b>4,11</b>	<b>71,9</b>
NA	16,63	16,63	33,26	90,40	90,40	57,13	<b>16,6</b>	<b>98,3</b>
K	6,62	3,31	9,93	13,31	13,32	3,39	<b>6,62</b>	<b>16,9</b>
NH4	9,00	0,00	9,00	11,29	11,30	2,29	<b>9,0</b>	<b>2,78</b>
SO4	4,24	2,12	6,36	11,73	11,74	5,38	<b>4,24</b>	<b>16,2</b>
CL	22,18	115,32	137,49	137,07	137,08	-0,41	<b>22,2</b>	<b>92,7</b>
NO3	7,78	7,78	15,56	24,99	24,99	9,43	<b>7,78</b>	<b>9,03</b>

Resultados para os valores de intemperismo, uptake e quantidades das diferentes espécies químicas maiores para os solos por unidade de área da bacia:

Solo	Intemperismo mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção mEq/m <sup>2</sup> /ano	Quantidade mEq/m <sup>2</sup>
CA	21,50	9,40	4083,3
MG	36,00	1,33	2115,4
NA	51,00	0,00	2777,3
K	9,00	5,68	1981,7
NH <sub>4</sub>	4,00	1,69	6,7
SO <sub>4</sub>	10,00	0,00	5746,4
CL	0,00	0,00	81,8
NO <sub>3</sub>	10,00	0,51	14,9

Novamente, obtém-se uma concordância parcial entre os valores medidos e os obtidos através do modelo. Para os cátions maiores o resultado é razoável. Entretanto, para os outros íons, esses resultados subestimam os valores medidos. Com relação aos fluxos, exceto para o amônio e o nitrato, os outros estão em acordo com os valores medidos.

Um segundo teste para verificar a qualidade da calibração do modo **B** foi utilizando os dados de qualidade das águas para o período JN/96-JN/97, porém, impondo-se que a precipitação e a vazão desse período obedeçam à mesma proporção do ano de calibração. Os outros parâmetros continuam iguais. Os dados de entrada são os seguintes:

Descarga média anual: 0,837 m/ano

Precipitação média anual: 2,108 m/ano,

Médias anuais para as concentrações das espécies químicas consideradas, na precipitação e nas águas do Igarapé, para o ano de 1997 em mEq/m<sup>3</sup>:

mEq/m <sup>3</sup>	Precipitação	Igarapé Modelo	Igarapé Medido
CA	6,1	61,3	66,0
MG	1,9	73,6	95,0
NA	7,9	107,8	130
K	3,1	15,9	22
NH <sub>4</sub>	4,3	13,5	3,7
SO <sub>4</sub>	2,0	14,1	21
CL	10,5	163,9	123
NO <sub>3</sub>	3,7	29,9	12
H <sup>+</sup>	0,7	5,1	0,82

Deposição seca e úmida e fluxos totais calculados através do modelo e valores medidos para o compartimento atmosfera para o ano de calibração:

mEq/m <sup>2</sup> /ano	Dep.úmida	Dep.seca	Dep.Total	Solo	Igarapé	Fluxo total	Dep.úmida MEDIDO	Igarapé MEDIDO
CA	12,75	12,75	25,51	51,35	51,35	25,84	<b>12,8</b>	<b>49,9</b>
MG	4,11	4,11	8,22	61,62	61,62	53,40	<b>4,11</b>	<b>71,9</b>
NA	16,63	16,63	33,26	90,24	90,25	56,98	<b>16,6</b>	<b>98,3</b>
K	6,62	3,31	9,93	13,27	13,27	3,34	<b>6,62</b>	<b>16,9</b>
NH4	9,00	0,00	9,00	11,30	11,30	2,30	<b>9,00</b>	<b>2,78</b>
SO4	4,24	2,12	6,36	11,79	11,79	5,43	<b>4,24</b>	<b>16,2</b>
CL	22,18	115,32	137,49	137,14	137,15	-0,34	<b>22,2</b>	<b>92,7</b>
NO3	7,78	7,78	15,56	25,00	25,00	9,44	<b>7,78</b>	<b>9,03</b>

Resultados para o intemperismo, absorção e quantidades das espécies maiores para os solos por unidade de área da bacia:

Solo	Intemperismo mEq/m <sup>2</sup> /ano	Absorção mEq/m <sup>2</sup> /ano	Quantidades mEq/m <sup>2</sup>
CA	21,50	9,40	4090,3
MG	36,00	1,33	2121,1
NA	51,00	0,00	2778,4
K	9,00	5,68	1982,5
NH4	4,00	1,69	6,1
SO4	10,00	0,00	5259,9
CL	0,00	0,00	73,9
NO3	10,00	0,51	13,5

Esses resultados não apresentam diferenças significativas em relação à validação anterior.

O modelo MAGIC não pode ser aplicado diretamente a esse tipo de ecossistema, embora sua utilização para simular processos físico-químicos seja válida. Para este caso, em que é desejado efetuar simulações que permitam extrapolações no tempo, dando conta de impactos provocados por atividades mineradoras, é necessário elaborar melhor os processos de absorção e intemperismo, procurando considerar a contribuição da transprecipitação diretamente. As diferenças sazonais nos fluxos de águas circulando na bacia devem ser mais bem determinadas. As curvas de deposição através da atmosfera e de absorção através dos solos das espécies químicas precisam incorporar mecanismos mais próximos da realidade.

#### 4.1.10. Discussão dos Resultados.

A bacia do Igarapé Pedra Preta mostrou-se bem adaptada para a realização de um monitoramento ambiental. Assim, através da análise dos resultados obtidos nos diferentes compartimentos desse ecossistema florestal (atmosfera, litosfera, pedosfera, biosfera e hidrosfera) não afetado, aparentemente, por atividades de garimpo de ouro, foi possível tecer algumas considerações gerais sobre o comportamento do mercúrio no ciclo superficial.

Os resultados obtidos mostram que a atmosfera, através da precipitação coloca cerca de 0,08 kg/ha/ano de Hg no sistema. Ao entrar em contato com a vegetação, a água da chuva (transprecipitação) é altamente enriquecida de Hg, passando a apresentar valores da ordem de 0,4 kg/ha/ano. Praticamente, toda esta quantidade de mercúrio é retida pelos solos ferralíticos, pois somente 0,015 kg/ha/ano sai com as águas de drenagem. Desta forma, os solos tropicais, através do seu complexo argilo-húmico (argilo-minerais, matéria orgânica e óxi-hidróxidos de ferro) retêm o Hg, impedindo sua passagem para as águas dos rios. Nas áreas degradadas, sem vegetação e formadas por solos remanejados e retrabalhados, a inexistência do complexo argilo-húmico não permite a retenção do Hg, de tal forma que todo o estoque que entra através da precipitação é carreado para as águas superficiais.

O estudo mineralógico e geoquímico dos solos e sedimentos da região da Serra do Navio trouxe informação sobre o comportamento do Hg nesses materiais e sobre os tipos litológicos regionais.

Tanto os solos como os sedimentos refletem terrenos predominantemente graníticos, associados a rochas máficas com possíveis mineralizações sulfetadas subordinadas.

Os teores de Hg nos sedimentos de fundo dos rios estão na faixa de 190 a 450 ppb. Na lagoa de decantação da foz do igarapé Pedra Preta os sedimentos mostram-se bem mais empobrecidos em Hg (40 a 60 ppb), com teores cerca de uma ordem de grandeza inferiores aos de fundo de rio. Os teores de Hg encontrados nos sedimentos dos fundos dos rios são bem superiores aos teores médios da crosta e aos valores considerados *background* para a região amazônica (20 a 100 ppb), o que pode indicar contaminação. Apesar de não haver garimpos próximos dos locais amostrados, os sedimentos podem estar refletindo contaminação proveniente de garimpos situados em regiões a montante.

Nos solos, parece evidente uma acumulação de Hg na superfície, em níveis de cerca de 300 ppb sendo esta concentração da mesma ordem que as encontradas em outras partes da floresta Amazônica com solos ferralíticos (Roulet & Lucotte, 1995; Roulet et al., 1996a, b). Quando foi estudada a variação do teor de Hg na superfície dos solos com sua posição na encosta, verificou-se que os teores de Hg decrescem de cerca de 400 ppb no topo para 200 ppb na base da topossequência, podendo esta variação ser ligada ao efeito da lixiviação ao longo da topossequência. No estudo de perfis verticais, constatou-se

que os teores da ordem de 300 ppb na superfície permanecem até uma profundidade de cerca de 2 m e, a partir daí diminuem, chegando a valores inferiores a 100 ppb. Nos primeiros 2 m do perfil dos solos, podem ocorrer níveis com acentuado concrecionamento. Nestes casos, acompanhando os aumentos dos teores de Fe, sobem também os teores de Hg, até cerca de 800 ppb. Associação de Hg com nódulos de Fe foi também encontrada por Roulet & Lucotte (1995) na Guiana Francesa. Nos solos recentemente remobilizados os teores de Hg são da ordem do *background* (<100 ppb).

Esse quadro de distribuição de Hg nos solos numa área não afetada diretamente pela atividade garimpeira poderia ser explicado levando em conta tanto processos antropogênicos, como pedogenéticos. O Hg seria depositado na superfície dos solos como partículas e transportado pela ação do vento, a partir das áreas de garimpo onde é efetuada a queima do amálgama, ou a partir de áreas onde a vegetação é queimada. Uma vez na superfície, o Hg seria redistribuído nos horizontes do solo até cerca de 2 m de profundidade por processos pedogenéticos. Esses processos concentrariam o Hg quando da formação das concreções ferruginosas e manganesíferas, como sugerido por outros autores (Roulet & Lucotte, 1995; Roulet et al., 1996b). A partir de 2 m de profundidade, os teores de Hg encontrados nos solos seriam de origem essencialmente litogênica.

A ligeira tendência à diminuição dos teores de Hg nos solos superficiais nos níveis inferiores das topossequências poderia ser talvez também atribuída aos processos pedogenéticos de degradação dos solos, atuantes nas encostas.

#### **4.2. COMPORTAMENTO DO MERCÚRIO NO CICLO SUPERFICIAL EM ÁREA COM ATIVIDADE DE GARIMPO DE OURO: ESTUDO DE CASO – TARTARUGALZINHO.**

Como mencionado anteriormente, a área de Tartarugalzinho foi selecionada a partir de uma solicitação da Secretaria do Meio Ambiente do Estado do Amapá (SEMA), mas também em virtude do interesse demonstrado pelos membros da equipe em ampliar o alcance socioeconômico do projeto.

Os estudos aí realizados permitiram avaliar as consequências ambientais e sanitárias do garimpo do rio Tartarugalzinho, um dos mais antigos e conhecidos do Estado do Amapá, situado a montante do lago Duas Bocas, localizado na baixada litorânea do Estado (figura 2.1), e responsável pelo abastecimento de pescado, não só para os moradores da região, mas também para toda a população de Macapá.

As análises efetuadas em amostras coletadas no sistema Tartarugalzinho - Tartarugal Grande, lago Duas Bocas e lago Pracuúba (figura 2.8) permitiram determinar as concentrações naturais de mercúrio na região e também documentar o impacto causado pelo garimpo de ouro.

Os rios Tartarugalzinho e Tartarugal Grande, assim como o lago Duas Bocas, são afetados pelas atividades de mineração de ouro, e o peixe pescado nesta região apresenta-se altamente contaminado por mercúrio. Esta situação chamou a atenção das autoridades locais para o problema. Na falta de um conhecimento mais profundo sobre os níveis de contaminação das águas do sistema, conseguiram negociar com os garimpeiros soluções emergenciais, como a construção de diques para minimizar os efeitos de uma possível lixiviação do mercúrio dos rejeitos, sedimentos e solos de áreas de mineração abandonadas, e a utilização da água em circuito fechado no processo de mineração.

O lago Pracuúba foi considerado como o compartimento limpo (branco) do sistema, pois não apresenta nenhuma atividade de garimpo em sua bacia de drenagem. Este lago, situado a cerca de 15km ao norte do rio Tartarugalzinho, é muito semelhante ao lago Duas Bocas quanto à fisiografia da paisagem, à geoquímica, às condições hidrológicas e aos tipos e hábitos das populações ribeirinhas. O Pracuúba não apresenta nenhum tipo de comunicação com o sistema Tartarugalzinho-lago Duas Bocas. Além disso, os ventos dominantes na região sopram de nordeste, de forma que emissões atmosféricas de Hg do garimpo de Tartarugalzinho têm muito pouca probabilidade de atingir o Pracuúba e sua drenagem.

Os dois lagos são rasos com profundidade entre 2 e 3 m na estação seca, na maior parte de sua área, sendo a variação anual do nível de água de aproximadamente dois metros. Esses lagos são

parcialmente cobertos por abundante e variada vegetação aquática, e margeados por florestas de galeria e vastas planícies de inundação.

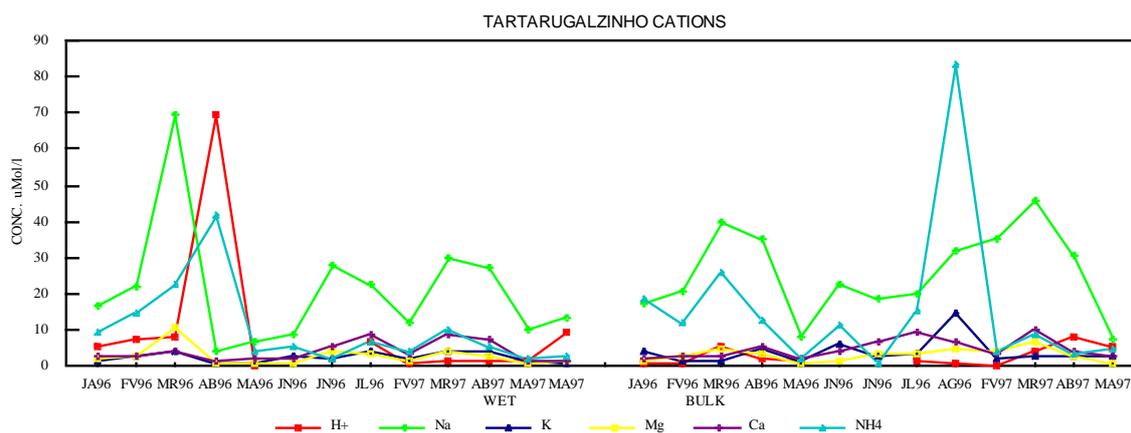
Os pescadores e suas famílias vivem em vilas isoladas (acessíveis apenas por barco) às margens dos dois lagos, e consomem em média 10 refeições de peixe por semana, ou cerca de 2 quilos de peixe para um adulto. Os habitantes da vila de Tartarugalzinho, localizada às margens da rodovia, têm acesso a uma dieta mais diversificada, ficando desta forma menor o consumo de peixe.

#### 4.2.1. Entradas Atmosféricas: Precipitação e aerossóis

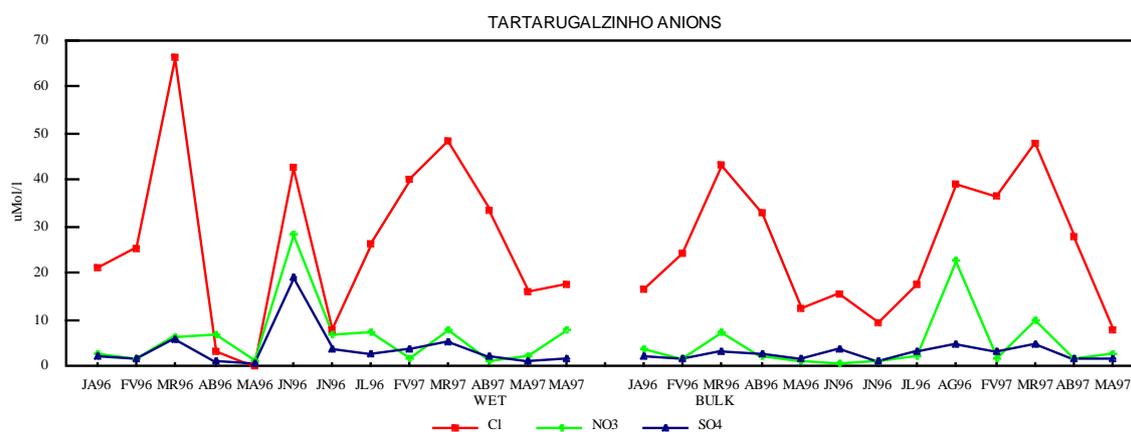
##### 4.2.1.1 - Precipitação

A caracterização da composição química das águas da chuva na região de Tartarugalzinho permite identificar as fontes principais das diferentes espécies químicas, constituindo-se, dessa forma, em uma excelente “assinatura” hidrogeoquímica para o local. Além disso, a quantificação do volume precipitado permite calcular os fluxos das espécies químicas que entram no sistema.

Na Figura 4.25 são apresentadas as sequências temporais das concentrações em  $\mu\text{M}$  dos cátions (a), ânions (b) e metais (c), para os coletores “wet-only” e “bulk”. As discussões apresentadas têm como base esses resultados. Todos os cálculos foram efetuados utilizando-se o  $\mu\text{Eq/l}$  como unidade de concentração.



(a)



(b)

Figura 4.25 - Sequências temporais das concentrações ( $\mu\text{M}$ ) das diferentes espécies químicas nas águas de chuva de Tartarugalzinho; (a) cátions e (b) ânions.

Da mesma forma que para Serra do Navio, foi aplicado o teste de hipótese de igualdade entre as populações, para comparar os valores das concentrações dos íons em solução entre as amostras coletadas com o coletor bulk e o wet-only, exceto para os metais (número limitado de amostras).

Nas tabelas 4.37 a e b são mostradas as estatísticas para essas amostras. Os valores das concentrações de  $\text{H}^+$ , em  $\mu\text{Eq/l}$ , representam a acidez livre dessas chuvas. O valor de  $\text{pH} = 5,6$ , que corresponde a  $[\text{H}^+] = 2,5 \mu\text{Eq/l}$ , é o valor normal para a água pura em equilíbrio com o  $\text{CO}_2$  atmosférico, ou seja é o valor normal da acidez livre para as águas de chuva (Galloway et al., 1982). Valores de  $[\text{H}^+]$  maiores do que  $2,5 \mu\text{Eq/l}$ , como os registrados no Tartarugalzinho, correspondem a águas de chuva ácidas. Para os coletores wet-only o pH médio é 4,99 e para os bulk é 5,55. Esses valores são normais e ligeiramente maiores do que os valores encontrados na região central da Amazônia (Forti & Moreira-Nordemann, 1991; Williams et al., 1997).

As diferenças entre as médias, medianas e modas indicam que essas amostras não obedecem a uma distribuição normal de probabilidades; o teste de aderência a diferentes distribuições mostrou que as

concentrações das diferentes espécies químicas obedecem a uma distribuição lognormal, sendo, portanto, apropriado utilizar as médias geométricas para caracterizar a composição química média dessas chuvas.

Tabela 4.37a - Estatísticas para a composição química das chuvas amostradas em Tartarugalzinho para o coletor do tipo “wet-only”, em  $\mu\text{Eq/l}$ .

Wet	No.amos.	M.Art.	Mediana	Moda	Std	Min.	Max
H <sup>+</sup>	11	10,18	5,37	1,70	19,86	0,25	69,18
C( $\mu\text{S}$ )	5	11,72	8,70	5,0	10,46	4,9	30,0
Alc	11	-15,7	-15,7	-30,0	75,7	-146,0	109,2
Na <sup>+</sup>	13	20,87	16,51	13,51	16,87	3,92	69,3
K <sup>+</sup>	13	2,57	2,48	2,32	1,39	0,76	4,44
Mg <sup>2+</sup>	13	5,56	4,58	3,06	5,40	1,06	21,5
Ca <sup>2+</sup>	13	8,14	5,78	5,24	5,46	2,88	17,96
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	13	10,21	5,58	5,53	11,15	2,21	42,08
Cl <sup>-</sup>	13	26,82	25,16	20,96	19,09	0,12	66,47
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13	6,30	6,45	6,6	7,23	1,04	28,52
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13	7,84	4,62	3,34	9,66	1,00	38,22
Al <sup>3+</sup>	13	0,62	0,71	0,00	0,046	0,00	1,52
Fe <sup>3+</sup>	14	0,05	0,02	0,00	0,07	0,00	0,22
Mn <sup>2+</sup>	14	0,03	0,01	0,00	0,04	0,00	0,12
Cu <sup>2+</sup>	14	0,09	0,09	0,09	0,04	0,00	0,17
Zn <sup>2+</sup>	10	1,43	1,50	1,40	0,85	0,00	2,47
Si	4	< limite					

Tabela 4.37 b - Estatísticas para a composição química das chuvas amostradas em Tartarugalzinho para o coletor do tipo “bulk”, em  $\mu\text{Eq/l}$ .

BULK	No.amos.	M.Art	Mediana	Moda	Std	Min.	Max
H <sup>+</sup>	11	2,82	1,74	5,62	2,52	0,25	7,76
Co( $\mu\text{S}$ )	5	8,6	6,0	4,5	7,0	2,4	20,0
Alc	11	-30,0	-8,4	-16	94,4	-240	104,4
Na <sup>+</sup>	13	25,66	22,84	20,77	11,76	7,58	45,77
K <sup>+</sup>	13	3,95	3,00	2,94	3,39	1,42	14,4
Mg <sup>2+</sup>	13	6,25	6,46	6,08	3,40	1,9	13,9
Ca <sup>2+</sup>	13	9,68	8,24	6,84	5,17	4,1	19,7
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	13	15,61	11,15	8,66	21,57	0,75	83,25
Cl <sup>-</sup>	13	25,49	24,03	17,51	13,45	7,85	47,91
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	13	4,58	2,26	1,84	6,05	0,91	22,76
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	13	5,49	5,40	4,52	2,35	2,16	9,4
Al <sup>3+</sup>	14	0,61	0,61	0,51	0,34	0,10	1,23
Fe <sup>3+</sup>	16	0,06	0,01	0,01	0,08	0,00	0,22
Mn <sup>2+</sup>	15	0,10	0,07	0	0,17	0,00	0,70
Cu <sup>2+</sup>	16	0,14	0,11	0,13	0,12	0,00	0,47
Zn <sup>2+</sup>	12	1,92	1,41	1,07	1,36	0,69	5,45
Si	4	3,22	3,65	1,78	0,97	1,78	3,81

Estatisticamente, não houve diferença entre a composição das chuvas para os dois tipos de coletores. Por esta razão, para a discussão, serão considerados apenas os resultados relativos aos coletores “wet-only”. Os teores dos metais encontrados nessas águas estão a níveis de traço, não sendo, desta forma, possível associá-los a alguma fonte específica diferente das do solo. Tampouco é possível atribuir alguma variação sazonal a essas concentrações, pois os valores da variância são baixos, quando comparados com as médias. Com base nos valores das médias geométricas, foi calculado o fator de fracionamento e a partição entre a contribuição marinha e outras fontes para os íons maiores (Tabela 4.38). O fator de fracionamento representa a perda ou ganho de íons na água de chuva em relação à chuva puramente marinha e é expresso pela razão da concentração na água de chuva em relação à razão na água do mar. Considerando o cloreto como conservativo (Berner & Berner, 1987a), as razões foram calculadas tomando-se esse íon como referência. Assim, o fator de fracionamento é calculado pela expressão:

$$F_{Cl} = \frac{[X/Cl]_{chuva}}{[X/Cl]_{mar}}$$

Tabela 4.38 - Fator de fracionamento  $F_{Cl}$ , contribuição marinha e de outras fontes para a composição da água de chuva em Tartarugalzinho.

