



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**INPE-13026-PRE/8303**

**ESTUDO DAS ESPÉCIES QUÍMICAS EM ECOSISTEMA  
TERRESTRE NO ESTADO DO AMAPÁ: (NORDESTE DA  
AMAZÔNIA) ESTUDO COMPARATIVO EM MICRO-BACIA  
HIDROGRÁFICA**

Samuel Henrique Damas Marinelo\*

\*Bolsista INPE

Relatório Final de Projeto de Iniciação Científica (PIBIC/CNPq/INPE), orientado pela  
Dra. Maria Cristina Forti

INPE  
São José dos Campos  
2005



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA  
**INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS**

**ESTUDO DAS ESPÉCIES QUÍMICAS EM ECOSISTEMA  
TERRESTRE NO ESTADO DO AMAPÁ: (NORDESTE DA  
AMAZÔNIA) ESTUDO COMPARATIVO EM MICRO-BACIA  
HIDROGRÁFICA**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)**

Samuel Henrique Damas Marinelo (INPE, Bolsista PIBIC/CNPq)  
E-mail: [marinelo@cptec.inpe.br](mailto:marinelo@cptec.inpe.br)

Dr<sup>a</sup>. Maria Cristina Forti (DMA/CPTEC/INPE, Orientador)  
E-mail: [forti@cptec.inpe.br](mailto:forti@cptec.inpe.br)

**Julho de 2005**

*“O tempo é o campo do desenvolvimento humano”.*

KARL MARX



*A meus pais,*  
*CARLOS ROBERTO MARINELO e*  
*MARIA ISABEL S. DAMAS MARINELO.*



## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todas pessoas que me ajudaram a vencer mais esta etapa da vida.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, pelo auxílio financeiro de um ano de bolsa de iniciação científica.

Ao projeto “Estudo do Ciclo do Mercúrio no Ecossistema da Floresta Amazônica: Avaliação do Impacto da Mineração de Ouro com Utilização de Mercúrio”, PADCT/CIAMB – CNPq No. 620375/92.2 pela seção dos dados utilizados neste trabalho.

Ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE pela oportunidade de estudos e utilização de suas instalações.

A orientadora Dr. Maria Cristina Forti pela orientação, apoio na realização deste trabalho, pelos ensinamentos que me proporcionou e principalmente pela pessoa especial que demonstrou ser.

Ao Sr. Odin Mendes Júnior, pelo conhecimento passado e pelas conversas que tivemos.

Ao pessoal do suporte computacional pelos socorros prestados e pela amizade demonstrada.

A meus pais por sempre acreditarem na importância do estudo.





## RESUMO

Este trabalho tem como o objetivo avaliar os efeitos da intervenção da atividade mineradora, através de um estudo comparativo entre as médias sazonais das quantidades das espécies maiores ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ ) presentes nas águas de chuva, transprecipitação e de riacho numa micro-bacia hidrográfica, localizada no estado do Amapá nordeste da Amazônia, afetada por mineração de Manganês. A região da Serra do Navio – área onde foram coletadas as amostras – está localizada no planalto residual do Amapá, recoberta por vegetação de floresta equatorial densa, que se encontra na zona equatorial com limites balizados pelas coordenadas  $1^\circ\text{LS}$  e  $4^\circ\text{LS}$  e  $50^\circ\text{LW}$  e  $51^\circ\text{LW}$ . A bacia escolhida foi a do igarapé Pedra Preta, no vale do rio Amaparí, compreendendo 164 ha, ficando a montante da cidade de Serra do Navio. Para realizar o trabalho foram medidas as alturas pluviométricas sobre a região e a vazão em dois pontos do igarapé: um na parte natural da bacia (34ha) e outro na foz. Foi medida também a interceptação pelo dossel para determinação do volume precipitado sob o mesmo. As coletas das amostras de chuva, transprecipitação (água de chuva que atravessa o dossel) e riacho (dois pontos) foram semanais entre junho de 1993 e julho de 1997. Os dados de concentração foram agrupados mensalmente para efetuar cálculos de médias ponderadas utilizando como peso estatístico as precipitações e o deflúvio previamente calculados. Esses dados foram agrupados para o período chuvoso (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro e março) e seco (maio, junho, julho agosto e setembro) para possibilitar avaliar as diferenças sazonais tanto nas concentrações como nas deposições. Os resultados deste estudo mostraram que, na comparação entre os períodos seco e chuvoso, em geral as estações secas apresentam concentrações mais elevadas que as estações chuvosas, isso porque a diluição das espécies químicas é maior no período chuvoso. Comparando os totais de concentrações apresentados nas águas de chuva e de transprecipitação, as concentrações de todas as espécies químicas são maiores na transprecipitação, resultado da interação da chuva com o dossel. As concentrações observadas nas águas do igarapé apresentam um enriquecimento nas concentrações na parte jusante da bacia, exceto para  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Esse enriquecimento é atribuído a atividade mineradora, responsável pela existência de um bota-fora e pelo desmatamento, ambos na região da foz, que induzem uma aceleração nos processos erosivos.



## DETERMINATION OF FIXED POINTS AND PERIODIC ORBITS IN CHAOTIC SYSTEMS

### ABSTRACT

The goal of this work is to estimate the mining's effects on stream waters through a comparative study, between mean seasonal values of the major ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{NH}_4^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{NO}_3^-$  and  $\text{SO}_4^{2-}$ ) in the rainfall, throughfall and stream waters in a small catchments in the state of Amapá, northeastern Amazon. The "Serra do Navio" region – where samples were collected is located at "Planalto Residual do Amapá" covered with equatorial dense forest, between the coordinates  $1^\circ\text{EL}$ ,  $4^\circ\text{EL}$  and  $50^\circ\text{WL}$ ,  $51^\circ\text{WL}$ . The chosen basin is "Igarapé Pedra Preta" in the Amaparí river valley has an area of 164 ha. To do that rainfall height interception and stream flow were measured. The stream flow was measured in two points: upper natural part and in the mouth. Also, rainfall, throughfall and stream waters were collected on a weekly basis for chemical analysis. The collection period was from June, 1993 until July 1997. The calculations were monthly grouped to allow for seasonal statistical calculation. The considered rainy period was from November until March and the wet one was from May until September. The comparison of the mean concentration values of the major ion between the rainy and wet season have shown that during the wet season for all ions that concentrations are higher than therefore, the wet season because there is less water on the system and the solutions are more concentrated. Comparing the total concentration presented in throughfall and rainfall, it is observed that for all ions, the concentrations are higher in the throughfall, which result from the interaction of rainfall with the canopy. The stream water concentrations in the mouth presented an enrichment in relation to the natural part, except to  $\text{Na}^+$  and  $\text{Cl}^-$ . This enrichment is attributed to the mining activities, responsible for the existence of mining reject piles and deforestation, both in the mouth region, which induced an enhancement of the erosive processes.



## SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS.....	XIV
LISTA DE TABELAS.....	XVII
<b>CAPÍTULO 1    INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1            Esboço Geral.....	1
<b>CAPÍTULO 2    OS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS.....</b>	<b>2</b>
2.1            A Água.....	2
2.2            Ciclo Hidrológico.....	3
2.3            Ciclo do Nitrogênio.....	5
2.4            Ciclo do Enxofre.....	7
2.5            Os Elementos Minerais.....	8
<b>CAPÍTULO 3    MATERIAIS E MÉTODO.....</b>	<b>10</b>
3.1            Área de Estudo.....	100
3.2            Medidas de Precipitação e Vazão.....	101
3.3            Coleta das Amostras.....	111
3.4            Preparação das Amostras Coletadas.....	122
3.5            As Análises Químicas.....	133
3.6            Tratamento de Dados.....	133
<b>CAPÍTULO 4    RESULTADOS.....</b>	<b>144</b>
4.1            Precipitação.....	144
4.2            Transprecipitação.....	155
4.3            Águas do Igarapé.....	177
<b>CAPÍTULO 5    CONCLUSÃO.....</b>	<b>211</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>	<b>222</b>



## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1.1 – A molécula de água .....	2
FIGURA 2.2 – Ciclo hidrológico global.....	2
FIGURA 2.3 – Ciclo hidrológico longo.....	4
FIGURA 2.4 – Ciclo global do enxofre.....	6
FIGURA 2.5 – Ciclo global do nitrogênio.....	8
FIGURA 4.1 – Médias sazonais totais para precipitação.....	14
FIGURA 4.2 – Médias sazonais totais para transprecipitação .....	15
FIGURA 4.3 – Médias sazonais totais para transprecipitação líquida.....	16
FIGURA 4.4 – Médias sazonais totais para as águas do riacho (parte natural) .....	18
FIGURA 4.5 – Médias sazonais totais para as águas da foz do riacho (parte alterada)...	19





## LISTA DE TABELAS

TABELA 3.1 - Períodos de coletas dos diferentes tipos de amostras e parâmetros utilizados nos trabalhos.....	12
TABELA 4.1 - Valores médios ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) para o período chuvoso (C) e seco (S) para as águas da foz (PF), da parte natural (PN) e fator de enriquecimento (FE)..	21



# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

Há muito o homem intervém no meio ambiente desequilibrando os ecossistemas e colocando em risco a estabilidade do metabolismo terrestre, no entanto, somente nas últimas décadas a ciência se colocou a serviço do meio ambiente. Dentro dessa problemática ambiental está a região amazônica que com seus sete milhões de km<sup>2</sup> representa um dos grandes desafios das questões ambientais. Atualmente vários estudos sobre o grau de degradação ambiental que diferentes ecossistemas vem sofrendo tem sido realizados nessa região (Fearnside, 1993; Forti et al., 2000. Guimarães et al., 1999). É apoiado nesse pilar que a presente pesquisa vem avaliar os efeitos da intervenção da atividade mineradora, em composições químicas das soluções em uma micro-bacia hidrográfica. Para tal, foi efetuado um estudo comparativo entre as médias sazonais das quantidades das espécies maiores (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> e SO<sub>4</sub><sup>2-</sup>) presentes em solução na água de chuva, na transprecipitação e no curso d'água da micro-bacia hidrográfica cuja porção jusante sofreu alteração devido às atividades de mineração de Manganês.

### 1.1 Esboço Geral

Este trabalho foi dividido em mais quatro capítulos, descritos a seguir.

- *CAPÍTULO 2 – OS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS*: Aqui são descritos alguns ciclos biogeoquímicos relevantes ao entendimento desse trabalho;
- *CAPÍTULO 3 – MATERIAIS E MÉTODOS*: Este capítulo contém a descrição da área onde os estudos foram realizados, as técnicas de medidas de alguns parâmetros, os protocolos de coleta das amostras e as técnicas analíticas empregadas para as dosagens das diferentes espécies químicas;
- *CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO*: Os resultados deste trabalho são neste capítulo apresentados e discutidos;
- *CAPÍTULO 5 - CONCLUSÃO*: Apresentam-se as conclusões do estudo.

## CAPÍTULO 2

### OS CICLOS BIOGEOQUÍMICOS

Neste capítulo são descritos alguns ciclos de espécies químicas necessários para compreender e interpretar o estudo da composição química das soluções a ser realizado. O entendimento dos ciclos biogeoquímicos focaliza a troca de materiais (elementos e compostos inorgânicos) entre os componentes vivos e o não vivos da biosfera. O movimento dos materiais essenciais a vida é chamado de ciclo de nutrientes.

#### 2.1 A Água

A água – composto químico mais importante – é formada por dois átomos de hidrogênio e um de oxigênio, unidos por ligação covalente cuja fórmula é  $H_2O$ . A ligação entre seus átomos acontece graças à atração existente entre o núcleo de um átomo e os elétrons de outro (Branco, 2002). Sua estabilidade é conseguida quando dois elétrons, inicialmente nos orbitais de seus respectivos átomos, passam a freqüentar regiões próximas a ambos os núcleos, simultaneamente nas regiões chamadas orbitais moleculares, responsáveis por esse tipo de ligação. O ângulo de ligação entre as duas moléculas (O e H) que é de  $104,5^\circ$ , valor próximo ao calculado pelo modelo de hibridização de orbitais atômicos, permite que suas propriedades físicas sejam mantidas. Um esquema da molécula de água é representado na FIGURA 2.1.

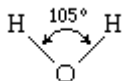


FIGURA 2.1 – A molécula de água.

FONTE: [www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/agua.html](http://www.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/agua.html)

Os elétrons que formam os orbitais moleculares na água não são compartilhados de forma igual entre os átomos já que o oxigênio é mais eletronegativo e com isso exerce uma atração maior sobre os elétrons. Esse processo tem uma consequência:

uma distribuição eletrônica heterogênea na molécula, propiciando uma densidade de carga negativa nos átomos de O e uma densidade de carga positiva nos átomos de H. Essa configuração somada ao ângulo de ligação, torna a molécula de água capaz de sofrer orientações eletromagnéticas tornando-se polar. Outra propriedade da água é sua capacidade de dissolver substâncias iônicas ou polares para formar soluções aquosas. A água é o solvente universal e através dela são transportadas as diferentes espécies químicas através dos ecossistemas, seguindo o ciclo hidrológico (Minatti, 2002).

## 2.2 Ciclo Hidrológico

A água é encontrada em nosso planeta nos estados físicos: sólido, gasoso e líquido. O ciclo hidrológico é o fluxo de água nos vários estados físicos através dos ambientes terrestres. Os reservatórios de armazenamento são as águas subterrâneas e superficiais, as geleiras, oceanos e atmosfera. As trocas entre os diferentes estados envolvem a evaporação e transpiração da superfície terrestre, condensação para formar nuvens e precipitação gerando escoamento. Cada processo desse apresenta um tempo de residência diferente. Esse ciclo global e seus componentes estão ilustrados através da FIGURA 2.2.

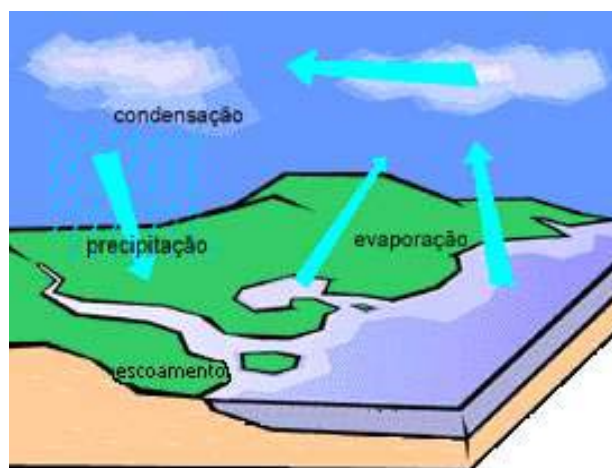


FIGURA 2.1 – Ciclo hidrológico global.

FONTE: [www.educacional.com.br/banco\\_imagens](http://www.educacional.com.br/banco_imagens)

Entretanto, quando uma bacia hidrográfica é considerada, os componentes do ciclo hidrológico são mais complexos.

