UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA NO NORDESTE DA **AMAZÔNIA**

ROSANA ASTOLFO

Orientadora: Profª Drª Maria Cristina Forti

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

COMISSÃO JULGADORA

Nome

Assinatura

Presidente:

Prof^a Dr^a Maria Cristina Forti

Examinadores: Prof. Dr. Adolpho José Melfi

Prof. Dr. Carlos Clemente Cerri

SÃO PAULO 2000

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

INFLUÊNCIA DA COBERTURA VEGETAL NA COMPOSIÇÃO QUÍMICA DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO EM UMA PEQUENA BACIA HIDROGRÁFICA NO NORDESTE DA AMAZÔNIA

Rosana Astolfo

Orientador: Dra Maria Cristina Forti

BIBLIOTECA STATES

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Programa de Pós-Graduação em Geoquímica dos Processos Exógenos

DEDALUS - Acervo - IGC

30900004364

São Paulo 2000

AGRADECIMENTOS

Várias pessoas colaboraram direta e indiretamente nesta etapa, muito importante, em minha vida profissional e, portanto, quero expressar meus sinceros agradecimentos. Às pessoas e instituições que participaram mais diretamente deste trabalho, os meus especiais agradecimentos. São elas:

- Dra. Maria Cristina Forti, minha orientadora, por tudo o que me ensinou, por estar sempre disposta a me ouvir e ajudar nos momentos de maior dificuldade e por ter sempre me incentivado e acreditado em meu trabalho.
 - Dr. Adolpho José Melfi (IAG/NUPEGEL-USP) por ter me dado esta oportunidade.
- Dra. Nádia Regina do Nascimento (UNESP-Rio Claro) pelas idéias e discussões que muito me ajudaram.
- Dra. Anne-Hélène Fostier (Instituto de Química-UNICAMP) por ter cedido as amostras de referências e pelas discussões valiosas em relação à metodologia analítica.
- Profa Maria da Graça Mendes Abreu e Profa Maria Fernanda Mendes Abreu pelas correções de linguagem e técnica, respectivamente.
- Dra. Maria Luiza Melchert de Carvalho e Silva pela orientação na preparação das amostras para as análises aos Raios X.
- Instituto Regional de desenvolvimento do Amapá (IRDA) representado pelo Dr. Fernando G. Santos e pelo Dr. Ortiz, pelo total apoio aos trabalhos de campo.
- Sr. Nacélio Maciel Pinto (IRDA) por seu suporte permanente durante os trabalhos de campo e no laboratório de Serra do Navio.
- Sr.Benedito Lelis de Melo e Sra Lucimara Vianna da Seção de Desenho e Produção Gráfica IAG/USP, pelo suporte dado nas ilustrações deste trabalho.
 - Dr. Paulo Roberto Amorim, pelo suporte dado na implementação do projeto.

ÍNDICE

	Página
ABSTRACT	VII
RESUMO	IX
1 - INTRODUÇÃO	01
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
2.1 - Microbacias Hidrográficas	05
2.2 - Estudos de Larga Escala	11
3 - MEIO FÍSICO	14
3.1 - Bacia Hidrográfica do Igarapé Pedra Preta	17
4 - MATERIAIS E MÉTODOS	20
4.1 - Coleta da Amostras	23
4.2 - Estimativa do Balanço Hidrológico	23
4.3 - Preparação e Preservação das Amostras	25
4.3.1 - Preparação dos Extratos Aquosos do Material em Suspensão.	25
4.3.2 - Preparação das Amostras para Análise Mineralógica	26
4.4 - Medidas dos Parâmetros Físico-Químicos	27
4.5 - Dosagem das Espécies Químicas	27

4.6 - Análise Estatística dos Dados	30
5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES	32
5.1 - Mineralogia dos Sedimentos em Suspensão	32
5.2 - Concentração dos Sedimentos em Suspensão nas Águas do	34
Igarapé Pedra Preta.	
5.2.1 - Concentração dos Sedimentos em Suspensão de PN	34
5.2.2 - Concentração dos Sedimentos em Suspensão de PF	35
5.3 - Composição Química dos Sedimentos em Suspensão	37
5.3.1 - Área da Sub-bacia Hidrográfica Natural - PN	37
5.3.2 - Área da Foz da Bacia Hidrográfica - PF	41
5.4 - Comparação entre a Área Natural e a Área Degradada	45
da Bacia Hidrográfica	
6 - CONCLUSÃO	53
7 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	55

ÍNDICE DE FIGURAS	página
Figura 3.1 - Mapa do Estado do Amapá	14
Figura 4.1 - Saída da área de drenagem da sub-bacia hidrográfica com floresta natural que representa a área não perturbada, codificada como PN	20
Figura 4.2 - Foz da bacia hidrográfica que inclui a área desmatada codificada como PF.	21
Figura 4.3 - Interface da sub-bacia hidrográfica natural (PN) com foz da bacia hidrográfica (PF) do igarapé Pedra Preta	21
Figura 4.4 - Mapa topográfico do igarapé Pedra Preta com distribuição da cobertura vegetal e dos pontos de coleta	22
Figura 5.1 - Difratograma referente aos sedimentos em suspensão da sub- bacia hidrográfica natural - PN	33
Figura 5.2 - Difratograma referente aos sedimentos em suspensão da sub- bacia hidrográfica natural - PF	33
Figura 5.3 - Médias mensais dos sedimentos em suspensão (mg.L ⁻¹) e vazão média mensal (mm), referentes ao período total em PN	34
Figura 5.4 - Médias mensais dos sedimentos em suspensão (mg.L ⁻¹) e vazão média mensal (mm), referentes ao período total em PF	36
Figura 5.5a - Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão referentes à área natural - PN	38
Figura 5.5b - Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão referentes à área natural - PN	39

Figura 5.6a - Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão referentes à área natural - PF	42
Figura 5.6b - Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão referentes à área natural - PF	43
Figura 5.7 - Resultados do teste de hipótese referentes ao período total	47
Figura 5.8 - Resultados do teste de hipótese referentes ao período seco	48
Figura 5.9 - Resultados do teste de hipótese referentes ao período chuvoso	49

	•
Tabela 2.1 - Produção dos solutos maiores em t.km ⁻² .ano ⁻¹ em bacias hidrográficas com alta declividade na Malásia Peninsular (Lai,1992)	10
Tabela 4.1 - Balanço hidrológico, em mm, estimado através do cálculo da evapotranspiração (ET), para os diferentes períodos considerados (PN: saída da área da sub-bacia hidrográfica natural e PF: foz da bacia hidrográfica)	25
Tabela 4.2 - Íons analisados e suas respectivas técnicas analíticas empregadas	28
Tabela 4.3 - Resultados analíticos para as amostras de referência e para o padrão usado no laboratório IH-UK	29
Tabela 5.1 - Carga em suspensão em kg/ha e os resultados estatísticos referentes aos períodos total, seco e chuvoso, em PN	35
Tabela 5.2 - Carga em suspensão em kg/ha e os resultados estatísticos referentes aos períodos total, seco e chuvoso, em PF	36
Tabela 5.3 - Resultados estatísticos de cada espécie química - PN	38
Tabela 5.4 - Matriz de correlação mostrando o coeficiente de Spearman e (nível de significância) para a área natural do igarapé Pedra	40

- (nivel de significancia) para a area natural do igarape Pedra

 Preta PN

 Cabala 5 5 Amélica do fatavas em matação requimem perforante de 41
- Tabela 5.5 Análise de fatores em rotação varimax referente às 41 concentrações dos sedimentos em suspensão de origem da sub-bacia natural PN
- Tabela 5.6 Resultados estatísticos de cada espécie química PF 42

- Tabela 5.7 Matriz de correlação mostrando o coeficiente de Spearman e 44 (nível de significância) para a área natural do igarapé Pedra Preta PF
- Tabela 5.8 Análise de fatores em rotação varimax referente às 45 concentrações dos sedimentos em suspensão de origem da sub-bacia natural PF
- Tabela 5.9 Saídas das diferentes espécies químicas, em kg.ha, referentes 51
 aos períodos estudados. SL espécies químicas em solução;
 SS espécies químicas em suspensão; PN -sub-bacia
 hidrográfica natural e PF foz da bacia hidrográfica

ABSTRACT

The objective of this research was to study the influence of the partial alteration upon the suspended sediments chemical composition in the stream water of a small catchment. The small catchment, with an area of 164 ha, is located at the northeastern Amazonia, in the Amapá State (00°55'29.2" N; 51°59'32.6" W), Brazil. The lower part of the catchment, around 30 ha, was partially altered due to deforestation and manganese mining related activities (road constructions and sterile material deposits).

This research focuses on the comparison between the suspended sediments chemical composition produced in the natural undisturbed area with the one produced in the altered area of the catchment. In order to achieve the goals, weekly stream water suspended sediments samples were collected from the igarapé Pedra Preta, during the periods from JUN/93 - JUN/94 and JUN/95 - JUL/96. These samples were analyzed for Na, K, Mg, Ca, Al, Fe, SiO₂ and Mn elements.

The results showed that due to the alteration the total load suspended matter in disturbed area was around 10 times higher, then the outcome load from the natural undisturbed area. Concerning the suspended sediments ionic concentrations mean values, it is observed that they were always higher in the disturbed area compared with the natural undisturbed area.

Statistical analysis done on the suspended sediments ionic concentration data showed that the mean values were statistically different in the two areas. The results of the correlation analysis suggest an inter elements association that could be splited in two groups: Al, Fe, SiO₂ and Mn, associated with clay minerals, to kaolinite group, and to the manganese ores present in the catchment and Na, K, Mg, Ca and SiO₂ associated with the clay and mica minerals of the bedrock existent on the river bed and with the aloctone sterile material deposits. The suspended sediments presented the same mineralogical composition for the two sites, being the principal clay mineral the kaolinite with traces of mica and goethite. In the natural undisturbed area during the wet period the suspended sediments load was 50% of the total exported load while within disturbed area this percentage was around 73% of the total suspended sediment load.

As general conclusion, this study shows that, even if the lower portion of the catchment undergoes a reforestation program to minimize the suspended sediments production, the

chemical weathering will remain. This process occurs due to the presence of the aloctone material within the sterile deposits which promotes a mobilization of the chemical species to the stream water.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi estudar a influência da alteração parcial de uma microbacia hidrográfica na composição química dos sedimentos em suspensão das águas de drenagem. A microbacia, com uma área de 164ha, está localizada no nordeste da Amazônia, no Estado do Amapá (00°55'29,2" N; 51°59'32,6" W). Nessa bacia hidrográfica, cerca de 30ha, na parte jusante, foram desmatados. As alterações, nessa parte da bacia hidrográfica, foram causadas pelas atividades de mineração de manganês em sua vizinhança. Essas alterações foram desmatamento parcial, depósitos de pilhas de rejeitos de minério (bota fora) e construção de estradas para passagem de máquinas e veículos em geral.

Para desenvolver este estudo, efetuou-se a comparação entre a composição química dos sedimentos em suspensão produzidos na área natural da microbacia com os sedimentos em suspensão produzidos na parte degradada da bacia hidrográfica. Para tal, foram coletadas, semanalmente, amostras de sedimentos em suspensão nas águas do igarapé Pedra Preta, nos períodos de Jun/93 a Jun/94 e Jun/95 a Jul/96. Nessas amostras, foram analisados os íons Na⁻, K⁻, Mg²⁺, Ca²⁺, Al³⁺, Fe³⁺, SiO₂, Mn²⁺.

Os resultados mostraram que, devido às alterações, a quantidade de material total em suspensão exportado na foz da bacia hidrográfica foi, em média, cerca de 10 vezes maior em relação à saída na sub-bacia natural. Os valores médios das concentrações dos íons analisados nos sedimentos em suspensão apresentaram-se sempre significativamente maiores na foz da microbacia do que na saída da sub-bacia natural, devido à contribuição da área degradada. Verifica-se, através da análise estatística, que os valores médios das espécies químicas presentes nos sedimentos em suspensão, são significativamente diferentes entre a área natural e a área degradada. Os resultados da análise de correlação indicam que existe uma associação inter elementos, podendo-se dividi-los em dois grupos: Al³+, Fe³+, SiO₂ , Mn²+ , associados às argilas do tipo caulinita e aos minerais de minério presentes na bacia e Na+, K+, Mg²+, Ca²+ e SiO₂ associados às argilas, às micas, aos minerais primários das rochas existentes no leito do rio e ao material alóctone formado pelas pilhas de rejeito de minério. Os sedimentos em suspensão apresentaram a mesma composição mineralógica nos dois locais amostrados, sendo o argilo-

mineral dominante a caulinita, contendo traços de mica e goethita. Na sub-bacia hidrográfica da área natural, o período chuvoso é responsável por cerca de 50% da carga total exportada de sedimentos em suspensão, enquanto, na área desmatada, para esse mesmo período, representa cerca de 73% da carga total exportada.

Estes resultados indicam que, mesmo que ocorra um reflorestamento em PF, induzindo a uma diminuição na produção de sedimentos em suspensão, pode-se concluir que o mesmo não ocorrerá em relação à erosão química. A presença de material alóctone, formando pilhas de rejeito de minério, continuará sofrendo intemperismo químico e, portanto, mobilizando as espécies químicas para a solução.

1 - INTRODUCÃO

O impacto decorrente de atividades humanas na região amazônica, até o início dos anos 70, estava limitado ao uso sustentado pelas populações indígenas e por migrantes que estabeleciam roças através de técnicas antigas de corte e queimadas, para o cultivo próprio. Em tais condições, a erosão do solo era insignificante e o regime das águas, bem como o ciclo de nutrientes não eram afetados significativamente, permitindo um crescimento de florestas secundárias nas áreas abandonadas (Sioli,1984). Recentemente, a industrialização e a urbanização, bem como políticas de ocupação, promoveram o desmatamento em larga escala em várias regiões tropicais, ocasionando sérios desequilíbrios para os ecossistemas tropicais (Bruening and Schimidit-Lorentz, 1985, Fearnside, 1983).

Na região Amazônica, encontram-se grandes reservas minerais, constituídas, principalmente, de depósitos de minérios, combustíveis fósseis e metais preciosos. Esses recursos são explorados tanto por grandes empresas mineradoras como por pequenas mineradoras não regularizadas. Além disso, a extração de madeira e as atividades agrícolas somam-se à mineração, ocasionando sérios impactos ambientais.

O desmatamento tem como consequência imediata a lixiviação dos nutrientes do solo e o aumento na erosão mecânica. Assim, ao se explorar uma reserva mineral, a vegetação e a cobertura do solo são as primeiras camadas a serem removidas, induzindo uma perturbação grave no sistema. Os corpos d'água superficiais são afetados, porque ocorre um grande aumento na carga de material em suspensão com partículas sólidas e com substâncias químicas solúveis de origem tanto da lixiviação acelerada dos solos, como do tratamento dos minérios pelas mineradoras.