ÍON	CONC.MAR (Berner & Berner, 1987b) mEq/l	$F_{Cl}$	MÉD.GEOM. Tartarugalzinho $\mu$ Eq/l	CONT. MARINH A $\mu$ Eq/l	OUTRAS FONTES $\mu$ Eq/l	Williams et al., 1997 Amazônia Central $\mu$ Eq/l
Na <sup>+</sup>	485	1,26	16,19	12,92	3,27	2,4
K <sup>+</sup>	10,6	7,0	2,19	0,30	1,89	0,8
Mg <sup>2+</sup>	110,2	1,37	3,95	2,89	1,06	0,9
Ca <sup>2+</sup>	21,4	11	6,70	0,61	6,09	2,4
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup>	$2 \times 10^{-6}$	-	6,87	-	6,87	3,0
Cl <sup>-</sup>	566	-	15,20	15,20	-	4,6
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	$5 \times 10^{-6}$	-	4,03	-	4,03	4,2
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	58,6	3,6	5,10	1,52	3,58	2,0

Verifica-se, dos valores de  $F_{Cl}$ , que todas as espécies químicas consideradas estão enriquecidas em relação à precipitação marinha indicando que existe um componente importante de origem continental sobreposto ao componente oriundo do mar. Nessa região, nas águas de chuva, o sódio, cloreto e o magnésio têm como fonte principal o mar, e as outras espécies são oriundas principalmente da poeira dos solos (cálcio) e da vegetação (nitrato, amônio e sulfato). Entretanto, é necessário ressaltar que parte do Cl pode estar sofrendo fracionamento durante o transporte e assim não ser completamente conservativo (Berner & Berner, 1987a).

Comparando-se esses valores aos obtidos por Williams et al.(1997), para a região Central da Amazônia, verifica-se que as concentrações dos íons maiores oriundos de outras fontes (Tabela 4.2) são comparáveis para o Na<sup>+</sup>, o Mg<sup>2+</sup> e o NO<sub>3</sub><sup>-</sup> apresentando diferença significativa para os outros íons. Atribui-se essas diferenças às características dessa região, próxima à costa e vegetação predominantemente de cerrado.

Na tabela 4.39 são apresentados os coeficientes de Spearman para correlação por postos. Esses coeficientes indicam o grau de concordância (1) ou discordância (-1) entre as diferentes variáveis com um determinado nível de significância, aqui escolhido como 5%, devido ao número limitado de amostras. Esse tipo de coeficiente é apropriado para amostras pequenas e que não obedecem a uma



associados positivamente. O fator 2, embora de forma não muito clara, poderia ser atribuído ao solo, uma vez que aparecem associados o  $\text{NO}_3^-$ , o  $\text{SO}_4^{2-}$  e o Fe.

Tabela 4.40 – Matriz dos fatores após rotação VARIMAX para a precipitação em Tartarugalzinho.

Variável/Fator	1	2	3	comunalidade
$\text{Na}^+$	0,8760	0,0750	0,3494	0,8951
$\text{K}^+$	0,8903	0,2216	-0,1818	0,8749
$\text{Mg}^{2+}$	0,8399	0,1080	0,4226	0,8957
$\text{Ca}^{2+}$	0,7780	-0,0872	-0,2848	0,6941
$\text{NH}_4^+$	-0,0935	0,1399	0,8669	0,7799
$\text{Cl}^-$	0,7239	0,5202	0,0805	0,8011
$\text{NO}_3^-$	-0,0912	0,9214	-0,2269	0,9089
$\text{SO}_4^{2-}$	0,0623	0,9426	-0,2805	0,9710
$\text{Al}^{3+}$	0,5441	-0,2750	-0,0585	0,3751
$\text{Fe}^{3+}$	-0,6267	0,5570	0,1797	0,7354
$\text{Mn}^{2+}$	0,3212	-0,3899	-0,3533	0,3800
% da variância	38	24	13	

#### 4.2.1.2 - Aerossóis

Na figura 4.26 são apresentados os valores das concentrações do material particulado inalável (**PI**).

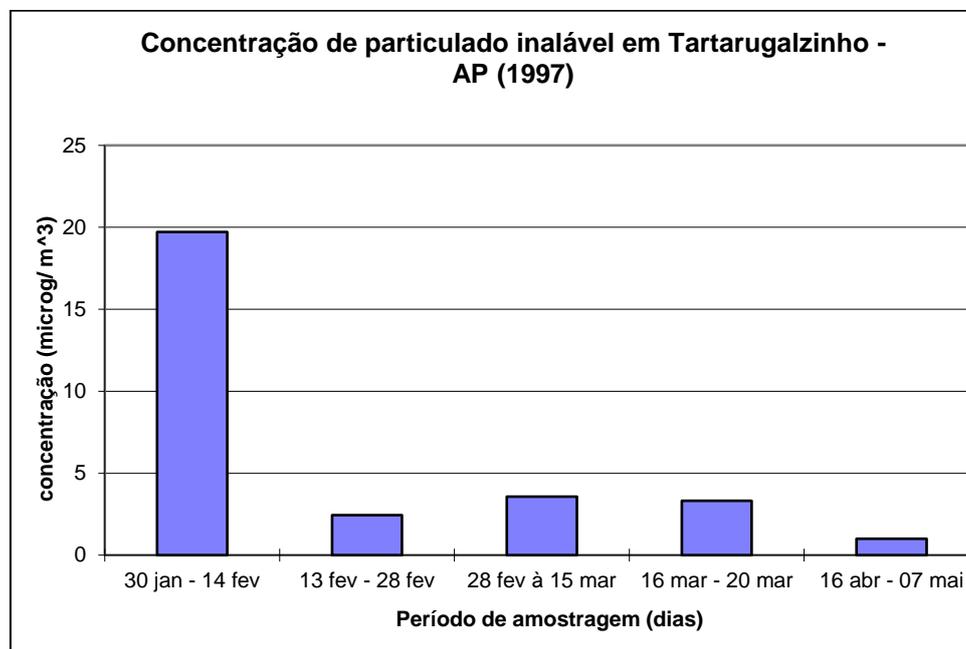


Figura 4.26. Particulado inalável coletado em Tartarugalzinho.

#### 4.2.2. Mercúrio em Sedimentos de Fundo

Foram analisados sedimentos dos lagos Duas Bocas, Pracuúba, rio Tartarugalzinho e do Garimpo da Fofoca. A composição dos sedimentos é essencialmente quartzosa, com caolinita, mica e traços de goethita. Nas amostras do perfil do Lago Duas Bocas aparecem, frequentemente, traços de uma argila do tipo 2:1, cuja origem provável encontra-se ligada à alteração incipiente das micas.

Os teores de Hg nos sedimentos do Lago Pracuúba são bem mais baixos (55 a 65 ppb) do que aqueles encontrados no Lago Duas Bocas (105 a 209 ppb). No Garimpo Fofoca, os sedimentos fornecem valores de 264 e 1058 ppb. A amostra coletada na cidade, perto da bomba de captação de água, contém 384 ppb de Hg. Já os sedimentos de fundo do rio Tartarugalzinho apresentam teores bem mais baixos de Hg, da ordem de 58 ppb. Os resultados encontrados parecem indicar falta de correlação entre os teores de Fe e de Hg.

O conjunto das amostras de sedimentos da região do Tartarugalzinho foi submetido à análise multielementar, tendo sido dosados, além do Hg, os seguintes elementos: As, Br, Ce, Co, Cr, Ce, Eu, Fe, Ho, La, Lu, Na, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb e Zn. A Figura 4.27 mostra os valores

máximos, mínimos e a mediana para cada elemento, comparados com os valores médios da crosta (*clarke*). Os elementos que apresentam mediana significativamente mais elevada que o *clarke* são As, Br, Sb e Se. Esse conjunto caracteriza uma associação tipicamente relacionada a mineralizações sulfetadas, às quais o Au pode estar relacionado.

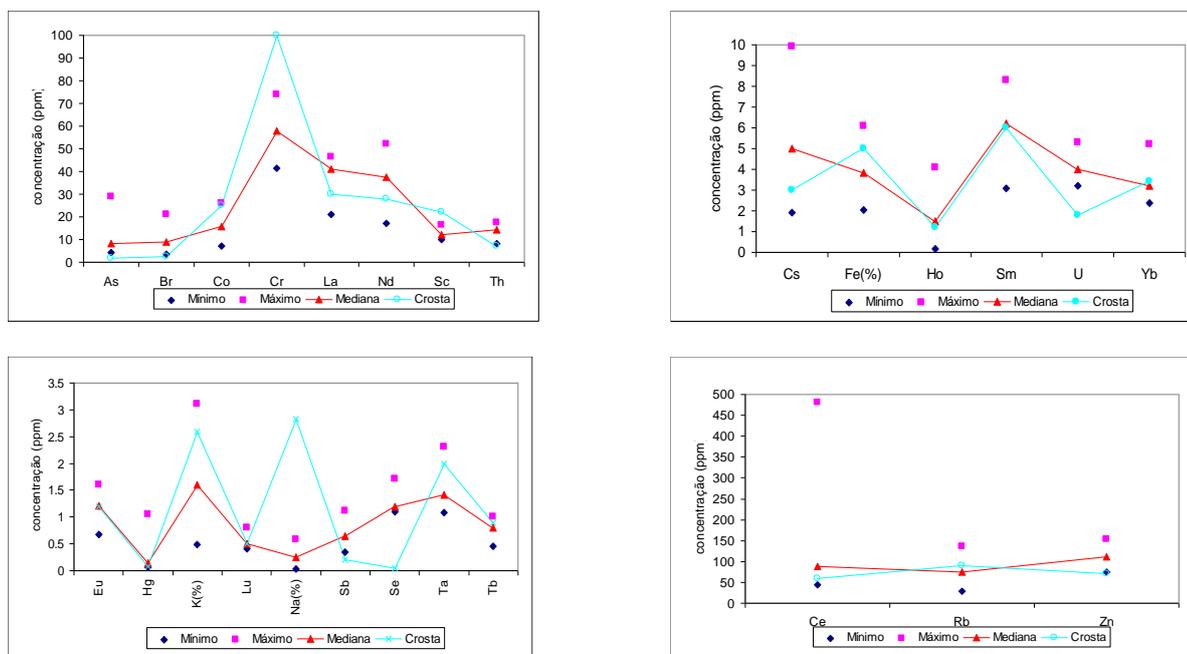


Figura 4.27 - Máximo, mínimo, mediana e clarke para as amostras de sedimentos do Tartarugalzinho (n-9).

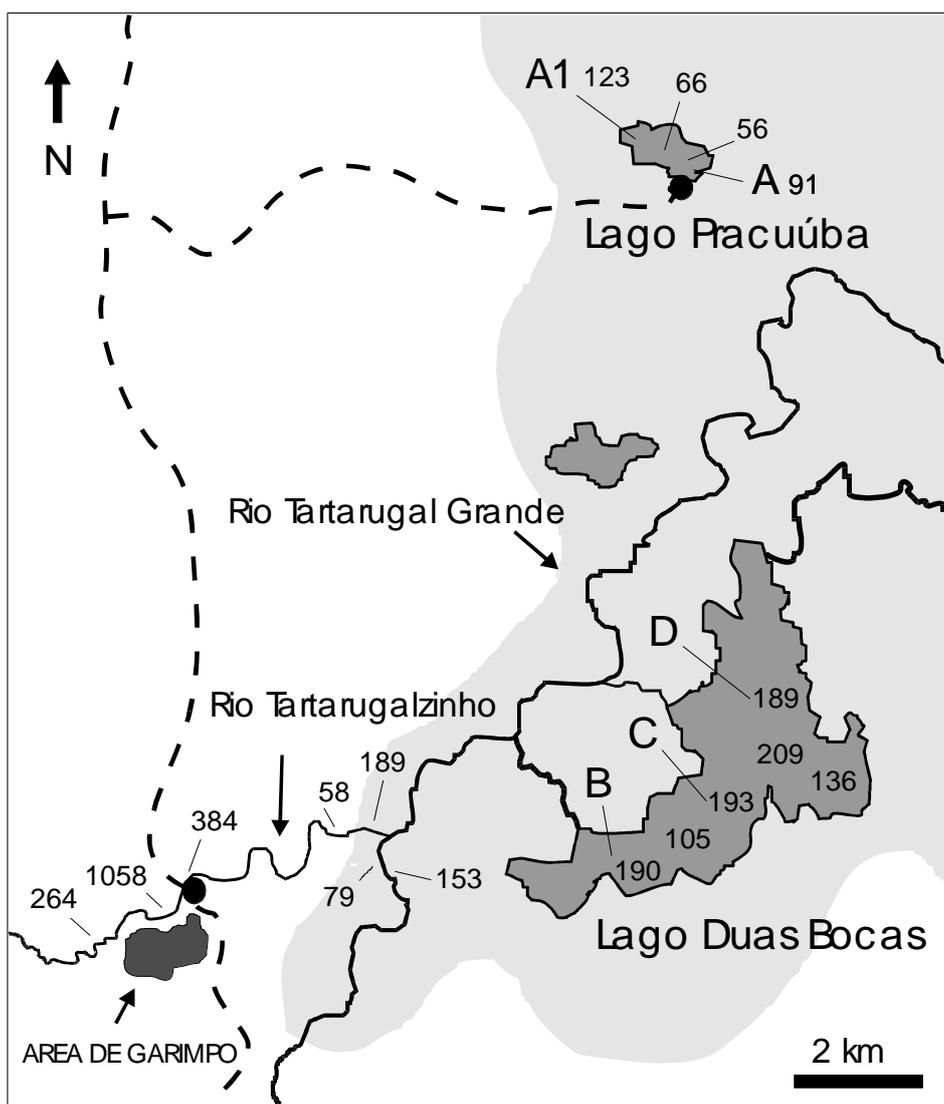


Figura 4.28 - Distribuição espacial das concentrações de Hg total em sedimentos de fundo com granulometria  $<74 \mu\text{m}$ , na região dos lagos de Tartarugalzinho em ppm.

Na Figura 4.28 apresentam-se as concentrações de Hg total em sedimentos com granulometria  $<74 \mu\text{m}$  na área de estudo, e a localização aproximada dos pontos de coleta de testemunhos para análise dos perfis verticais de Hg total. As concentrações em sedimentos de superfície no lago Pracuúba são compatíveis com aquelas observadas em outras áreas não contaminadas da região Amazônica (Malm et al., 1990). O perfil vertical de Hg observado nos dois testemunhos do lago Pracuúba (Fig. 4.29, A e A1) sugere uma deposição regular de Hg ao longo de várias décadas, e na falta de informações sobre as taxas de sedimentação no lago, assumimos um valor, provavelmente superestimado, de 1 cm/ano. Já no Rio Tartarugalzinho o Hg total em sedimentos de fundo variou de 58 a 1058 ppb, com média de 441 ppb, indicando claramente o impacto das atividades garimpeiras. Observa-se frequentemente uma forte heterogeneidade da distribuição do Hg em sedimentos de fundo em áreas a

jusante de campos de garimpo, devido à presença de gotículas de Hg metálico no sedimento (Malm et al., 1993). O impacto do garimpo na região do Tartarugalzinho é também bastante claro no lago Duas Bocas, onde as concentrações de Hg total na superfície do sedimento são, em média, o dobro das observadas no lago Pracuúba, e os perfis de sedimento mostram um claro acréscimo dos níveis de Hg total ao longo do tempo (Fig. 4.29, C e D). A concentração de Hg nas camadas inferiores dos perfis C e D representam provavelmente os níveis do período pré-garimpo e é comparável à observada hoje no lago Pracuúba, o que autoriza considerar-se o último como um lago controle ou de referência. Permite ainda, já que é conhecida a data (1984) de início das operações de garimpo na região, estimar a idade destas camadas e daí taxas de sedimentação: com o perfil C, obtém-se uma taxa de 1.6 cm/ano. Estas estimativas deverão ser posteriormente confirmadas através de datações com Pb-210.

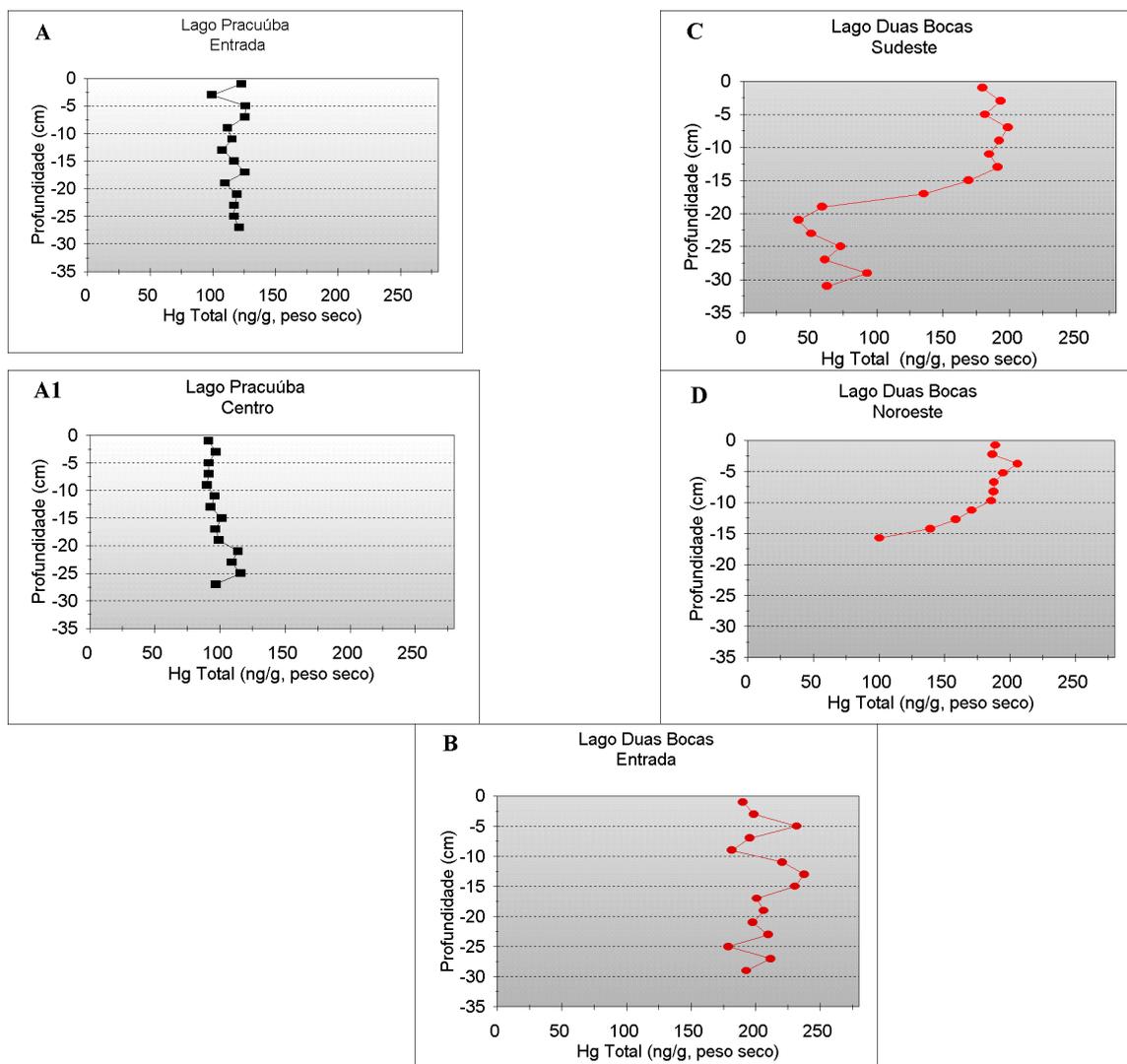


Figura 4.29 - Perfil vertical de Hg total em ppm, observado nos dois testemunho do lago Pracuúba (A e A1) e no lago Duas Bocas (B a D).

#### 4.2.3. Mercúrio em Solos.

Foi amostrado um perfil de solo no Garimpo da Fofoca (Amostras A1-A7) e diferentes fácies de uma couraça ferruginosa no mesmo garimpo (Amostras B1, B2 e B3). Foi também coletada uma amostra de couraça desenvolvida sobre quartzito no garimpo Seta (Amostra C1). A descrição dessas amostras consta da Tabela 4.41.

O perfil de solo é tipicamente laterítico, composto essencialmente por quartzo, caulinita, mica e óxi-hidróxidos de Fe, estando esses últimos minerais especialmente concentrados nos níveis A2 e A5. Os teores de Hg nos diferentes níveis do perfil e nas diferentes fácies das couraças estão entre <39 e 212ppb. No perfil A1-A7 os teores de Hg são mais altos na superfície que em profundidade (Figura 4.30).

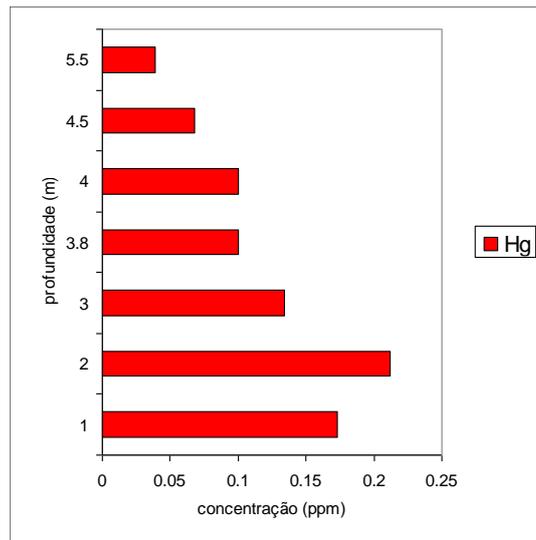


Figura 4.30 - Variação de Hg (ppm)total com aprofundidade (m) no perfil de solo do garimpo da Fofoca, Tartarugalzinho.

De modo geral, considerando todas as amostras de solo coletadas no Tartarugalzinho, não há correlação entre os teores de Fe e Hg (Tabela 4.41). No entanto, as 2 amostras mais ricas em Hg (A2 e C1) representam concreções ferruginosas com altos teores de Fe e com hematita. Não foi dosado Mn.

Tabela 4.41 Hg e Fe em ppm nos solos do Tartarugalzinho

<b>Garimpo Fofoca</b>	Hg ppm	Fe %
A1-1m latossolo	0,173	3,29
A2-2m manchas Fe	0,212	12,4
A3-3m manchas Fe	0,134	5,02
A4-3,8m cascalheira	0,100	2,64
A5-4m manchas Fe	0,100	13,6
A6-4,5m rocha alt.	0,068	1,04
A7-5,5m rocha alt.	<0,039	1,93
<b>Garimpo Fofoca (couraça)</b>		
B1 argila cinza	0,063	1,32
B2 concreção Fe	0,033	7,88
B3 argila creme	0,073	1,35
<b>Garimpo Seta</b>		
C1 couraça sobre quartzito	0,212	13,9

O conjunto das amostras de solo do Tartarugalzinho (10 amostras) foi analisado para os seguintes elementos: As, Ba, Br, Ce, Co, Cr, Cs, Eu, Fe, Hf, Hg, La, Lu, Nd, Rb, Sb, Sc, Se, Sm, Ta, Tb, Th, U, Yb, e Zr. Os resultados mostram que As, Hf, Lu, Sb, Se, Sm, Ta, Th, U, e Zr apresentam teores

superiores ao *clarke* (Figura 4.31). Essa assinatura geoquímica é característica de solos derivados da alteração de rochas ácidas, podendo indicar talvez a presença de sulfetos (As, Sb) associados.