A água evaporada nos oceanos chega até o continente em forma de vapor precipitando sobre a superfície atingindo primeiramente o divisor de águas responsável pelo escoamento que forma lagos e rios ou evapora. Essa água pode se infiltrar no solo – alimentando os aquíferos e os lençóis subterrâneos – e retornar ao fluxo fluvial através das descargas, ou se armazenar no dossel e raízes das plantas retornando para atmosfera através da transpiração que associada à evaporação da água retida na superfície vai receber o nome de evapotranspiração (Pinto-Coelho, 2000). Na FIGURA 2.3 é representado o ciclo hidrológico “longo” que ocorre nas bacias.

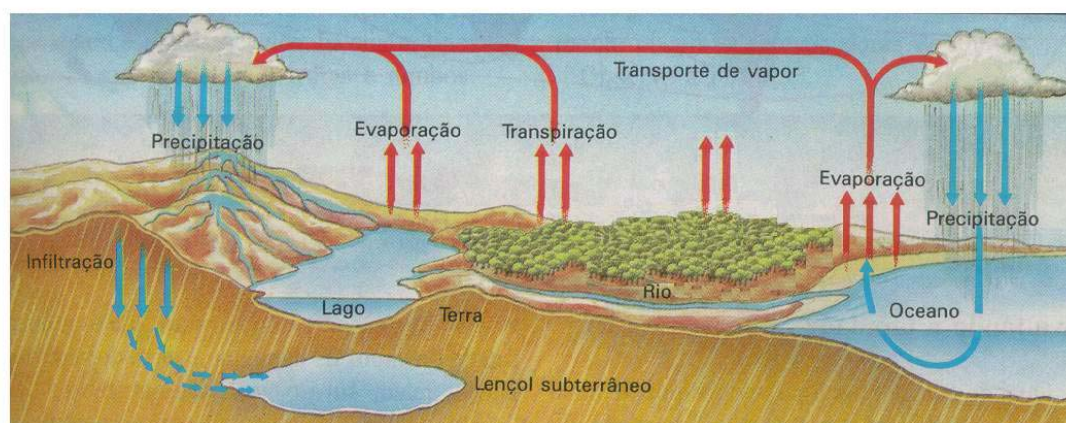


FIGURA 2.2 – Ciclo hidrológico longo.

FONTE: Coelho (1997. p. 431).

Resumidamente uma bacia hidrográfica recebe energia através de agentes climáticos e perde através do deflúvio.

O estudo do ciclo hidrológico em florestas conta com componentes importantes para dinamizar a paisagem. Um deles são as matas ciliares ou zonas ripárias, que acompanham o curso dos rios. Essas áreas têm a função de reter os nutrientes conseguidos graças à rugosidade proporcionada por elas, criando também micro *habitats* favoráveis a alguns organismos aquáticos; atuar como atenuadoras da

radiação solar, o que proporciona um maior equilíbrio térmico da água; e aumentar a produção primária do ecossistema lótico. Essas áreas são dinâmicas e a sua extensão varia de acordo com a sazonalidade das chuvas. São caracterizadas como áreas variáveis de afluência já que as contrações e expansões que sofrem não ocorrem em um lugar definido. No prolongamento das chuvas, estas áreas se expandem, pois participam também do escoamento direto, juntamente com as áreas caracterizadas por solos rasos de baixa infiltração e as concavidades do terreno por onde convergem as linhas de fluxo. A vegetação ciliar contribui também para o aumento da capacidade de armazenamento da água nas zonas ripárias, aumentando a vazão na estação seca e mantendo assim o escoamento. Nessas regiões as raízes estabilizam as margens e abastecem os rios com matéria orgânica que atua como fonte nutricional para a biota aquática. Os limites da zona ripária são as planícies de inundação, porém são considerados os fatores temporais como a ocorrência de cheias anuais, até enchentes decenais e seculares.

Toda água que é escoada das bacias através do deflúvio tem de retornar para dar continuidade ao ciclo hidrológico. Ao *locus* onde esses processos ocorrem dá-se o nome de zonas preferenciais de recarga. A água retorna através da precipitação que escoar por riachos – fluxo fluvial – imediatos ao divisor de água e seguem por inúmeras vertentes até alcançar os rios, lagos, lençóis freáticos e aquíferos, seja por meios de escoamento superficial, sub-superficial, por infiltração no solo ou percolação nos sistemas de fraturas (Lima & Zakia, 2000).

### **2.3 Ciclo do Nitrogênio**

O nitrogênio atmosférico é um gás estável encontrado sob a forma de  $N_2$ . Sua conversão em compostos reativos é denominada fixação do nitrogênio e é realizada por plantas leguminosas, algas marinhas e certas bactérias denominadas fixadoras. Desse processo – fixação do nitrogênio – resulta a amônia ( $NH_3$ ) que é oxidada por essas bactérias, e transformada em nitritos, que são liberados do solo e por conseqüência oxidados pelas plantas, na formação dos nitratos. A esse processo dá-se o nome de nitrificação. Quando há ausência de oxigênio, outro grupo de bactérias –

as denitrificantes – oxida os compostos orgânicos, utilizando o nitrato para produzir energia. Nesse processo, o nitrato é transformado em nitrogênio molecular que retorna para atmosfera. Em suma os gases de nitrogênio atmosféricos são transformados, nos ecossistemas aquáticos e terrestres, em  $\text{NO}_3^-$ ,  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_2$  retornando depois à atmosfera em sua forma principal, o gás  $\text{N}_2$ .

O homem também interfere no ciclo do nitrogênio, inserindo no ambiente, quantidades anômalas desse gás, desequilibrando o ciclo. As principais formas de conversão de  $\text{N}_2$  em seus compostos químicos, realizadas nos processos antrópicos, se dão através da produção de fertilizantes nas indústrias e pela queima de combustíveis fósseis e de biomassa (Linhares & Gewandszajder, 2000). Na FIGURA 2.5 é apresentado o ciclo global do nitrogênio.