O desmatamento em larga escala tem influência no ciclo hidrológico que, por sua vez, pode ocasionar mudanças climáticas. A diminuição de vapor d'água causa mudanças na sazonalidade das chuvas ocasionando estações secas muito mais pronunciadas (Salati e Vose, 1984). Com relação ao regime e à carga de sedimentos nos rios, mudanças no regime pluvial junto com o aumento do escoamento superficial causam alteração no regime dos rios, ocasionando um aumento na carga de sedimentos devido ao aumento da erosão dos solos. Segundo Zink (1986), fatores topográficos e bioclimáticos também exercem papel fundamental na habilidade do sistema em reter sua integridade e ele afirma que, após a remoção da floresta, a

perda dos nutrientes através da erosão mecânica do solo é muito mais rápida do que por lixiviação.

Existe um conhecimento razoável sobre a composição química das águas e das cargas sólidas de rios situados em regiões tropicais. Os rios da Amazônia despertaram a curiosidade de vários cientistas, desde a década de 50, devido às suas cores serem muito variadas (Fittkau, 1971). Nos últimos anos, vários estudos têm sido realizados, focalizando o problema dos sedimentos em suspensão, mas a maior parte desses trabalhos foram desenvolvidos sobre os grandes rios da Amazônia (Gibbs, 1967; Richey et al., 1986; Mortatti et al., 1992).

Existem poucos estudos referentes a pequenas bacias hidrográficas situadas em regiões tropicais (e.g. Reserva Biológica de Chamela em Jalisco, México - Maass et al.,1990; Patiño,1990; Martínez-Yrízan,1980); Região de Gran Sabana, no Sudeste da Venezuela (Galán, 1984); Reserva Florestal da Zona Franca de Manaus, Brasil (Ribeiro et al., 1982). Entretanto, estudos referentes à composição química dos sedimentos em suspensão são mais recentes e restritos.

Este trabalho é parte integrante de um projeto de pesquisa (Melfi, 1998), realizado por um grupo de pesquisadores pertencentes a diferentes instituições de ensino e pesquisa que buscou, 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 esse complexo ecossistema tropical. Os estudos foram desenvolvidos em duas áreas, uma no Município de 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 garimpo, mas parcialmente degradada por trabalhos de mineração de manganês, e outra, no Município de Tartarugalzinho, nitidamente afetada por contaminação de mercúrio proveniente de garimpos (Forti et al., 1997; Guimarães et al., 1999).

Este trabalho foi desenvolvido no Município de Serra do Navio e seu objetivo foi estudar os efeitos da degradação parcial de uma microbacia hidrográfica sobre os sedimentos em suspensão gerados nas suas porções natural e degradada. Para atingir o objetivo proposto efetuou-se a comparação da erosão (química e mecânica), através do estudo da quantidade e composição química dos sedimentos em suspensão presentes nas águas de drenagem de uma pequena bacia hidrográfica, cuja parte a jusante sofreu impactos devido às atividades mineradoras.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sedimentos em suspensão exercem influência sobre a coloração e temperatura das águas, interagindo com compostos orgânicos e íons inorgânicos. A natureza e a carga de material em suspensão são determinadas por fatores como solo, cobertura vegetal, geologia, relevo e área de drenagem da bacia hidrográfica e também pelo clima e fluxo das águas do rio. O uso do solo de uma bacia hidrográfica, incluindo desmatamento, atividades agrícolas, trabalhos de engenharia, também afetam a concentração e a distribuição dos sedimentos em suspensão.

O material particulado em suspensão nas águas naturais é, geralmente, dividido em duas frações: (1) fração inorgânica, constituída de óxidos, hidróxidos e minerais; e (2) macromoléculas orgânicas e colóides orgânicos (Pagenkopf, 1978 apud Semkin et al, 1994). A composição do material inorgânico em suspensão reflete a ação do intemperismo químico sobre os minerais formadores da rocha original, com remoção dos elementos mais solúveis e reprecipitação dos elementos insolúveis em produtos secundários ou conservação dos minerais resistentes ao intemperismo químico. Como conseqüência, o material em suspensão nos rios é, tipicamente, enriquecido em elementos relativamente insolúveis como Al e Fe, e empobrecido em elementos mais móveis como Na e Ca, em relação à composição da rocha original e à carga dissolvida.

Durante os processos de erosão, os elementos são fracionados entre uma fase líquida (intemperismo químico que fornece material dissolvido para os rios), e uma fase sólida residual (removida dos solos por erosão física ou mecânica).

O transporte fluvial dos minerais fornece importantes informações em relação ao ciclo dos elementos na Terra e na contribuição da crosta continental para a sedimentação oceânica. O transporte fluvial é a maior fonte de minerais para o oceano. As fases minerais em suspensão nos rios são sensíveis às mudanças ambientais causadas, tanto por processos naturais, como antropogênicos e podem ser ótimos indicadores de eventos tais como variações climáticas e mudanças no ambiente induzidas pelo homem e suas conseqüências para o meio ambiente.

O crescimento da atividade humana e as obras de engenharia nos vales dos rios afetam diretamente a composição das águas e dos sedimentos, podendo causar sérios danos

ao ambiente. Como exemplo, pode-se citar os casos dos rios Nilo Caurvery e Brahmaputra descritos por Dekov et al., (1997). No caso do Vale do Nilo, a construção da barragem de Assuam e a intensificação das atividades humanas mudaram drasticamente a química e a mineralogia nas águas de deflúvio desse rio.

O Rio Nilo possui grande quantidade de sais dissolvidos, em relação aos maiores rios africanos (Martins e Probst, 1991). Após o fechamento da barragem de Assuam, os sólidos totais dissolvidos aumentaram cerca de 33% e a descarga de sedimentos diminuiu drasticamente. A construção dessa barragem afetou, também, a descarga do Rio Nilo, ocasionando ressuspensão dos sedimentos de fundo, oxidação e precipitação do material dissolvido e das fases supersaturadas. As águas do Lago Nasser tornaram-se enriquecidas em material dissolvido, uma vez que o material em suspensão ficou retido e a evaporação aumentou o conteúdo dissolvido de quase todos os elementos. Além disso, a irrigação intensiva e o clima quente aceleraram o intemperismo químico dos solos, liberando os elementos na forma dissolvida. Com isso, as águas subterrâneas tornaram-se altamente mineralizadas, com níveis de mineralização maiores do que as águas do próprio rio Nilo, alimentando o rio e aumentando assim seu conteúdo em elementos dissolvidos. Nesse caso, a fase dissolvida é o maior processo de transporte para o Ca, K, Sr, Zn, Cu, Ni. O Cr é transportado, principalmente, como particulado enquanto mais de 90% da carga total de Mn e Fe é transportada através do material em suspensão. Quando comparado à média mundial, o material em suspensão no Nilo é empobrecido em todos os elementos, exceto para o Mn. No delta do Nilo, que é a zona de mistura, ocorre floculação das espécies orgânicas e inorgânicas dissolvidas e, consequentemente, a remoção da fase solúvel para o material em suspensão, enriquecendo-o, substancialmente, em metais e matéria orgânica e empobrecendo-o, relativamente, em Al e Si.

O estudo da composição química do material em suspensão e dos sedimentos superficiais e de centro, no rio Cauvery, e dos sedimentos de centro do rio Brahmaputra (Índia), mostrou que o material em suspensão, no Rio Cauvery, é empobrecido em Al e Si e enriquecido em Ca, Mn, Cr, Ni, Zn e Sr relativos à média mundial de material em suspensão. Esse empobrecimento em Al e Si indica que, provavelmente, o constituinte principal do material em suspensão seja matéria orgânica. As altas taxas de intemperismo químico e a intensa atividade humana (irrigação, desmatamento, construção de barragens e reservatórios, descarga de lixo industrial), em toda a bacia do Rio Cauvery, ocasionaram um transporte

desbalanceado dos elementos, principalmente na fase dissolvida. No rio Brahmaputra, os sedimentos de centro mostraram valores aproximadamente constantes para o Al e o Si, devido à presença de aluminossilicatos, ao longo da bacia hidrográfica (Devok et al., 1997).

Em se tratando da geoquímica das águas de drenagem, a maioria dos estudos examina a química dos solutos, enquanto a fase particulada e sua relação com a carga dissolvida não têm sido assunto de muita atenção. Poucos estudos, referindo-se à distribuição dos elementos nas diferentes fases, podem ser encontrados, por exemplo, em Goldstein e Jacobsen, (1988) ou Zhang et al., (1994). Esse tema é abordado tanto em estudos de larga escala (Gibbs, 1967; Dupré et al.,1996), como de pequena escala (Huntington et al.,1996), dependendo dos objetivos propostos. Em geral, os estudos de larga escala têm como objetivo principal a quantificação do volume de sedimentos provenientes de uma determinada bacia hidrográfica (Dekov et al., 1998), alguns procuram determinar os fatores que controlam a composição e a concentração dos sólidos em suspensão (Gibbs, 1967). Com relação aos estudos em pequena escala, os objetivos são, em geral, caracterizar geoquimicamente os sedimentos e os processos fisico-químicos de sua geração. Neste último caso, a abordagem através do monitoramento integrado de pequenas bacias permite, devido à relativa homogeneidade dessas unidades de controle, maximizar o uso direto das medidas hidrológicas, geralmente, mais acurado. Assim, devido às particularidades de cada bacia hidrográfica, a literatura é apresentada separadamente.

2.1 - Microbacias Hidrográficas

Pesquisas integradas em pequenas bacias hidrográficas contribuem para tentar resolver alguns dos principais problemas ambientais das zonas tropicais, fornecendo informações complementares que seriam dificeis de se obter somente através de estudos em bacias hidrográficas de grandes dimensões. Assim, estudos em pequenas bacias hidrográficas fornecem informações básicas essenciais para entender as variações na qualidade das águas e na ciclagem dos elementos em ecossistemas primários, e podem ser usados como referência, para avaliar impactos antropogênicos e práticas de gerenciamento do solo.

A técnica de monitoramento integrado de microbacias hidrográficas é amplamente difundida em várias partes do mundo. Essa abordagem é muito importante para se entender como ecossistemas respondem às variações climáticas e às mudanças no ambiente, induzidas

ou não pelo homem. Em vários países Europeus, redes nacionais de pequenas bacias hidrográficas são usadas como ferramentas para monitoramento ambiental integrado. O Programa Nacional de Monitoramento Ambiental (PMK - monitoramento integrado), na Suécia, engloba 18 bacias hidrográficas (Bernes, 1985) e uma rede similar, GEOMON, na Tcheco-Eslováquia engloba 14 bacias hidrográficas (Moldan and Fottová, 1989).

Os primeiros estudos a utilizarem esse conceito surgiram da necessidade de detalhamentos na compreensão dos processos hidrológicos em florestas e datam de meados do século passado. Em 1867, na Tcheco-Eslováquia, foram estabelecidas duas bacias experimentais no Rio Becua, (Moravia), para examinar a influência da cobertura florestal no escoamento superficial (Nemec et al., 1967 apud Swank and Johnson, 1994). Em 1902, na região de Emmental, na Suíça, foram estabelecidas bacias experimentais para estudar os efeitos do desmatamento e do uso intensivo de terras montanhosas sobre a frequência e intensidade de enchentes, como também no transporte de sedimentos (Keller, 1988 apud Swank and Johnson, 1994). No início do século (1900), nos Estados Unidos, o interesse em relação à erosão do solo, a necessidade no controle das enchentes e a diminuição dos recursos madeireiros levaram ao estabelecimento de reservas florestais (Parques Nacionais), em áreas de domínio público no Oeste, criando-se condições para estudos experimentais nessas áreas. O primeiro experimento em bacia hidrográfica nos Estados Unidos foi iniciado em 1909, para medir a vazão do rio antes e depois da remoção das árvores, em "Wagon Wheel Gap", no Colorado (Bates and Henry, 1928 apud Swank and Johnson, 1994). A necessidade de estudos científicos que permitissem a determinação dos fatores controladores de enchentes e da erosão do solo tornou-se importante, depois da desastrosa enchente de 1927, na bacia do Rio Mississipi.

Muitas controvérsias sobre a influência das florestas, na regulagem das descargas dos rios, levaram ao estabelecimento formal de programas de pesquisas e gerenciamento de bacias hidrográficas pelo "U.S. Department of Agriculture Forest Service". Assim, em 1933, foi implantado um laboratório hidrológico na Bacia Coweeta, na Carolina do Norte, com o objetivo de avaliar o impacto de várias técnicas de uso do solo e de florestas no estoque de água. Medidas climatológicas foram usadas para avaliar manipulações experimentais tais como desmatamento, práticas de agricultura, cortes e conversão de florestas (Douglass and Hoover,1988).

Com relação à qualidade das águas de drenagem, estudos relativos aos ciclos biogeoquímicos dos elementos têm sido desenvolvidos no "Hubbard Brook Experimental Forest" (HBEF), em New Hampshire, Estados Unidos, desde 1963, usando o conceito de microbacias hidrográficas para entender os processos ocorrentes em um ecossistema. Esses estudos mostraram os efeitos das atividades de gerenciamento de florestas na qualidade das águas, onde as características afetadas são a carga de sedimentos, as concentrações dos nutrientes dissolvidos e a temperatura (Swift, 1988; Hornbeck and Federes, 1975; Hornbeck et al., 1986). Estudos feitos em bacias hidrográficas de Plynlimon, (UK), nas chamadas terras altas, com programas intensivos de plantação de coníferas, mostraram que esse tipo de vegetação, juntamente com a poluição atmosférica, tem afetado o meio ambiente. Inicialmente, os pesquisadores acreditavam que reflorestamentos seriam benéficos para os recursos d'água, reduzindo a evaporação (aumentando a produção de água nos reservatórios) e diminuindo a erosão mecânica, mas algumas dúvidas em relação a esse conceito foram levantadas por Law, (1956), e confirmadas na prática por Kirby et al., (1991). Em meados da década de 70, as dúvidas em relação à qualidade dessas águas começaram a despertar interesse dos pesquisadores, levando-se em conta dois aspectos: (i) - o desenvolvimento de plantações e colheitas pode levar à quebra do ciclo biológico dentro do solo, resultando na perda dos nutrientes para o rio e em problemas de eutrofização potencial na qualidade das águas dos reservatórios; e (ii) - nas áreas das terras altas, os solos são pouco espessos e sensíveis à acidificação e, tanto os solos, como as águas dos rios, são suscetíveis à deposição das emissões atmosféricas dos óxidos ácidos gerados pelas indústrias. Como consequência disso, houve uma deterioração na qualidade das águas dos rios devido a acidificação e à geração de espécies de alumínio inorgânico prejudicial ao meio ambiente (Neal, 1997).