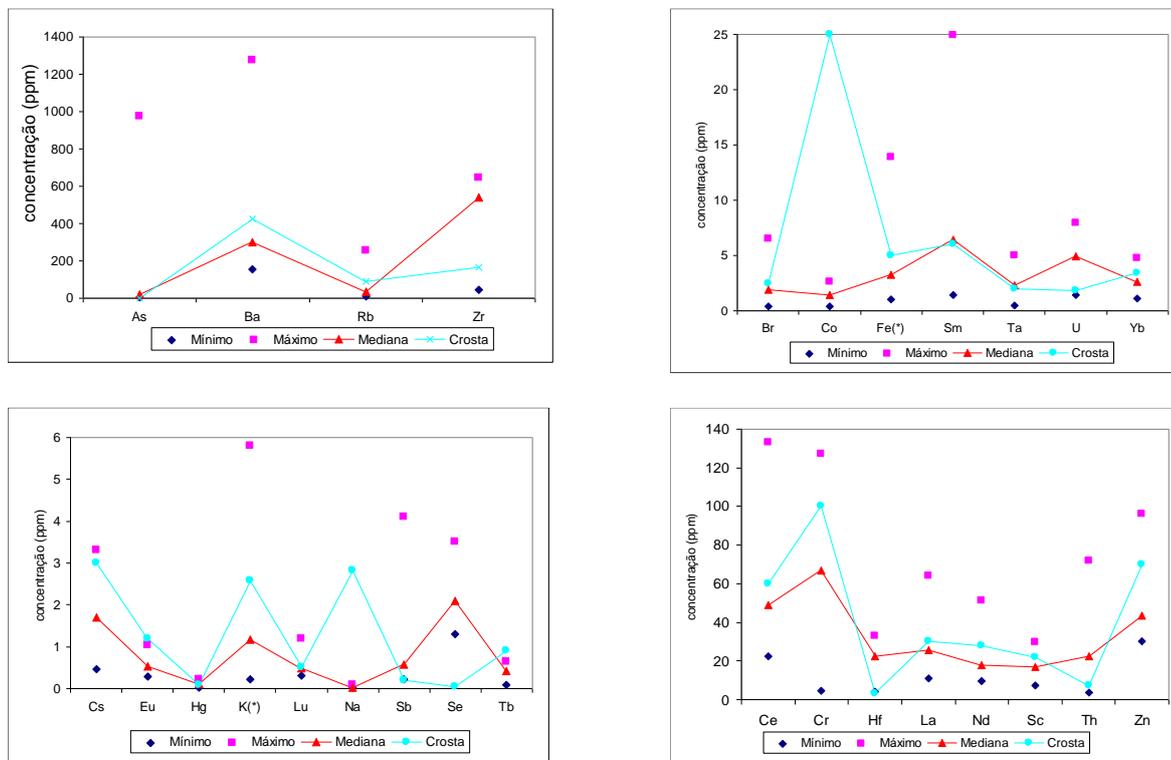


Figura 4.31 - Máximo, mínimo, mediana e clarke para as amostras do solo de Tartarugalzinho(n-10).

A análise fatorial modo R com rotação varimax para as 10 amostras permitiu a extração de 3 fatores que representam respectivamente 46,5%, 28,0% e 23,3% da variância total. As cargas predominantes para o primeiro fator correspondem a Ce, La, Nd, Sm e Ta, para o segundo a Cr, Co, Cs, Lu e Tb, e para o terceiro a As, Fe e Sb. O primeiro fator representa a associação granítica, o segundo é de interpretação duvidosa e o terceiro poderia estar relacionado aos sulfetos.

Na região do Tartarugalzinho os solos indicam filiação granítica das rochas regionais. Tanto nos solos como nos sedimentos há teores relativamente elevados de certos elementos como o As, Se e Sb, que devem estar refletindo a presença de sulfetos aos quais o Au estaria associado.

O lago Duas Bocas e o Garimpo Fofoca mostram-se contaminados, com teores de Hg típicos de sedimentos associados a zonas de garimpo na Amazônia. Dentro do garimpo Fofoca foi encontrado o mais alto teor de Hg da região (1058 ppb). O lago Pracuúba e o rio Tartarugalzinho parecem não

sofrer a influência dos garimpos, pois apresentam teores de Hg na faixa do *background* geral da Amazônia (56 a 66 ppb).

Os solos apresentam teores elevados de Hg, comparáveis aos das regiões contaminadas, apenas nos seus níveis mais evoluídos, próximos da superfície. Nos níveis mais profundos do solo, os teores de Hg são inferiores a 100 ppb.

No Tartarugalzinho, a influência do garimpo pode ser detectada apenas nas áreas bem próximas à exploração do ouro, onde os sedimentos podem apresentar altos níveis de contaminação. Porém, de maneira geral, os sedimentos apresentam níveis de Hg comparáveis aos da região de Serra do Navio (em torno de 300 ppb), onde não há garimpos nas proximidades. Os solos apresentam também comportamento semelhante aos da Serra do Navio, com teores mais altos, cerca de 300 ppb, na superfície, decrescendo para teores inferiores a 100 ppb em profundidade.

#### 4.2.4. Mercúrio em Peixes

Na Figura 4.32 são mostrados os dados relativos a Hg total em peixes, ordenados em peso crescente. As concentrações médias de Hg total em Tucunaré e Piranha foram significativamente ( $p < 0.05$ ) mais altas no lago Duas Bocas, mas para Traíra as diferenças observadas não foram significativas. O limite de segurança sugerido para adultos que consomem 200 g de peixe por dia, como ocorre na região de estudo, é de 150 ppb de peso de peixe fresco, tendo como base um limite de incorporação diária de 30  $\mu\text{g}$  para um indivíduo de 70 kg (WHO, 1990): no lago Duas Bocas, 95 % dos 40 peixes analisados estavam acima deste valor. No entanto, no lago Pracuúba, o Hg em Tucunaré e Traíra chegou a 1 ppm, com médias de 261 e 549 ppb respectivamente e média de 197 ppb para Piranha. Assim, 66,6, 100 e 71 %, respectivamente, das amostras de peixe do Pracuúba estavam com níveis de Hg total superior ao limite supracitado, o que é digno de nota para um lago não impactado por garimpo.

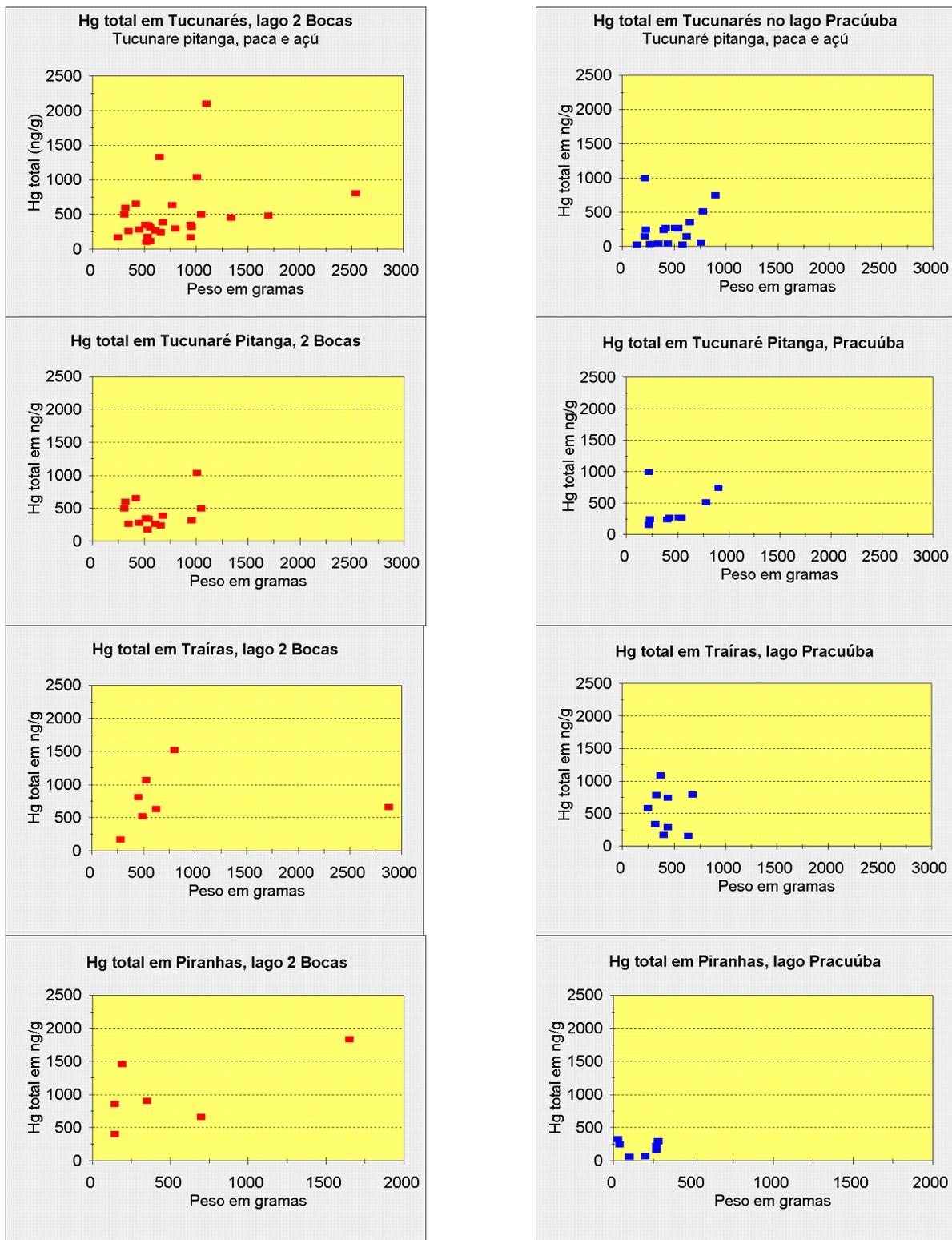


Figura 4.32 - Valores das concentrações de Hg total (ng/g) em peixes, ordenados em peso crescente

Nota-se ainda, da Fig. 4.32, que as correlações entre peso e concentração de Hg são pouco expressivas, o que dificulta o estabelecimento *a priori* de faixas de tamanho “seguras” para consumo, para cada espécie de peixe. No caso específico do Tucunaré, as correlações entre peso do peixe e

concentração de Hg são igualmente fracas, quando se consideram os dados das espécies ou subespécies em conjunto (Tucunaré açú, pitanga e paca) ou separadamente, como para Tucunaré pitanga.

#### Potenciais de metilação em sedimentos e Metilmercúrio (MeHg) em Tucunaré.

Os potenciais de metilação de Hg em sedimentos superficiais coletados próximo à margem foram comparáveis nos dois lagos, já que as variações entre locais de coleta estiveram dentro da faixa observada para réplicas de experimentos com amostras do mesmo local. De 0,5 a 1,1 % do  $^{203}\text{Hg}$  adicionado foi convertido a  $\text{Me } ^{203}\text{Hg}$  em 3 dias. A taxa líquida média de metilação (expressa em  $\% \cdot \text{g}^{-1} \cdot \text{h}^{-1}$ ) foi de  $2,07 \times 10^{-2}$  no Pracuúba (de  $1,50$  a  $2,95 \times 10^{-2}$ ) e de  $1,60 \times 10^{-2}$  no Duas Bocas (de  $1,54$  a  $1,97 \times 10^{-2}$ ), estas diferenças não sendo significativas ( $p < 0,05$ ). Os valores observados aqui são comparáveis aos obtidos em experimentos semelhantes em outras áreas da Amazônia e no Pantanal (Guimarães et al., 1995;1997).

Os dados referentes à concentração de MeHg em amostras selecionadas de Tucunaré pitanga (*Cichla temensis*) são mostrados na Tabela 4.42. Tanto a concentração de Hg total como de MeHg foram significativamente mais elevadas no lago Duas Bocas. A proporção de MeHg também foi superior nas amostras do lago Duas Bocas, mas neste caso as diferenças foram significativas apenas a  $p < 0,1$ .

Tabela 4.42 - Hg total, MeHg e MeHg como % do Hg total em amostras de um peixe piscívoro, Tucunaré pitanga (*Cichla temensis*), dos lagos Duas Bocas e Pracuúba. Os dados de Hg total e MeHg são médias e desvios-padrão de 3 determinações. Análise de MeHg em uma amostra certificada de referência, Tuna fish, IAEA-350, amostra 256: valor certificado  $3.65 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , faixa 3.32-4.01; valor obtido  $3.55 \pm 0.41 \mu\text{g} \cdot \text{g}^{-1}$ , faixa 2.55-4.03, N=20. p.u = peso úmido.

Local	Peso (g)	Hg total ( $\text{ng} \cdot \text{g}^{-1}$ p.u.)	MeHg (como $\text{ng Hg} \cdot \text{g}^{-1}$ p.u.)	% MeHg	% média de MeHg
Duas Bocas	420	$650 \pm 20$	$650.9 \pm 15.3$	100.1	$91.3 \pm 14.0$
	680	$342 \pm 70$	$297.3 \pm 14.6$	86.8	
	320	$600 \pm 10$	$627.3 \pm 13.3$	104.5	
	310	$470 \pm 30$	$460.0 \pm 4.2$	97.9	
	1050	$490 \pm 10$	$329.9 \pm 19.3$	67.3	
Pracuúba	450	$260 \pm 10$	$202.9 \pm 7.1$	77.7	$72.4 \pm 15.8$
	420	$269 \pm 10$	$118.7 \pm 5.9$	44.1	
	510	$260 \pm 10$	$206.1 \pm 13.6$	79.3	
	540	$270 \pm 10$	$216.8 \pm 7.0$	80.3	
	400	$240 \pm 10$	$193.1 \pm 15.0$	80.5	

Os dados mostrados na tabela 4.2, sobre os potenciais de metilação de Hg em sedimentos e os níveis de MeHg em peixes sugerem uma elevada biodisponibilidade do Hg e MeHg nos lagos estudados, o que é bastante surpreendente no caso do lago Duas Bocas, onde, devido à contribuição importante de Hg na forma metálica pelo garimpo, seria esperado uma disponibilidade menor do Hg para a biota.

#### 4.2.5 Mercúrio em Cabelos Humanos

Os dados referentes a Hg total em cabelos humanos podem ser observados na Fig. 4.33. Não há evidência de uma relação clara entre idade e concentração de Hg no cabelo. Observa-se uma associação entre Hg e número de refeições semanais com peixe no Pracuúba, não observada no Duas Bocas devido à pouca variação da taxa de consumo de peixe. Para consumo igual, as concentrações de Hg no cabelo foram, no entanto significativamente ( $p < 0,05$ ) maiores no Duas Bocas. A média observada para Hg total em cabelos no Pracuúba foi de 16,7 ppb, um valor comparável ao encontrado em populações ribeirinhas da Amazônia a jusante de importantes áreas de garimpo (Barbosa et al., 1996; Malm et al., 1996) e preocupante frente ao limite de segurança de 10 a 20 ppb para gestantes sugerido pela WHO (1990). No lago Duas Bocas, a concentração média de Hg em cabelos de pescadores e seus familiares foi de 28 ppb. Em tais níveis de concentração, efeitos neurotóxicos já podem ser observados, como demonstrado por Lebel et al. (1996) em vilas ribeirinhas do Tapajós, onde a capacidade de discriminação de cores e a amplitude do campo visual periférico nos indivíduos mostraram-se inversamente relacionadas à concentração de Hg no cabelo, em uma faixa de 5,6 a 38,4ppb.

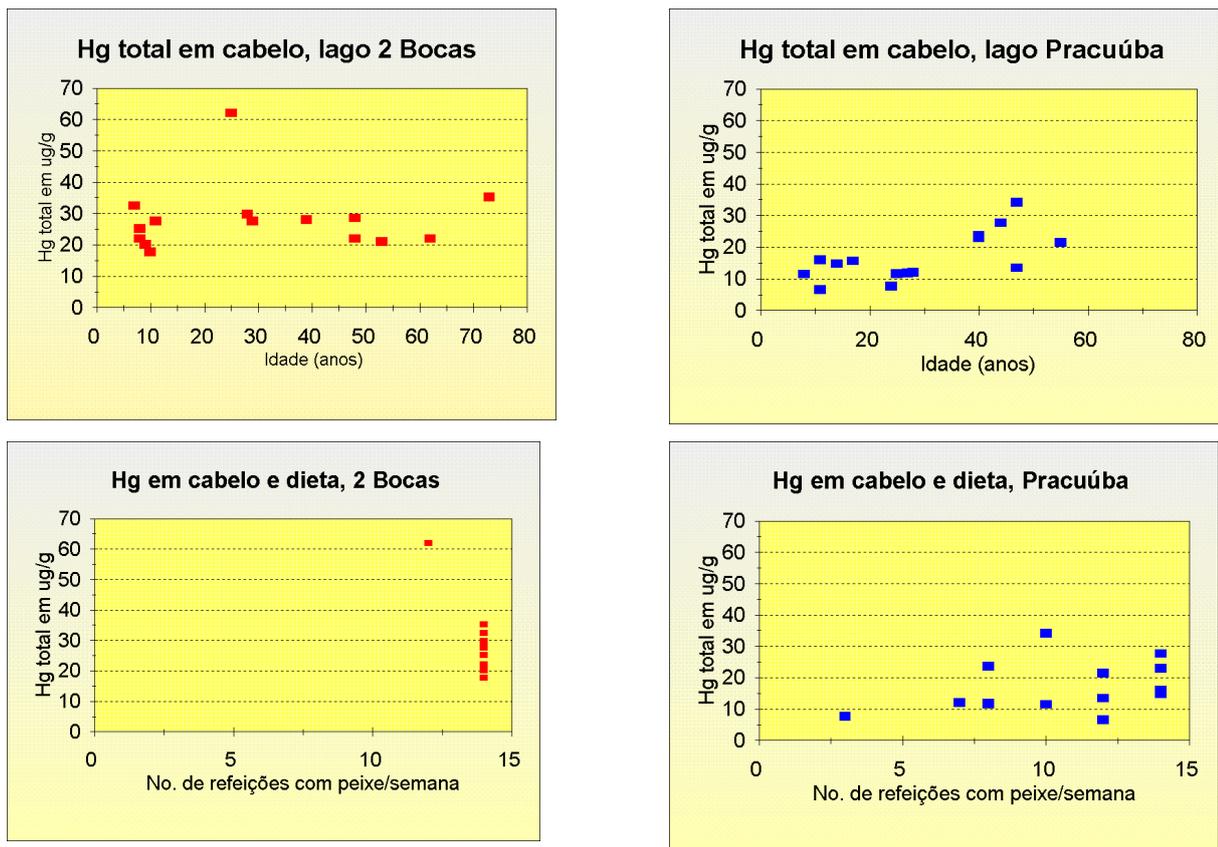


Figura 4.33 - Valores das concentrações de Hg em ng/g em cabelos humanos para as populações ribeirinhas nos dois lagos.

#### 4.2.6. Discussão dos Resultados.

Para que se possa definir o comportamento do mercúrio nos diferentes compartimentos do sistema Tartarugalzinho-Duas Bocas é preciso ter presente que os teores médios de Hg nas rochas graníticas situam-se entre 1,4 e 28 ppb, enquanto que nas rochas básicas estão entre 0,2 e 18 ppb. Nos sedimentos areno-argilosos os teores de Hg variam de 6 a 25 ppb (Steinnes, 1995).

Nos solos, sobretudo nos horizontes de superfície, os conteúdos de Hg normalmente excedem bastante aqueles dos materiais rochosos dos quais os solos derivam. Normalmente aceita-se 100 ppb como teor médio, mas a faixa de variação vai de 10 a 4600 ppb. Os teores de Hg costumam diminuir com a profundidade do horizonte amostrado, porém não é evidente até que ponto isso é devido à deposição atmosférica ou à redistribuição natural devido à pedogênese. Geralmente admite-se que o processo dominante na retenção do Hg no solo é a adsorção. Esta depende de vários fatores, entre os quais a granulometria do solo, a presença de matéria orgânica e a natureza das espécies minerais presentes. As argilas 2:1 e os óxi-hidróxidos de Fe e Mn estão entre os minerais com maior

capacidade de adsorção. Em solos situados nas vizinhanças das fontes de emissão de Hg, os teores podem chegar a  $10^5$  ppb. Mesmo em lugares bem afastados das fontes, podem-se constatar valores anômalos para Hg na superfície dos solos devido provavelmente ao longo alcance da deposição por via atmosférica.

Lacerda *et al.* (1991a) mencionam concentrações de Hg em sedimentos lacustres da área do Pantanal Mato-Grossense, a 50 km dos garimpos, da ordem de 62 a 80 ppb na superfície, decrescendo rapidamente com a profundidade para valores dentre 12 e 30 ppb, que seriam valores de *background* para a área. Esses autores interpretam os valores de Hg mais elevados na superfície como indicadores de uma ampla dispersão do Hg por via atmosférica, a partir dos garimpos. Os valores de *background* encontrados nos sedimentos mais profundos refletiriam o período anterior a 1981, a partir de quando começaram as atividades garimpeiras. Lacerda *et al.* (1991b) citam valores de Hg inferiores a 20 ppb em média em sedimentos não contaminados na Amazônia, enquanto que no Tanque dos Padres, que é um depósito de rejeitos dos garimpos de Poconé, os teores de Hg estão entre 50 e 180 ppb.

Pffeifer *et al.* 1993 realizaram um inventário do Hg em sedimentos em áreas de garimpo em vários sítios da Amazônia e concluíram que os teores situam-se entre 10 e 19800 ppb. Reportam também valores de Hg em solos de áreas próximas aos garimpos entre 30 a 64000 ppb. Esse último valor foi constatado muito próximo às lojas compradoras de Au, que queimam o amálgama. Lacerda (1995) afirma que os valores de *background* para Hg em solos na Amazônia estão entre 20 e 80 ppb. No Tapajós, Roulet *et al.* 1996b encontraram acumulação de Hg nos horizontes húmicos (45 a 170 ppb) e ferralíticos (105 a 200 ppb) de solos não contaminados.