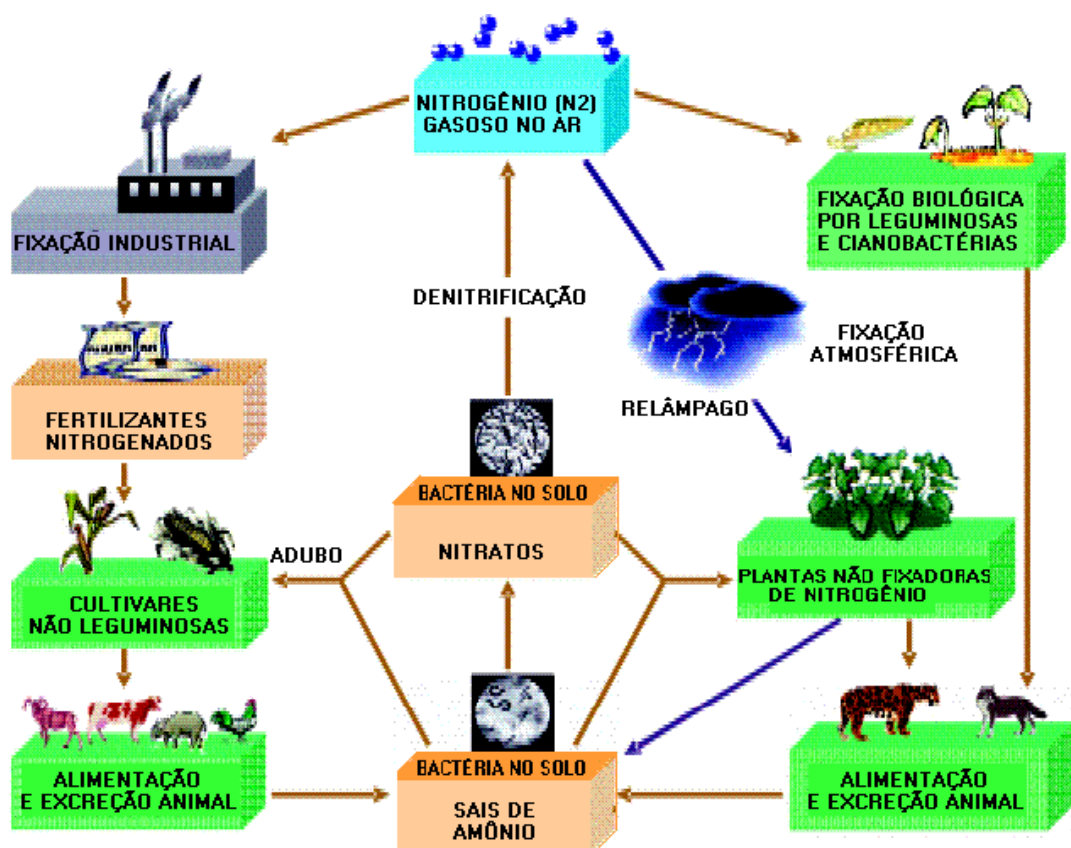


FIGURA 2.3 – Ciclo global do nitrogênio.

FONTE: Minatti (2003, p. 34).



## 2.4 Ciclo do Enxofre

O enxofre é encontrado no solo em combinações de sais de sulfato, sulfetos e minérios. Seu ciclo compreende algumas etapas básicas: As plantas absorvem do solo compostos contendo enxofre, além dos sulfatos. Na produção de aminoácidos das plantas o hidrogênio substitui o oxigênio na composição dos sulfatos. Sintetizado pelas plantas o enxofre será absorvido pelos seres vivos através da alimentação. Quando esses seres vivos morrem, microorganismos decompõem os aminoácidos que contém enxofre nos restos de animais e plantas, originando assim o sulfíto de hidrogênio. Então certas bactérias e microorganismos extraem o enxofre desse sulfíto e nesse processo, quando combinam o enxofre absorvido com o oxigênio produzido, dão origem aos sulfatos originais no solo.

Interferem na ciclagem do enxofre processos geoquímicos e meteorológicos tais como a erosão, sedimentação, lixiviação, precipitação, adsorção-desorção e processos biológicos como a produção e decomposição, fazendo com que o ar, a água e o solo sejam interdependentes na regulação do ciclo em nível global (Odum, 1988).

O ciclo do enxofre sofre também intervenção antrópica, sendo afetado pela poluição atmosférica industrial. A queima de combustíveis fósseis aumentou a concentração dos óxidos de enxofre na atmosfera ( $\text{SO}_2$ ) que são tóxicos ao metabolismo terrestre. Esse  $\text{SO}_2$  interage com o vapor d'água presente na atmosfera, produzindo gotinhas de ácido sulfúrico diluído ( $\text{H}_2\text{SO}_4$ ) que precipitam sobre a terra em forma de chuva ácida (Odum, 1988).

Na FIGURA 2.4 é representado o ciclo global do enxofre.

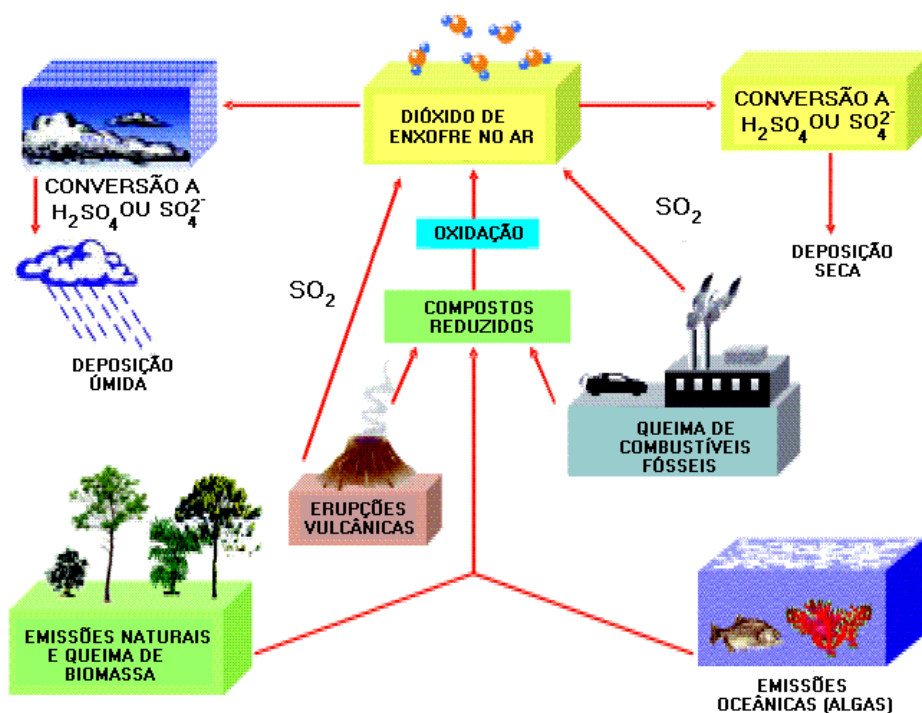


FIGURA 2.4 – Ciclo global do enxofre.

FONTE: Minatti (2003, p. 37).

## 2.5 Os elementos Minerais

As plantas necessitam em sua nutrição de uma grande variedade de elementos químicos, os quais são provenientes dos minerais ou do processo de mineralização das plantas (Larcher, 2000). Esses minerais são compostos inorgânicos encontrados na natureza e entram na composição das plantas. Quando de origem geológica, chegam ao solo por meio da dissociação das rochas; quando de origem aquática marinha, entram na composição do SiMa (crosta rica em  $\text{Si}^{4+}$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , de composição gabro-basáltica, como a crosta oceânica e a base da crosta continental) e chegam até a crosta por meio da evaporação-precipitação; e nos rios através dos detritos transportados. O sódio ( $\text{Na}^+$ ) é encontrado em grandes quantidades nas águas marinhas e supre as necessidades mineralógicas das plantas aquáticas, e é através da evaporação das águas marinhas, que ele chega até o continente, participando da composição das plantas terrestres. Elementos como o magnésio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) encontrado em maior abundância na água dos mares, e o potássio ( $\text{K}^+$ ) proveniente das rochas

vulcânicas terrestres e marinhas, também são constituintes das plantas sob a forma de fertilizantes naturais. O cálcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) além de ser encontrado nos mares, também está presente nas cavernas de calcário e no solo, tendo papel fundamental na composição dos vegetais. A absorção desses e de outros minerais coordena o crescimento em termos de acumulação de biomassa vegetal. A assimilação do carbono torna disponível o material no qual os minerais são incorporados. A comunidade vegetal cumpre então um importante papel na ciclagem das substâncias minerais, pois, retira essas substâncias das profundezas do solo pelas raízes, mantendo-as acima do nível dos solos no corpo das plantas e, finalmente, retorna ao solo através da decomposição (Larcher, 2000).

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo serão resumidamente descritas a área onde os estudos foram realizados, as técnicas de medidas de alguns parâmetros, os protocolos de coleta das amostras e as técnicas analíticas empregadas para as dosagens das diferentes espécies químicas.