Em zonas tropicais, as principais bacias hidrográficas são caracterizadas por suas grandes dimensões, o que torna essa abordagem mais complexa. Entretanto, devido ao rápido aumento da exploração dos recursos hidrológicos e minerais e à acelerada urbanização e industrialização dessas terras, tornou-se necessária a obtenção de informações ambientais básicas. Bacias hidrográficas de todos os tamanhos podem ser encontradas nessa região, formando uma rede hidrológica muito complexa. Geralmente, nas zonas tropicais, as pequenas bacias hidrográficas estão situadas nos vales das cabeceiras dos grandes rios, muitas vezes em áreas montanhosas que, como Gibbs (1967) ressaltou, são importantes fontes de sedimentos em suspensão.

Por exemplo, no Projeto Chamela (Maass et al., 1988), administrado pela "Chamela Biological Reserve", em Jalisco, México, cinco pequenas bacias hidrográficas foram selecionadas, como unidades experimentais, para ajudar a entender a estrutura e funcionamento de floresta tropical decidual. Em pequenos lotes, estão sendo aplicadas diferentes técnicas, tanto para o gerenciamento do uso do solo, como para o controle da erosão. Os resultados não foram ainda totalmente concluídos, mas, até agora, foi observado que os solos são levemente ácidos (pH em torno de 6.5), com baixo conteúdo de matéria orgânica (cerca de 2,5%). As transformações do nitrogênio no solo foram estudadas detalhadamente e os fluxos de óxido nitroso, medidos durante a estação úmida, foram, em média, 0,91 ng.cm⁻².ha⁻¹, enquanto durante a estação seca mostraram-se ausentes. A biomassa viva sobre o solo varia entre 50-85 Mg/ha, enquanto a biomassa viva embaixo do solo é estimada em 30 Mg/ha. Aproximadamente dois terços de todas as raízes encontram-se na camada de 0-20 cm do solo e cerca de um terço de todas as raízes possuem 5 mm de diâmetro.

O conhecimento das respostas do ecossistema aos distúrbios externos é importante para formular modelos e, também, para planejar o seu uso. Esta abordagem foi aplicada na região de Gran Sabana, no sudeste da Venezuela, com clima tropical quente e úmido (Galán, 1984), e uma vegetação gramínea contrastante. Nessa região, observa-se que as florestas estão presentes somente ao longo dos cursos dos rios e em algumas encostas das montanhas (Huber, 1986), sendo o restante coberto por savanas. Para explicar essa distribuição da cobertura florestal, alguns fatores tanto naturais como antropogênicos foram propostos como causa para um hipotético desmatamento (Fölster, 1986; Hernández, 1987). Assim, três pequenas bacias hidrográficas foram selecionadas para testar essas hipóteses e os resultados mostraram a influência do clima (natural) e do fogo (antropogênico) na redução da formação de florestas (Rull,1991). Tanto a seca, como as queimadas contribuíram para a substituição das florestas por savana. As explicações para essas mudanças foram obtidas através de estudos relativos às propriedades hidrológicas e do estado nutricional desses ecossistemas (Fölster, 1986).

Na Malásia peninsular, os efeitos do corte seletivo e conversão do solo, nas cargas de sedimentos e na qualidade das águas dos rios, têm sido investigados desde a década de 60 (Bishop, 1973; Douglas, 1969; Peh,1981). O "Forest Research Institute Malaysia" (FRIM) vem estudando bacias hidrográficas, desde a década de 70. O mais importante experimento foi realizado na bacia hidrográfica de Sungei Tekam (Law et al., 1989), no qual foram examinados os efeitos sobre as propriedades hidrológicas e a qualidade das águas decorrentes da conversão da floresta tropical úmida em plantação de cacau e palmeiras. Ainda na Malásia peninsular, estudos feitos por Lai (1992), em bacias hidrográficas com alta declividade, mostraram que o fluxo de solutos, sob condições naturais, foi de 11,5 t.km⁻² ano enquanto, nas áreas perturbadas pelo corte seletivo, o fluxo foi de 14,9 t.km⁻² ano o um grande aumento nas cargas de sedimentos particulados. O íon K⁺ liberado da área perturbada foi cerca de 1,4 a 2 vezes maior em relação à área natural.

Para exemplificar os efeitos de alterações nas saídas de solutos em microbacias, são mostrados, na tabela 2.1, os valores dos fluxos (t.km⁻².ano⁻¹) dos solutos em bacias hidrográficas com alta declividade natural, em vários estágios de corte seletivo e reflorestamento.

Tabela 2.1 - Produção dos solutos em t.km⁻².ano⁻¹, em bacias hidrográficas com alta declividade na Malásia Peninsular (Lai,1992).

Bacia Hidrográfica	Са	K	Mg	Na	Fe	Al	Si	Total
Sg. Batangsi *	0,143	2,088	0,031	3,192	0,215	0,497	8,750	14,916
Sg. Chongkak, b	1,385	2,910	0,368	4,665	0,635	0,508	17,169	27,640
primeiro período								
Sg. Chongkak, b	1,393	2,208	0,364	4,658	0,428	0,421	13,764	23,235
segundo periodo								
Sg. Lawing '	0,689	1,458	0,170	2,369	0,217	0,130	6,484	11,517
Sg. Lui ^d	0,812	1,083	0,309	1,616	0,335	0,117	4,822	9,094

bacia sofrendo atividade de corte seletivo.

Como mostra a tabela 2.1, nas áreas menos perturbadas, a quantidade de solutos exportados pelas bacias hidrográficas é menor do que nas áreas perturbadas.

Esses resultados mostram que o monitoramento integrado de pequenas bacias hidrográficas, como uma unidade básica, são importantes na análise dos efeitos induzidos pelo homem, na estrutura e no funcionamento das florestas.

Na região Amazônica, o aumento da ocupação humana tem provocado mudanças significativas da cobertura vegetal. Essas mudanças afetam o ciclo dos nutrientes que envolvem um conjunto complexo de mecanismos diretos e indiretos entre solo e vegetação (Coleman et al., 1983; Likens et al., 1977 e Medina, 1984). De acordo com Salati e Vose (1984), o desmatamento contínuo em larga escala nessa região tem como consequência um aumento no escoamento superficial e nas taxas de erosão, a redução da precipitação e da evapotranspiração e os efeitos imediatos dessas mudanças, podem afetar outras regiões. Entretanto, no Brasil, estudos em pequenas bacias hidrográficas são raros e, em geral, de curto período de tempo. Entre eles, podem-se citar os efetuados na Mata Atlântica (Arcova et al., 1998, Cicco et al., 1989) e os do Lago Calado, na Amazônia, por Lesack (1993).

Estudos referentes a microbacias hidrográficas experimentais recobertas por vegetação de Mata Atlântica, do Laboratório de Hidrologia Florestal Walter Emmerish, no

b as atividades de corte seletivo foram cessadas durante o primeiro período e foi reflorestada no segundo período.

é uma bacia hidrográfica natural.

d foi parcialmente afetada pelo corte seletivo há 25 anos atrás e tem uma pequena área com corte seletivo e área agrícola ativos.

município de Cunha, na região leste do Estado de São Paulo, nas encostas da Serra do Mar, mostram que elas apresentam um elevado rendimento hídrico, onde cerca de 70% da precipitação anual, que é da ordem de 2.250 mm, são convertidos em descarga dos rios (Arcova, 1996). Essas microbacias hidrográficas são importantes para o abastecimento das propriedades rurais e inúmeras cidades do Vale do Paraíba e Litoral Norte Paulista. Com relação à qualidade da água, as baixas temperaturas e os elevados níveis de oxigênio dissolvido refletem o clima típico de regiões de elevada altitude, associado às boas condições de proteção das microbacias proporcionadas pela floresta de Mata Atlântica (Arcova et al., 1996).

Na região Amazônica, há estudos referentes à microbacia hidrográfica, feitos na bacia de drenagem do Lago Calado. Esses estudos abordam as características hidrológicas e as saídas dos nutrientes e dos íons maiores, mostrando que as relações entre as concentrações dos solutos e a descarga de água indicam que a quantidade exportada da maioria dos solutos é maior durante os anos mais úmidos do que nos anos normais (Lesack, 1993). Entretanto, nenhum desses estudos aborda os aspectos geoquímicos dos sedimentos em suspensão.

2.2 - Estudos de Larga Escala

Estudos sobre sedimentos em suspensão em bacias de média e larga escalas são abundantes, principalmente, no hemisfério Norte. Após a Revolução Industrial e, mais recentemente, devido à preocupação com a poluição atmosférica e com a necessidade de preservação dos recursos naturais, vários programas foram estabelecidos. Os objetivos desses programas são, além de identificar as fontes poluentes, avaliar a contribuição regional e assim desenvolver técnicas de controle e preservação do ambiente.

Nas regiões tropicais, pode-se citar a bacia do rio Congo, onde Dupré et al., (1996) estudaram os elementos maiores e traços no material carregado pelos rios da Bacia do Congo, a segunda maior bacia hidrográfica do mundo, depois do Amazonas. Nesse trabalho, foi apresentado um estudo da composição química das diferentes fases (carga em suspensão, carga dissolvida e sedimentos de fundo), carregadas pelos principais tributários do rio Congo. A mineralogia das fases particuladas, nos rios dessa bacia, foi estudada por Jouanneau et al., (1990) e por Muller et al., (1994). Os estudos mineralógicos dos sedimentos em suspensão mostraram homogeneidade, com distribuição típica de caolinita

(60%) associada a óxidos-hidróxidos de Fe, illita (15%), esmectita, plagioclásio e quartzo (5%) nas fases cristalizadas e altas proporções de fases amorfas, com uma média de 20% nos diferentes rios. Os sedimentos em suspensão dos tributários do Rio Congo apresentaram características similares. Esse fato induz à idéia de que grandes rios minimizam a diversidade química e litológica em uma bacia de drenagem. As diferenças observadas entre a composição média continental e os sedimentos em suspensão, combinados com as análises das cargas dissolvidas, indicaram um forte empobrecimento de Na, K, Ca, Sr, Ba, Rb e U nos sedimentos em suspensão, em relação à média da crosta superior, sendo complementados pelo enriquecimento desses elementos na fase dissolvida. Tais elementos são mais móveis nos processos de intemperismo, devido às suas altas energias de hidratação (Nesbitt et al., 1980; Cullers, 1988).

Existem vários estudos feitos na região Amazônica referentes à caracterização dos processos erosivos (mecânicos e químicos), através do transporte de material dissolvido e particulado (Richey et al., 1986, Mortatti et al., 1992) e na maioria desses estudos, a caracterização geoquímica é feita, principalmente, para as cargas dissolvidas, enquanto para as cargas sólidas e, mais especificamente, para os sedimentos em suspensão, essa caracterização é incipiente.

Gibbs (1967) foi o pioneiro em estudos sobre a geoquímica das águas do rio Amazonas. Ele estudou os fatores que controlam a salinidade e a composição e concentração dos sólidos em suspensão. As cargas dissolvidas e em suspensão nas águas foram relacionadas à influência de fatores ambientais tais como, geologia, relevo, clima e vegetação. Para determinar os possíveis fatores de controle, foram medidos nove parâmetros ambientais para cada tributário. Os parâmetros medidos foram as porcentagens de rochas cálcicas, rochas ígneas e metamórficas, rochas sedimentares continentais, rochas sedimentares marinhas, a porcentagem de rochas cálcicas na base superior, o relevo médio em metros, a temperatura média, a precipitação média mensal e a porcentagem de vegetação. Desses parâmetros, o relevo mostrou ser o mais significativo no que diz respeito ao controle das quantidades de sais dissolvidos e dos sólidos em suspensão, no tamanho das partículas e nas concentrações dos vários minerais presentes nos sólidos em suspensão. As bacias hidrográficas situadas em ambiente tropical são dominadas por baixos relevos e, portanto, quase toda carga sólida em suspensão erodida é produto dos processos de intemperismo

químico tais como caolinita e gibbsita. Há, também, alta contribuição de cargas dissolvidas em relação à carga total e baixas taxas de erosão por km².

Stallard and Edmond (1983), estudando a influência da geologia e do intemperismo nas cargas dissolvidas na bacia Amazônica, concluíram que o substrato litológico e o regime erosional exercem um controle fundamental na química das águas superficiais dentro de uma bacia hidrográfica. Efeitos secundários, tais como a precipitação dos sais no solo e no leito dos rios, a atividade biológica e as entradas dos sais cíclicos, são mais dificeis de serem diferenciados, especialmente nas amostras mais concentradas.

Mortatti et al. (1992) estudaram as características geoquímicas e hidrológicas das bacias dos rios Jamari e Jiparana, no Estado de Rondônia. Nesse trabalho, foi mostrado que, o rio Jiparana, cuja bacia hidrográfica é mais desmatada do que a bacia hidrográfica do rio Jamari, apresenta concentrações de solutos maiores para todos os elementos analisados, tais como o Ca, Mg, HCO3 e também para os sólidos totais dissolvidos (TDS). Concluíram que a fonte principal do Cl é a precipitação, porque não há evaporitos nessas bacias hidrográficas. Além disso, mostraram que as entradas atmosféricas dos íons maiores e do CO2 representam cerca de metade do total do fluxo de solutos; a origem do bicarbonato, da sílica e do Fe³⁺ é atribuída, basicamente, ao intemperismo das rochas silicáticas existentes nas duas bacias e concluíram que a fonte principal do nitrato são as entradas atmosféricas e a mineralização da matéria orgânica. Observaram ainda que, em relação à média, durante o período estudado. na bacia do rio Jiparana, houve um decréscimo na precipitação anual e no tempo de residência da água da chuva, bem como um aumento no coeficiente de escoamento superficial anual. Essa alteração hidrológica ocasionou um aumento na concentração de sedimentos em suspensão, no escoamento superficial, na taxa de denudação química e no consumo de CO₂ pelo intemperismo das rochas. Com relação aos sedimentos em suspensão, observaram que o argilo-mineral dominante é a caolinita em ambos os rios e que a taxa de erosão química total, calculada após correção das entradas atmosféricas, é maior na bacia do rio Jiparana do que na bacia do rio Jamari.

Deste modo, fica claro que os estudos sobre a geoquímica dos sedimentos em suspensão são importantes para o conhecimento do ambiente, uma vez que são indicadores da "normalidade" dos processos erosivos. Em regiões sob influência antropogênica eles podem transportar quantidades significativas de substâncias deletérias, tanto para os canais de drenagem principais como para as regiões costeiras.

3. MEIO FÍSICO

O Estado do Amapá localiza-se na parte setentrional do Brasil, entre os paralelos 1° LS e 04°14' LS e os meridianos 49°54' e 54°53', a oeste de Grenwich, ocupando uma área de 13.906.800 ha, limitando-se ao norte com o Oceano Atlântico, a sudeste com o estuário do rio Amazonas e a noroeste, fazendo divisa com a Guiana Francesa através do rio Oiapoque e a sudoeste com o Estado do Pará (Folha NA/NB.22 - MACAPÁ Projeto RADAM,1974).