Em áreas de garimpo do Pantanal, Timpling Jr *et al.* (1995) constataram concentrações de Hg relativamente baixas, na faixa de 23 a 198 ppb em sedimentos. Rodrigues F<sup>o</sup> & Maddock (1997), estudando a poluição por Hg na região de Poconé (Au no solo laterítico), consideraram o valor de *background* de Hg em sedimentos entre 70 e 100 ppb (limite de detecção do método analítico utilizado = 40 ppb Hg) e encontraram sedimentos poluídos com até 1850 ppb Hg. Além disso, encontraram correlação positiva entre os teores de Hg e Fe, o que sugere que o Fe possa ter tido um papel na retenção do Hg presente nas águas. Para os solos (*background* numa escala global = 100 ppb), com teores de Hg entre 0 e 350 ppb, foi encontrada uma correlação positiva entre Cu e Hg, interpretada como assinatura geoquímica do minério. Em Alta Floresta (Au aluvionar), os mesmos autores constataram conspícua poluição por Hg nos solos das áreas próximas às lojas compradoras de ouro, com uma média de 230 ppb e valor máximo de 4100 ppb na superfície dos solos. Amostras de solo coletadas a profundidades de 10 a 30 cm indicaram, em sua maioria, que o Hg da superfície não foi remobilizado para baixo. Nos sedimentos, o *background* foi considerado 70 ppb Hg, e foram

encontrado valores de até 2700 ppb. Interessante notar é que nesses sedimentos é a fração mais grosseira que mais concentra o Hg. Gosar *et al.* 1997, num estudo publicado sobre a poluição por Hg em região de mineração de Hg na Eslovênia, apresentaram valores de 2000 ppb de Hg nos sedimentos a montante da mina (*background* local), e  $10^5$  a  $10^6$  ppb a jusante (sedimentos fortemente poluídos). Neste estudo, a fração mais grosseira dos sedimentos contém mais Hg que a fração mais fina.

A acumulação de Hg em peixes cabe num padrão complexo e incorporado da água e do alimento, principalmente na forma do MeHg, e sua eliminação é mínima. Assim, o Hg exibe biomagnificação, isto é, seus níveis são maiores em peixes do topo da cadeia alimentar, mais longevos, e que se alimentam de presas com níveis já apreciáveis de Hg. Por outro lado, a concentração de Hg em indivíduos da mesma espécie terá uma relação direta com a idade, peso e tamanho. Uma vez que o MeHg é formado no ambiente por microorganismos, a partir de  $Hg^{2+}$ , a concentração de Hg em peixes refletirá, ainda, as diferenças no potencial de metilação de Hg entre as diversas bacias hidrográficas. Em áreas não contaminadas de rios de água preta, são observados níveis mais elevados de Hg em peixes (frequentemente excedendo o limite de 0,5 ppm, recomendado para consumo regular) do que em áreas semelhantes de rios de águas branca ou clara, de maior produtividade. Nestas últimas, o Hg em peixes herbívoros e onívoros está na faixa de 0,04-0,1 ppm, e em carnívoros, em torno de 0,5 ppm. A concentração de Hg na vegetação terrestre e aquática na região Amazônica é normalmente baixa e pouco variável, oscilando entre 50 a 100 ppb.

No caso da contaminação humana, o valor médio encontrado em cabelos, para uma população urbana que consome pescado apenas ocasionalmente, é de aproximadamente 1ppm de Hg total, do qual cerca de 80 % está na forma de metilmercúrio (MeHg). Na região Amazônica é comum, no entanto, observar níveis superiores a esse, em grupos não envolvidos em garimpos e de baixíssimo consumo de peixe. Segundo a Organização Mundial de Saúde (WHO), indivíduos com teores de mercúrio entre 20 e 50 ppm no cabelo podem manifestar sintomas clínicos precoces de intoxicação; recomenda-se que os níveis de Hg em cabelos de mulheres grávidas não ultrapassem cerca de 12 ppm. Pesquisadores canadenses (Roulet *et al.*, 1996a) observaram recentemente, em populações ribeirinhas do Rio Tapajós, que indivíduos com níveis de Hg no cabelo a partir de 30 ppm apresentavam sintomas de constrição visual, havendo uma relação direta entre a concentração de Hg no cabelo e o grau de constrição do campo visual.

Na região estudada, embora os valores encontrados para diversos indivíduos tenham sido várias ordens de grandeza superiores aos valores encontrados para a população controle, eles ainda se encontram abaixo do valor de 50 ppm de metil-mercúrio para o qual, segundo a Organização

Mundial de Saúde (WHO, 1990), os indivíduos sensíveis já começam a mostrar os primeiros sinais de intoxicação por mercúrio. Esse valor de 50 ppm pode ser encontrado em certos grupos com alto consumo de peixe e, segundo a Organização Mundial de Saúde, o valor corresponde a um risco de cerca de 5% de dano neurológico para adultos. Os fetos, por outro lado, estão sujeitos a riscos muito mais significativos. Evidências recentes mostram que, para níveis de mercúrio encontrados nas mães superiores a 70 ppm, há um risco alto (maior do que 30%) de problemas neurológicos. A conclusão desses mesmos estudos (WHO, 1990) mostra que concentrações de mercúrio no cabelo das mães de 10 a 20 ppm implicam em um risco neurológico da ordem de 5% para os fetos. Não pode ser excluída a possibilidade também de que ocorram outros efeitos detectáveis por testes psicológicos e comportamentais, mesmo a níveis de exposição a mercúrio ainda mais baixos.

Por outro lado, trabalhos recentes que tiveram como foco uma população residente na cidade de Brasília Legal, situada a 250 km das áreas de garimpo da Bacia do Rio Tapajós trouxeram importantes dados adicionais para este quadro (Lebel et al., 1996). Foi estudado um grupo de 95 indivíduos, que apresentaram teores de mercúrio total variando entre 0,6 e 81,0 ppm, com uma média geométrica de 12,7 ppm de Hg total. Os níveis de metil-mercúrio estiveram entre 72,9 e 93,6% do mercúrio total encontrado, com mediana de 90,2%. Para esse grupo populacional, foram realizados testes neurocomportamentais e de destreza manual, de acordo com os protocolos recomendados para tal. A análise por regressão múltipla mostrou que a destreza manual decresceu significativamente com a concentração de Hg total, tomando em consideração a idade, o sexo e o fato de terem os indivíduos trabalhado ou não nos garimpos. Os indivíduos que apresentaram movimentos desorganizados no teste de movimento com mãos alternadas tinham concentrações de mercúrio total no cabelo significativamente mais altas. Esse estudo confirmou a existência de alterações neurotóxicas incipientes, que afetaram as funções motoras, em indivíduos com níveis de mercúrio no cabelo abaixo do nível de 50 ppm estabelecido pela WHO. Este fato indica um potencial aumento no risco de desenvolver disfunções neurológicas resultantes de exposição prolongada a baixos níveis de metil-mercúrio.

A avaliação do impacto ambiental e sanitário do garimpo na Amazônia é geralmente uma tarefa complexa porque os garimpos são fontes móveis cuja atividade é governada por um conjunto complexo de fatores socioeconômicos. Via de regra, os níveis de Hg em amostras ambientais e humanas em períodos anteriores ao garimpo são desconhecidos, pela simples razão de que é a própria presença de garimpo que tende a deflagrar os estudos sobre Hg. Os poucos dados disponíveis mostram que os níveis “naturais” de Hg podem ser variáveis e elevados, como demonstrado no presente trabalho.

Pelo fato de o garimpo do Tartarugalzinho ser uma fonte, praticamente, fixa de Hg, e ainda pelo fato dos dois lagos estudados serem fisiograficamente semelhantes, diferindo apenas no que diz respeito ao tipo e intensidade de suas fontes de contaminação de Hg, foi possível associar as elevadas concentrações de Hg em peixes e em cabelos humanos como resultado do impacto da atividade garimpeira sobre as mesmas. Os dados aqui apresentados sobre os níveis de Hg no lago Pracuúba são uma evidência suplementar de que, mesmo na ausência de fontes pontuais de Hg, este elemento pode representar um risco sanitário significativo para vários grupos populacionais da Amazônia.

O elevado *background* de Hg na região e o impacto inquestionável do garimpo no lago Duas Bocas, aliados ao elevado consumo de peixe na região, deixam claro que a mesma é muito suscetível à contaminação por Hg e que o garimpo pode se tornar um problema durável de saúde pública, se não for devidamente gerenciado. Impõe-se, portanto a continuidade dos esforços de contenção dos rejeitos e de introdução de práticas garimpeiras mais limpas e eficientes. Enquanto isto se recomenda que nas áreas de elevado consumo de peixe, crianças e gestantes consumam preferencialmente os peixes não predadores e/ou de menor porte.

Em vista dos dados aqui apresentados, recomenda-se ainda a avaliação, ainda que preliminar, dos níveis de Hg em peixes de outros lagos da planície litorânea do Amapá como os lagos Novo, Comprido e Mutuco, de maior porte que os lagos Pracuúba e Duas Bocas, e de semelhante importância pesqueira.

## 5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os trabalhos realizados no Estado do Amapá, em duas regiões distintas, sendo uma (Serra do Navio) não impactada por atividades de garimpo e outra (Tartarugalzinho) fortemente afetada por atividades de mineração de ouro com utilização de mercúrio, permitiram a elaboração de algumas considerações gerais sobre o comportamento do mercúrio no ecossistema da floresta Amazônica, bem como a apresentação de algumas recomendações para minimizar os efeitos de bioacumulação nas populações locais.

Os dados globais sobre os teores de Hg em solos e sedimentos de fundo obtidos neste projeto (tabela 5.1), comparados com dados constantes na literatura especializada, parecem indicar a existência de um **background absoluto** (0 ppb), da ordem de grandeza do *clarke* (80ppb), o qual é encontrado nas amostras mais profundas dos perfis de solos da Serra do Navio (SN102: 240-250 cm, SN102: 360-370 cm, SN5: 300-350 cm), nos solos das áreas degradadas e nos sedimentos de fundo do Lago Pracuúba.

Tabela 5.1. Teores de Hg (em ppb) encontrados em amostras de solos e de sedimentos de fundo nas regiões de Serra do Navio e Tartarugalzinho.

	Serra do Navio	Tartarugalzinho
Sedimentos	39 - 460	56 - 1058
Solos	29 - 843	33 - 212

Existe, entretanto um **background regional** válido para toda região estudada e encontrado nas amostras de solos e de sedimentos de fundo, tanto na zona de garimpo, como na zona de controle, que se situa entre 100 e 400ppb. Sobre esse fundo, destaca-se uma **anomalia** de Hg nos sedimentos dentro do garimpo Fofoca, no Tartarugalzinho, que atinge um teor de 1058 ppb de Hg. Nos solos, teores de Hg anômalos (até 840ppb) são encontrados no interior de concreções hematíticas.

O **background absoluto** é encontrado nos compartimentos dos ecossistemas totalmente preservados dos processos de concentração e mobilização de Hg. Nestes, os teores de Hg, da ordem de algumas dezenas de ppb, representariam essencialmente o Hg de origem litogênica. O **background regional**

estaria relacionado à deposição de Hg nos solos por via atmosférica, e com certa remobilização deste elemento até profundidades que não ultrapassam 2m. Os sedimentos de fundo do rio Amapari e do igarapé Pedra Preta são também compartimentos que apresentam teores de Hg da ordem **do background regional**, cuja origem é desconhecida (provavelmente poluição proveniente de garimpos situados a montante ou contaminação atmosférica). Os altos valores de Hg encontrados nos níveis concrecionários dos solos ferralíticos indicam que os processos pedogenéticos podem também desempenhar um papel importante no ciclo desse elemento na superfície da Terra. Este fato, até agora negligenciado, começa despertar a atenção dos pesquisadores, sobretudo em uma região na qual sistemas de transformações, naturais ou antrópicos, podem provocar a passagem de solos ferralíticos (latossolos) para podzóis. Nesta transformação, caracterizada pela atuação de mecanismos de hidromorfia, deferruginização e lixiviação de argilas, praticamente todos os elementos são mobilizados, inclusive o Hg, seja na forma complexada ou livre, indo modificar a qualidade química das águas.

No caso específico da região do Tartarugalzinho, as análises de Hg total em sedimentos de fundo, solos, peixes e cabelos humanos colocaram em evidência que:

- Existe um forte impacto do garimpo de ouro no sistema Tartarugalzinho-Lago Duas Bocas, o qual foi maior em um passado recente do que é atualmente. Isto mostra que as medidas adotadas pelos órgãos governamentais, exigindo a construção de um dique para impedir que as águas utilizadas para o desmonte do garimpo fossem para o rio Tartarugalzinho, deram resultados positivos;

- O Lago Pracuúba, isolado da influência direta dos garimpos do sistema Tartarugalzinho-Duas Bocas, apresenta sedimentos de fundo com baixos níveis de contaminação, podendo ser considerado como referência ou controle para a área;

- A contaminação por mercúrio foi verificada na biota, e é bastante nítida nos peixes predadores, que exibem teores que excedem os limites definidos pelo Ministério da Saúde para consumo regular pela população. Esta contaminação afeta também os peixes encontrados no lago Pracuúba, que exibem valores de Hg bem acima daqueles esperados para regiões não contaminadas. Não se deve, neste caso, descartar a hipótese de existir uma deposição de mercúrio transportado das regiões de garimpo por via atmosférica;

- Os pescadores, residentes nas regiões ribeirinhas isoladas desses dois lagos (Duas Bocas e Pracuúba), cujo hábito alimentar inclui um alto consumo de pescado, apresentam níveis preocupantes de Hg nos cabelos, cujos valores são semelhantes, ou mesmo superiores, àqueles observados nas populações de áreas fortemente impactadas por garimpo, como por exemplo as bacias dos rios

Madeira e Tapajós. Apesar disso, para igual quantidade de peixe consumido, os níveis de Hg em cabelos dos habitantes do lago Duas Bocas são mais elevados (média de 28ppm) do que os do lago Pracuúba (média de 17ppm). Por outro lado, os níveis de Hg encontrados nos habitantes da Vila de Tartarugalzinho, cuja a dieta alimentar não inclui a mesma quantidade de peixe, é bem mais baixo (média de 7ppm) e não representam riscos para a saúde da população;

■ O elevado **background** natural da região torna-a especialmente suscetível aos aportes antrópicos de Hg. É importante manter os atuais esforços de gerenciar racionalmente os garimpos e seus rejeitos, e mapear, mesmo que esquematicamente, a contaminação ambiental e humana em outras áreas impactadas ao longo da planície litorânea do Estado;

■ Na região do Tartarugalzinho justifica-se, em termos de saúde pública, sugerir que crianças e mulheres em idade reprodutiva consumam de preferência peixes não carnívoros e/ ou de menor porte;

■ A acentuada redução da atividade garimpeira, nos últimos 7 anos, provocada pela queda do preço do ouro, parece ter influído muito pouco nos níveis de Hg em peixes e amostras humanas, apesar de ser mais visível nos solos e sedimentos de fundo;

■ Finalmente, vale a pena mencionar que os riscos toxicológicos das emissões de Hg são determinados por um conjunto complexo de parâmetros ambientais e socioeconômicos, e a importância relativa dos garimpos em relação a outras fontes de Hg, naturais ou não, é ainda controvertida.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Akagi, H., Nishimura, H.** 1991. Speciation of mercury in the environment. In T. Suzuki, I. Nobumassa and T.W. Clarkson (Eds.) *Advances in mercury toxicology*, Plenum Press, New York, p. 53 - 76.
- Appello, C.A.J. & Postma, D.,** 1994. *Geochemistry, Groundwater and Pollution*, Balkema Pub., Brookfield, The Netherlands, 536pp.
- Barbosa, A.C., Garcia, M.A., Souza, J.R., Barreto, F.A.B., Botan, C. de J. and Nascimento, E.C.M.** 1996. Mercury contamination of riverine populations of Apiacás region in the Brazilian Amazon. In: *Proceedings of the Fourth International Conference on Mercury as a Global Pollutant*, Hamburg, Aug. 1996, p. 12.
- Berner, E.K & Berner, R.A.,** 1987a. *The Global Water Cycle. Geochemistry and Environment*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, **Cap. 3:** Rainwater and Atmospheric Chemistry, p:47-141.
- Berner, E.K & Berner, R.A.,** 1987b. *The Global Water Cycle. Geochemistry and Environment*. Prentice Hall, Inc., New Jersey, **Cap. 8:** The Oceans, p:324-383.
- Boulet, R.,** 1988. Análise estrutural da cobertura pedológica e cartográfica. XXI Congresso Brasileiro de Ciências do Solo, p:79-90.
- Cosby, B.J.; Hornberger, G.M.; Galloway, J.N. Wright, R.F.,** 1985. Time scale of catchment acidification. A quantitative model for estimating freshwater acidification. *Environ. Science and Tech.*, **19** (2): 1144-1149.
- Claassen, H.C. & Halm, D.R.,** 1996. Estimates of evapotranspiration of effective moisture in Rock Mountain watershed from chloride ion concentrations in stream baseflow. *Water Resour. Res.* **32**(2): 363-372.
- Engelmann, R.J.,** 1968. "The calculation of precipitation scavenging." In *Meteorology and Atomic Energy*, págs.: 208-218.
- Faissol, S.,** 1966. *Atlas do Estado do Amapá*, Inst. Reg. De Desen. Do Amapá (IRDA) e Cons. Nac. De Geog. (IBGE), Rio de Janeiro, 40pp.
- Fearnside, P.M.** 1993. Deforestation in Brazilian Amazon: the effect of population and land tenure. *Ambio* **22**(8): 537-545.

- Fitzgerald, W.F.**, 1995. "Is mercury in the atmosphere? The need for an atmospheric mercury network (AMNET)." *Water, Air, and Soil Poll.*, 80: 245-254.
- Forti, M. C. & Moreira-Nordemann, L. M.**, 1991. Rainwater and throughfall chemistry in a "terra firme" rainforest: Central Amazonia, *Jour. Geophys. Res.*, **96**(D4): 7415-7421.
- Forti, M.C.; Neal, C.; Jenkins, A.**, 1992. O uso de modelos matemáticos para avaliar processos hidrogeoquímicos em regiões tropicais: o modelo MAGIC. *Geoch. Brasil.*, **6**(2): 111-126.
- Forti, M. C. & Neal, C.**, 1992. Spatial Variability of throughfall chemistry in a tropical rainforest (Central Amazonia, Brazil). *The Science of Total Environment*. **120**: 245-259.
- Forti, M. C.**, 1994. Relatório Científico. Projeto FAPESP 92/0209-9, 120pp.
- Gillet, R. W. & E Ayres, G. P.**, 1991. The use of thymol as a biocide in rainwater samples. *Atm. Environ.*, **25A** (12):2677-2681.
- Galloway, J.N.; Likens, G.E.; Keene, W.C.; Miller, J.M.**, 1982. The composition of precipitation in remote areas of the world. *J. Geophys. Res.* **87**: 8771-8786.
- Gonçalves, F.L.T.**, 1997. "Processos de remoção de poluentes atmosféricos por gotas de chuva." Tese apresentada no I.A.G.-USP, pp.242.
- Gosar, M.; Pirc, S.; Bidovec, M.**, 1997. Mercury in the Idrija river sediments as a reflection of mining and smelting activities of the Idrija mercury mine. *J. Geoch. Expl.*, **58**:125-131.
- Guimarães, J.R.D, Malm, O. and Pfeiffer, W.C.** 1995. A simplified radiochemical technique for measurement of net mercury methylation rates in aquatic systems near gold mining areas, Amazon, Brazil. *Sci. Tot. Envir.* 172(2), 151-162.
- Guimarães, J.R.D., Meili, M., Malm, O. and Brito, E.M.S.** 1997. Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake, Pantanal wetland, Brazil. *Sci. Tot. Envir.* In press, Special Hg issue, 1997.
- Hacon, S., Artaxo, P., Gerab, F., Yamasoe, M.A., Campos, R.C., Conti, L.F., Lacerda L.D.**, 1995. "Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon Basin." *Water, Air, and Soil Poll.*, 80: 273-283.
- Junk, W.J. & Furch, K.**, 1993. A general review of tropical South American floodplain. *Wetlands Ecol. Manage.* 2:231-238.

- Krishnan, S.S.; Cortés, E.; Cassorla, V.; Munoz, L.; Gras, N.,** 1985. Monitoring and abatement of environmental mercury pollution using human hair as absorbent. *J.Radioanal.Nucl.Chem., Articles* **93**(6): 327-36.
- Lacerda, L.D.,** 1995. Amazon mercury emissions. *Nature*, **374**: 20-21.
- Lacerda, L.D.; Salomons, W.; Pfeiffer, W.C.; Bastos, W.R.,** 1991a. Mercury distribution in sediment profiles from lakes of the high Pantanal, Mato Grosso State, Brazil. *Biogeochemistry*, **14**: 91-97.
- Lacerda, L.D., Pfeiffer, Marins, R.V.; Rodrigues, S.; Souza, C.M.M.; Bastos, W.R.,** 1991b. Mercury dispersal in water, sediments and aquatic biota of gold mining tailing deposit drainage in Poconé, Brazil. *Water, Air and Soil Pollution*, **55**: 283-294.
- Lamborg, C.H., Fitzgerald W.F., Vandal, G.M., Rolfhus K.R.,** 1995. "Atmospheric mercury in Northern Wisconsin: sources and species." *Water, Air, and Soil Poll.*, **80**: 189-195.
- Lebel, J., Mergler, D., Lucotte, M., Amorim, M., Dolbec, J., Miranda, D., Arantes, G., Rheault, I. and Pichet, P.** 1996. Evidence of early nervous system disfunction in Amazonian populations exposed to low levels of methylmercury. *Neurotoxicology* **17**(1), 157-168.
- Lesack, L.F.W. & Melack, J.M.,** 1991. The deposition, composition, and potential sources of major ionic solutes in rain in Central Amazon Basin. *Water Resour. Res.* **27**(11), 2953-2977.
- Lindqvist, O.,** 1991. *Mercury in the Swedish Environment.* Kluwer Academic Publishers.
- Loucks, P.(ed.)** 1994. *Water resources management: focusing on sustainability.* International Hydrological Programme, IHP-IV Project M-4-3, UNESCO, Paris, 46pp.
- Lucas, Y.** 1997. Biogeoquímica em ambiente equatorial: exemplo dos sistemas latossolos – podzóis da Amazônia. *Actas X Semana de Geoquímica/IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa.* Braga, Portugal (1997), 9-12.
- Malm, O., Pfeiffer, W.C., Souza C.M.M. and Reuther, R.** 1990. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira river basin, Brazil. *Ambio* **19**, 11-15.
- Malm, O., Guimarães, J.R.D. and Pfeiffer W.C.** 1993. Accumulation of metallic mercury and natural amalgams findings in Madeira river basin bottom sediments, Amazon. In: *Proceedings of International Conference on Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries,* Niterói, Brasil, November 1993, p. 391-393.