#### 3.1 Área de estudo

Os estudos foram realizados na região da Serra do Navio, localizada no planalto residual do Amapá, recoberta por vegetação de floresta equatorial densa, que se encontra na zona equatorial com limites balizados pelas coordenadas 1°LS e 4°LS e 50°LW e 51°LW. A bacia escolhida foi a do igarapé Pedra Preta, no vale do rio Amaparí, que compreende 164 ha, ficando a montante da cidade de Serra do Navio. O relevo varia de 320 m no divisor de águas e 80 m na foz do rio em relação ao nível do mar. Os solos são muito evoluídos, equilibrando-se as condições de alta precipitação, essa responsável pela espessa cobertura vegetal que garante a produção de grandes quantidades de ácidos orgânicos. Esses ácidos reagem com a formação geológica rica em manganésíferos provenientes das rochas. O intemperismo constante vai atingir as espécies químicas do solo e das rochas numa profundidade superior a 100 m (Forti & Melfi, 1998).

#### 3.2 Medidas de precipitação e vazão

Através de uma estação meteorológica da marca “Campbell” as precipitações foram medidas computando a quantidade de água precipitada por unidade de área horizontal – medida pela altura da água, caso essa se mantivesse sem escoar, infiltrar ou evaporar – mensurando a duração da precipitação – intervalos de tempo entre o início e o término da chuva – medindo a intensidade – velocidade medida em mm/minuto ou mm/hora, ou ainda litro/segundo/hectare – e calculando a frequência – número de ocorrência de chuva em um período fixado de tempo. Essas medições

passam por dificuldades provenientes da perturbação eólica, a subjetividade dos locais de amostragem, a abrangência e a quantidade de coletores por área estudada, a heterogeneidade das precipitações e a utilização de mão-de-obra não qualificada (Garcez,1967).

As vazões são determinadas a partir da medição do volume de água acumulado em um tempo determinado. Existem as medições diretas pelo nível da água (vertedores), onde um vertedor construído no leito do rio permite a determinação das vazões a partir unicamente da cota da lâmina vertente. Aqui foram utilizados dois vertedores construídos na bacia. Também são utilizadas as calhas medidoras a céu aberto que através de um ressalto hidráulico (criação de um regime torrencial de escoamento) a uma altura crítica necessariamente formada, determina a vazão através da cota do nível d'água no trecho de escoamento fluvial (Garcez, 1967).

O deflúvio foi estabelecido através dos cálculos das vazões mensuradas através de dois vertedores construídos na bacia hidrográfica. Um na parte natural de aproximadamente 34 ha de floresta sem sinal de alteração e outro na foz do rio de topografia alterada devido à construção de estradas, bota-fora (local designado à deposição da massa mineral desinteressante à atividade mineradora) e lagoas de decantação.

### **3.3 Coleta das amostras**

Foram feitas coletas semanais no período entre junho de 1993 e junho de 1997. Essas coletas foram esporadicamente interrompidas por problemas logísticos.

Na TABELA 3.1 são apresentados os diferentes tipos de amostragens e os períodos em que ocorreram.

TABELA 3.1 - Períodos de coletas dos diferentes tipos de amostras e parâmetros utilizados nos trabalhos

Tipo de Amostra/Dados	Serra do Navio
Dados Hidrometeorológicos	Julho 96 - Junho 97
Água de Chuva	Julho 93 - Junho 94; Junho 95 - Junho 97
Transprecipitação	Julho 93-Junho 94; Junho 95-Junho 97
Águas de Rio	Julho 93 - Junho 94; Junho 95 - Junho 97

FONTE: Forti & Melfi, 1998.

As coletas de água de chuva foram efetuadas com de dois tipos de equipamentos: um do tipo “wet-only” que tem um sensor que aciona um mecanismo de abertura a cada início de precipitação, evitando a deposição de partículas no recipiente de coleta, e outro do tipo “bulk” exposto em todo o período, recebendo partículas depositadas por gravidade.

Para as coletas de transprecipitação foram utilizados 50 coletores do tipo “bulk” instalados na área de floresta seguindo dois esquemas: 20 coletores foram fixados em linhas perpendiculares às curvas de nível, separados por uma distância de 5m; os outros 30 coletores mudavam de lugar semanalmente seguindo um sorteio aleatório, que designava o posicionamento desses coletores em uma malha de 300 pontos separados por uma distância de 5m entre si.

### 3.4 Preparação das amostras coletadas

As soluções foram filtradas em filtros de membrana de 0,2 µm separando a fração solúvel, prevenindo a solubilização do material em suspensão e eliminando os microorganismos nunca maiores que essa medida. As concentrações das espécies químicas dependem do total de precipitação durante o período amostral, por isso os valores médios das concentrações foram obtidos através das médias ponderadas utilizando-se a altura pluviométrica como peso estatístico.

Das amostras filtradas foram separadas 2 alíquotas com cerca de 30 ml de volume. Uma alíquota foi acidificada com 1% em volume a  $\text{pH} < 2$  com  $\text{HNO}_3$  supra-puro. Para análise dos metais e outros foi armazenado em frascos de polietileno de alta densidade sem preservantes para análise dos ânions. Todas as amostras foram armazenadas em geladeiras a  $4^\circ \text{C}$  depois de preservadas (Forti & Melfi, 1998).

### **3.5 As análises químicas**

Coletadas as amostras aquosas, o pH foi medido dentro de 24h, utilizando um eletrodo combinado de vidro Ag/AgCl e medidor de bancada com sensibilidade de 0,001 Volt. Foi utilizado um condutivímetro de campo a fim de medir a condutividade das amostras. Os íons maiores foram dosados utilizando-se a técnica da cromatografia líquida de íons com um equipamento DIONEX DX500 do laboratório do NUPEGEL/IAG-USP. Para os cátions foi utilizado ácido metanosulfônico como eluente e uma coluna separadora CS12. Para os ânions, coluna separadora AS4A e carbonato/bicarbonato de sódio como eluente. Para ânions foi utilizado um detentor eletroquímico.

A precisão das análises foi em média sempre melhor do que 90%, dependendo da faixa de concentração das amostras, da configuração do sistema e do elemento analisado (Forti & Melfi, 1998).

### **3.6 Tratamento de dados**

Os dados apresentados foram separados mensalmente para efetuar cálculos de médias ponderadas utilizando como peso estatístico as precipitações e o deflúvio previamente calculados. Concluída essa etapa, os dados foram agrupados em períodos chuvoso e seco, para permitir comparar os efeitos de sazonalidade. Os gráficos das figuras 4.1, 4.2, 4.3, 4.4 e 4.5, têm no eixo “y” as concentrações das diferentes espécies químicas em  $\text{mg.L}^{-1}$ . Nesses gráficos são apresentados os valores das médias das concentrações para as estações chuvosa e seca, considerando todo o período amostral para as espécies químicas estudadas nas águas de chuva, transprecipitação e do riacho.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Aqui serão descritos os resultados principais do estudo apresentando-se as médias sazonais para o período total de amostragem, bem como a comparação entre os valores médios totais obtidos para as águas de chuva, transprecipitação e águas do igarapé em sua porção montante (PN) e na foz (PF).

#### 4.1 Precipitação

Na FIGURA 4.1 são apresentadas as médias totais de concentração das espécies químicas nos períodos chuvoso e seco das águas de chuva.