Figura 3.1 - Mapa do Estado do Amapá



Os estudos fisiográficos e climáticos disponíveis para a região do Estado do Amapá são antigos, ressaltando-se os apresentados por Faissol, (1960) e RADAM-BRASIL, (1974). De forma resumida, esses aspectos podem ser descritos como segue. São áreas do Pré-Cambriano, parcialmente trabalhadas pelos agentes erosivos, de feição morfológica dissecada, formando um conjunto de serras, platôs, outeiros e colinas, com altitudes entre 100 e 600 metros. Três maciços, serra Tumucumaque, serra Iratapuru e serra Lombarda, formam os principais divisores de água. O rio Amaparí drenando uma bacia central; o rio Oiapoque e seus tributários da margem direita, em linearidade divergente; os rios Uaçá, Cassiporé, Cunani, Calçoene e Amapá Grande indo diretamente ao mar; os rios Vila Nova, Jari e Paru fluindo em direção ao rio Amazonas. Todos estes constituem os rios mais importantes.

A ocupação urbana mantém as características primitivas do país, com núcleos mais expressivos na faixa litorânea. As exceções estão ligadas às atividades mineiras ou, em certos casos, à fixação nas terras firmes mais afastadas da planície com influência da maré.

Com relação à geologia, a região do Estado do Amapá envolve a parte mais oriental do escudo das Guianas, que representa uma parcela muito antiga da crosta terrestre e que é constituído por uma grande heterogeneidade de rochas metamórficas e ígneas. A ordem estratigráfica das maiores divisões observadas e seus contatos aproximados compreendem, da base para o topo, rochas pré-cambrianas, paleozóicas, terciárias e quaternárias. Vastas regiões dessa área cratônica são formadas por terrenos pré-cambrianos, cujos tectonitos estão orientados na direção NW-SE a WNW-ESE e suas unidades litológicas descritas compreendem xistos, quartzitos, anfibolitos, itabiritos, granulitos, granitos, gnaisses, migmatitos e pegmatitos. Os anfibolitos formam um grupo de rochas característico e muito abundante na região central do Amapá, de cor verde escura e granulação fina, compostos essencialmente de hornblenda e plagioclásio com ou sem quartzo. Em Serra do Navio, formam a base dos xistos portadores dos corpos de minérios de manganês. A unidade basal é o Complexo Guianense, constituído por rochas de origem orto e para metamórficas, produtos de metamorfismo regional. Essas rochas ocorrem circundadas ou circunscrevendo massas de gnaisses, granitos e, às vezes, migmatitos. Ocasionalmente, são cortadas por intrusões graníticas e pegmatíticas. Os gnaisses e os migmatitos são os litotipos mais abundantes no Complexo Guianense, sendo no Amapá representados ao longo da maioria dos cursos d'água que drenam o Complexo.

No rio Amaparí, a faixa de rochas do Complexo Guianense é pequena, sendo a área de exposição restrita à cabeceira e à foz com o rio Araguarí, poucos quilômetros à montante. As

rochas que afloram são gnaisses de composição granodiorítica, às vezes migmatitos, granodioritos e graisens (Nagell et al.,1958).

Devido ao clima favorável, os solos no Estado do Amapá desenvolvem um perfil clássico de laterização em toda a sua extensão territorial. Nos trabalhos efetuados pelo Projeto RADAM -BRASIL (1974), foram identificados 10 diferentes tipos de solos, porém, de maneira simplificada, pode-se dizer que existem dois grandes grupos de solos, os latossolos (amarelo, vermelho-amarelo e vermelho escuro) e os podzólicos, aos quais se associam toda série de solos com hidromorfia pronunciada. Em determinados compartimentos morfológicos do Estado, é nítida a distribuição espacial desses tipos de solos, com os latossolos ocupando as partes mais altas da paisagem e os podzólicos, as partes baixas das vertentes, sendo que, entre esses dois pólos, 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 que o modelado evolui (Lucas, 1997).

A vegetação do Estado do Amapá, segundo Leite et alii, (1974), apresenta três Regiões Ecológicas principais: 1) a das Formações Pioneiras, 2) a do Cerrado e 3) a da Floresta Densa, delimitadas pelos gradientes ecológicos fundamentais (climático, litológico e morfológico). As Formações Pioneiras, que compreendem as áreas Quaternárias da faixa litorânea desde a foz do Oiapoque até o estuário amazônico, são formações vegetais que ainda se encontram em fase de sucessão, com ecossistemas dependentes de fatores ecológicos instáveis. As árvores possuem raizes epígeas, próprias das plantas dos solos pantanosos ou mangues, com um aerênquima muito desenvolvido. O Cerrado, que ocupa uma faixa sedimentar Terciária, de direção norte-sul, é uma classe de formação predominantemente de clima quente úmido, com chuvas torrenciais bem demarcadas pelo período seco e caracterizada, sobretudo, por árvores tortuosas, de folhas raramente deciduais, bem como por formas biológicas adaptadas aos solos deficientes, profundos e aluminizados (Alvim et alii, 1952; Arens, 1963 e Goodland, 1971). A Floresta Densa é uma sub-classe de formação que na Hiléia Amazônica pode ser considerada como sinônimo de Floresta Ombrófila Tropical ou Floresta Tropical Úmida. A floresta densa dos climas úmidos e superúmidos, onde ocorre diminuição de chuvas em certas épocas do ano, caracteriza-se, sobretudo, por suas grandes árvores que emergem de um estrato arbóreo uniforme de 25 a 35 metros de altura. A Região Ecológica da Floresta Densa é a mais extensa das três Regiões.

Em relação ao clima, o Estado do Amapá é uma das poucas unidades da Federação brasileira situada quase que inteiramente ao norte do Equador. Entretanto, o clima de todo o Estado funciona como parte integrante do hemisfério sul, uma vez que está sob ação direta dos sistemas atmosféricos desse hemisfério. Em relação à dinâmica atmosférica, predomina a ação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), formada pela convergência dos alísios dos dois hemisférios e ao longo da qual ocorrem chuvas abundantes e freqüentes. A temperatura é elevada, com médias anuais em torno de 25° e 26°C. A incidência quase vertical dos raios solares, durante todo o ano, determina intenso aquecimento em toda a área do Estado, com temperaturas que variam entre mínimas da ordem de 22°C e máximas de 33°C. O regime de chuvas, ligado predominantemente à ação da ZCIT, apresenta duas estações: a chuvosa, chamada localmente de "inverno", que se estende de janeiro a julho, com máximo, nos meses de abril e maio e a estação seca ou "verão", que compreende o período de julho a dezembro, com máximo, nos meses de setembro e outubro (Faissol, 1966).

3.1- Bacia Hidrográfica do Igarapé Pedra Preta

A bacia hidrográfica do Igarapé Pedra Preta está localizada na região central do Estado do Amapá, no Município de Serra do Navio, balizada pelas coordenadas 0°55"30"N e 52°01"00"W. Esta área é uma das regiões mais acidentadas em relação à suavidade do terreno que predomina em todo o Estado. As cristas das elevações não ultrapassam 360 m e o nível inferior de erosão situa-se ao redor da cota dos 100 m. Essa região é drenada pelos rios Araguarí e Amaparí, sendo o rio Amaparí, o rio que cruza os depósitos de manganês onde as elevações atingem cerca de 90 m. Nessa região, a exploração de minério de manganês foi iniciada no final dos anos 40, com previsão de encerramento das atividades em torno do ano 2000.

A bacia hidrográfica do igarapé Pedra Preta é uma sub-bacia do rio Amaparí e situa-se à montante do Município de Serra do Navio. Essa microbacia, com área de drenagem de 164 ha, apresenta relevo bastante variado, com cotas que variam de 320 m de altitude, no ponto mais alto do divisor de águas, passando por 100 m, na região do lago até 80 m na região da foz. A porção montante da bacia, incluindo as nascentes, tem área de 34 ha, recoberta com floresta do tipo "Terra Firme" primária. 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); e o restante, com cerca de 30 ha, na parte jusante da bacia, apesar de

não conter minério de manganês, foi parcialmente alterado devido às atividades mineradoras, tais como desmatamento, construção de estradas e deposição de material estéril, alterando assim a topografia e parte da cobertura vegetal.

A região drenada pela bacia hidrográfica do igarapé Pedra Preta é constituída por um pacote de metassedimentos (quartzo-biotita-granada, xistos e xistos grafitosos), intrundidos por granitos grosseiros a pegmatoidais. Ao longo dos contatos da intrusão, desenvolvem-se biotita cummingtonita xisto, como resultado de metamorfismo térmico. Ao longo das falhas, normalmente, desenvolvem-se xistos ferruginosos de coloração vermelha a marrom. Rochas para-anfibólicas ocorrem na porção nordeste da área.

Os depósitos manganesíferos de Serra do Navio situam-se dentro do Complexo Cristalino, formando o Escudo das Guianas. Estes depósitos constituíram a principal atividade mineira do Estado do Amapá. As elevações que continham o minério alongavam-se por cerca de 10 km em direção geral N30W, a leste do rio Amaparí, onde as altitudes variavam de 90 a 350 metros no município. As rochas mais representativas que afloram em Serra do Navio são componentes de uma sequência de metassedimentos pré-cambrianos altamente metamorfoseados e são representadas por anfibolito, biotita-granada-xisto, queluzito (gondito), quartzo-anfibóliodiopsídio 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, com ou sem xistosidade visível. O anfibolito, que constitui o Grupo Jornal, é, essencialmente, um plagioclásio-anfibolito e o Grupo Serra do Navio é composto. predominantemente, por xistos, com ou sem intercalações de quartizitos e anfibolito. Esse Grupo ocupa toda a parte Central do Município e possui o quartzo-biotita-granada-xisto como unidade mais importante, sendo esta a rocha portadora dos horizontes manganesíferos. Os horizontes de protominérios, carbonatos e silicatos de manganês de Serra do Navio, constituem uma formação bem definida dentro do Grupo Jornal da Série Amapá. No rio Amaparí, a faixa de rochas do Complexo Guianense é pequena, restringindo-se à cabeceira e à foz com o rio Araguari (RADAM-BRASIL, 1974).

As rochas de Serra do Navio estão submetidas a severas condições de intemperismo, condições estas favorecidas pelo alto índice de precipitação pluvial, clima tropical com alternância anual de estações seca e chuvosa e densa floresta amazônica, que é responsável pela espessa cobertura vegetal, produtora de grandes quantidades de ácidos orgânicos. Nestas condições, os silicatos têm sido alterados para caolinitas e estas para óxidos e hidróxidos de

alumínio e ferro. Os componentes solúveis são removidos em solução aquosa e o quartzo também sofre lixiviação parcial. Somente são relativamente estáveis os óxidos de ferro, manganês e alumínio. A intensidade da decomposição intempérica é grande e, nas elevações, as rochas são totalmente alteradas até profundidades de 70 a 100 m.

Nessa região, afloram blocos decamétricos de crostas ferruginosas endurecidas (lateritas/couraças) de cor vermelho-amarronzada, geralmente com feições porosas alveolares, englobando blocos decamétricos a métricos de minério de manganês oxidado com baixo teor, além de óxido de manganês maciço, quimicamente enriquecido. Muitos blocos lateríticos apresentam, ainda, um recobrimento de cor preta, constituído por óxido-hidróxido de manganês, como resultado da remobilização do manganês na superficie (Soares e Lima, 1994).

O perfil de intemperismo local caracteriza-se por camada de 1 a 3 metros de latossolo amarelo-amarronzado, capeando 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 (Melfi, 1998).

Com relação à vegetação, a área da Serra do Navio é formada, exclusivamente, por Floresta Densa e classifica-se como Sub-Região da Plataforma Residual do Amapá, isto é, são áreas com uma cobertura florestal diversificada quanto ao aspecto fisionômico.

As diversificações fisionômicas são mais vinculadas ao grau de desenvolvimento das árvores do que à dominância de espécies, devido à profundidade do solo (na sua maioria latossolo vermelho-amarelo). Há algumas espécies que caracterizam o ecossistema em função da sua presença e densidade em certas áreas. Nessa região, o ecossistema predominante é classificado como Ecossistema da Floresta Submontana de Árvores Emergentes, com árvores de alto porte e elevado potencial de madeira, apresentando muitas espécies emergentes, caracterizando-se sobre tudo, pela presença constante de angelim-pedra, maçaranduba e maparajuba.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

As amostras de sedimentos em suspensão foram coletadas, semanalmente, no igarapé Pedra Preta, nos períodos de Jun/93 a Jun/94 e Jun/95 a Jul/96, cobrindo assim, dois anos hidrológicos. As coletas foram efetuadas na saída da área de drenagem da subbacia hidrográfica com floresta natural que representa a área não perturbada, codificada como PN (figura 4.1) e na foz da bacia hidrográfica que inclui a área desmatada, codificada como PF (figura 4.2). Na figura 4.3 é mostrada a interface das duas áreas da bacia hidrográfica (PN e PF) e na figura 4.4 é apresentado uma mapa da bacia com a topografia original, a distribuição da cobertura vegetal e os pontos de coletas.

Figura 4.1 - Saída da área de drenagem da sub-bacia hidrográfica com floresta natural que representa a área não perturbada, codificada como PN.



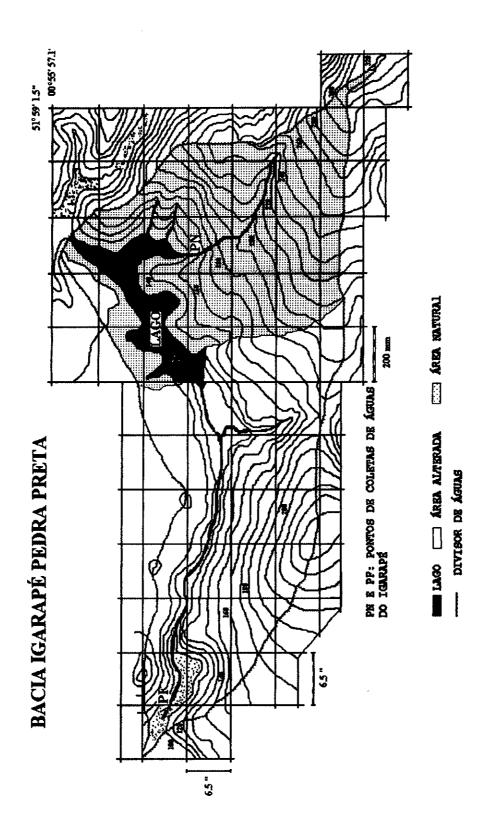
Figura 4.2 - Foz da bacia hidrográfica que inclui a área desmatada, codificada como PF.



Figura 4.3 - Interface da sub-bacia hidrográfica natural (PN) com foz da bacia hidrográfica (PF) do igarapé Pedra Preta



Figura 4.4 - Mapa da bacia hidrográfica do igarapé Pedra Preta com distribuição da cobertura vegetal e dos pontos de coleta.