- Malm, O., Guimarães, J.R.D., Castro, M.B., Bastos, W.R., Viana, J.P., Branches, F.J.P., Silveira, E.G. and Pfeiffer, W.C.,** 1996. Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajós basins, Amazon, period 1990-95. In: Proceedings of the Fourth International Conference on Mercury as a Global Pollutant, Hamburg, Aug. 1996, p. 10.
- Marengo J.A,** 1992. Interannual variability of surface climate in the Amazon Basin. *International Journal of Climatology*, vol. 12, 853-863.
- Marengo J. A.,** 1995. Interannual variability of deep convection over the tropical South American sector as deduced from ISCCP C2 data. *International Journal of Climatology*, vol. 15, 995-1010.
- Moran, E.; Brondizio, E.; Mausel, P.; Wu, Y.,** 1994. Deforestation in Amazonia: land use change from ground and satellite level perspective. *BioScience* 44(5): 329-338.
- Muramatsu, Y & Parr, R.M.,** 1988. Concentrations of some trace elements in hair, liver and kidney from autopsy subjects - relationship between hair and internal organs, *Sci.Tot.Environm.*, **76**: 29-40.
- Nobre, C.A., Fisch, G., Rocha, H.R., Lyra R.F., Rocha, E.P., Costa, A.C.L., Ubarana, V.N.,** 1996. "Observations of the atmospheric boundary layer in Rondônia." Em *Amazonian Deforestation and Climate*, J. Wiley & Sons, págs.: 413-423.
- Parker, G. G.,** 1983. Throughfall and stem flow in the forest nutrient cycle. *Advances Ecology Research*, **13**: 57-133.
- Pfeiffer, W.C.; Lacerda, L.D.; Salomons, W.; Malm, O.,** 1993. Environment fate of mercury from gold mining in the Brazilian Amazon. *Env. Rev.* **1**:26-37.
- Pruppacher, H.R. & Klett, J.D.,** 1982. "Microphysics of clouds and precipitation." Ed. Reidel Publ. Company, 714 págs.
- RADAM,** 1974. Levantamento de recursos naturais, vol.6, Folha NA/NB - Macapá, Ministério das Minas e Energia (DNPM), Rio de Janeiro.
- Ratisbona, L.R.,** 1976. The Climate of Brazil. in: *World Survey of Climatology V.12, Climates of Central and South America*. Elsevier Scientific Publ.CO. New York, **Cap 5**, pp:219-269.
- Rocha H.R.; Nobre C.A; Barros M.C,** 1989. Variabilidade natural de longo prazo no ciclo hidrológico da Amazônia. *Climanálise*, **4**(12): 36-42.
- Rodrigues Fº , S. & Maddock, J.E.L.,** 1997. Mercury pollution in two gold mining areas of the Brazilian Amazon. *J. Geoch. Expl.*, **58**:231-240.

- Roulet, L. & Lucotte, M.**, 1995. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guyana, South America. *Water, Air and Soil Pollution*, **80**: 1079-1088.
- Roulet, M.; Lucotte, M.; Farella, N.; Serique, G.; Coelho, H.; Sousa Passos, C.J.; Silva, E.J.; Andrade, P.S.; Mergler, D.; Amorim, M.**, 1996a. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. *Water, Air and Soil Pollution* (In press).
- Roulet, M.; Lucotte, M.; Rheault, I.; Tran, S.; Farella, N.; Canuel, R.; Mergler, D.; Amorim, M.**, 1996b. Mercury in Amazonian soils: accumulation and release. *Proc. Fourth Int. Symp. Geoch. Earth's Surface*, Ilkley, England, p:453-457.
- Seinfeld, J.H.**, 1986. *Atmospheric and physics of air pollution*. " Ed.: J.Wiley & Sons, 730 págs.
- Silva, A.R.; Scarpelli, W.; Marotta, C.A.**, 1963. Contribuição ao estudo dos protominérios de manganês do distrito de Serra do Navio, Bol. Soc. Bras. Geol., **12** (1-2): 37-47.
- Steinnes, E.**, 1995. Mercury. In: Alloway, B.J. (ed.) Heavy metals in soils. Blackie A. and Prof., 2<sup>nd</sup> ed., **Cap 11**:245-259.
- Strauss, W.**, 1978. *Air pollution Control, part III - Measuring and monitoring air pollutants*. Wiley, New York.
- Sturm, W. & Morgan, J.J.**, 1981. *Aquatic Chemistry - Na introduction emphasizing chemical equilibria in natural waters*, John Wiley & Sons Inc., N.Y., 780pp.
- Tumpling Jr., W.; Wilken, R.D.; Einax, J.**, 1995. Mercury contamination in the northern Pantanal region, Mato Grosso, Brazil. *J. Geoch. Expl.*, **52**:127-134.
- Vasconcellos, M.B.A.; Saiki, M.; Paletti, G.; Pinheiro, R.M.M.; Baruzzi, R.G.; Spindel, R.**, 1994. Determination of mercury in head hair of Brazilian populational groups by neutron activation analysis, *J.Radioanal.Nucl.Chem, Articles*, **179**(2): 369-76.
- Veiga, M.M.; Meech, J.A.; Onate, N.**, 1994. Mercury pollution from deforestation. *Nature*, **368**: 816-817.
- Velbel, M.A.**, 1986. The mathematical basis for determining rates of geochemical and geomorphic processes in small forested watershed by mass balance: examples and implications. In: S.M. Colman e D.P. Dethier (eds) *Rates of chemical weathering of rocks and minerals*. Florida, Academic Press, Inc. p.:159-172.

**Volken, M. A.** 1994. "A Model of Below-Cloud Scavenging of Aerosols and Trace Gases: Results and Observations." Dissertação apresentada no Swiss Federal Institute of Technology, para o grau de Doutor em Ciências Naturais, 157 pp.

**(WHO) World Health Organization,** 1990. Environmental Health Criteria, 101: Methylmercury. /IPCS, Geneva, 144 p.

**Williams, M.R.; Fisher, T.R.; Melack, J.M.,** 1997. Chemical composition and deposition of rain in the Central Amazon, Brazil. *Atmosph. Environ.* **31**(2): 207-217.

**Williams, M.R.; Fisher, T.R.; Melack, J.M.,** 1997a. Solute dynamics in soilwater and groundwater in a Central Amazon catchment undergoing deforestation. *Biogeochemistry*, **38**: 303-335.

**Yamasoe, M.,** 1994. Estudo da composição elementar iônica de aerossóis emitidos em queimadas na Amazônia. Dissertação apresentada no IF/USP para obtenção do Grau de Mestre.

# APÊNDICE 1 - EQUIPE DO PROJETO

## 1. PESQUISADORES

**A. J. Melfi** - Prof. Titular-IAG/USP, Coordenador do NUPEGEL-USP; Geoquímica. (Coordenador do Projeto)

**M.C.Forti** - Dra. Pesquisadora Titular - INPE/DCM; Pesquisadora NUPEGEL-USP; Hidrogeoquímica. (Vice-coord. do Projeto).

**B. Braga** - Prof Titular - CTH/Poli-USP; Hidrologia.

**G. A. Lobo** - Eng. - CTH/Poli-USP; Hidrologia.

**C. M. Espírito Santo** - Msc. - INPE/DCM; Hidrologia

**O. Massambani** - Prof. Titular-IAG/USP; pesquisador NUPEGEL-USP; Meteorologista.

**M. F. Andrade** - Dra. Profa. Assistente - IAG/USP; Meteorologia, Física dos aerossóis.

**R. Boulet** - Dr. Pesquisador-NUPEGEL-USP/ORSTOM; Pedologia e formações superficiais.

**A. Carvalho** - Prof. Titular-IG/USP, Pesquisador NUPEGEL-USP; Pedologia e formações superficiais.

**S. M. B. de Oliveira** - Profa. Associada-IG/USP; pesquisadora NUPEGEL-USP; Geoquímica.

**M. Vasconcelos** - Dra. Pesquisadora-IPEN/CNEN; Química analítica (radioisótopos).

**D. I.T. Fávoro** - Dra. Pesquisadora - INPEN/CNEN; Química analítica (radioisótopos).

**F. J. Krug** - Dr. Pesquisador-CENA/USP; químico analítico.

**J. R. Guimarães** - Dr.-Instituto de Biofísica/UFRJ; Geoquímico.

**A.-H. Fostier** - Dra. NUPEGEL-USP (contratada pelo projeto) - Bióloga, responsável pela dosagem de mercúrio em peixes e sedimentos.

## 2. PESSOAL TÉCNICO E ADMINISTRATIVO

**R. Astolfo** - Química - Técnica N.Superior - NUPEGEL-USP;

**H. Sampaio** - Técnico de Nível Médio - NUPEGEL-USP.

**P. Sebastião** - Técnico de Nível Básico - NUPEGEL-USP.

**V. A. Carmo de Lima** - Técnica de nível básico - NUPEGEL-USP

**C. D. Cruz** - Técnico de Nível Médio - NUPEGEL-USP.

**M.L.M.M. Hundskarl** - Secretária do NUPEGEL-USP.

**N. M. Pinto** - Técnico de Nível Médio - IRDA (Serra do Navio).

## **APÊNDICE 2 - PRODUÇÃO CIENTÍFICA ASSOCIADA AO PROJETO**

Durante o desenvolvimento do projeto muitos trabalhos foram apresentados em reuniões científicas e outros foram publicados ou se encontram no prelo. Com o término do projeto e a obtenção global dos dados analíticos será possível a publicação de mais de uma dezena de publicações científicas, muitas das quais se encontram em fase de redação.

### **1. TRABALHOS APRESENTADOS EM REUNIÕES CIENTÍFICAS**

#### **1.1. Nacionais**

**D. I. T. FÁVARO, C. GONÇALVES, M. B. A. VASCONCELLOS, S. M. B. DE OLIVEIRA.** Determinação de Hg total e outros elementos de interesse em amostras de sedimentos da região da Serra do Navio - Amapá, por Análise por Ativação com Nêutrons. III. Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, Águas de Lindoia, 7-11 Agosto de 1995.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO, M.B.A. VASCONCELLOS, S.M.B. OLIVEIRA.** Determinação de metais pesados e outros elementos de interesse em amostras de solo provenientes da Serra do Navio, Amapá, por Análise por Ativação com Nêutrons. VI Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro, 1996.

**D.I.T. FÁVARO, M.B.A. VASCONCELLOS, A.H. FOSTIER.** Determinação de Hg e outros elementos de interesse em amostras de peixes e plantas da região Amazônica, por Análise por Ativação com Nêutrons VI Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro de 1996.

**M.G.M. CATHARINO, M.B.A VASCONCELLOS, G. PALETTI, D.I.T. FÁVARO.** Análise de mercúrio em materiais de referência e em amostras de cabelo de populações da região da Serra do Navio (Estado do Amapá) pelo método de análise por ativação com nêutrons instrumental. VI Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro de 1996.

**G. PALETTI, M.B.A. VASCONCELLOS, M.G.M. CATHARINO.** Estudo da determinação de metil-mercúrio em cabelos humanos pelo método de Análise por Ativação com Nêutrons. Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro de 1996.

**D.I.T. FÁVARO, A.J. MELFI, S.M.B. OLIVEIRA, C. GONÇALVES.** Determinação Multielementar em Amostras de Solo da Região do Tartarugalzinho, Estado do Amapá, pelo Método

de Análise por Ativação Neutrônica Instrumental. IV Encontro Nacional de Aplicações Nucleares , Poços de Caldas, Minas Gerais, 18 a 22 de agosto, 1997.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO.** Determinação de Mercúrio em Amostras Geológicas via Separação Radioquímica IV Encontro Nacional de Aplicações Nucleares , Poços de Caldas, Minas Gerais, 18 a 22 de agosto , 1997.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO, S.M.B. OLIVEIRA, M.B.A. VASCONCELLOS, A H. FOSTIER, J.R.D. GUIMARÃES.** Análise Multielementar de Sedimentos da Serra do Navio e Bacia do rio Vila Nova, Amapá, pelo Método de Análise por Ativação Neutrônica. VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador, Bahia, 19 a 25 de outubro , 1997.

## **1.2. Internacionais.**

**M.B.A.VASCONCELLOS, M.SAIKI, D.I.T. FÁVARO M.G.M. CATHARINO, , G. PALETTI, R. BARUZZI, D.A. RODRIGUES, J. CUTEN.** Application of Neutron Activation Analysis to the Determination of Mercury in Head Hair of Brazilian Populational Groups at Risk of Mercury Contamination Fourth International Conference on Mercury as a Global Pollutant, Hamburg, Germany, 4-8 Agosto , 1996.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO, M.B.A. VASCONCELLOS, S.M.B. OLIVEIRA, A.H. FOSTIER, J.R.D. GUIMARÃES.** Determination of Total Mercury in Sediment Samples from Serra do Navio , Amapá, Brazil, by Radiochemical Neutron Activation Analysis. Fourth International Conference on Mercury as a Global Pollutant, Hamburg, Germany, 4-8 Agosto , 1996.

**M.B.A.VASCONCELLOS, M.SAIKI, M.G.M. CATHARINO, G. PALETTI, R. BARUZZI, J. CUTEN.** Validation of the Instrumental Neutron Activation Analysis Method for Mercury Analysis in Hair Samples used for Biomonitoring of Mercury Environmental Contamination. Autores: International Symposium on Harmonization of Health Related Environmental Measurements Using Nuclear and Isotopic Techniques, Hyderabad, India, 4-7 Novembro, 1996.

**A.M.G. FIGUEIREDO, D.I.T. FÁVARO, C. GONÇALVES, R.P. PAIVA.** Neutron Activation Analysis Applied to the Determination of Trace Elements in Environmental Samples at IPEN/CNEN-SP. 2nd International Symposium Environmental Geochemistry in Tropical Countries, Cartagena, Colombia, 18 a 21 Novembro, 1996.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO, S.M.B. DE OLIVEIRA.** Distribuição de Mercúrio em Solos Superficiais da Serra do Navio, Amapá, Brasil. Actas X Semana de Geoquímica / IV Congresso de Geoquímica dos Países de Língua Portuguesa, Braga, Portugal, 24 a 28 de março, 1997, pp. 459-462.

**M.C. FORTI, A. J., MELFI, P.R.N. AMORIM.** Hidroquímica das águas de drenagem de uma pequena bacia hidrográfica no Nordeste da Amazônia: efeitos da sazonalidade (Estado do Amapá, Br). X Semana de Geoquímica e IV Congresso dos Países de Língua Portuguesa, Portugal (Braga)24-27 de Março de 1997, p:555-558.

**J.D.R. GUIMARÃES, A-H. FOSTIER, M.C. FORTI, A.J. MELFI, I. ARAUJO, L.S. COSTA, J.N. MAURO.** Mercury in human and environmental samples from two lakes in Amapá, Brazilian Amazon: natural background and anthropogenic contamination. X Semana de Geoquímica e IV Congresso dos Países de Língua Portuguesa, Portugal (Braga)24-27 de Março de 1997, p:463-466.

**A-H. FOSTIER, J.R.D. GUIMARÃES, M.C. FORTI, A.J. MELFI, S. VELOSO, J.R. FERREIRA, D.P. MATTOS,** Monitoramento dos níveis de mercúrio de um lago contaminado e um lago controle, no Estado do Amapá (região Amazônica, Brasil), através da ictiofauna carnívora.X Semana de Geoquímica e IV Congresso dos Países de Língua Portuguesa, Portugal (Braga)24-27 de Março de 1997, p:455-458.

**R. ASTOLFO, M.C. FORTI, A.J. MELFI, C. ESPÍRITO-SANTO,** Mining effect on the suspended sediment in an Amazonian environment. BIOGEOMON'97, 21st-25th, 1997, Villanova University, Journal of Conference Abstract, vol2(2)P: 129.

**M.C. FORTI, R. BOULET, A.J. MELFI, C. NEAL,** Hydrogeochemistry of a small catchment in Northeastern Amazônia (Serra do navio, Amapá State, Brazil).BIOGEOMON'97, 21st-25th, 1997, Villanova University, Journal of Conference Abstract, vol2(2)P: 175.

**A-H. FOSTIER, M.C. FORTI, J.R.D. GUIMARÃES, R. BOULET, S. OLIVEIRA, A.J. MELFI, C. ESPÍRITO SANTO,** Mass balance of mercury in a natural forested Amazonian watershed (Serra do Navio, Amapá State, Brazil) BIOGEOMON'97, 21st-25th, 1997, Villanova University, Journal of Conference Abstract, vol2(2)P: 176.

## **2. PUBLICAÇÕES CIENTÍFICAS**

### **2.1. Periódicos nacionais**

**D. I. T. FÁVARO, C. GONÇALVES, M.B.A.VASCONCELLOS, S.M.B.OLIVEIRA,** Determinação de Hg total e outros elementos de interesse em Amostras de Sedimentos da Região da Serra do Navio - Amapá, por Análise por Ativação com Nêutrons. Anais do III. Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, pp 1214-1217, Águas de Lindóia, 7-11 Agosto de 1995.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO, M.B.A. VASCONCELLOS, S.M.B. OLIVEIRA.** Determinação de Metais Pesados e outros Elementos de Interesse em Amostras de Solo Provenientes da Serra do

Navio, Amapá, por Análise por Ativação com Nêutrons. Anais do VI Congresso Geral de Energia Nuclear, CD Rom, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro, 1996.

**D.I.T. FÁVARO, M.B.A.VASCONCELLOS, A.H. FOSTIER.** Determinação de Hg e outros elementos de Interesse em Amostras de Peixes e Plantas da Região Amazônica, por Análise por Ativação com Nêutrons. Anais do VI Congresso Geral de Energia Nuclear, CD Rom, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro de 1996.

**M.G.M. CATHARINO, M.B.A.VASCONCELLOS, G. PALETTI, D.I.T. FÁVARO.** Análise de mercúrio em materiais de referência e em amostras de cabelo de populações da região da Serra do Navio (Estado do Amapá) pelo método de análise por ativação com nêutrons instrumental. Anais do VI Congresso Geral de Energia Nuclear, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro de 1996.

**G. PALETTI, M.B.A. VASCONCELLOS, M.G.M. CATHARINO.** Estudo da determinação de metil-mercúrio em cabelos humanos pelo método de Análise por Ativação com Nêutrons.. Anais do Congresso Geral de Energia Nuclear, CD Rom, Rio de Janeiro, 27 a 31 de Outubro de 1996.

**M.G.M. CATHARINO, M.B.A VASCONCELLOS,** Análise de Mercúrio e Metil-Mercúrio, em Cabelos de Populações selecionadas, pelo Método de Análise por Ativação com NêutronsII Seminário Anual,. Programa Institucional de Bolsas de Iniciação Científica, CNPq-IPEN, Livro de Resumos, pp. 17-18, 1996.

**D.I.T. FÁVARO, A.J. MELFI, S.M.B. OLIVEIRA, C. GONÇALVES.** Determinação Multielementar em Amostras de Solo da Região do Tartarugalzinho, Estado do Amapá, pelo Método de Análise por Ativação Neutrônica InstrumentalIV Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, CD Rom, Poços de Caldas, Minas Gerais, 18 a 22 de agosto, 1997.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO.** Determinação de Mercúrio em Amostras Geológicas via Separação Radioquímica. AutoresIV Encontro Nacional de Aplicações Nucleares, CD Rom, Poços de Caldas, Minas Gerais, 18 a 22 de agosto , 1997.

**C. GONÇALVES, D.I.T. FÁVARO, S.M.B. OLIVEIRA, M.B.A. VASCONCELLOS, A H. FOSTIER, J.R.D. GUIMARÃES.** Análise Multielementar de Sedimentos da Serra do Navio e Bacia do rio Vila Nova, Amapá, pelo Método de Análise por Ativação Neutrônica. Anais do VI Congresso Brasileiro de Geoquímica, Salvador, Bahia, 19 a 25 de outubro , 1997.

**FORTI, M.C.; MELFI, A.J.; AMORIM, P.R.N.** Hidroquímica das águas de drenagem de uma pequena bacia hidrográfica no Nordeste da Amazônia: efeitos da sazonalidade (Estado do Amapá, Br). Geoch. Brasiliensis, no prelo.

## **2.2. Periódicos Internacionais**

**M.B.A.VASCONCELLOS, M.SAIKI, G. PALETTI,R.M.M. PINHEIRO, R.G. BARUZZI, R. SPINDEL.** Determination of Mercury in Head Hair of Brazilian Populational Groups by Neutron Activation Analysis. **J. of Radioanalytical and Nuclear Chemistry 179(2), 369-376, 1994.**

**M.B.A.VASCONCELLOS, M.SAIKI, M.G.M. CATHARINO, G. PALETTI,R. BARUZZI, J. CUTEN.** Validation of the Instrumental Neutron Activation Analysis Method for Mercury Analysis in Hair Samples used for Biomonitoring of Mercury Environmental Contamination. Autores: International Symposium on Harmonization of Health Related Environmental Measurements Using Nuclear and Isotopic Techniques,IAEA-SM-344/58, pp. 85-86, Hyderabad, India, 4-7 Novembro, 1996.

**C. FÁVARO, D.I.T.FÁVARO, S.M.B. OLIVEIRA, R. BOULET, M.B. A VASCONCELLOS, M. SAIKI.** A Preliminary Study on Mercury Distribution in Soil Profiles from Serra do Navio, Amapá, Brazil, using Radiochemical Neutron Activaton Analysis. Aceito para publicação no Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry , Articles,1997.

**FORTI, M.C.; NEAL, C.; JENKINS, A.** Modeling perspective of the Impact of deforestation of Amazonian rainforest stream water quality of small preserved forested areas in the Amazonian rainforest. *Water, Air and Soil Pollution*, 79:325-337, 1995.

**FORTI, M.C.; BOULET, R.; MELFI, A.J.; NEAL, C.** Hydrogeochemistry of a small catchment in Northeastern Amazônia (Serra do navio, Amapá State, Brazil). *Water, Air and Soil Pollution*, np prelo

## APÊNDICE 3: DADOS EXTRAS

Na tabela A3.1 T### se refere às amostras coletadas em Tartarugalzinho, S### as amostras coletadas em Serra do Navio, assim como N## também se refere a Serra do Navio, mas com período de tempo diferente de amostragem. Os números 1225,1226 e 1227 referem-se ao número de série do amostrador MiniVol.

Tabela A3.1 - Informações sobre as amostragens de aerossóis em Serra do Navio e em Tartarugalzinho.

	Local	Início	Término
T001	TART-1226	30/01/96	14/02/96
T002	TART-1226	13/02/96	28/02/96
T004	TART-1226	28/02/96	15/03/96
T005	TART-1226	16/03/96	20/03/96
T007	TART-1226	16/04/96	07/05/96
T008	TART-1226		
T009	TART-1226		
T010	TART-1226	08/07/96	27/07/96
T011	TART-1226	27/07/96	24/08/96
T012	TART-1226		
T014	TART-1226	12/09/96	01/10/96
T016	TART-1226	01/10/96	29/10/96
T018	TART-1226		
T020	TART-1226	13/05/97	20/05/97
T021	TART-1226		
T022	1226	24/05/97	10/06/97
T023	1226	18/06/97	01/07/97
N001	1225	23/01/96	28/01/96
N002	1225	25/01/96	03/02/96
N005	1225	24/04/96	06/05/96
N07	1225	09/05/96	21/05/96
N08	SNVPA-1227	13/05/96	20/05/96

N09	SNVPA-1227	20/05/96	27/05/96
N10	SNVPA-1225	21/05/96	01/06/96
N11	SNVPA-1227	30/05/96	05/06/96
N12	SNVPA-1225	05/06/96	11/06/96
N13	SNVPA-1225	05/06/96	17/06/96
N14	1227	05/06/96	11/06/96
N15			
N16	1227	18/06/96	24/06/96
N17	1225	17/06/96	01/07/96
N19	SNVPA-1225	01/07/96	14/07/96
N20	1227	27/06/96	03/07/96
N21			
N22	1225	19/07/96	25/07/96
N23			
N24			
N25	1227	03/07/96	09/07/96
N27			
N28	1227	09/07/96	19/07/96
N29	1227	01/08/96	08/08/96
N30			
N31	1225	01/08/96	14/08/96
N32	1227	08/08/96	14/08/96
N33			
N34	1225	21/08/96	27/08/96
N35	1227	21/08/96	27/08/96
N36			
N37			
S001	1225	11/09/96	18/09/96
S002	1227	11/09/96	18/09/96
S003	1225	30/09/96	07/10/96
S004	1227	20/09/96	22/09/96

S005	1227	26/09/96	28/09/96
S006A	1227	01/10/96	03/10/96
S006B	1227		
S007	1227		
S008	1227	07/10/96	09/10/96
S009	1225	07/10/96	09/10/96
S010	1225	11/10/96	14/10/96
S011	1227	11/10/96	14/10/96
S012	1225	16/10/96	19/10/96
S013	1227	16/10/96	19/10/96
S014	1227		
S015	1227		
S016	1227	31/10/96	02/11/96
S018	NOVO SISTEMA	16/04/97	21/04/97
S019	NOVO SISTEMA	21/04/97	26/04/97
S020	NOVO SISTEMA	26/04/97	05/05/97
S021	NOVO SISTEMA	05/05/97	13/05/97
S022	NOVO SISTEMA	13/05/97	20/05/97
S023	NOVO SISTEMA	20/05/97	27/05/97
S024	NOVO SISTEMA	27/05/97	05/06/97
S025	NOVO SISTEMA	05/06/97	15/06/97
S026	NOVO SISTEMA	17/06/97	24/06/97
S027	SN-1224	19/06/97	21/06/97
S029	SN-1224	24/06/97	30/06/97
S030	SN-1224	24/06/97	27/06/97
S036	SN-1224		

Tabela A3.2 - Dados de campo referentes às amostras de chuva coletadas em Tartarugalzinho,(TRT), para os amostradores “wet-only” e “bulk”.