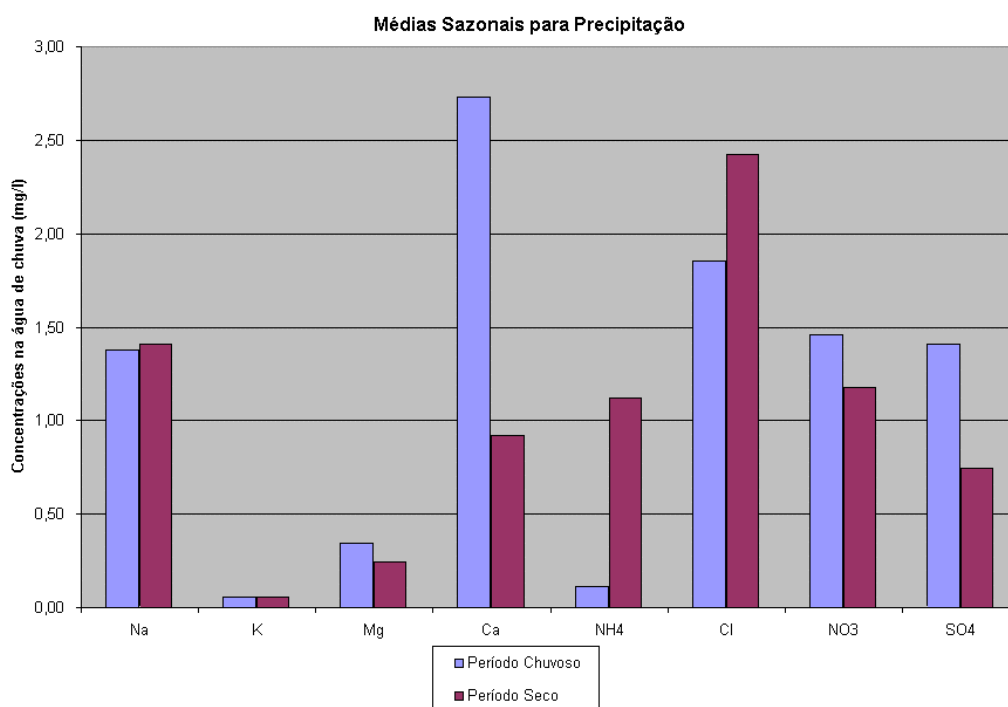


FIGURA 4.1 – Médias sazonais totais para precipitação.

Verifica-se que para algumas espécies como o  $\text{Na}^+$  e  $\text{K}^+$ , a diferença apresentada entre os dois períodos é insignificante. Para  $\text{Mg}^{2+}$  obteve-se uma diferença de 30,5% a mais de concentração no período chuvoso. Para  $\text{Ca}^{2+}$  a diferença é 66,3% maior no



período chuvoso. No caso de  $\text{NH}_4^+$ , a concentração verificada no período chuvoso foi aproximadamente dez vezes menor que no período seco. Para  $\text{Cl}^-$ , verificou-se uma concentração 30,8% menor no período chuvoso. Já para  $\text{NO}_3^-$  e  $\text{SO}_4^{2-}$ , a diferença na concentração de 19,7% e 47,1% maiores no período chuvoso. As concentrações maiores apresentadas no período seco são explicadas pela maior diluição dessas espécies no período chuvoso, uma vez que há mais água precipitando no sistema.

## 4.2 Transprecipitação

Na FIGURA 4.2 apresentam-se os valores das médias sazonais totais das concentrações para as águas de transprecipitação.

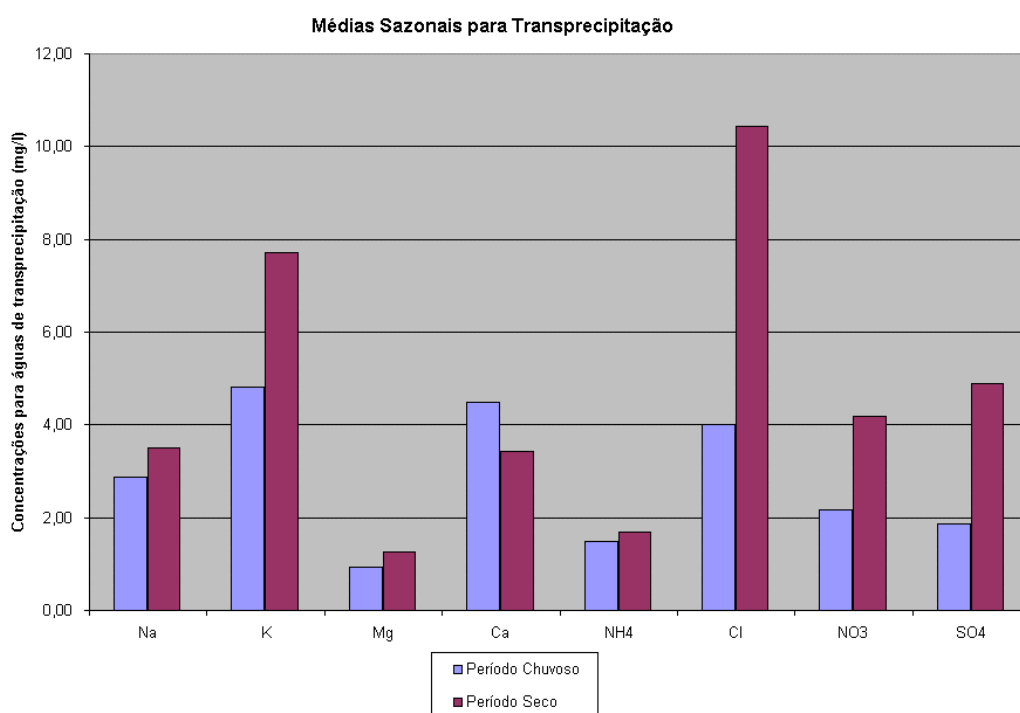


FIGURA 4.2 – Médias sazonais totais para transprecipitação.

Nota-se que para  $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$  e  $\text{Mg}^{2+}$ , as concentrações são maiores no período seco em 22,3%, 59,8% e 35,7% respectivamente. Para  $\text{Ca}^{2+}$ , essa diferença é 23,9% maior, porém para o período chuvoso. No caso de  $\text{NH}_4^+$ , a diferença entre as concentrações é pequena, cerca de 13,8% maior no período seco. Para  $\text{Cl}^-$ , a concentração

apresentada no período chuvoso é pouco menos de duas vezes menor que no período seco. Para  $\text{NO}_3^-$  a concentração é 92,6% maior no período seco e para  $\text{SO}_4^{2-}$  a diferença nas concentrações foi cerca de duas vezes maior no período seco. Assim, verifica-se que todos os ânions apresentaram concentrações maiores no período seco.

Comparando os totais de concentração nas águas de transprecipitação com as águas de chuva, nota-se que a quantidade dessas é maior (e isso para todas as espécies químicas) nas águas de transprecipitação. Isso porque quando ocorre a precipitação ela interage com o dossel das plantas, lavando a vegetação e incorporando as espécies químicas depositadas sobre ela. No entanto, nem só a lavagem é responsável pelas diferenças nas concentrações. O processo de lixiviação – remoção de espécies químicas presentes no tecido vegetal e que são facilmente solúveis – também é responsável pelo enriquecimento das concentrações, assim como a absorção de algumas espécies químicas pelas plantas altera os valores apresentados. Na FIGURA 4.3 são apresentadas as médias sazonais totais para a transprecipitação líquida, ou seja, o resultado da subtração das concentrações das águas de transprecipitação menos as concentrações das águas de chuva.