4.1 Coleta das amostras

Para as coletas dessas amostras, usaram-se garrafas de polietileno com tampas de rosca, com capacidade para 2 litros, previamente descontaminadas com ácido nítrico técnico 10% (HNO₃ - 10%) e enxaguadas com água deionizada. Antes de coletar cada amostra, as garrafas foram enxaguadas, com uma vez o seu volume, com a própria água do rio no ponto da coleta e em seguida, mergulhadas completamente no meio do curso do rio até o enchimento total, sendo tampadas logo em seguida. Após as coletas, essas amostras foram levadas para o laboratório do NUPEGEL/USP, instalado no Município de Serra do Navio, onde foram feitas as medidas dos parâmetros físico-químicos e a separação do sedimento em suspensão da solução. Foram coletadas um total de 184 amostras, sendo 92 em PN e 92 em PF e submetidas a análise química um total de 46 amostras, sendo 23 de PN e 23 de PF, que correspondem a uma amostra mensal.

4.2. - Estimativa do balanço hidrológico.

Para avaliar os processos fisico-químicos atuantes nessa bacia é importante estimar o balanço hidrológico. Para tal, o componente relativo à vazão superficial do balanço hidrológico deve ser calculado a partir de dados hidrometeorológicos.

Entretanto, durante o período de realização deste trabalho, não houve disponibilidade de medidas hidrometeorológicas com equipamentos apropriados. Somente a partir de setembro de 1995, é que foi instalada uma estação meteorológica automática e infra-estruturas para medidas de vazão do igarapé Pedra Preta, tanto na saída da sub-bacia natural (PN) como na saída da bacia (PF). Infelizmente, o equipamento para medidas de vazão, instalado em PN, jamais funcionou a contento, o que impediu o desenvolvimento de um modelo hidrológico que permitisse estimar a vazão nos dois pontos do igarapé Pedra Preta e assim ser aplicado neste trabalho. Devido à falta de equipamentos apropriados, durante a execução do trabalho, foram realizadas, semanalmente, tanto em PN como em PF, medidas manuais dos fluxos de água.

As vazões foram estimadas, utilizando-se uma aproximação. Entretanto, são necessárias algumas considerações a respeito das mesmas. A equação de balanço de água para uma bacia hidrográfica pode ser escrita como:

$$P = ET + R + G + \Delta S \cong ET + Q \tag{1}$$

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, ΔS 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 dificil de se medir.

Claassen & Halm (1996) apresentam um método de estimativa de valores médios de ET, tendo como base a concentração de cloreto nas águas que circulam na bacia. Sendo [Cl_B] e [Cl_P] as concentrações de Cl⁻ na água subterrânea e na chuva, respectivamente, pode-se estimar ET através da relação:

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

Para este estudo os cálculos foram realizados para o período total e também dividindoo entre as estações chuvosa e seca. Os meses incluídos na estação seca foram os de menor
precipitação e os meses da estação chuvosa foram os de maior precipitação. Como a
evapotranspiração foi calculada através das concentrações do cloreto nessas águas e,
considerando-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), os cálculos dos fluxos de espécies químicas através desses locais
podem estar subestimados, representando, em geral, os valores mínimos. Os resultados do
balanço são mostrados na tabela 4.1.

Tabela 4.1 – Balanço hidrológico, em mm, estimado através do cálculo da evapotranspiração (ET), para os diferentes períodos considerados (PN: saída da área da sub-bacia natural e PF: foz da bacia hidrográfica).

Períodos	Precipitação (mm)	ET em PN (mm)	ET em PF (mm)	Vazão PN (mm)	Vazão – PF (mm)
TOTAL	4.369	1.756	1.532	110,0	1.106
SECO	796,0	186,0	131,0	19,56	86,32
CHUVOSO	2.264	1.014	862,0	59,04	809,8

4.3 - Preparação e Preservação das Amostras

Para separar o material em suspensão, foram filtrados 200 mL de cada amostra, utilizando-se um sistema a vácuo. Empregaram-se filtros de celulose com diâmetro de poro de 0,22 µm da marca Millipore, pré-pesados e pré-lavados com 500 mL de água deionizada. A filtragem em 0,22 µm elimina sementes de fungos e bactérias, prevenindo, assim, a decomposição da amostra devido à presença desses organismos. Esse diâmetro de poro permite a retenção de todo o material em suspensão, exceto a fração coloidal. A solução filtrada foi preservada em 3 alíquotas, conforme procedimento recomendado por Appelo e Postma, (1994), e armazenada sob refrigeração (4°C) até o momento da análise.

Os filtros com o material em suspensão foram colocados em caixas plásticas, do tipo Petri, para secarem ao ar, por um período de 72 horas, e, depois de secos, essas caixas foram lacradas e enviadas para São Paulo.

4.3.1 - Preparação dos Extratos Aquosos do Material em Suspensão

A quantidade de material em suspensão foi obtida por método gravimétrico, utilizando-se uma balança analítica da marca Mettler, modelo AT-200. Os filtros foram pesados antes de serem enviados para o campo e, quando voltaram do campo, foram pesados novamente para determinação do material total. Foram separados 2 filtros por mês para serem utilizados neste estudo, sendo 1 utilizado para determinação mineralógica

e o outro para determinação das espécies químicas. Em cada lote de 10 filtros, um foi separado como branco para controle de contaminação. Não foi observado nenhum tipo de contaminação nos brancos.

Os filtros com os sedimentos, a amostra de referência SRM-2704 (NIST,1990) e os brancos, foram, simultaneamente, solubilizados em meio ácido, empregando uma metodologia adaptada de Freydier, (1998). Foi utilizado ácido nítrico (HNO₃ 16 N - PA - Merck) e ácido fluorídrico (HF 48% - PA - CAAL), procedendo-se da seguinte forma:

- a) os filtros com os sedimentos, a amostra de referência e os brancos foram colocados em cadinhos de Teflon com tampa de rosca. Em seguida, foram adicionados 3 mL de HNO₃, e os cadinhos foram tampados e levados à estufa por 15 horas, à temperatura de 90°C;
- b) após essas 15 horas, os cadinhos foram abertos para a adição de 6 mL de HF e retornados à estufa, por mais 15 horas, à temperatura de 90°C;
- c) passadas essas 15 horas, os cadinhos foram abertos novamente e levados a uma chapa aquecedora à temperatura de 70°C, para a evaporação total dos ácidos;
- d) os procedimentos b e c foram repetidos nos casos onde as amostras não atingiram a solubilização total;
- e) atingida a solubilização total, as amostras foram lavadas com 30mL de água deionizada, adicionada aos poucos, para a eliminação dos ácidos;
- f) após a lavagem, as amostras foram recompostas com água deionizada a um volume de 50 mL, em balões volumétricos.

Os extratos aquosos assim obtidos foram armazenados sob refrigeração (4°C), até o momento da análise.

4.3.2 - Preparação das Amostras para Análise Mineralógica

Para a análise mineralógica, o sedimento foi retirado do filtro e transferido para uma lâmina de vidro. O filtro foi colocado em uma placa de Petri, umedecido com água deionizada e, com uma espátula de aço inoxidável, o sedimento foi retirado, cuidadosamente, do filtro por meio de raspagem e depositado na placa de Petri. Esse sedimento, em meio aquoso, foi depositado na lâmina de vidro, através de uma seringa

descartável. A lâmina foi colocada em uma chapa aquecedora, com uma temperatura em torno de 40°C, para acelerar a evaporação da água.

A análise mineralógica foi feita por Difratometria de Raios X, utilizando-se um aparelho da marca Phillips, modelo PW3710 BASED, com tubo de Cu e energia de 40 Kv e 40 mA e monocromador.

4.4 - Medidas dos Parâmetros Físico-Químicos

Em todas as amostras coletadas, foram medidos o pH, a alcalinidade e a condutividade elétrica, no máximo 24 horas após a coleta. Esse cuidado é necessário devido à perda de CO₂, causando mudanças nos valores de pH e de alcalinidade por causa da precipitação de carbonato.

O pH foi medido com um pH-metro de bancada da marca Digimed, modelo DM21, com eletrodo combinado de vidro, com sistema de referência interna Ag/AgCl. Esse eletrodo foi escolhido porque foi considerado o mais indicado para medidas em soluções com baixa atividade iônica. Foram usadas soluções tampão com valores de pH 4,1 e 6,8. A condutividade elétrica foi medida com um condutivimetro de campo marca Digimed, modelo CD-2P, com padrão de condutividade 1,412 mS/cm a 25°C. A alcalinidade foi determinada através de titulação ácida, com H₂SO₄ 10⁻² N, pelo método de Gran (Stumm and Morgan, 1981).

4.5 - Dosagem das Espécies Químicas

As dosagens das espécies químicas foram realizadas nos laboratórios do IAG/NUPEGEL-USP e do CENA-USP. Foram empregadas duas técnicas analíticas para dosagem das espécies químicas. As técnicas analíticas empregadas são apresentadas resumidamente na Tabela 4.2, na qual são mostrados os ions analisados e as técnicas analíticas empregadas para as dosagens dessas espécies nas soluções aquosas.

Tabela 4.2 - Íons analisados e suas respectivas técnicas analíticas empregadas.

ESPÉCIES QUÍMICAS	MÉTODO ANALÍTICO	CONDIÇÕES ANALÍTICAS				
Na*, K*, Mg2+, Ca2+	Cromatografia Iônica de Alta	- Volume Injetado: 100 μL				
	Eficiência (HPIC), Modelo DX500,	- Coluna Analítica: IONPAC CS12				
	Marca Dionex.	- Eluente: Ácido Metanossulfônico (CH ₃ SO ₃ H) 20mM				
		- Fluxo do Eluente: 1mL/min.				
		- Supressora: CSRS-I 4mm				
		- Detetor Eletroquímico Modelo ED - 40.				
Al3+, SiO2, Fe total, Mn2+	ICP-AES, Modelo 976,	•				
	Marca Jarrel- Ash					
	ET-AAS, Modelo 4100ZL,					
	Marca Perkin-Elmer.					

A Cromatografia de Íons de Alta Eficiência (HPIC) tem como princípio básico um processo de troca iônica entre a fase móvel (eluente) e os grupos trocáveis (íons substituídos pelos íons da amostra) que são capturados pela fase estacionária (resina). A estrutura da fase estacionária é à base de poliestireno/divinilbenzeno que é estável em pH de 0 até 14. A copolimerização do estireno com o divinilbenzeno é necessária para dar estabilidade mecânica à resina. As resinas usadas na cromatografia de íons possuem uma carga fixa, associada a um íon de carga contrária, tornando-as eletricamente neutras. A função de troca na cromatografia aniônica é, geralmente, à base de amônio quaternário e, na cromatografia catiônica, é, geralmente, à base de íons sulfonato. Durante o processo cromatográfico, o íon da função de troca é substituído pelo íon da amostra e, por um curto período de tempo, fica ligado à carga fixa da resina. Devido às variações nas afinidades das espécies, estas vão sendo sucessivamente adsorvidas e dessorvidas pela fase estacionária, possibilitando uma separação de vários componentes numa mesma amostra. Em uma coluna aniônica a reação que ocorre é a seguinte:

resina-+NR₃ HCO₃ + A
$$\leftarrow$$
 resina-+NR₃ A + HCO₃ \leftarrow resina-+NR₃ HCO₃ + B \leftarrow resina-+NR₃ B + HCO₃

Neste exemplo, a separação dos ânions será controlada pela diferença de afinidade eletrônica em relação à fase estacionária. O coeficiente de seletividade que caracteriza o processo de troca pode ser definido por:

$$K = [X]_S [HCO_3]_m$$
 onde:
 $[HCO_3]_m [X]_S$

(s).

[X]_{m,S}: concentração do íon da amostra nas fases móvel (m) e estacionária

[HCO₃]_{m,s}: concentração de hidrogeno-carbonato nas fases móvel (m) e estacionária (s).

Para medir a acuracidade das análises, foram usadas amostras de referência TM -26 e TM -28 (NWRI - CANADÁ), padrões do Institute of Hydrology, UK (Robson e Neal, 1997) amostras de sedimento SRM-2704 BUFFALO RIVER SEDIMENT (NIST - USA). Os resultados são mostrados na Tabela 4.3.

Tabela 4.3 - Resultados analíticos para as amostras de referência e para o padrão usado no laboratório IH-UK.

Espécies	TH-UK		TM-26		TM-28		SRM2704	
	Lab. UK	NUPEGEL	Certificado	NUPEGEL	Certificado	NUPEGEL	Certificado	NUPEGEL
	(μΜ)	(μΜ)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(mg/L)	(%)	(%)
Na ⁺	8,7±0,6	9,6±0,3	1,1	1,6±0,1	1,1	1,5±0,1	0,547±0,014	0,620±0,021
K ⁺	5,1±0,3	5,4±0,1	0,3	0,2	0,3	0,2	$2,00\pm 0,04$	2,06±0,05
Mg ²⁺	8,2±0,5	8,4±0,3	1,9	2,0	1,4	1,5	1,20±0,02	1,23± 0,04
Ca ²⁺	10,0± 0,6	10,9± 0,3	9,7	10,0±0,3	6,8	7,2±0,2	$2,60 \pm 0,03$	2,66±0,07

Para calcular a precisão analítica, foram usados os valores obtidos para as medidas de rotina dos padrões. Esses valores foram obtidos com a análise de um padrão a cada 10 amostras. Assim, a partir desses valores, foram determinadas as dispersões em relação aos valores da curva de calibração. Quando essa dispersão ultrapassava 10% do valor real da curva, fazia-se nova curva de calibração. A dispersão média para o Na⁺ foi de 3,33%, para o K⁺ 2,53%, para o Mg²⁺ 2,97%, para o Ca²⁺ 2,78%.

O princípio do "Inductively Coupled Plasma" - (ICP) consiste na geração de um plasma de argônio que é mantido pela interação de um campo de rádio-frequência e o gás argônio ionizado. O ICP atinge temperaturas muito altas, da ordem de 10.000 °K, onde a amostra é submetida a temperaturas que variam entre 5.500 e 8.000 °K. Essas temperaturas permitem a completa atomização dos elementos, minimizando os efeitos de interferência química.

O plasma é formado por uma corrente tangencial de gás argônio, fluindo entre dois tubos de quartzo e ondas de rádio-frequência são aplicadas através de um espiral, formando um campo magnético oscilante. O plasma é gerado, quando o gás argônio é submetido a uma descarga elétrica, produzindo partículas carregadas (elétrons e íons). Dentro do campo magnético induzido, as partículas carregadas são forçadas a fluir em um caminho fechado, em forma de anel. Como essas partículas encontram resistência para percorrer esse caminho, consequentemente, ocorre aquecimento e ionização adicional. Esse processo ocorre quase que instantaneamente e, o plasma expande-se ao máximo. O plasma possui forma circular e a amostra é injetada como um aerossol através do centro do círculo. Essa característica do ICP confina a amostra numa região estreita, produzindo uma fonte de emissão ótica fina e uma atmosfera quimicamente inerte. Isso resulta em uma ampla variação dinâmica e interação química mínima nas análises. O argônio é, também, usado como gás carregador para as amostras.