AMOSTRA		DATAi(HORA)	DATAf(HORA)	PREC	pH	H+	COND	ALC
1996				mm		µM	uS/cm	µEq/L
<b>WET</b>								
APTRTCHW/001	JA96	<b>29/01/96</b>	29/02		5,27	5,37		-146,00
APTRTCHW/002	FV96	29/02	13/03		5,12	7,59		-30,00
APTRTCHW/003	MR96	13/03	30/04		5,08	8,32		-48,00
APTRTCHW/004	AB96	30/04(14)	07/05(14)		4,16	69,18		-124,00
APTRTCHW/005	MA96	07/05(14)	29/05(15:25)		6,61	0,25	4,9	74,00
APTRTCHW/006	JN96							
APTRTCHW/007	JN96							
APTRTCHW/008	JL96	08.07(17:40)	27.08(11:10)		5,16	6,92		109,20
APTRTCHW/015	FV97	11.12.96(11h)	<b>24.02.97(14h)</b>	705,8	6,20	0,63	30	-36,00
APTRTCHW/016	MR97	24.02(14h)	12.03(16h)	117,5	5,90	1,26	10	34,00
APTRTCHW/017	AB97	12.03(16h)	06.05.97(13h)	592,1	5,83	1,48	8,7	6,4
APTRTCHW/018	MA97	06.05.97(13h)	13.05.97(15h)	60,0	5,77	1,70	5	3,5
APTRTCHW/019	MA97	13.05.97(15h)	24.05.97(09h)	79,1	5,03	9,33	-	-15,7
<b>BULK</b>								
APTRTCHB/001	JA96	<b>29/01/96</b>	29/02		5,95	1,12		-140,00
APTRTCHB/002	FV96	29/02	13/03		6,14	0,72		-8,00
APTRTCHB/003	MR96	13/03	30/04		5,25	5,62		-42,00
APTRTCHB/004	AB96	30/04(14)	07/05(14)		5,65	2,24		-50,40
APTRTCHB/005	MA96	07/05(14)	29/05(15:20)		5,76	1,74	2,4	-16,00
APTRTCHB/006	JN96							
APTRTCHB/007	JN96							
APTRTCHB/008	JL96	08.07(17:40)	27.08(11:10)		5,85	1,41		104,40
APTRTCHB/009	AG96	27.08(11h)	24.08.(14)		6,20	0,63		78,00
APTRTCHB/015	FV97	11.12.96(11h)	<b>24.02.97(14h)</b>	705,8	6,60	0,25	20	-240,00
APTRTCHB/016	MR97	24.02(14h)	12.03(16h)	117,5	5,40	3,98	10	0,01
APTRTCHB/017	AB97	12.03(16h)	06.05.97(13h)	592,1	5,11	7,76	6	-8,4
APTRTCHB/018	MA97	06.05.97(13h)	13.05.97(15h)	60,0	5,25	5,62	4,5	-7,1
APTRTCHB/019	MA97	sapo!!!	24.05.97(09h)	79,1	5,85	1,41	-	3004

Tabela A3.3 - Resultados analíticos, em  $\mu\text{M}$ , para dos íons principais, nas amostras de chuva coletadas em Tartarugalzinho.

AMOSTRA	Na	K	Mg	Ca	NH4	Cl	NO3	SO4
1996	$\mu\text{M}$							
<b>WET</b>								
APTRTCHW/001	16,51	1,56	2,29	2,89	9,64	20,96	2,81	2,31
APTRTCHW/002	21,84	2,72	2,80	2,62	14,59	25,16	1,88	1,67
APTRTCHW/003	69,30	4,06	10,75	4,24	22,51	66,47	6,45	5,82
APTRTCHW/004	3,92	0,76	0,53	1,76	42,08	3,34	6,60	0,99
APTRTCHW/005	6,90	0,93	0,95	1,95	4,44	0,12	1,04	0,50
APTRTCHW/006	9,03	2,88	0,91	2,31	5,53	42,90	28,52	19,11
APTRTCHW/007	27,84	2,48	3,85	5,69	2,28	8,04	6,60	3,64
APTRTCHW/008	22,55	4,44	3,52	8,82	7,00	26,11	7,41	2,88
APTRTCHW/015	12,31	2,32	1,53	3,23	3,89	40,25	1,57	3,86
APTRTCHW/016	30,12	4,38	4,26	8,98	9,90	48,38	7,78	5,08
APTRTCHW/017	27,55	4,41	2,64	7,3	5,58	33,37	1,15	2,25
APTRTCHW/018	9,96	1,5	0,65	1,44	2,21	15,96	2,02	1,18
APTRTCHW/019	13,51	1,01	1,43	1,71	3,08	17,65	8,04	1,67
<b>BULK</b>								
APTRTCHB/001	17,20	4,38	1,73	2,05	18,46	16,71	3,58	2,26
APTRTCHB/002	20,77	1,42	2,50	2,66	12,07	24,03	1,83	1,75
APTRTCHB/003	39,91	1,64	4,56	3,05	26,04	43,30	7,34	3,31
APTRTCHB/004	34,97	4,70	3,50	5,60	12,52	33,05	2,26	2,70
APTRTCHB/005	8,32	1,74	0,96	2,45	1,92	12,54	1,23	1,61
APTRTCHB/006	22,84	5,94	1,39	4,12	11,15	15,63	0,91	3,90
APTRTCHB/007	18,56	2,61	3,25	6,57	0,75	9,26	1,38	1,08
APTRTCHB/008	20,19	3,21	3,23	9,10	15,64	17,51	2,29	3,26
APTRTCHB/009	31,87	14,40	4,65	7,02	83,25	39,03	22,76	4,52
APTRTCHB/015	35,37	2,39	3,93	3,42	4,28	36,46	1,84	3,19
APTRTCHB/016	45,77	3,00	6,95	9,85	8,66	47,91	9,77	4,70
APTRTCHB/017	30,27	2,94	3,04	4,32	3,52	28,08	1,45	1,83
APTRTCHB/018	7,58	3,09	0,95	2,72	4,73	7,85	2,93	1,6

APTRTCHB/019	35,81	38,07	6,28	30,96	455,42	27,68	3,98	9,23
--------------	-------	-------	------	-------	--------	-------	------	------

Tabela A3.4 - Resultados analíticos, em  $\mu\text{M}$ , para os metais, nas amostras de chuva coletadas em Tartarugalzinho.

AMOSTRA	Al	Fe	Si	Mn	Cu	Zn
1996	$\mu\text{M}$	$\mu\text{M}$	$\mu\text{M}$	$\mu\text{M}$	$\mu\text{M}$	$\mu\text{M}$
<b>WET</b>						
APTRTCHW/001	0,38	0,01	1,78	0,02	0,09	
APTRTCHW/002	0,33	0,01	1,78	0,01	0,08	
APTRTCHW/003	0,72	0,01	1,78	0,03	0,09	
APTRTCHW/004	0,70	0,22	1,78	0,01	0,17	
APTRTCHW/005	0,00	0,02		0,00	0,07	0,69
APTRTCHW/006	0,00	0,19		0,00	0,16	1,58
APTRTCHW/007	0,71	0,00		0,09	0,10	1,92
APTRTCHW/008	1,52	0,03		0,00	0,08	2,08
APTRTCHW/009						
APTRTCHW/010						
APTRTCHW/011						
APTRTCHW/012						
APTRTCHW/013						
APTRTCHW/014						
APTRTCHW/015	0,74	0,07		0,06	0,09	2,39
APTRTCHW/016	0,77	0,00		0,00	0,00	0
APTRTCHW/017	1	0		0,12	0,06	1,41
APTRTCHW/018	0	0,06		0	0,1	0,31
APTRTCHW/019	1,15	0,09		0,06	0,07	2,47
APTRTCHW/020		0		0	0,06	1,4
<b>BULK</b>						
APTRTCHB/001	0,10	0,01	3,74	0,07	0,09	
APTRTCHB/002	0,33	0,01	3,56	0,02	0,39	
APTRTCHB/003	0,22	0,01	3,81	0,03	0,07	
APTRTCHB/004	0,20	0,22	1,78	0,02	0,06	
APTRTCHB/005	0,51	0,00		0,00	0,00	1,06
APTRTCHB/006	0,68	0,19		0,07	0,09	0,8
APTRTCHB/007	0,57	0,06		0,09	0,47	1,31

APTRTCHB/008	1,23	0,13	0,70	0,11	2,92
APTRTCHB/009	1,07	0,00	0,12	0,13	2,47
APTRTCHB/010					
APTRTCHB/011					
APTRTCHB/012					
APTRTCHB/013					
APTRTCHB/014					
APTRTCHB/015	1,01	0,00	0,00	0,13	2,17
APTRTCHB/016	0,44	0,01	0,15	0,08	5,45
APTRTCHB/017	0,78	0	0	0,13	2,78
APTRTCHB/018	0,76	0,15	0,11	0,11	0,87
APTRTCHB/019	0,64	0,11	0	0,07	0,69
APTRTCHB/020		0,01		0,13	1,5

Tabela A3.5 - Resultados analíticos, em  $\mu\text{M}$ , para os íons maiores, nas amostras de chuva (precipitação e transprecipitação) coletadas em Serra do Navio

DADOS	SNV CHUVAS												
AMOSTRA	DATA	PREC	pH	COND	ALC	Na	K	Mg	Ca	NH4	Cl	NO3	SO4
PRECIPITACAO		mm		uS/cm	uEq/l	uMOL/l							
TORRE													
SNAMCHT/2	01-03/04/93	35,4	5,90	5,2	0,0	17,40	5,10	14,00	32,20	1,20	18,73	0,00	3,62
SNAMCHT/3	03-05/04	20,4	5,80	4,8	0,0	17,40	2,56	3,10	7,00		20,68	0,65	2,53
SNAMCHT/4	05-07/04	74,1	5,58	3,3	0,0	8,70	0,00	0,96	0,96	0,89	12,07	0,65	1,26
SNAMCHT/5	07-09/04	15,2	6,02	3,8	0,0	13,00	2,56	20,10	60,80	1,23	13,57	1,29	2,23
SNAMCHT/6	09-12/04	41,8	5,35	10,0	0,0	43,50	2,56	4,90	5,30	0,83	58,00	7,50	6,14
SNAMCHT/7	12-14/04	54,0	5,67	3,2	0,0	8,70	0,00	1,35	3,50	0,80	10,30	1,47	1,72
SNAMCHT/8	14-16/04	16,0	5,43	3,4	0,0	13,00	0,00	1,35	2,30	0,58	13,65	0,00	1,44
SNAMCHT/9	16-19/04	42,0	5,90	2,0	0,0	13,00	2,56	5,00	49,50	0,52	12,85	1,29	1,54
SNAMCHT/10	19-21/04	53,0	5,58	2,3	0,0	8,70	2,56	44,80	0,00	0,51	8,01	0,92	0,47
SNAMCHT/11	15-19/06	17,6	6,39	10,0	12,4	33,47	16,37	4,94	8,73	5,56	33,31	5,48	4,42
SNAMCHT/12	19-21/06	31,2	5,98	5,3	0,0	8,92	7,93	3,29	4,99	7,22	20,51	5,07	3,19
SNAMCHT/13	21-28/06	66,0	5,48	6,2	0,0	129,67	4,13	5,07	30,18	0,56	25,50	0,29	3,26
SNAMCHT/14	28-05/07	32,4	5,70	9,5	0,6	193,14	7,35	9,11	45,94	3,33	37,20	6,04	4,64
SNAMCHT/15	05-12/07	40,0	5,27	9,2	0,0	132,66	5,15	6,64	30,50	1,67	24,90	2,39	4,28
SNAMCHT/16	12-19/07	70,8	5,82	7,2	1,8	143,28	4,80	6,43	33,68	2,22	22,10	3,74	3,63
SNAMCHT/17	09-16/08	81,0	5,64	6,9	0,0	149,17	6,15	6,76	40,04	0,50	20,60	5,09	3,70
SNAMCHT/18	16-23/08	20,5	5,43	16,1	0,0	28,72	14,07	9,88	29,43	15,56	51,50	17,70	7,11
SNAMCGT/19	23-30/08	52,0	5,26	12,2	0,0	186,00	7,19	9,76	46,21	5,00	39,10	9,91	6,03
SNAMCHT/20	30-06/09	82,8	5,21	8,4	0,0	202,50	7,46	9,84	58,24	1,67	18,70	6,04	4,13
SNAMCHT/21	06-27/09	9,4	7,02	44,0	72,3	256,96	39,38	20,74	75,00	136,35	208,70	23,30	22,80
SNAMCHT/22	27-04/10	41,3	5,63	10,0	0,0	204,24	15,12	9,93	59,56	1,71	32,30	8,32	5,92
SNAMCHT/23	04-11/10	32,0	5,82	10,1	12,6	200,20	9,24	13,28	51,64	2,78	44,10	0,35	7,11
SNAMCHT/24	11-18/10	34,9	5,84	8,6	9,0	225,20	9,07	14,67	70,15	0,00	39,70	0,23	4,71
SNAMCHT/25	18-25/10	39,0	5,60	5,9	0,0	212,45	9,46	8,77	65,82	0,00	21,20	0,00	2,54
SNAMCHT/26	25-01/11	4,0		38,0	0,0	253,39	25,08	24,53	59,47	13,45	158,40	44,50	20,90
SNAMCHT/27	01-08/11	60,9	5,39	5,7	0,0	136,66	8,70	2,88	9,73	0,00	11,90	0,50	3,70

SNAMCHT/28	08-16/11	51,8	5,46	8,4	0,0	214,13	9,24	12,02	63,67	0,00	26,10	4,82	4,21
SNAMCHT/29	16-22/11	91,4	5,34	4,5	0,0	246,87	12,72	15,17	8,23	0,00	6,96	1,85	1,63
SNAMCHT/30	22-29/11	15,0	5,60	10,0	0,0	250,11	15,57	15,05	79,85	0,00	52,70	1,04	5,44
SNAMCHT/31	29-06/12	43,1	5,53	5,0	0,0	252,10	12,13	15,32	90,01	0,00	16,80	0,00	2,25
SNAMCHT/32	06-13/12	51,7	5,34	10,6	0,0	271,86	15,21	21,55	100,39	0,00	25,50	0,29	3,37
SNAMCHT/33	13-20/12	46,1	5,06	7,7	0,0	286,35	16,29	22,41	118,94	0,67	32,90	0,00	3,55
SNAMCHT/34	20-27/12	44,2	5,20	8,1	0,0	253,66	12,79	17,76	89,84	0,00	33,50	0,00	3,77
1994													
SNAMCHT/35	27-03/01/94	44,7	4,86	6,0	0,0	64,25	1,96	3,30	24,55	0,00	11,30	0,00	1,60
SNAMCHT/36	10-31/01	35,1	5,31	7,1	0,0	84,47	2,87	6,26	30,11	1,35	31,07	4,96	2,90
SNAMCHT/37	31-07/02	52,7	5,34	4,0	0,0	104,42	2,82	5,09	45,06	0,00	23,00	0,23	1,38
SNAMCHT/38	07-21/02	73,6	5,28	3,8	0,0	278,25	14,67	17,69	113,64	0,00	9,43	0,43	1,45
SNAMCHT/39	21-28/02	74,4	5,44	5,8	0,0	61,98	2,24	6,30	14,63	0,00	21,80	0,02	2,54
SNAMCHT/40	28/02-07/03	77,8	5,11	7,00	0,00	79,31	3,83	6,99	14,99	2,85	22,63	0,11	3,03
SNAMCHT/41	07-14/03	62,7	5,18	4,30	0,00	71,86	2,93	5,98	15,48	3,10	11,93	0,00	1,93
SNAMCHT/42	14-21/03	25,3	5,08	13,00	0,00	112,62	6,19	7,54	25,95	3,63	69,25	0,00	5,61
SNAMCHT/43	21-28/03	53,2	5,10	9,00	0,00	150,36	6,60	8,46	46,20	1,64	39,91	0,00	4,49
SNAMCHT/44	28/03-04/04	76,3	5,02	4,90	0,00	150,60	5,27	6,86	40,42	10,71	14,15	0,00	1,45
SNAMCHT/45	04-11/04	31,4	5,45	10,70	0,00	97,09	5,58	8,39	18,74	1,61	49,84	0,00	6,05
SNAMCHT/46	11-18/04	17,0	5,41	8,30	0,00	149,36	6,38	8,82	49,19	3,70	41,32	1,92	7,41
SNAMCHT/47	18-25/04	54,8	4,98	4,40	0,00	73,68	2,47	5,84	16,49	2,20	7,67	0,00	0,65
SNAMCHT/48	25/04-02/05	30,9	5,58	6,10	0,00	83,07	10,83	5,74	15,54	8,70	19,42	1,99	2,16
SNAMCHT/49	16-23/05	100,0	5,33	4,20	0,00	66,45	2,99	4,87	14,42	2,67	4,84	0,00	0,38
SNAMCHT/50	23-30/05	62,9	5,14	5,90	0,00	65,54	2,71	4,60	13,93	2,94	9,97	0,81	1,43
SNAMCHT/51	30/05-06/06	40,0	4,96	7,10	0,00	42,38	45,08	6,29	18,57	1,67	15,86	0,00	1,80
SNAMCHT/52	06-13/06	64,8	4,68	6,80	0,00	82,88	12,38	8,16	24,57	2,97	11,55	0,92	1,24
SNAMCHT/53	13-20/06	58,0	4,49	6,60	0,00	80,25	5,88	1,63	15,93	6,87	14,53	1,08	3,04
SNAMCHT/54	20-27/06	38,9	4,68	7,30	0,00	0,00	23,53	3,70	6,23	0,00	15,31	0,00	2,75

	1995												
SNAMCHT/55	22/05-06/06	90,90	6,06	1,80	46,60	3,48	0,74	4,39	19,04	0,15	1,87	61,52	1,02
SNAMCHT/56	06-12/06	27,95	6,04	4,30	9,20	8,32	0,63	0,00	0,34	0,00	1,05	8,91	0,77
SNAMCHT/57	12-20/06	57,34	6,26	3,50	6,60	7,52	1,73	0,87	0,67	0,00	7,89	4,15	1,65
SNAMCHT/58	20-26/6	23,80	5,96	4,50	7,60	4,66	1,31	2,10	6,01	0,00	4,93	14,54	1,39
SNAMCHT/59	26/06-04/07	70,51	6,08	3,20	14,60	5,45	0,11	0,77	1,47	0,00	6,78	5,23	1,48
SNAMCHT/60	04-10/07	39,89	5,56	7,60		7,41	9,41	7,25	11,40	0,00	11,80	19,89	6,72
SNAMCHT/61	10-24/07	51,40	5,56	3,70	6,52	12,34	0,63	1,64	1,34	0,00	12,54	11,65	1,76
SNAMCHT/62	24/07-08/08	39,90	5,63	4,20	-2,10	13,24	0,27	1,93	2,99	0,00	16,17	1,24	2,37
SNAMCHT/63	08-14/08	6,62	5,61	4,50		56,73	3,92	7,17	8,61	0,00	66,52	4,83	8,01
SNAMCHT/64	14-22/08	27,93	5,57	7,50	0,06	28,57	0,87	4,09	2,77	0,00	33,25	-1,72	4,80
SNAMCHT/65	22-29/08	15,28	5,36	15,40	9,54	56,08	3,52	8,32	4,53	0,00	58,70	16,02	6,43
SNAMCHT/66	29/08-05/09	13,95	5,32	7,00	-9,32	24,92	0,92	4,07	2,71	0,00	26,84	5,72	4,17
SNAMCHT/67	05-11/09	20,71	5,06	12,00	-6,38	40,16	2,12	5,81	2,36	0,00	43,63	9,80	6,60
SNAMCHT/68	11-18/09	14,09	4,96		-13,78	35,99	2,00	4,57	3,14	0,00	37,19	11,13	6,86
SNAMCHT/69	18-26/09	27,24	4,94	8,80							23,08	0,00	5,64
SNAMCHT/70	9-16/10	10,94		6,40							23,78	0,00	1,81
SNAMCHT/71	23-30/10	18,41	6,20	6,10	-42,80						17,97	0,00	3,69
SNAMCHT/72	4-12/12	47,67		7,70									
TORRE	1996												
SNAMCHT/73	12-26/02	34,57	5,56	n							10,07	14,47	0,59
SNAMCHT/74	26/02-11/03	298,00	5,39	n	-18,00						6,50	16,01	0,56
SNAMCHT/75	11-25/03	47,37	5,22	n	-168,00						7,61	18,00	0,61
SNAMCHT/76	25/04-01/04	81,27	6,82	n	-50,00						27,01	2,14	4,83
SNAMCHT/77	01-08/04	81,32	6,10	n	9,80								
SNAMCHT/78	08-22/04	170,23	5,77	n	n						15,84	17,79	1,22
SNAMCHT/79	22-29/04	33,50	6,00	n	n						7,08	2,71	0,83
SNAMCHT/80	29/04-06/05	129,70	5,57	n	-34,00						9,54	4,21	0,70
SNAMCHT/81	06-20/05	192,56	5,96	n	122,00						6,59	3,55	0,84
SNAMCHTB/82	20/05-03/06	84,46	5,44		-22,00						5,77	0,00	0,56
SNAMCHTB/83	3-17/06		5,79		8,00						4,47	0,00	0,85
SNAMCHT/84	17/06-01/07	127,54	5,52	3,90	-6,00						9,15	4,68	1,66
SNAMCHT/85	01-08/07	73,75	5,34	5,60	-16,00						6,02	1,93	1,59
SNAMCHT/86	08-15/07	62,67	5,43										