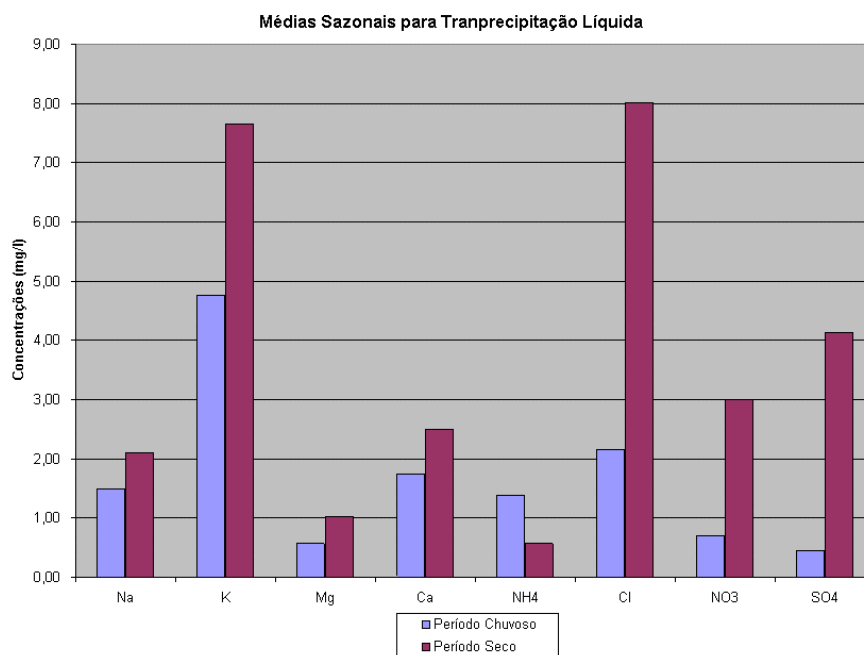


FIGURA 4.3 – Médias sazonais totais para transprecipitação líquida.

Considerando-se esses valores apresentados nas águas de transprecipitação líquida, nota-se que as concentrações de  $\text{Na}^+$  são 49,9% menores no período chuvoso. Para  $\text{K}^+$  a diferença é de 60,4% menor no período chuvoso. Para  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$ , as concentrações são 75,1% e 42,3% respectivamente menores no período chuvoso.

Somente para  $\text{NH}_4^+$  é que foram observadas diferenças maiores para o período chuvoso, cerca de 58%.

No caso de  $\text{Cl}^-$ , a concentração apresentada foi cerca de aproximadamente três vezes menores no período chuvoso. Para  $\text{NO}_3^-$  essa diferença foi três vezes menor no período chuvoso. Para  $\text{SO}_4^{2-}$  foi verificada uma concentração oito vezes menor no período chuvoso.

Todos os ânions apresentaram concentrações maiores no período seco.

Os valores apresentados evidenciam o total de enriquecimento das espécies químicas nas águas de transprecipitação em relação as águas de chuva.

### **4.3 Águas do igarapé**

Aqui serão apresentados os valores para as águas do igarapé, que foram divididos em dois grupos onde o primeiro exibe as médias sazonais totais para a parte montante da bacia e o segundo, as médias para a parte jusante, ou seja, a foz do riacho.

Na FIGURA 4.4 são apresentados os valores médios totais para a parte natural do riacho nos períodos chuvoso e seco.

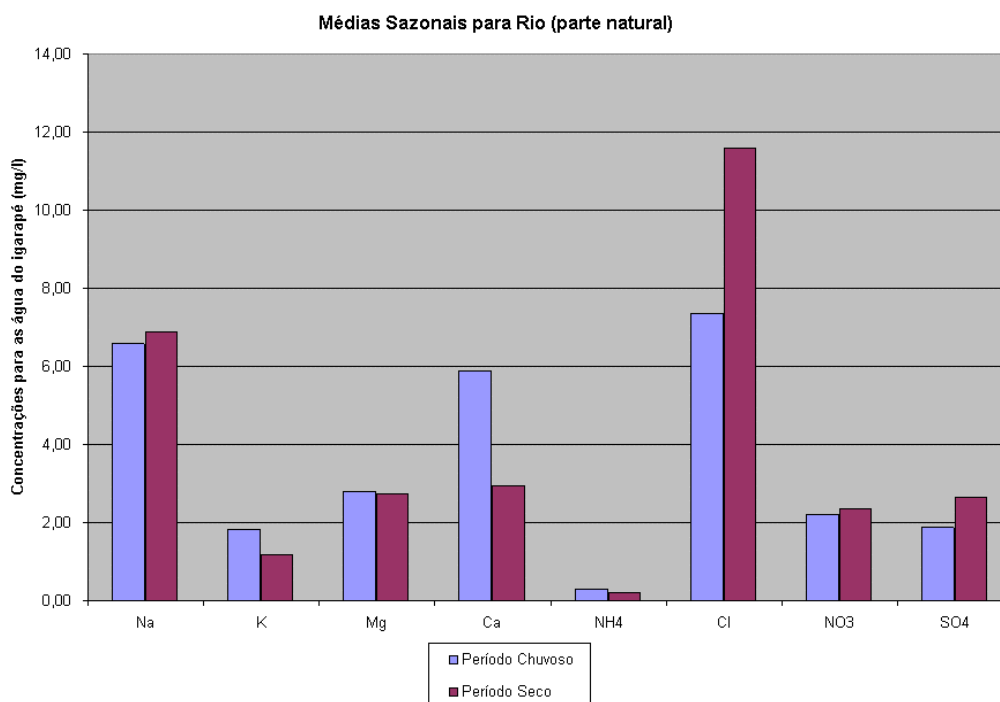


FIGURA 4.4 – Médias sazonais totais para as águas do riacho (parte natural).

Para  $\text{Na}^+$ , a diferença é 4,6% menor no período seco, comportamento diferente daquele verificado para as concentrações de  $\text{K}^+$ , 46% maiores no período chuvoso. A diferença entre os dois períodos para  $\text{Mg}^{2+}$  pode ser considerada desprezível, já que representam menos de 3%. Nos casos de  $\text{Ca}^{2+}$  e  $\text{NH}_4^+$ , as diferenças são maiores para o período chuvoso, apresentando respectivamente, 51,1% e 26,7%.

No caso de  $\text{Cl}^-$  as concentrações foram 42,2% menores no período chuvoso. Para o  $\text{NO}_3^-$  verifica-se uma pequena diferença entre as concentrações que é 7,4% menor no período chuvoso. Já para o  $\text{SO}_4^{2-}$ , 41,6% representam essa variação.

Para os ânions, essas diferenças sempre foram maiores no período seco.

Na FIGURA 4.5 são apresentados os valores médios das concentrações das espécies químicas para as amostras obtidas na foz do riacho, local que sofreu alterações antrópicas.