4.6 - Análise Estatística dos Dados

Neste estudo, a população amostrada consiste em sedimentos em suspensão nas águas do igarapé. Dessa população foi utilizada uma amostra, contendo 23 elementos amostrais, para cada ponto de coleta (PN e PF), onde cada elemento corresponde a um filtro com sedimentos em suspensão. Essa amostra é pequena (menor que 30 elementos), sendo recomendado o uso da estatística descritiva. As estatísticas foram calculadas, utilizando-se o programa STATGRAFHICS PLUS, versão 6.0.

A amostragem efetuada neste trabalho é considerada probabilística, uma vez que não é possível acessar toda a população (sedimentos em suspensão). Assim, por hipótese de trabalho, considera-se que as características da variável de interesse (concentração iônica) é a mesma da população-objeto, o que corresponde a uma amostragem casual

simples, isto é, os elementos da população têm igual probabilidade de pertencer à amostra. Considera-se, também, por hipótese, que a distribuição amostral obedece à distribuição normal.

Esta amostra foi tratada como um todo, isto é, considerando o período total de amostragem e, desse conjunto, foram extraídos dois outros, cobrindo, respectivamente, as estações seca e chuvosa. Para cada conjunto, foram calculados a média ponderada e o desvio padrão. A média ponderada foi calculada através da expressão:

$$MP = \frac{\sum_{i=1}^{N} V_i C_{i,a}}{\sum_{i=1}^{N} V_i}$$

onde, Vi é a vazão correspondente ao elemento amostral i; Ci,a é a concentração da espécie a no sedimento em suspensão ou a concentração em massa do sedimento em suspensão na água do rio e N é o número de elementos amostrais da amostra.

Foi obtida uma amostra oriunda da drenagem da área natural (PN) e outra oriunda da foz da bacia hidrográfica (PF). Para comparar os valores médios das concentrações entre cada um dos locais, empregou-se o teste de hipótese de igualdade entre as médias. Esse teste foi feito com 95% de probabilidade e com 5% de significância, para o período total de amostragem e, com 10% de significância, para os períodos seco e chuvoso. Para examinar as possíveis associações inter elementos, foi efetuada uma análise de correlação por postos, calculando o coeficiente de correlação de Spearman com 5% de significância. Esses coeficientes indicam o grau de concordância (1) ou discordância (-1) entre as diferentes variáveis e são apropriados para amostras pequenas e que não obedeçam, necessariamente, a uma distribuição normal. Além disso, a estrutura da variância dos valores médios foi examinada através da análise de fatores, utilizando-se a rotação varimax. Através desta análise é possível associar fontes da variância em cada fator, isto é, inferir a origem da variância observada na amostra.

5 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

A apresentação deste capítulo é feita em três partes. Na primeira, é apresentada a mineralogia dos sedimentos em suspensão, tanto em PN como em PF. Na segunda, são apresentados, separadamente, os resultados e discussões sobre a composição química dos sedimentos em PN e em PF e, na terceira, é apresentada a comparação entre as duas partes da bacia hidrográfica, discutindo-se a influência da parte degradada na composição e quantidade de sedimentos em suspensão nas águas do igarapé Pedra Preta.

5.1 - Mineralogia dos Sedimentos em Suspensão

Os estudos aos raios-X permitiram determinar a composição mineralógica dos sedimentos em suspensão. A caolinita é o principal mineral presente, encontrando-se associado, em algumas amostras, a quantidades menos importantes de mica (illita) e goethita. Os difratogramas não apresentaram variação significativa nos resultados, durante o período estudado. Nas figuras 5.1 e 5.2 são apresentados, como exemplo, dois difratogramas correspondentes a PN e PF, respectivamente. Este material é oriundo dos solos, uma vez que são constituídos, principalmente, por quartzo, caolinita e goethita, podendo apresentar traços de mica e, também, em alguns níveis, nódulos ou concreções ferruginosas ricas em hematita (Melfi et al., 1998).

Figura 5.1 - Difratograma referente aos sedimentos em suspensão da sub-bacia hidrográfica natural - PN.

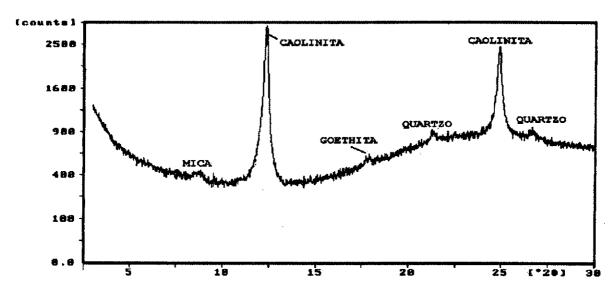
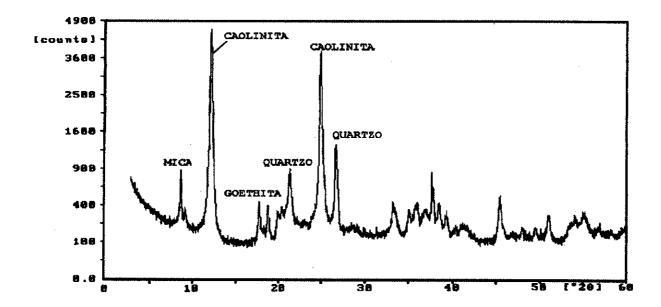


Figura 5.2 - Difratograma referente aos sedimentos em suspensão da foz da bacia hidrográfica - PF.



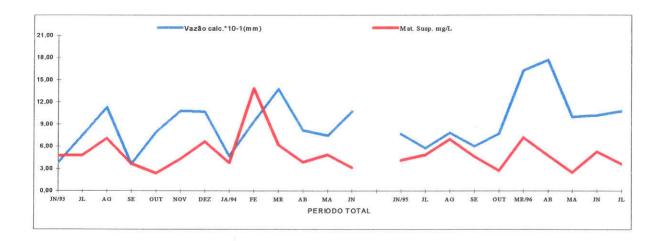
5.2 - Concentração dos Sedimentos em Suspensão nas Águas do Igarapé Pedra Preta

Nesta sessão, são apresentados os resultados referentes às concentrações dos sedimentos em suspensão nas águas do igarapé Pedra Preta de origem tanto da área da sub-bacia hidrográfica natural (PN), como da foz da bacia hidrográfica (PF).

5.2.1 - Sedimentos em Suspensão de PN

A variação temporal dos valores médios das concentrações mensais dos sedimentos em suspensão, nas águas do igarapé e, da vazão mensal, durante o período total coberto por este estudo, é mostrada na figura 5.3.

Figura 5.3 - Médias mensais dos sedimentos em suspensão (mg.L⁻¹) e vazão média mensal (mm), referentes ao período total em PN.



Na Figura 5.3, verifica-se que, em média, a evolução temporal da concentração de sedimentos em suspensão acompanha a da vazão, evidenciando a dependência da produção de sedimento com o deflúvio.

As quantidades de sedimentos exportados dessa parte da bacia foram calculadas a partir da expressão:

$$CSS_T (Kg ha^{-1}) = Q_T (mm) * C_T (mg L^{-1}) * 10^{-2} onde,$$

 CSS_T é a quantidade de sedimento exportado, durante o período de tempo T, Q_T é a vazão em mm (dimensionalmente igual a $L.m^{-2}$), durante o período de tempo T e, C_T é a concentração média de sedimentos em suspensão por unidade de volume de água do igarapé, no período de tempo T.

Tabela 5.1 - Carga em Suspensão em kg/ha e os resultados estatísticos referentes aos períodos total, seco e chuvoso, em PN.

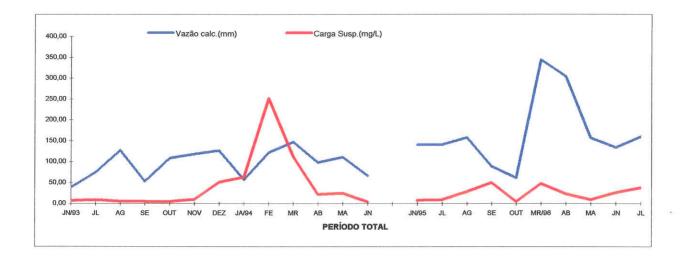
	Período Total	Período Seco	Período Chuvoso
Carga Suspensão (kg/ha)	110	19,6	59,0
Média Ponderada (mg/g)	5,25	3,91	6,11
Média Aritmética (mg/g)	5,05	4,00	6,17
Desvio Padrão (mg/g)	2,38		3,47
Máximo (mg/g)	13,8	4,87	13,8
Minimo (mg/g)	2,38		1 ·
Número de amostras	23	8	8

Estes resultados indicam que a carga total de sedimentos em suspensão transportada durante período chuvoso é 3 vezes maior do que durante o período seco, representando cerca de 50% da carga total de sedimentos em suspensão estimada para o período total. Isto indica que o transporte de sedimentos em suspensão é controlado, principalmente, pelo escoamento superficial.

5.2.2 - Concentração dos Sedimentos em Suspensão em PF

A evolução temporal das concentrações médias do sedimento em suspensão na foz do igarapé Pedra Preta (PF), e a vazão mensal são mostradas na figura 5.4.

Figura 5.4 - Médias mensais dos sedimentos em suspensão (mg.L⁻¹) e vazão média mensal (mm), referentes ao período total em PF.



A figura 5.4 mostra que a produção de sedimentos em suspensão, de jun93 até nov93, sofreu pouca variação em relação à vazão. A partir daí, a produção de sedimentos aumentou, acompanhando o comportamento da vazão. Esse padrão de variação temporal pode ser atribuído à ação de compactação do solo exercida pelo uso de maquinaria pesada, em algumas partes da área, e à deposição de pilhas de rejeito da mineração que aumenta a produção de sedimentos.

Da mesma forma que em PN, foram calculadas as cargas de sedimentos em suspensão exportadas durante o período total e durante as estações chuvosa e seca. Esses resultados juntamente com as estatísticas para as concentrações em massa desses sedimentos nas águas são mostrados na Tabela 5.2.

A tabela 5.2 mostra que a carga total de sedimentos em suspensão transportada durante período chuvoso é 10 vezes maior que o período seco e representa cerca de 73% da carga total de sedimentos em suspensão estimada para o período total. Esse aumento no transporte de sedimentos em suspensão, em relação à área natural, é devido à ausência da vegetação e à presença de alterações na topografia da região da foz da bacia hidrográfica.

5.3 - Composição Química dos Sedimentos em Suspensão

Nesta sessão, são mostrados os resultados e as discussões relativos à composição química dos sedimentos em suspensão produzidos na área natural da sub-bacia (PN) e na área da foz da bacia hidrográfica (PF). Procura-se, aqui, através da análise estatística e do conhecimento geoquímico sobre a área, explicar as variações temporais e a origem das diferentes espécies químicas presentes no sedimento.

5.3.1 - Área natural da bacia - PN

A evolução temporal da composição química, ao longo do período deste estudo, é mostrada nas figuras 5.5a e 5.5b. A partir destes valores, foram calculadas as estatísticas para cada espécie química, para o período total e para as estações chuvosa e seca (Tabela 5.3).

Tabela 5.3 – Resultados das estatísticas de cada espécie química - PN

PERÍODO TOTAL	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Si	Mn
Média Ponderada (mg/g)	11,0	4,30	3,25	9,06	103	59,1	4,92	2,39
Média Aritmética (mg/g)	9,98	4,02	2,98	8,47	92,7	55,9	4,74	2,34
Desvio padrão (mg/g)	5,24	2,36	1,94	4,91	70,03	32,40	2,67	1,43
Máximo (mg/g)	25,8	9,93	10,2	22,0	288	154	10,0	5,80
Mínimo (mg/g)	0,99	0,28	0,38	0,79	5,91	5,40	0,68	0,17
Número de Amostras	23	23	23	23	23	23	23	23
PERÍODO CHUVOSO								
Média Ponderada (mg/g)	14,1	5,39	4,20	10,9	128	71,9	6,35	2,54
Média Aritmética (mg/g)	13,3	4,93	3,82	9,87	117	67,4	6,22	2,31
Desvio padrão (mg/g)	7,30	3,28	3,01	6,57	82,0	43,3	2,98	1,28
Máximo (mg/g)	25,8	9,93	10,2	22,0	288	154	10,0	4,00
Mínimo (mg/g)	0,99	0,28	0,38	0,79	5,91	5,40	0,68	0,17
Número de Amostras	8	8	8	8	8	8	8	8
PERÍODO SECO								
Média Ponderada (mg/g)	7,74	4,36	2,89	9,55	91,9	53,7	4,01	2,43
Média Aritmética (mg/g)	7,87	4,38	2,91	9,29	85,6	54,4	4,29	2,47
Desvio padrão (mg/g)	1,91	1,83	0,94	4,64	73,3	29,6	2,61	1,97
Máximo (mg/g)	10,6	8,53	4,78	19,1	239	108	8,70	5,80
Mínimo (mg/g)	5,69	2,45	1,78	4,70	22,6	26,9	1,36	0,76
Número de Amostras	8	8	8	8	8	8	8	8

Figura 5.5a – Variação temporal da composição química dos sedimento em suspensão em mg.g⁻¹ referentes à área natural - PN.

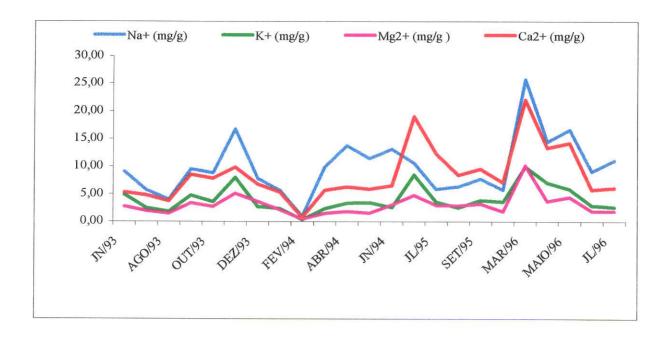
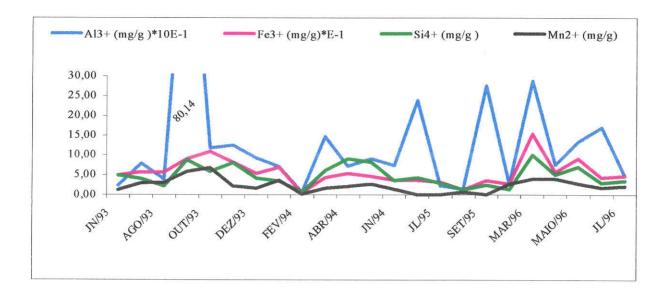


Figura 5.5b – Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão em mg.g⁻¹ (Al e Fe em mgx10⁻¹.g⁻¹) referentes à área natural - PN.