SNAMCHT/87	15-29/07	51,98												
SNAMCHT/88														
SNAMCHT/89														

TRANSPREC.	1993												
SNPPCHFL/5	07-09/04/93	4,0	6,41		65,3	108,70	51,10	15,70	10,60	1,64	56,81	2,32	11,17
SNPPCHFL/6	09-12/04	43,2	6,35	16,0	76,0	67,40	28,10	9,00	8,30	1,39	60,59	1,61	7,54
SNPPCHFL/7	12-14/04	28,0	6,10	9,9	1,9	43,50	20,50	8,20	55,60	0,96	31,23	0,37	5,42
SNPPCHFL/8	14-16/04	6,0	6,12	13,1	21,8	56,50	30,70	7,30	6,60	4,41	39,89	2,15	5,84
SNPPCHFL/9	16-19/04	48,0	6,10	8,6	15,6	34,80	17,90	20,30	40,30	2,80	22,37	1,08	2,75
SNPPCHFL/10	19-21/04	23,6	6,02	6,8	12,2	30,40	15,30	7,10	68,30	0,98	17,94	0,37	3,07
SNPPCHFL/11	15-19/06	4,9	6,32	29,0	50,0	92,22	59,59	20,99	26,43	5,32	90,86	3,92	12,77
SNPPCHFL/12	19-21/06	15,0	6,28	11,7	5,4	27,85	31,46	10,29	10,47	3,78	35,01	0,37	3,07
SNPPCHFL/13	21-28/06	40,3	6,25	16,8	46,4	53,95	41,18	12,76	12,97	1,71	50,90	0,00	7,75
SNPPCHFL/14	28-5/07	14,7	6,33	24,0	51,4	241,00	67,38	17,06	44,89	1,19	81,10	0,58	10,30
SNPPCHFL/15	05-12/07	56,8	6,17	14,9	35,0	180,92	46,16	11,53	39,04	0,42	37,90	0,12	6,25
SNPPCHFL/16	12-19/07	41,0	5,47	31,0	35,4	207,83	105,87	26,08	41,51	1,24	66,90	0,00	7,54
SNPPCHFL/17	09-16/08	44,1	6,35	28,0	64,6	238,65	70,02	19,85	43,39	23,45	80,50	2,63	12,30
SNPPCHFL/18	16-23/08	2,8	6,67	55,0	128,8	345,60	164,52	40,93	63,72	107,95	242,70	9,46	24,30
SNPPCHFL/19	23-30/08	26,1	6,37	28,0	63,0	327,28	71,48	22,40	78,72	22,20	65,70	4,90	12,70
SNPPCHFL/20	30-06/09	54,4	6,35	21,0	49,6	279,04	53,55	17,26	69,03	4,59	60,70	2,63	8,18
SNPPCHFL/21	06-27/09	27,4	6,62	27,0	70,2	324,29	78,34	21,00	79,15	19,83	79,90	3,08	11,60
SNPPCHFL/22	27-04/10	16,2	6,61	27,0	71,0	261,58	72,62	21,63	61,58	29,41	46,50	4,45	9,90
SNPPCHFL/23	04-11/10	58,9	6,59	15,6	41,4	244,21	40,04	11,87	62,24	10,46	42,20	2,63	9,61
SNPPCHFL/24	11-18/10	29,9	6,63	29,0	60,4	312,65	73,48	20,63	71,71	17,89	94,10	6,72	12,70
SNPPCHFL/25	18-25/10	26,0	6,51	17,1	49,5	259,36	57,24	14,40	59,96	34,91	43,40	2,17	6,46
SNPPCHFL/26	25-01/11	0,2		87,0		446,45	280,86	38,61	75,41	176,70	293,70	26,70	24,00
SNPPCHFL/27	01-08/11	41,6	6,41	20,0	62,4	384,35	57,22	23,78	104,25	27,76	52,10	4,45	9,47
SNPPCHFL/28	08-16/11	65,4	6,24	126,4	28,9	508,90	49,30	33,18	173,97	3,39	41,60	3,08	8,18
SNPPCHFL/29	16-22/11	102,7	6,43	8,0	93,4	342,99	30,99	15,97	98,98	0,00	17,50	0,12	4,31
SNPPCHFL/30	22-29/11	11,0	6,39	20,0	38,3	455,02	59,08	23,95	114,59	15,14	71,30	2,17	8,83
SNPPCHFL/31	29-06/12	28,7	6,05	16,0	35,5	503,65	50,98	32,86	175,01	2,31	52,10	3,08	8,18
SNPPCHFL/32	06-13/12	56,8	6,05	13,3	21,8	356,77	40,77	15,52	87,82	0,00	45,90	2,85	7,43
SNPPCHFL/33	13-20/12	39,9	6,00	17,4	14,9	431,99	49,70	23,58	113,87	1,25	53,30	3,08	8,83
SNPPCHFL/34	20-27/12	29,5	5,94	19,7	29,9	402,21	62,18	19,98	126,10	2,25	63,80	1,49	11,40
	1994												
SNPPCHFL/35	27-03/01/94	78,5	5,84	10,3	4,8	104,78	23,79	6,23	28,07	3,24	27,40	1,03	5,49

SNPPCHFL/36	10-31/01	55,5	5,88	16,6	23,2	154,90	35,41	10,00	41,95	1,45	41,60	2,85	8,40
SNPPCHFL/37	31-07/02	84,8	5,83	9,0	14,5	132,18	21,64	7,27	44,65	0,32	16,50	0,58	3,45
SNPPCHFL/38	07-21/02	75,1	5,91	9,2	10,1	185,66	20,43	9,03	65,40	0,00	24,30	0,58	3,45
SNPPCHFL/39	21-28/02	72,5	5,96	12,7	5,3	99,10	23,45	9,01	16,57	0,00	36,00	0,00	5,17
SNPPCHFL/40	28/02-07/03	75,7	5,79	12,0	9,72	116,75	25,93	9,91	15,57	3,52	35,41	1,48	4,87
SNPPCHFL/41	07-14/03	78,2	5,70	8,6	18,66	88,90	17,78	7,53	14,31	2,26	17,33	2,07	3,01
SNPPCHFL/42	14-21/03	33,9	5,72	19,8	6,26	189,25	52,23	14,15	36,35	3,12	88,00	0,90	9,50
SNPPCHFL/43	21-28/03	75,0	5,74	13,0	2,68	212,14	31,73	12,15	65,71	2,70	40,52	1,30	5,92
SNPPCHFL/44	28/03-04/04	64,7	5,80	11,0	11,38	134,35	39,07	7,35	25,15	3,33	30,28	0,00	5,57
SNPPCHFL/45	04-11/04	41,0	5,92	14,8	21,28	197,43	30,89	13,47	53,72	2,29	54,16	0,55	7,87
SNPPCHFL/46	11-18/04	12,6	6,30	24,0	31,34	307,41	59,83	28,13	112,15	4,09	95,74	2,03	14,55
SNPPCHFL/47	18-25/04	63,1	6,03	10,4	0,00	106,62	20,83	7,72	16,89	3,53	23,49	1,57	4,18
SNPPCHFL/48	25/04-02/05	65,1	6,01	11,7	38,04	110,57	24,33	9,11	17,96	15,20	19,51	2,24	4,09
SNPPCHFL/49	16-23/05	103,5	5,82	8,0	10,50	105,27	17,59	8,79	17,59	4,54	12,49	1,27	2,78
SNPPCHFL/50	23-30/05	85,1	5,70	8,4	10,34	85,82	17,05	6,72	14,73	2,33	45,78	5,53	6,69
SNPPCHFL/51	30/05-06/06	23,0	5,80	12,4	5,78	117,99	31,07	10,50	19,64	8,37	32,43	1,46	4,45
SNPPCHFL/52	06-13/06	70,7	5,54	11,7	0,00	109,33	24,56	8,50	17,35	7,24	26,13	2,41	5,20
SNPPCHFL/53	13-20/06	34,6	6,64	11,0	15,78	115,53	24,47	10,85	22,10	3,44	24,62	1,20	4,16
SNPPCHFL/54	20-27/06	50,4	5,89	9,7	22,80	105,34	20,73	10,15	18,92	4,23	19,40	1,68	4,17

	1995												
SNPPCHFL/55	16-22/05		5,71	10,00	20,60						30,77	1,36	4,20
SNPPCHFL/56	6-12/06	173,57	6,18	11,00		17,40	33,79	14,35	38,87	6,43	23,60	90,70	6,22
SNPPCHFL/57	12-20/06	25,82		16,20							31,98	20,57	8,01
SNPPCHFL/58	20-26/06	33,23	6,15	17,00	65,60	30,46	46,69	13,93	19,18	18,03	46,81	19,01	9,84
SNPPCHFL/59	26/6-4/7	28,56	6,81	23,00	101,60	37,05	57,71	14,48	22,23	35,82	50,47	38,60	11,92
SNPPCHFL/60	4-10/7	51,84	6,24	19,00	69,60	28,57	54,26	11,90	18,77	8,95	43,38	23,04	9,90
SNPPCHFL/61	10-24/7	32,64	6,43	12,00	59,40	20,48	28,45	9,28	12,36	4,06	34,28	7,14	7,43
SNPPCHFL/62	24/7-8/8	35,99	6,57	15,00	98,62	39,05	68,34	17,35	22,52	26,11	67,74	30,89	13,30
SNPPCHFL/63	8-14/8	8,23	6,70	44,00	196,40	60,00	102,76	26,97	36,54	83,30	107,72	19,77	21,97
SNPPCHFL/64	14-22/8	7,86	6,61	41,00	111,74	94,39	113,73	31,29	40,43	37,50	151,21	20,75	25,49
SNPPCHFL/65	22-29/8	10,57	6,87	44,00	132,00	74,55	110,62	32,40	45,02	44,81	126,38	19,68	22,91
SNPPCHFL/66	29/8-5/9	32,14	6,65	35,00		52,45	79,85	19,15	24,95	65,51	96,68	7,77	14,01
SNPPCHFL/67	5-11/9	14,57	6,17	50,00	100,24	89,52	154,66	41,28	43,33	12,00	158,38	16,09	30,17
SNPPCHFL/68	11-18/9	5,34	6,35	58,00	106,80	123,88	182,11	41,73	45,62	8,61	167,58	9,15	37,67
SNPPCHFL/69	18-26/9	17,33	6,33		112,60	88,38	136,77	30,29	33,17	16,37	141,83	17,83	27,39
SNPPCHFL/70	26/9-2/10	7,07	6,70		164,80						187,96	13,47	40,96
SNPPCHFL/71	9-16/10	10,36	6,86	67,00	354,20						154,57	12,38	30,32
SNPPCHFL/72	23-30/10	22,62	6,62	70,00	178,80						228,68	11,07	37,66
SNPPCHFL/73	4-12/12	0,95		N									
TRANSPRECIPI TAÇÃO	1996												
SNPPCHFL/74	12-09/02	27,06	6,09		279,00						63,66	18,92	10,21
SNPPCHFL/75	19-26/02	48,92	6,05	N	198,60						50,22	32,12	17,17
SNPPCHFL/76	26/02-11/03	180,00		N							33,79	27,08	4,77
SNPPCHFL/77	11-25/03	125,11	6,35	N	4,00						29,62	16,03	6,10
SNPPCHFL/78	25/03-01/04	56,41	6,13	N	33,20						45,85	3,29	5,79
SNPPCHFL/79	01-08/04	67,92	6,38	N	-20,80						38,65	21,74	6,42
SNPPCHFL/780	08-22/04	119,17	6,30	N	56,60						35,81	8,76	5,79
SNPPCHFL/81	22-29/04			N	22,00						31,73	18,98	4,86
SNPPCHFL/82	29/04-06/05	106,91	6,00	N	2,38						26,86	16,54	4,55
SNPPCHFL/83	06-13/05	87,30	6,38	N	154,00						30,78	11,07	3,28
SNPPCHFL/84	13-20/05	79,40	6,50	N	176,00						64,14	13,78	9,79
SNPPCHFL/85	20-27/05	10,59	6,15		62,00						28,75	7,21	4,77

SNPPCHFL/86	27/05-03/06	74,20	6,51		90,00						47,72	1,32	8,41
SNPPCHFL/87	03-10/06	35,63	6,29		98,00						23,10	10,58	5,38
SNPPCHFL/88	10-25/06	153,30	6,31	19,00	30,00						36,38	8,24	7,32
SNPPCHFL/89	25/06-01/07	45,54	6,54	26,00	108,00						26,13	5,22	10,17
SNPPCHFL/90	01-08/07	55,92	6,33										
SNPPCHFL/91	08-05/07	75,07	6,50		92,00								
SNPPCHFL/92	15-22/07	31,94											
SNPPCHFL/93	22-29/07	14,11											

Tabela A3.6 - Resultados analíticos, em  $\mu\text{M}$ , para dos íons principais, nas amostras do igarapé Pedra Preta coletadas em Serra do Navio.

DADOS	AMAPA		AMDA TA												
AMOSTRA	DATA	T	VAZAO	MAT SUS	pH	COND	ALC	Na	K	Mg	Ca	NH4	Cl	NO3	SO4
RIOS		C	l/seg	mg/l		uS/cm	uEq/l	uMOL/l							
IG FLORESTA	1993														
SNPPRIPN/4	07/04/93	25,0	20,0	7,00	6,26	21,0	62,0	69,50	10,23	49,30	65,20	0,92	64,03	12,37	6,70
SNPPRIPN/5	09/04	25,0	10,9	4,54	6,66	21,0	73,9	78,30	7,67	33,60	66,30	0,91	81,81	3,19	6,32
SNPPRIPN/6	12/04	25,0	8,0	4,83	6,18	21,0	12,2	82,60	7,67	27,00	19,60	0,72	82,93	2,81	4,83
SNPPRIPN/7	14/04	25,0	6,0	6,41	6,45	21,0	76,4	78,30	7,67	26,60	18,80	0,68	81,81	3,97	6,32
SNPPRIPN/8	16/04	25,0	6,8	6,51	6,35	21,0	61,9	78,30	7,67	27,60	20,00	0,74	81,81	2,44	6,32
SNPPRIPN/9	19/04	25,0	7,8	6,75	6,33	20,0	63,3	76,10	10,20	26,60	18,90	0,58	74,47	8,16	6,32
SNPPRIPN/10	21/04	25,0	7,9	6,26	6,29	21,0	67,6	78,30	7,67	49,70	68,80	0,54	81,81	5,11	6,51
SNPPRIPN/11	18/06	25,0	6,9	4,12	6,59	179,84	10,74	30,86	52,18	1,21	85,47	2,81	6,89	2,81	6,89
SNPPRIPN/12	21/06	25,0	9,0	5,41	6,53	109,28	13,55	30,86	57,80	1,12	90,27	3,56	6,89	3,56	6,89
SNPPRIPN/13	28/06	25,0	8,1	4,70	6,44	191,76	11,04	38,63	44,95	2,04	76,80	0,63	1,81	0,63	1,81
SNPPRIPN/14	05/07	25,0	5,4	4,10	6,52	290,42	16,94	43,04	84,27	2,17	80,50	0,50	1,96	0,50	1,96
SNPPRIPN/15	12/07	25,0	4,3	5,55	6,51	227,51	15,02	39,88	61,39	0,55	80,50	0,56	1,99	0,56	1,99
SNPPRIPN/16	19/06	24,0	6,1	4,61	6,50	269,93	18,17	43,75	80,37	1,40	82,40	0,77	2,18	0,77	2,18
SNPPRIPN/17	09/08	25,0	4,7	10,47	6,46	283,93	15,48	43,99	74,95	1,11	82,40	3,08	7,32	3,08	7,32
SNPPRIPN/18	16/08	25,0	7,2	7,06	6,57	473,78	24,33	58,03	165,44	1,11	83,30	2,63	7,32	2,63	7,32
SNPPRIPN/19	23/08	24,0	4,5	3,67	6,45	276,27	17,11	45,61	77,70	1,52	80,50	2,17	7,11	2,17	7,11
SNPPRIPN/20	30/08	24,0	4,6	5,16	6,49	260,88	15,70	45,11	69,43	1,02	82,40	0,90	7,98	0,90	7,98
SNPPRIPN/21	06/09	24,0	4,1	4,13	6,56	275,25	17,29	45,05	76,85	1,64	81,80	1,85	7,83	1,85	7,83
SNPPRIPN/22	27/09	24,0	3,5	2,32	6,65	530,11	32,10	64,80	152,20	2,32	81,10	0,90	8,05	0,90	8,05
SNPPRIPN/23	04/10	24,0	6,6	1,74	6,63	561,21	26,58	68,25	198,00	1,24	80,50	1,51	8,34	1,51	8,34
SNPPRIPN/24	11/10	24,0	3,8	2,86	6,71	475,50	22,72	59,64	156,72	0,45	82,40	2,39	8,12	2,39	8,12
SNPPRIPN/25	18/10	25,0	4,8	2,57	6,66	403,40	24,65	55,55	118,63	3,57	83,00	1,31	8,20	1,31	8,20
SNPPRIPN/26	25/10	25,0	5,9	3,46	6,62	276,95	19,35	46,70	73,85	5,55	82,20	1,31	8,41	1,31	8,41
SNPPRIPN/27	01/11	25,0	4,5	1,91	6,67	312,80	22,65	52,55	96,35	0,85	82,40	1,98	7,91	1,98	7,91
SNPPRIPN/28	08/11	25,5	2,8	5,70	6,92	514,45	26,75	67,05	183,90	0,43	85,50	0,63	8,27	0,63	8,27
SNPPRIPN/29	16/11	24,5	4,9	6,10	6,59	242,02	16,30	46,38	59,60	0,40	83,00	1,31	8,20	1,31	8,20
SNPPRIPN/30	22/11	25,0	9,9	2,31	6,56	538,36	32,20	56,94	199,26	0,85	78,70	6,99	9,72	6,99	9,72
SNPPRIPN/31	29/11	25,0	6,8	4,35	6,79	317,44	17,10	44,70	84,58	0,00	82,40	3,74	7,91	3,74	7,91
SNPPRIPN/32	06/12	25,5	10,3	8,20	6,63	316,82	17,88	49,88	75,70	0,00	81,10	2,39	7,62	2,39	7,62

SNPPRIPN/33	13/12	25,0	10,6	5,83	6,43	715,00	33,19	72,13	235,68	0,86	83,60	3,74	7,76	3,74	7,76
SNPPRIPN/34	20/12	25,0	5,4	5,95	6,40	895,38	41,89	76,98	276,67	0,45	83,00	3,61	7,83	3,61	7,83
SNPPRIPN/35	27/12	24,0	8,3	6,02	6,61	665,97	36,28	67,14	189,99	0,30	81,80	6,18	8,34	6,18	8,34
	1994														
SNPPRIPN/36	03/01/94	24,5	7,5	2,79	6,52	405,62	23,12	55,13	120,97	0,00	79,90	2,25	7,25	2,25	7,25
SNPPRIPN/37	31/01	24,5	7,5	5,38	6,36	189,04	15,52	48,00	62,75	0,00	77,40	0,50	1,81	0,50	1,81
SNPPRIPN/38	07/02	24,0	7,1	6,24	6,22	185,04	16,66	41,51	60,54	0,00	74,30	3,20	6,82	3,20	6,82
SNPPRIPN/39	21/02	24,0	10,3	3,26	6,25	213,74	10,73	34,04	65,01	0,00	76,80	4,69	6,75	4,69	6,75
SNPPRIPN/40	28/02	24,0	14,5	29,34	6,36	180,65	14,83	30,45	65,66	0,02	76,20	6,04	6,75	6,04	6,75
SNPPRIPN/41	07/03	24,0	12,8	3,85	6,04	162,19	10,39	34,33	27,05	2,72	71,72	9,16	6,46	9,16	6,46
SNPPRIPN/42	14/03	24,0	29,7	3,99	6,14	170,65	13,88	34,42	30,17	5,23	72,03	12,14	6,46	12,14	6,46
SNPPRIPN/43	21/03	24,0	20,8	4,54	6,14	216,01	10,61	35,04	46,11	3,93	73,09	8,99	6,28	8,99	6,28
SNPPRIPN/44	28/03	24,0	26,1	12,06	5,93	190,29	15,97	33,57	49,16	3,01	54,98	25,29	8,14	25,29	8,14
SNPPRIPN/45	04/04	24,0	11,7	4,04	6,06	230,13	10,94	35,60	60,29	2,37	73,53	7,78	7,27	7,78	7,27
SNPPRIPN/46	11/04	24,0	15,9	3,94	6,15	232,47	11,86	35,83	60,49	2,83	78,40	4,92	6,75	4,92	6,75
SNPPRIPN/47	18/04	24,5	8,3	3,91	6,67	232,93	9,85	36,84	61,43	3,77	77,42	4,05	6,59	4,05	6,59
SNPPRIPN/48	25/04	24,0	14,9	3,61	6,32	174,57	9,31	35,47	28,56	3,10	76,93	6,22	6,34	6,22	6,34
SNPPRIPN/49	02/05	24,0	10,3	3,93	6,10	169,62	11,30	34,68	28,72	3,94	74,66	6,85	6,85	6,85	6,85
SNPPRIPN/50	23/05	24,0	13,5	5,45	6,10	153,58	9,96	28,59	26,93	5,36	82,17	9,11	7,22	9,11	7,22
SNPPRIPN/51	30/05	24,0	14,4	3,66	6,06	160,40	9,85	31,40	28,80	2,56	76,32	4,92	6,66	4,92	6,66
SNPPRIPN/52	06/06	24,0	12,1	3,11	5,90	167,33	8,47	31,08	25,69	2,12	22,07	3,59	1,14	3,59	1,14
SNPPRIPN/53	13/06	24,0	16,8	3,35	5,93	166,56	9,49	31,28	27,00	2,70	76,93	6,71	6,45	6,71	6,45
SNPPRIPN/54	20/06	24,5	17,2	3,16	6,87	171,18	9,56	31,42	28,25	2,92	77,07	7,75	6,52	7,75	6,52
SNPPRIPN/55	27/06	24,0	16,8	3,51	6,10	170,31	9,03	31,37	27,88	2,88	77,19	6,61	6,49	6,61	6,49