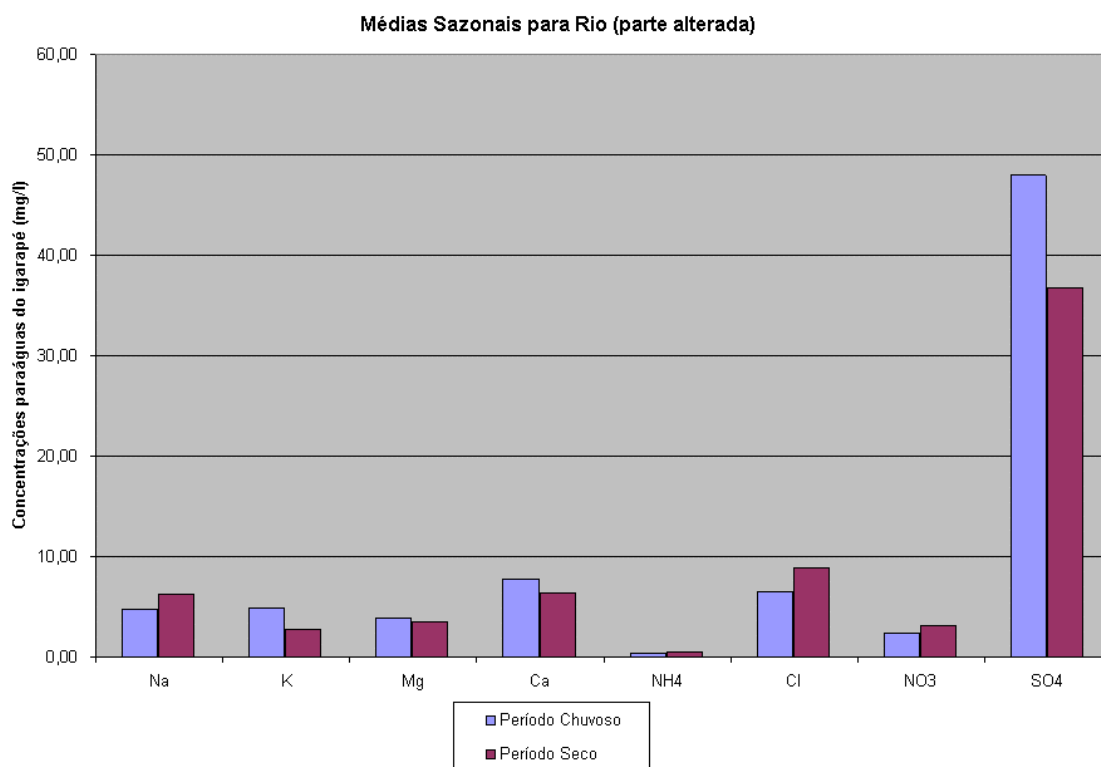


FIGURA 4.5 – Médias sazonais totais para as águas da foz do riacho (parte alterada).

Para os cátions,  $\text{Na}^+$  apresentou diferença com maior concentração no período seco. Essa diferença é de 30,1%. Para  $\text{K}^+$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  e  $\text{Ca}^{2+}$  as diferenças foram maiores no período chuvoso, apresentando 43,3% para o primeiro, 8,6% para o segundo e 17,3% para o terceiro. Já  $\text{NH}_4^+$  apresentou uma diferença 59,5% menor no período chuvoso. Os ânions  $\text{Cl}^-$  e  $\text{NO}_3^-$  apresentam uma variação de respectivamente 36,7% e 35,6% menor no período chuvoso. Todos os ânions apresentaram concentrações menores no período chuvoso.

Comparando os valores das concentrações apresentados nas FIGURAS 4.4 e 4.5, verifica-se que na foz do riacho as concentrações são maiores do que na parte natural. Esses valores são apresentados na TABELA 4.1, onde para tal foi efetuado um cálculo de fator de enriquecimento, onde o total de concentrações de PF foi subtraído do total de concentrações de PN. Os valores conseguidos foram aí divididos pelo total de concentração de PF e assim determinando o fator de enriquecimento.

TABELA 4.1: Valores médios ( $\text{mg.L}^{-1}$ ) para o período chuvoso (C) e seco (S) para as águas da foz (PF), da parte natural (PN) e fator de enriquecimento (FE).

Espécie química	C-PN ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	S-PN ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	C-PF ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	S-PF ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	C-FE ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	S-FE ( $\text{mg.L}^{-1}$ )
$\text{Na}^+$	6,58	6,88	4,77	6,21	-0,38	-0,11
$\text{K}^+$	1,82	1,17	4,91	2,79	0,63	0,58
$\text{Mg}^{2+}$	2,79	2,74	3,85	3,52	0,27	0,22
$\text{Ca}^{2+}$	5,89	2,94	7,77	6,43	0,24	0,54
$\text{NH}_4^+$	0,31	0,21	0,32	0,51	0,05	0,58
$\text{Cl}^-$	7,35	11,60	6,45	8,82	-0,14	-0,32
$\text{NO}_3^-$	2,20	2,37	2,35	3,19	0,06	0,26
$\text{SO}_4^{2-}$	1,87	2,65	47,96	36,73	0,96	0,93

Na foz as concentrações são em geral maiores devido à presença de atividade mineradora, responsável pelo desequilíbrio no ciclo das espécies químicas tratadas. A existência de um bota-fora e a presença de solo nu na região da foz tornaram o local vulnerável às erosões, o que justifica o enriquecimento das espécies químicas nas águas da foz. O  $\text{Na}^+$  e o  $\text{Cl}^-$  não sofrem esse tipo de processo por terem como origem principal a atmosfera e não os solos e a vegetação da bacia.

## **CAPÍTULO 5**

### **CONCLUSÃO**

Com base nos resultados apresentados conclui-se que, na comparação entre os períodos seco e chuvoso, em geral as estações secas apresentam concentrações mais elevadas que as estações chuvosas, isso porque a diluição das espécies químicas é maior no período chuvoso.

Comparando os totais de concentrações apresentados nas águas de chuva e de transprecipitação, as concentrações de todas as espécies químicas são maiores na transprecipitação, resultado da interação da chuva com o dossel das plantas.

As concentrações observadas nas águas do igarapé apresentam um enriquecimento nas concentrações na parte jusante da bacia, exceto para  $\text{Na}^+$  e  $\text{Cl}^-$ . Esse enriquecimento é atribuído a atividade mineradora, responsável pela existência de um bota-fora e pelo desmatamento, ambos na região da foz, que induzem uma aceleração nos processos erosivos.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alligood, K. T.; Sauer, T. D.; Yorke, J. A. **Chaos**: an introduction to dynamical systems. New York: Springer Verlag, 1996. 602 p.
- Branco, S. M. **Água**: origem, uso e preservação. São Paulo: Moderna, 2002. 96 p.
- Coelho, M. A. **Geografia geral** - O espaço natural e sócio-econômico. São Paulo: Moderna. 1997. 431 p.
- Fearnside, P. M. **Deforestation in Brazilian Amazon**: the effect of population and land tenure. *Ambio* 22(8): 537-545. 1993
- Forti, M. C. & Melfi A. J. **Estudo dos ciclos de mercúrio no ecossistema da floresta amazônica**: avaliação do impacto da mineração de ouro com utilização de mercúrio. Relatório Final. PADCT/CIAMB – CNPq No. 620375/92.2. 1998. 204 p.
- Forti, M. C.; Melfi, A. J.; Astolfo, R.; Fostier, A-H. **Rainfall chemistry composition in two ecosystems in the northeastern Brazilian Amazon (Amapá State)**. *Journal of Geophysical Research*, 105 D23: 28895-28905. 2000.
- Garcez, L. N. **Hidrologia**. São Paulo: Ed. Edgard Blucher Ltda. 1974. 291 p.
- Guimarães, J. R. D.; Malm, O; Meili, M.; **Proceedings of the 5<sup>th</sup> international conference on Hg as global pollutant**. Rio de Janeiro, Brazil, 1999.
- Larcher, W. **Ecofisiologia vegetal**. São Carlos: Rima, 2000. 531 p.
- Lima, W.P. & M.J.B. Zakia. **Hidrologia de matas ciliares**. In: *Matas Ciliares - Conservação e Recuperação*. Rodrigues & Leitão Filho (Eds.). EDUSP/FAPESP. 2000. 33-44 p.
- Linhares, S. & Gewandsznajder, F. **Biologia hoje**. Volume III. São Paulo: Ática, 2000. 420 p.



Martins, C. R.; Pereira, P. A. P.; Lopes, W. A.; Andrade, J. B. **Ciclo globais de carbono, nitrogênio e enxofre**. Cadernos Temáticos de Química Nova na Escola. No 5. Belo Horizonte: UFMG, 2003. 28-41 p.

Minati, E. **Água, o líquido vital**. Revista Eletrônica do Departamento de Química. Ano IV. No 20. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina. 2002.

Odum, E. P. **Ecologia**. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1988. 446 p.

Pinto-Coelho, R.M. **Fundamentos em ecologia**. Porto Alegre (RS): Soc. Ed. Artes Médicas - ARTMED, 2000. 252 p.