As figuras 5.5a e 5.5b mostram que os valores das concentrações do Al³+ e do Fe³+ são sempre superiores em relação aos outros elementos, apresentando padrão similar aos encontrados nos sedimentos em suspensão em rios tropicais. Segundo Martin and Meybec (1979), o material particulado dos rios tropicais é mais enriquecido em elementos insolúveis (Al e Fe), porque, devido ao intemperismo químico e à dissolução dos elementos mais solúveis (Na e Ca), os solos tornam-se mais enriquecidos em elementos insolúveis, em relação à rocha original. No mês de fevereiro/94, ocorreu uma diminuição nas concentrações em todos os elementos, entretanto, foi nesse mês que observou-se a carga máxima de sedimentos em suspensão. Uma explicação para esse comportamento pode ser atribuída ao fato de que, durante esse mês, os sedimentos produzidos não foram de origem predominantemente inorgânica. Provavelmente deve ter havido contribuição significativa de sedimentos provenientes de matéria orgânica.

A partir dos valores médios mensais das concentrações das espécies químicas, foi calculada a matriz dos coeficientes de Spearman para a correlação por postos com 5% de significância. A matriz de correlação obtida é mostrada na Tabela 5.4 e os valores, em negrito, indicam as espécies químicas com correlação significativa entre si.

Tabela 5.4 - Matriz de correlação, mostrando o Coeficiente de Spearman e (Nível de Significância) para a área natural do igarapé Pedra Preta - PN.

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Si ^{##}	Ma ²⁺
Na ⁺	1,0000 (0,0000)	_	_		-	-	-	-
K ⁺	0,6314 (0,0031)	1,0000 (0,0000)	_	_	-	-		-
Mg ²⁺	0,5543 (0,0093)	0,7796 (0,0003)	1,0000 (0,0000)	_	_	-	_	1-
Ca ³⁺	0,5652 (0,0080)	0,8152 (0,0001)	0,8488 (0,0001)	1,0000	_	-	_	-
Al³4	0,5395 (0,0114)	0,4387 (0,0396)	0,4733 (0,0264)	0,4279 (0,0448)	1,0000 (0,0000)	_		_
Fe ^y	0,4061 (0,0568)	0,3389 (0,1119)	0,3854 (0,0707)	0,1917 (0,3686)	0,3775 (0,0766)	1,0000 (0,0000)	-	_
Si ⁴⁴	0,7796 (0,0003)	0,5405 (0,0112)	0,3864 (0,0700)	0,3508 (0,0999)	0,5366 (0,0118)	0,6917 (0,0012)	1,0000 (0,0000)	-
Mn ²⁺	0,2377 (0,2649)	0,2120 (0,3200)	0,1285 (0,5467)	0,1112 (0,6020)	0,2244 (0,2926)	0,8377 (0,0001)	0,5110 (0,0165)	1,0000 (0,0000)

Os resultados do cálculo da correlação indicam que os elementos K⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺, com coeficientes de correlação altos entre si, devem estar juntos na mesma fase mineral, provavelmente, nos feldspatos. O valor alto de correlação entre o Fe³⁺ e o Mn²⁺ indica que, provavelmente, eles estão nas fases oxi-hidróxido. O Si⁴⁺ apresenta correlação positiva com Na⁺, K⁺, Al³⁺ e Fe³⁺, indicando sua provável associação nas fases minerais dos feldspatos, das micas e da caolinita. O Mn²⁺ apresenta correlação positiva com o Si⁴⁺ podendo estar associado aos minerais de minério de manganês, que são característicos da região.

Utilizou-se a análise de fatores com rotação varimax para analisar a estrutura da variância das concentrações das espécies químicas nesses sedimentos. Essa análise permite obter informações sobre as fontes que produzem a variância. Nessa análise, 2 fatores foram suficientes para explicar 93,5% da variância nas médias. Além disso, a comunalidade apresenta valores altos (> 0,6000) para todas as variáveis, indicando que todas contribuem para os valores de variância. Esses valores são mostrados na tabela 5.5.

Tabela 5.5 - Análise de fatores com rotação varimax referente às concentrações dos sedimentos em suspensão de origem daub-bacia hidrográfica natural PN.

Variável	Fator 1	Fator 2	Comunalidade
SPNNa	0,7720	0,4438	0,7930
SPNK	0,8851	0,2593	0,8507
SPNMg	0,9057	0,2737	0,8953
SPNCa	0,9175	0,0994	0,8517
SPNAI	0,7553	0,1928	0,6077
SPNFe	0,4698	0,8257	0,9026
SPNSi	0,4521	0,6896	0,6800
SPNMn	0,0002	0,8523	0,7264
% Variância	75,6	17,5	

Verifica-se, na tabela 5.5, que o fator 1 explica 75,6% da variância das concentrações, apresentando cargas elevadas para o Na⁺, K⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ e Al³⁺ mostrando que esses elementos têm a mesma origem. Da mesma forma, o fator 2, explicando 17,5% da variância, apresenta cargas elevadas no Fe³⁺, Si⁴⁺ e Mn²⁺. Em função do que foi observado na mineralogia e, do conhecimento sobre os solos dessa sub-bacia, infere-se que o fator 1 pode ser associado às argilas do tipo caolinita e illita presentes nessa área e, o fator 2 pode ser associado aos minerais de minério de manganês.

Esses resultados permitem concluir que, na parte da sub-bacia natural, as fontes das espécies químicas presentes nos sedimentos em suspensão são os argilo-minerais, sendo os minerais de minério uma fonte secundária.

5.3.2 - Área da foz da bacia hidrográfica - PF

A evolução temporal da composição química do sedimento em suspensão que é exportado através da foz da bacia do igarapé Pedra Preta é mostrada nas figuras 5.4a e 5.4b. A partir desses resultados foram calculadas as estatísticas para cada espécie química, referentes aos períodos total, chuvoso e seco. Esses valores são mostrados na Tabela 5.5.

Tabela 5.6 – Resultados das estatísticas de cada espécie química - PF

PERÍODO TOTAL	Na	K	Mg	Ca	Al	Fe	Si	Mn
Média Ponderada (mg/g)	4,90	6,67	1,80	5,33	185	68,0	3,37	7,30
Média Aritmética	4,72	6,58	1,68	5,36	127	67,4	2,55	7,62
Desvio padrão (mg/g)	2,61	3,11	0,77	4,43	159	37,7	2,15	3,87
Máximo (mg/g)	10,6	13,8	3,45	17,0	823	129	9,03	17,2
Mínimo (mg/g)	0,11	0,71	0,09	0,19	7,54	0,53	0,04	0,92
Número de Amostras	23	23	23	23	23	23	23	23
PERÍODO CHUVOSO								
Média Ponderada (mg/g)	5,45	6,00	1,96	4,16	278	69,6	4,84	8,17
Média Aritmética	4,87	5,68	1,70	3,64	189	64,5	3,64	7,90
Desvio padrão (mg/g)	2,93	2,89	0,90	2,09	264	48,7	3,07	3,26
Máximo(mg/g)	8,13	9,94	2,85	5,99	823	127	9,03	12,6
Mínimo(mg/g)	0,11	0.71	0,09	0,19	7,54	0,53	0,04	0,92
Número de Amostras	8	8	8	8	8	8	8	8
PERÍODO SECO								
Média Ponderada (mg/g)	5,15	7,64	1,82	8,57	105	72,0	2,16	6,61
Média Aritmética	5,47	7,46	1,90	8,19	98,5	79,0	2,21	7,87
Desvio padrão (mg/g)	3,07	2,52	0,88	5,47	46,1	27,8	1,44	4,74
Máximo (mg/g)	10,6	12,7	3,45	17,0	186	129	4,21	17,2
Mínimo (mg/g)	2,74	4,32	1,14	2,53	40,0	38,6	0,75	3,33
Número de amostras	8	8	8	8	8	8	8	8

Figura 5.6a – Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão em mg.g⁻¹ referentes à área desmatada - PF.

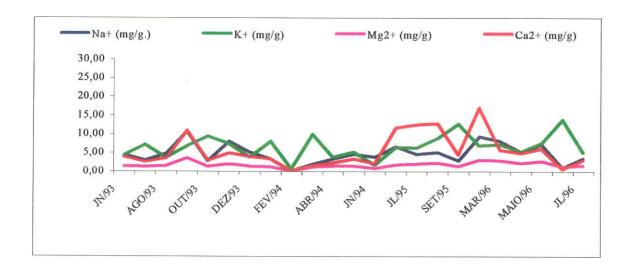
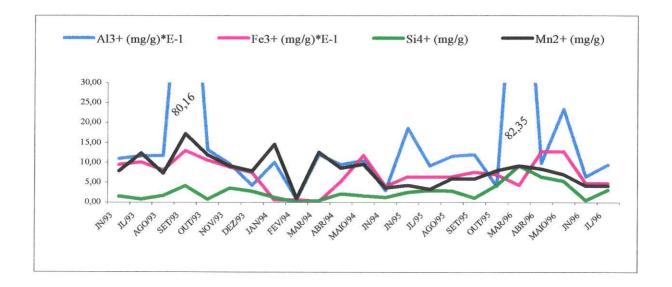


Figura 5.6b – Variação temporal da composição química dos sedimentos em suspensão em mg.g⁻¹ (Al e Fe em mgx10⁻¹.g⁻¹) referentes à área desmatada - PF.



As figuras mostram que as concentrações de Al³⁺, Fe³⁺ e Mn²⁺ aumentaram e as concentrações dos cátions básicos e o Si⁴⁺ diminuíram, em relação à área natural PN.

Com base nos valores das concentrações, foram calculados os coeficientes de Spearman de correlação por postos, ao nível de 5% de significância, seguindo os mesmos critérios, já descritos anteriormente, para os sedimentos em suspensão na área natural. Os resultados obtidos são mostrados na tabela 5.7 e os valores, em negrito, significam que as espécies químicas apresentam boa correlação entre si.

Tabela 5.7 - Matriz de correlação, mostrando o Coeficiente de Spearman e (Nível de Significância) para a área da foz da bacia hidrográfica do igarapé Pedra Preta - PF.

	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Si ⁴⁺	Mn ²⁺
Na ⁺	1,0000 (0,0000)	-	-	_	_	-	_	
K⁺	-0,0939 (0,6597)	1,0000 (0,0000)		_	-	-	_	_
Mg ³⁺	0,8854 (0,0000)	0,0909 (0,6698)	1,0000 (0,0000)		_			_
Ca ²⁺	0,8488 (0,0001)	0,1443 (0,4986)	0,8646 (0,0001)	1,0000 (0,0000)			_	-
Al ³⁺	0,1877 (0,3785)	0,3577 (0,0934)	0,2233 (0,2949)	0,2747 (0,1976)	1,0000 (0,0000)	-	-	-
Fe ³⁺	0,5514 (0,0097)	-0,0909 (0,6698)	0,5257 (0,0137)	0,4881 (0,0220)	0,2451 (0,2504)	1,0000 (0,0000)		-
Si ⁴⁺	0,8960 (0,0000)	-0,0939 (0,6596)	0,9256 (0,0000)	0,7774 (0,0003)	0,1527 (0,4738)	0,4700 (0,0275)	1,0000 (0,0000)	-
Mn ²⁺	0,2757 (0,1960)	0,2016 (0,3444)	0,1858 (0,3836)0	0,0919 (0,6664)	0,3142 (0,1405)	0,3083 (0,1482	0,1833 (0,3898)	1,0000 (0,0000)

A tabela 5.7 mostra que o Si⁴⁺ apresenta coeficientes de correlação altos com as espécies Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, sugerindo que elas estejam concentrados na mesma fase mineral, provavelmente, nos feldspatos, nos piroxênios e anfibólios e nas argilas. Os íons K⁺, Al³⁺ e Mn²⁺ apresentam coeficientes de correlação baixos ou negativos com todos os elementos.

Para analisar a estrutura da variância das concentrações dos sedimentos em suspensão, efetuou-se uma análise de fatores com rotação varimax. Os resultados são mostrados na tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Análise de fatores com rotação varimax referente às concentrações dos sedimentos em suspensão oriundos da foz da bacia hidrográfica PF.

Variável	Fator 1	Fator 2	Fator 3	Comunalidade
SPFNa	0,8798	0,3588	0,0300	0,9037
SPFK	-0,0450	0,0168	0,7146	0,5129
SPFMg	0,8469	0,4183	0,3034	0,9842
SPFCa	0,7626	0,0416	0,0927	0,5919
SPFAI	0,0194	0,8387	0,1394	0,7232
SPFFe	0,6024	0,0310	-0,0153	0,3641
SPFSi	0,5267	0,7998	-0,0706	0,9220
SPFMn	0,2972	0,0981	0,3659	0,2318
% Variância	61,2	15,4	11,8	

A tabela 5.8 mostra que três fatores são suficientes para explicar 88.4% da variância total. O fator 1 explica 61,2% da variância das concentrações e mostra que as cargas estão no Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺, Fe³⁺ e Si⁴⁺, evidenciando que esses íons estão associados entre si. O fator 2 explica 15.4% da variância das concentrações, apresentando cargas elevadas no Al³⁺, Si⁴⁺. O fator 3 explica 11,8% da variância das concentrações, apresentando carga elevada somente no K⁺. O fator 1 pode ser associado tanto às argilas como aos minerais primários provenientes do material alóctone, formando pilhas de rejeito de minério. O fator 2 pode ser associado às argilas tipo caolinita e o fator 3 separa somente o K⁺, sem associá-lo a nenhuma outra espécie. Entretanto, verifica-se que somente o Na⁺, Mg²⁺ e o Si⁴⁺ apresentam comunalidade alta, indicando que essas espécies contribuem mais significativamente para a variância. Assim, os resultados da análise de fatores e da matriz de correlação mostram que, na área degradada, existe uma contribuição difusa para a variância, provavelmente, devido à deposição do materiallóctone.

5.4 - Comparação entre a Área Natural e a Área Degradada da bacia hidrográfica.

Considerando-se o deflúvio, observa-se que, da saída total através de PF, 40% é gerado na área degradada, tanto para o período total como para o período seco; durante o período chuvoso essa contribuição sobe para 46%. É importante ressaltar que a área desmatada da bacia corresponde a 18% da área total e que a alteração do curso d'água ocorreu em 2/3 do comprimento do mesmo. Essa diferença numérica pode ser explicada:

pela ausência da vegetação, que induz à diminuição tanto da infiltração da água da chuva no solo como daevapotranspiração, com consequente aumento no escoamento superficial.

A contribuição da área degradada, na produção e composição de sedimento em suspensão, é dada pela diferença entre os valores observados em PF e PN. Observa-se um aumento de 10 vezes na carga em suspensão exportada, durante o período total de PF em relação à PN. Esse mesmo comportamento é observado, quando analisados os períodos seco e chuvoso, que mostram um aumento de 4,4 e 13,7 vezes, respectivamente. As diferenças numéricas entre as concentrações de sedimentos em suspensão representam a contribuição de fontes na parte degradada da bacia. Observa-se que, para o período total, 90% da carga de sedimentos em suspensão exportada da bacia é gerada na parte degradada, durante o período seco, esse percentual cai para 77% e durante o chuvoso, aumenta para 93%. Neste caso, não é necessário teste de hipótese para comprovar que as diferenças entre PN e PF são significativas. Portanto, a remoção da cobertura vegetal ocasionou mudanças significativas no comportamento da vazão e da carga de sedimentos em suspensão à jusante da bacia hidrográfica, fazendo com que diminuísse a infiltração da água da chuva, causando um aumento no escoamento superficial e, como consequência, um aumento significativo na erosão do solo.