	1995														
SNPPRIPN/56	22/05	24,00			6,03	20,00	24,00	49,35	3,60	17,96	11,96	0,38	52,44	18,95	4,68
SNPPRIPN/56a	06/06	23,50			6,23	22,00	57,00						75,17	4,98	6,56
SNPPRIPN/57	12/06	24,00				23,00		71,11	5,31	26,30	14,49	0,00	75,35	35,25	6,40
SNPPRIPN/58	20/06	24,00			6,21	20,00	77,20	71,33	5,46	26,00	13,12	0,00	73,60	24,47	6,50
SNPPRIPN/59	26/06	24,00				20,00		83,93	7,19	32,19	14,63	0,00	82,05	0,00	7,42
SNPPRIPN/60	04/07	24,00			6,56	20,00	92,80	68,46	4,90	27,25	12,81	0,00	75,44	7,88	6,46
SNPPRIPN/61	10/07	24,00			6,52	21,00	82,60	72,27	4,89	27,98	13,28	0,00	75,38	8,32	6,73
SNPPRIPN/62	24/07	24,00			6,20	21,00	96,80	74,55	4,89	29,20	13,86	0,00	77,48	10,31	6,79
SNPPRIPN/63	08/08	24,00			6,29	21,00	74,30	81,42	6,38	30,65	17,08	0,00	80,54	15,65	7,35
SNPPRIPN/64	14/08	24,00			6,45	19,00	94,40						76,61	9,25	7,31
SNPPRIPN/65	22/08	24,50				19,00		78,12	5,72	30,05	17,89	0,00			
SNPPRIPN/66	29/08	24,00			6,46	22,00	82,36	75,42	5,67	30,55	15,94	0,00	75,00	6,84	6,73
SNPPRIPN/67	05/09	24,00			6,39	22,00	90,72	81,33	7,37	32,29	16,71	0,00	78,16	8,14	7,52
SNPPRIPN/68	11/09	24,00			6,42	22,00	100,80	81,15	5,98	32,34	16,17	0,00	75,53	4,71	6,77
SNPPRIPN/69	18/09	24,00			6,26		103,60	84,15	7,84	33,39	17,40	0,00	78,42	4,46	7,20
SNPPRIPN/70		24,00			6,50	22,00	85,80						63,79	0,00	6,14
SNPPRIPN/71	16/10	24,00			7,13	24,00	79,60						66,51	0,00	6,97
SNPPRIPN/72	30/10	24,00			6,32	27,00	139,20						73,21	0,00	9,08
SNPPRIPN/73	12/12	24,00			6,46	24,00	1312,00								
IG FLORESTA															
SNPPRIPN/74					6,33	n	1333,80						75,92	13,88	6,29
SNPPRIPN/75					6,21		880,80						74,93	48,09	6,34
SNPPRIPN/76					6,00		708,00						56,78	19,71	5,75
SNPPRIPN/77					6,09		25,80						61,10	17,58	7,17
SNPPRIPN/78													69,62	10,75	6,22
SNPPRIPN/79					6,16		35,80						71,20	13,48	6,21
SNPPRIPN/80					6,24		-56,60						70,92	8,00	6,32
SNPPRIPN/81					6,33		17,80						68,65	11,69	6,20
SNPPRIPN/82					6,24		40,00						77,72	6,24	6,01
SNPPRIPN/83					5,81		-8,00						70,49	9,23	5,99
SNPPRIPN/84													70,60	13,88	5,96
SNPPRIPN/85					6,22		124,00						71,96	12,93	6,23
SNPPRIPN/86													61,42	5,66	5,31
SNPPRIPN/87					6,21		126,00						63,89	3,80	6,42
SNPPRIPN/88					6,18		124,00						70,24	8,45	6,35
SNPPRIPN/89	02/07/96				6,11	19,70	88,00						59,09	9,56	5,68

SNPPRIPN/90	08/07/96				6,15	23,00	94,00						62,40	7,97	5,39
SNPPRIPN/91	15/07/96				6,20		122,00								
SNPPRIPN/92	22/07/96				6,18		140,00								
IG LAGO	1993														
SNPPRIPL/8	16/04	25,0		12,97	6,45	29,0	111,8	69,50	17,90	24,70	35,70	4,24	71,28	5,15	21,01
SNPPRIPL/11	19/06	27,0	47,0	6,03	6,10	30,0	35,8	72,64	18,93	28,40	30,67	7,78	74,84	7,21	31,95
SNPPRIPL/12	21/06	28,0	55,5	6,69	6,25	27,0	47,8	73,95	19,18	28,81	33,42	7,78	76,02	7,21	31,95
SNPPRIPL/13	28/06	28,0	58,5	5,49	6,19	28,0	92,8	190,00	13,24	24,60	45,61	0,00	37,90	0,00	21,20
SNPPRIPL/14	05/07	28,0	40,4	5,64	6,15	28,0	95,2	225,61	13,99	24,46	59,94	0,00	71,30	3,76	20,40
SNPPRIPL/15	12/07	28,0	53,6	5,80	6,15	28,0	96,4	206,60	14,26	24,39	51,27	0,00	71,30	3,76	18,50
SNPPRIPL/16	19/07	28,0	50,4	7,01	6,27	26,0	91,2	236,40	15,93	24,75	67,45	3,64	71,30	3,76	18,60
SNPPRIPL/17	09/08	29,0	23,2	6,21	6,32	27,0	105,0	226,07	17,06	24,75	61,69	4,67	73,40	2,85	17,00
SNPPRIPL/18	16/08	29,0	31,2	6,67	6,45	27,0	80,6	257,92	19,04	26,60	82,11	3,82	75,00	2,63	18,30
SNPPRIPL/19	23/08	26,0	20,9	6,68	6,27	28,0	111,2	244,18	19,20	27,38	71,82	7,51	75,00	2,63	17,00
SNPPRIPL/20	30/08	29,0	27,7	6,58	6,34	27,0	101,4	226,20	16,71	23,43	57,83	0,00	76,20	1,94	16,10
SNPPRIPL/21	06/09	30,0	26,2	6,91	6,50	28,0	108,0	230,40	17,97	25,58	66,35	0,00	75,90	1,94	18,70
SNPPRIPL/22	27/09	29,0	16,1	6,89	6,47	31,0	138,6	399,97	25,03	38,60	133,87	0,00	76,80	1,49	16,20
SNPPRIPL/23	04/10	29,0	12,9	7,50	6,51	33,0	139,6	253,30	21,13	29,01	79,22	0,00	96,00	1,94	27,50
SNPPRIPL/24	11/10	29,0	17,4	6,00	6,51	31,0	146,6	256,11	20,54	20,13	82,11	0,00	77,40	1,49	18,70
SNPPRIPL/25	18/10	29,5	15,0	6,45	6,54	31,0	150,8	353,99	25,17	32,78	101,19	0,00	76,20	1,49	17,20
SNPPRIPL/26	25/10	30,0	19,3	6,64	6,52	30,0	108,9	479,01	28,99	45,44	173,91	0,00	74,30	1,71	18,90
SNPPRIPL/27	01/11	30,0	8,8	5,73	6,56	33,0	161,1	509,54	28,04	50,30	185,10	0,00	78,10	1,71	17,90
SNPPRIPL/28	08/11	29,5	17,3	7,75	6,84	31,0	152,3	345,34	23,49	33,50	109,10	8,40	76,80	1,71	16,80
SNPPRIPL/29	16/11	29,0	21,0	10,44	6,63	32,0	118,6	490,99	27,54	48,60	185,00	1,45	49,60	0,80	16,60
SNPPRIPL/30	22/11	29,5	30,0	16,14	6,54	25,0	98,2	406,11	22,85	36,66	106,49	0,00	76,80	2,85	15,90
SNPPRIPL/31	29/11	26,0	28,9	7,10	6,58	30,0	142,1	444,67	27,59	40,02	146,67	2,56	69,40	2,17	17,90
SNPPRIPL/32	06/12	30,0	13,9	11,72	6,52	34,0	128,9	450,05	32,03	43,22	149,21	4,64	57,70	1,26	15,90
SNPPRIPL/33	13/12	27,5	20,6	10,69	6,35	34,0	156,9	464,81	31,39	46,84	161,35	1,36	66,90	1,26	23,50
SNPPRIPL/34	20/12	29,5	23,8	13,34	6,51	37,0	154,1	441,57	29,69	40,84	139,19	5,20	76,20	1,03	31,00
SNPPRIPL/35	27/12	28,0	12,2	12,86	6,65	38,0	166,1	463,21	31,59	51,30	162,53	5,72	75,00	1,26	38,90

	1994														
SNPPRIPL/36	03/01/94	28,0	18,7	12,54	6,42	37,0	164,7	392,45	29,75	43,10	123,79	9,00	71,30	1,03	35,70
SNPPRIPL/37	31/01	29,0	24,4	7,04	6,25	32,0	111,3	164,03	18,29	27,14	58,05	3,00	65,70	1,26	37,30
SNPPRIPL/38	07/02	28,0	46,8	47,40	6,12	28,0	104,4	149,50	16,54	25,85	48,89	4,84	66,90	2,17	26,30
SNPPRIPL/39	21/02	28,0	56,4	10,93	6,29	26,0	97,6	159,37	15,24	24,55	55,44	1,89	63,80	2,40	20,10
SNPPRIPL/40	28/02	27,5	55,1	11,39	6,21	28,0	102,3	69,60	22,76	32,10	42,14		63,80	2,17	24,00
SNPPRIPL/41	07/03	28,0	78,4	9,36	6,06	26,0	83,32	68,29	17,39	32,92	29,43		63,77	1,40	23,07
SNPPRIPL/42	14/03	28,0	50,8	7,46	5,88	26,0	93,30	66,55	16,88	32,92	29,83		59,16	3,86	17,28
SNPPRIPL/43	21/03	28,5	63,6	7,25	5,83	24,0	85,26	66,55	15,60	31,69	28,18		67,09	3,01	18,37
SNPPRIPL/44	28/03	26,0	106,4	12,01	5,87	25,0	50,30	56,11	18,16	30,86	29,43		56,40	1,81	38,65
SNPPRIPL/45	04/04	28,0	96,0	9,80	5,95	25,0	76,56	64,81	14,07	31,28	28,18		65,49	2,03	19,70
SNPPRIPL/46	11/04	28,0	74,2	7,37	5,82	25,0	76,62	68,29	14,07	30,86	26,18		71,01	3,34	22,64
SNPPRIPL/47	18/04	28,0	55,4	7,10	5,88	24,0	72,34	70,03	13,81	33,74	20,70		68,44	2,72	19,01
SNPPRIPL/48	25/04	29,0	62,2	6,38	5,95	24,0	77,92	68,29	13,81	30,04	26,43		68,13	2,54	21,10
SNPPRIPL/49	02/05	28,0	51,6	5,47	5,88	25,0	32,04	66,55	13,81	30,45	25,19		66,75	3,32	28,40
SNPPRIPL/50	23/05	29,0	77,5	8,19	5,81	25,0	10,94	63,07	13,81	29,22	24,19		29,38	39,49	7,55
SNPPRIPL/51	30/05	28,5	74,1	7,70	5,88	25,0	0,00	63,07	15,60	27,57	24,19		65,69	4,51	24,97
SNPPRIPL/52	06/06	29,0	74,7	5,94	5,76	24,0	59,00	68,29	15,09	28,81	24,69		67,48	4,43	25,32
SNPPRIPL/53	13/06	29,0	72,4	7,23	5,45	28,0	0,00	66,55	15,09	31,28	27,93		69,44	5,83	41,21
SNPPRIPL/54	20/06	27,0	59,0	4,30	5,64	26,0	42,39	64,81	13,81	30,86	25,94		68,80	4,91	34,20
SNPPRIPL/55	27/06	27,0	64,5	5,85	5,65	24,0	0,00	66,55	13,30	29,63	24,19		68,36	4,49	30,25
FIM-LAGO															
IG FOZ	1993														
SNPPRIPIF/2															
SNPPRIPIF/3	03/04	27,0	86,0	18,16	5,69	50,0	95,4	65,20	20,50	63,70	95,20	2,58	64,74	11,32	123,10
SNPPRIPIF/4	05/04	27,0	55,0	13,33	6,73	59,0	141,8	74,00	23,00	45,30	68,50	3,59	71,28	12,35	130,00
SNPPRIPIF/4a	07/04	25,0	226,0	220,67	5,42	66,0	0,0	43,50	15,30	44,40	70,80	1,71	62,96	10,29	190,00
SNPPRIPIF/5	09/04	27,0	86,0	15,26	6,90	60,0	146,2	73,90	20,50	59,20	81,10	4,24	71,28	13,37	132,30
SNPPRIPIF/6	12/04	26,0	77,0	15,95	6,86	60,0	147,1	73,90	21,70	40,90	46,20	3,59	74,84	13,37	127,70
SNPPRIPIF/7	14/04	27,0	76,0	21,02	6,80	60,0	142,9	69,50	20,50	42,60	42,60	2,58	68,91	12,35	132,30
SNPPRIPIF/8	16/04	28,0	65,5	16,29	6,94	59,0	143,1	73,90	20,50	43,90	46,40	3,06	73,65	13,37	130,00
SNPPRIPIF/9	19/04	27,0	86,8	14,80	6,67	53,0	84,9	65,20	20,50	36,90	36,90	2,92	66,52	12,35	130,00
SNPPRIPIF/10	21/04	26,0	65,3	42,26	6,68	60,0	105,3	69,50	20,50	60,60	77,40	2,92	68,91	13,37	137,00
SNPPRIPIF/11	19/06	27,0	87,4	5,96	7,02	62,64	21,74	60,91	47,63	6,11	79,58	14,92	72,57	14,92	72,57
SNPPRIPIF/12	21/06	28,0	71,5	4,95	7,25	60,90	26,09	58,44	46,13	7,22	79,58	14,40	71,01	14,40	71,01
SNPPRIPIF/13	28/06	30,0	96,4	6,04	7,14	168,86	20,09	32,84	57,59	6,11	76,80	11,70	79,30	11,70	79,30
SNPPRIPIF/14	05/07	30,0	62,6	6,35	7,08	240,19	23,82	42,66	88,04	3,89	91,00	11,40	74,20	11,40	74,20

SNPPRIPF/15	12/07	30,0	51,5	4,99	7,03	216,85	22,68	40,04	75,89	4,44	77,40	8,90	71,00	8,90	71,00
SNPPRIPF/16	19/06	31,0	67,5	12,47	6,93	178,08	22,61	34,56	57,92	6,11	78,10	9,75	72,60	9,75	72,60
SNPPRIPF/17	09/08	28,0	65,8	4,32	7,14	182,04	22,73	37,27	61,65	0,56	79,90	8,90	67,90	8,90	67,90
SNPPRIPF/18	16/08	30,0	44,8	5,25	7,05	215,90	27,64	39,89	78,23	5,00	82,40	8,90	69,50	8,90	69,50
SNPPRIPF/19	23/08	33,0	52,7	4,00	7,16	266,06	28,73	49,90	108,52	3,33	82,40	7,20	68,70	7,20	68,70
SNPPRIPF/20	30/08	32,0	83,5	4,45	7,22	235,50	26,42	43,22	84,96	5,56	65,70	5,51	56,90	5,51	56,90
SNPPRIPF/21	06/09	29,0	77,6	5,97	7,14	235,51	27,88	60,91	83,87	5,56	81,10	6,36	71,00	6,36	71,00
SNPPRIPF/22	27/09	29,0	35,0	2,03	7,11	240,60	29,67	60,91	87,65	6,46	84,20	5,51	66,30	5,51	66,30
SNPPRIPF/23	04/10	29,0	31,2	3,66	7,14	240,60	29,18	44,07	90,34	6,67	84,90	7,20	70,20	7,20	70,20
SNPPRIPF/24	11/10	26,0	27,5	2,54	7,11	248,74	31,43	52,73	98,67	5,56	83,00	7,20	67,90	7,20	67,90
SNPPRIPF/25	18/10	30,0	34,5	4,03	7,25	309,71	37,58	53,28	142,28	3,89	83,60	7,20	64,70	7,20	64,70
SNPPRIPF/26	25/10	32,5	52,9	11,10	7,01	313,53	41,82	53,78	142,20	0,00	84,20	8,10	72,20	8,10	72,20
SNPPRIPF/27	01/11	27,0	41,1	2,10	7,13	268,36	31,79	53,15	99,30	0,00	84,20	8,20	70,60	8,20	70,60
SNPPRIPF/28	08/11	32,0	27,1	5,19	7,24	280,26	33,81	60,30	103,96	0,00	83,00	8,05	66,30	8,05	66,30
SNPPRIPF/29	16/11	28,5	16,5	29,88	7,09	252,54	29,17	53,43	95,35	0,00	80,50	8,90	88,30	8,90	88,30
SNPPRIPF/30	22/11	29,0	115,0	5,63	6,80	224,78	21,30	33,26	74,48	0,00	63,50	3,81	78,90	3,81	78,90
SNPPRIPF/31	29/11	31,0	50,6	5,32	7,06	286,86	59,58	29,68	65,04	10,01	79,90	8,05	76,90	8,05	76,90
SNPPRIPF/32	06/12	33,0	31,6	6,55	6,95	325,35	44,60	62,81	155,55	20,01	81,80	10,60	83,30	10,60	83,30
SNPPRIPF/33	13/12	27,5	26,4	5,86	6,98	288,92	31,56	76,69	140,68	16,05	73,70	12,30	112,60	12,30	112,60
SNPPRIPF/34	20/12	28,5	44,7	10,21	6,92	287,44	32,82	50,69	124,81	0,00	79,90	8,05	85,10	8,05	85,10
SNPPRIPF/35	27/12	26,0	83,4	188,85	6,60	259,25	29,87	61,21	117,94	0,00	73,40	12,30	150,20	12,30	150,20
	1994														
SNPPRIPF/36	03/01/94	29,0	69,9	98,20	6,88	274,99	31,37	67,73	139,54	19,60	76,20	8,90	253,20	8,90	253,20
SNPPRIPF/37	31/01	28,0	59,4	9,80	6,75	163,41	28,71	40,37	77,05	0,04	73,70	8,05	85,90	8,05	85,90
SNPPRIPF/38	07/02	27,5	65,1	10,17	6,68	110,55	23,05	35,10	54,61	0,00	66,90	6,36	77,30	6,36	77,30
SNPPRIPF/39	21/02	28,0	79,3	20,94	6,83	129,69	20,00	35,47	66,89	6,55	68,80	14,80	77,30	14,80	77,30
SNPPRIPF/40	28/02	27,0	83,2	600,50	6,80	120,51	28,13	44,86	104,71	5,00	62,60	8,05	89,80	8,05	89,80
SNPPRIPF/41	07/03	27,5	143,6	98,77	6,57	189,17	506,00	46,24	57,62	20,18	62,53	9,26	103,80	9,26	103,80
SNPPRIPF/42	14/03	29,5	62,0	22,39	6,73	150,49	118,87	42,16	54,69	13,84	69,61	10,95	98,35	10,95	98,35
SNPPRIPF/43	21/03	28,0	116,1	33,26	6,53	314,74	70,28	51,09	137,97	6,05	67,47	11,39	92,79	11,39	92,79
SNPPRIPF/44	28/03	27,0	150,2	301,02	6,54	0,00	5,55	3,27	7,18	9,78	70,43	9,11	118,11	9,11	118,11
SNPPRIPF/45	04/04	28,5	156,0	12,65	6,65	186,80	35,44	38,07	73,93	7,57	67,85	10,57	104,25	10,57	104,25
SNPPRIPF/46	11/04	28,5	87,5	16,89	6,56	172,27	30,11	35,88	64,43	6,26	71,97	11,28	89,18	11,28	89,18
SNPPRIPF/47	18/04	31,0	77,6	14,67	6,91	125,46	20,20	55,97	39,40	5,00	77,14	10,95	77,88	10,95	77,88
SNPPRIPF/48	25/04	30,0	102,2	49,49	6,64	140,36	35,18	51,53	61,15	7,90	68,91	11,11	218,30	11,11	218,30
SNPPRIPF/49	02/05	28,5	168,0	10,71	6,53	134,34	27,47	35,61	47,45	6,58	65,04	10,44	102,80	10,44	102,80
SNPPRIPF/50	23/05	28,0	166,1	32,40	6,50	134,91	28,14	35,33	47,81	15,27	64,56	11,39	106,20	11,39	106,20

SNPPRIPF/51	30/05	28,0	148,7	9,17	6,75	129,38	29,79	35,70	48,83	8,32	65,18	11,83	100,30	11,83	100,30
SNPPRIPF/52	06/06	28,0	112,2	3,04	6,67	152,76	22,09	39,37	51,13	13,07	71,72	12,86	82,23	12,86	82,23
SNPPRIPF/53	13/06	28,0	144,4	5,04	6,30	141,72	32,83	45,59	61,93	13,96	67,72	14,01	126,10	14,01	126,10
SNPPRIPF/54	20/06	27,0	143,8	3,82	6,57	129,28	46,16	36,46	44,05	10,54	71,49	14,65	96,11	14,65	96,11
SNPPRIPF/55	27/06	27,5	150,8	10,49	6,44	137,65	21,23	41,38	55,06	11,36	65,65	20,15	154,10	20,15	154,10
IG FOZ	1995														
SNPPRIPF/56	22/05	28,00			6,48	40,00	84,40	48,44	10,02	33,28	38,76	2,66	48,01	43,15	81,12
SNPPRIPF/56a	06/06	28,00			6,74	41,00	98,60						63,27	11,06	74,24
SNPPRIPF/57	12/06	28,50				38,00		61,80	12,84	25,03	26,51	2,58	64,55	53,90	59,50
SNPPRIPF/58	20/06	31,50			5,56	41,00	10,00	40,78	10,83	25,53	27,15	2,01	46,05	28,48	98,16
SNPPRIPF/59	26/06	31,50				42,00		77,73	16,85	35,11	36,95	0,00	50,82	0,26	86,28
SNPPRIPF/60	04/07	27,50			6,94	42,00	100,60	64,44	12,93	34,78	35,11	0,00	63,58	16,80	84,07
SNPPRIPF/61	10/07	27,50			7,03	43,00	106,60	66,40	13,11	35,83	38,78	0,00	69,22	16,15	84,53
SNPPRIPF/62	24/07	28,00			6,85	42,00	120,00	67,16	13,07	34,08	34,12	0,01	70,61	19,46	79,96
SNPPRIPF/63	08/08	27,50			6,83	37,00	98,40	68,76	13,44	26,74	26,11	0,00	73,36	9,72	65,33
SNPPRIPF/64	14/08	27,50			7,11	34,00	103,90	70,96	14,02	26,37	25,43	0,00	73,51	12,72	73,91
SNPPRIPF/65	22/08	28,00			6,74	41,00	95,74	65,95	15,25	31,48	32,87	0,00	71,76	3,11	87,00
SNPPRIPF/66	29/08	32,00			6,99	43,00	138,00	72,20	14,79	34,73	37,27	0,00	74,41	10,37	78,08
SNPPRIPF/67	05/09	31,50			6,87	42,00	91,44	72,67	16,10	34,48	37,06	0,00	76,45	18,27	90,25
SNPPRIPF/68	11/09	28,50			7,08	44,00	148,36	72,34	15,52	36,66	36,83	0,00	74,53	13,25	83,81
SNPPRIPF/69	18/09	29,00			6,67	37,00	108,16	73,35	16,15	35,02	36,21	0,00	77,99	13,34	88,48
SNPPRIPF/70					6,97	48,00	106,80						65,55	2,86	53,05
SNPPRIPF/71	16/10	29,50			7,25	70,00	145,80						67,28	5,22	85,21
SNPPRIPF/72	30/10				6,99	n	60,20						69,73	0,00	114,78
SNPPRIPF/73	12/12														
IG FOZ															
SNPPRIPF/74					6,85		726,80						73,29	21,85	105,60
SNPPRIPF/75					6,80		1169,00						90,26	19,48	131,13
SNPPRIPF/76					4,61		-204,00						31,71	15,12	401,37
SNPPRIPF/77					5,83		10,20						48,40	35,35	348,67
SNPPRIPF/78													53,79	14,26	179,10
SNPPRIPF/79					6,81		61,60						55,59	14,89	141,71
SNPPRIPF/80					6,75		105,60						57,88	16,12	155,37
SNPPRIPF/81					5,60		-9,60						92,36	35,40	490,96
SNPPRIPF/82					6,61								95,50	19,98	228,18
SNPPRIPF/83					5,91		1,40						51,11	11,41	171,20

SNPPRIPF/84					6,08		58,60						50,05	13,40	104,05
SNPPRIPF/85					5,66		30,00						47,06	12,50	193,55
SNPPRIPF/86					6,66		118,00						51,13	9,42	120,80
SNPPRIPF/87					6,80		208,00						56,19	10,56	90,84
SNPPRIPF/88					6,62		74,00						62,63	12,93	132,45
SNPPRIPF/89	02/07/96				6,46	51,00	104,00						49,01	13,04	137,87
SNPPRIPF/90	08/07/96				6,69	54,00	168,00						52,99	12,44	102,93
SNPPRIPF/91	15/07/96				6,63		164,00								
SNPPRIPF/92	22/07/96				6,58		232,00								