O possível enriquecimento, na composição química dos sedimentos em suspensão de PF em relação a PN, é decorrente de processos fisico-químicos a que estão submetidos, desde seu ponto de entrada no curso d'água, até sua saída pela foz. Assim, para o período total coberto por esse estudo, observa-se um empobrecimento relativo nas concentrações de Na (55%), Mg (45%), Ca (41%) e Si (32%) e um enriquecimento nas concentrações de K (36%), Al (45%), Fe (13%) e Mn (67%). Para o período chuvoso, as espécies enriquecidas são K (10%), Al (54%) e Mn (69%) e as espécies mais empobrecidas são Na (61%), Mg (53%), Ca (62%), Fe(3%) e Si (24%). Durante o período seco, observa-se que as espécies mais enriquecidas são K (43%), Al (13%), Fe (25%), Mn (63%) e as espécies mais empobrecidas são Na (33%), Mg (37%), Ca (10%) e Si (46%) . Entretanto, para verificar se essas diferenças são estatisticamente significativas, aplicou-se o teste de hipótese de igualdade entre as médias dessas concentrações. Para o período total, considerou-se um intervalo de confiança com 95% de probabilidade e 5% de significância e, para os períodos seco e chuvoso, o intervalo de confiança foi de 90% de probabilidade e 10% de significância.

Os resultados deste teste são apresentados através de diagramas tipo "box-and-wiskers", e mostrados nas figuras 5.7, 5.8 e 5.9.

Figura 5.7 - Resultados do teste de hipótese referentes ao período total.

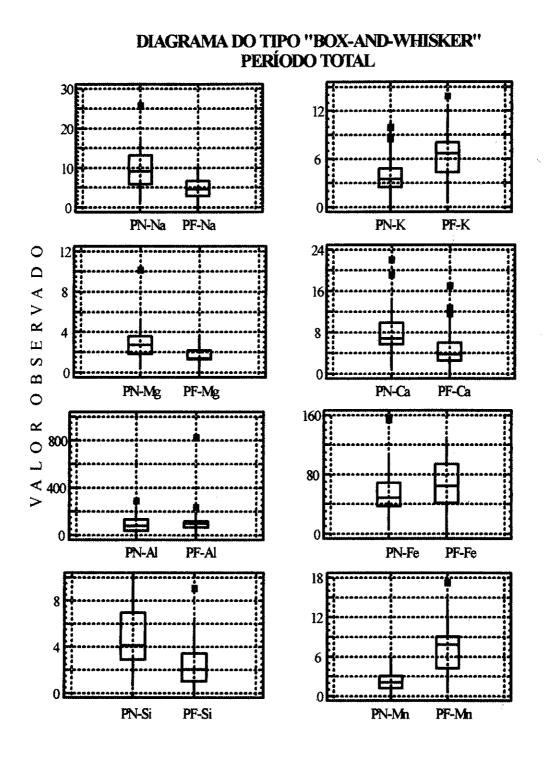


Figura 5.8 - Resultados do teste de hipótese referentes ao período seco.

DIAGRAMA DO TIPO "BOX-AND-WHISKER"

PERÍODO SECO 10.7 12 6.7 6 2.7 PF-K PN-Na PN-K PF-Na 0 16 ⋖ ~ 2 8 S **2** PN-Ca PN-Ca PF-Mg PN-Mg 0 240 ~ 120 160 60 80 PN-AI PF-Al PF-Fe PF-Fe 18 8 12

PN-Si

PF-Si

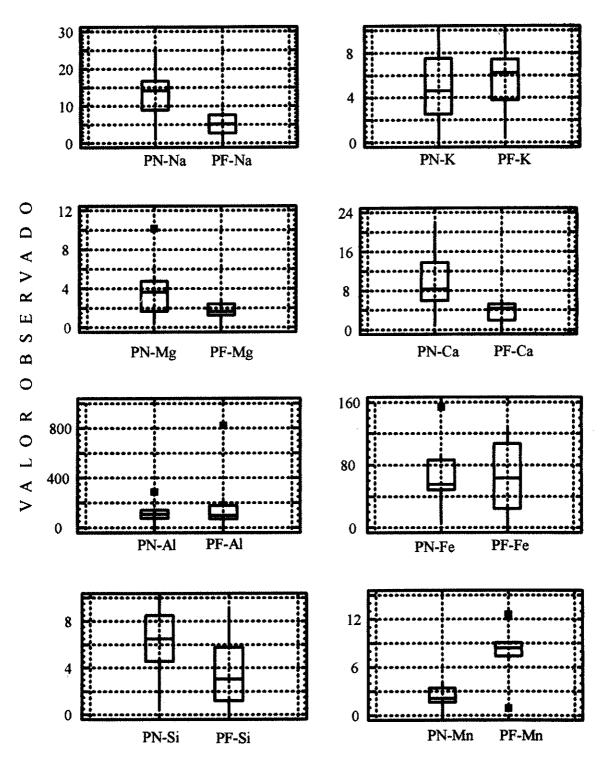
6

PN-Mn

PF-Mn

Figura 5.9 - Resultados do teste de hipótese referentes ao período chuvoso.

DIAGRAMA DO TIPO "BOX-AND-WHISKER' PERÍODO CHUVOSO



Estes diagramas mostram que:

- 1 Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ e Si⁴⁺: as diferenças numéricas são estatisticamente significativas, sendo os sedimentos em suspensão de PF, de fato empobrecidos nestas espécies em relação à PN. Pode-se inferir que tais espécies são geradas na sub-bacia natural. Todas apresentaram diferença estatisticamente significativa entre as médias mensais das concentrações, nos três períodos estudados, com exceção do Ca²⁺ que, durante o período seco, apresentou concentrações similares nos sedimentos em suspensão nos dois locais. Portanto, esses ions não apresentam variação sazonal nos valores das concentrações. Eles formam compostos muito solúveis e, provavelmente, estão sendo solubilizados à medida que o sedimento em suspensão é transportado em direção à foz.
- 2 K⁺ e Mn²⁺: essas espécies são enriquecidas em PF em relação a PN. As diferenças numéricas entre as suas concentrações são estatisticamente significativas, com exceção do K⁻ que, durante o período chuvoso, apresentou concentrações similares nos sedimentos em suspensão nos dois locais. O K⁺ é um elemento encontrado na maioria dos solos minerais em quantidades geralmente maiores em relação aos outros nutrientes, porque os minerais primários que contém K⁺ sofrem intemperismo muito mais lentamente que aqueles contendo Na⁺, Mg²⁺ e Ca²⁺. O Mn²⁺ é uma espécie característica do local. Essas espécies são mais resistentes às ações intempéricas e os sedimentos em suspensão, à medida que são levados para a foz, vão perdendo os cátions básicos e enriquecendo-se, relativamente, nas espécies mais insolúveis A ausência da vegetação faz com que aumente, consideravelmente, a erosão do solo, fazendo com que elas se tornem mais enriquecidas nos sedimentos em suspensão da árealesmatada PF.
- 3 Al³⁺ e Fe³⁺: Embora apresentem diferenças numéricas entre as duas partes da bacia, esses valores de concentração não são estatisticamente diferentes tanto para o período total como para os períodos chuvoso e seco, ou seja, as concentrações dessas espécies são equivalentes nas duas partes da bacia. Observa-se que as concentrações dessas espécies são relativamente maiores do que as das outras espécies estudadas.

A comparação entre as quantidades exportadas, das diferentes espécies químicas, nas fases dissolvida e em suspensão, através da saída de PN e de PF, é mostrada na tabela 5.9. As quantidades geradas na área degradada são dadas pela diferença entre os valores para PF e PN, representando as quantidades geradas a mais, devido à degradação da parte jusante da bacia. Esses valores foram calculados, multiplicando-se a concentração da

espécie por unidade de massa de sedimento e pela quantidade de sedimento exportada. Na Tabela 5.9 são apresentados também os totais dessas espécies exportadas em solução (Astolfo et al, 1999) Considerando-se a composição química do sedimento em suspensão, verifica-se que mais de 80% do total exportado tem origem na parte degradada da bacia. Esse resultado era esperado, uma vez que 90% do sedimento em suspensão é gerado nessa parte da bacia.

Tabela 5.9 - Saídas das diferentes espécies químicas, em kg/ha, referentes aos diferentes períodos estudados. SL - espécies químicas em solução; SS - espécies químicas nos sedimentos em suspensão; PN - sub-bacia hidrográfica natural e PF - foz da bacia hidrográfica.

PERÍODO	Na ⁺	K ⁺	Mg ²⁺	Ca ²⁺	Al ³⁺	Fe ³⁺	Si ⁴⁺	Mn ²⁺
	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha
TOTAL								
SLPN	41,6	10,3	18, 5	43,9	0,99	0,93	84,1	0,32
SSPN	1,21	0,47	0,36	1,00	11,3	6,50	0,54	0,26
SLPF	46,8	30,8	32,8	74,3	1,74	2,34	69,5	121
SSPF	5,42	7,37	1,99	5,90	205	75,1	3,73	8,08
SECO								
SLPN	10,3	2,30	4,70	11,4	0,15	0,25	21,7	0,10
SSPN	0,15	0,09	0,06	0,19	1,80	1,05	0,08	0,05
SLPF	12,38	5,77	6,68	15,5	0,14	0,56	16,3	21,4
SSPF	0,44	0,66	0,16	0,74	9,07	6,22	0,19	0,57
CHUVOSO								
SLPN	19,6	5,31	8,79	23,3	0,58	0,39	37,4	0,10
SSPN	0,83	0,32	0,25	0,64	7,55	4,25	0,37	0,15
SLPF	20,8	18,8	18,5	41,7	0,57	1,13	34,5	69,5
SSPF	4,41	4,87	1,59	3,37	176	56,5	3,12	6,62

A partição entre a fase dissolvida e a fase em suspensão mostra que os cátions básicos, o silício e o manganês têm como forma principal de transporte a fase dissolvida, não apresentando variação sazonal. Os cátions básicos e o silício, devido às suas altas energias de hidratação, tornam-se mais móveis nos processos intempéricos; o manganês, que é um elemento característico da região, apresentando altas concentrações, sofre intensa solubilização na área desmatada, isso porque, nessa área, foram depositados rejeitos da mineração, que são rochas que foram quebradas e expostas aos efeitos da água

e do oxigênio, resultando em rápida alteração e dissolução. O ferro e o alumínio são transportados, principalmente, na fase em suspensão, porque, como esses elementos são mais resistentes aos processos intempéricos, tornam-se mais enriquecidos relativamente nas fases intemperizadas dos solos. Consequentemente, os sedimentos em suspensão, que são removidos mecanicamente dos solos, são mais enriquecidos nesses elementos.

Embora as concentrações médias mensais dos elementos Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ e Si⁴⁺ sejam maiores nos sedimentos em suspensão em PN do que em PF, a tabela 5.9 mostra que a quantidade exportada por unidade de área é maior em PF. O que era esperado, face à alteração sofrida na parte jusante da bacia. Entretanto, verifica-se que os percentuais em PN são maiores do que os observados em PF, o que é suportado pela estatística. Este comportamento pode ser explicado por um "efeito de diluição", isto é, a composição química relativa desses sedimentos é a mesma nos dois locais. Entretanto, em PF é gerada uma quantidade maior de sedimentos em suspensão, cuja origem é de um material já altamente afetado pelos processos intempéricos, o que leva a um decréscimo no percentual de cada espécie em relação à carga total.

6 - CONCLUSÃO

Os resultados aqui apresentados e discutidos mostram que a alteração parcial (30%) da bacia hidrográfica, com remoção da vegetação e mobilização do solo com introdução de material alóctone, tem influência significativa na quantidade e composição química dos sedimentos em suspensão produzidos na área alterada da bacia. As conclusões mais importantes referentes à comparação quantitativa e qualitativa dos sedimentos em suspensão, entre as duas partes da bacia (PN e PF), podem ser enumeradas como segue:

- os sedimentos em suspensão apresentaram a mesma composição mineralógica nos dois locais amostrados, sendo o argilo-mineral dominante a caulinita, contendo traços de mica (illita) e goethita;
- na sub-bacia hidrográfica da área natural PN, o período chuvoso é responsável por cerca de 50% da carga total exportada de sedimentos em suspensão, enquanto, na área desmatada, esse mesmo período representa cerca de 73% da carga total exportada;
- a vazão e a concentração dos sedimentos em suspensão, nas águas do igarapé, apresentaram boa correlação, seguindo a mesma tendência nos dois locais amostrados. Este comportamento indica que a produção de sedimentos em suspensão é influenciada pelo escoamento. Na área da foz da bacia hidrográfica PF, onde ocorreu a remoção da cobertura vegetal, o aumento na produção de sedimentos em suspensão e na vazão, para o período total, foi cerca de 6,2 vezes e 40%, respectivamente, em relação à área natural PN. Este aumento pode ser atribuído à diminuição na capacidade de infiltração da água no solo, devido às alterações sofridas na superfície, ocasionadas pela remoção da cobertura vegetal;
- devido à importância do intemperismo químico, nessa zona climática, a composição química dos sedimentos em suspensão apresentou comportamento similar aos sedimentos em suspensão referentes aos rios tropicais, sendo mais enriquecidos em elementos insolúveis (Al e Fe) e mais empobrecidos em elementos mais solúveis (cátions básicos), nos dois locais amostrados,
- os cátions básicos, o silício e o manganês são transportados, principalmente, na fase dissolvida, enquanto o ferro e o alumínio são transportados, principalmente, na fase em suspensão, nos três periodos estudados;

■ a concentração em massa dos íons Na⁺, Mg²⁺, Ca²⁺ e Si⁴⁺ nos sedimentos em suspensão produzidos na área da sub-bacia hidrográfica natural PN, é maior em relação à área da foz da bacia hidrográfica PF, porque, em PF, o solo é mais empobrecido, provavelmente devido à ausência da vegetação. Entretanto, observa-se que a contribuição de PF para a quantidade total de sedimentos em suspensão é significativamente maior (cerca de 10 vezes), o que faz com que a carga total exportada, nessa área da bacia hidrográfica, seja maior do que em PN. Além de ocorrer, em PF, um aumento da erosão mecânica, ocorre também um aumento da erosão química, que é muito mais significativa.

Estes resultados indicam que, mesmo que ocorra um reflorestamento em PF, induzindo a uma diminuição na produção de sedimentos em suspensão, pode-se concluir que o mesmo não ocorrerá em relação à erosão química. A presença de material alóctone, formando pilhas de rejeito de minério, continuará sofrendo intemperismo químico e, portanto, mobilizando as espécies químicas para a solução.

7- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALVIM, P.T E ARAUJO, W.A. (1952): "O solo como fator ecológico no desenvolvimento da vegetação Centro Oeste do Brasil", B. Geogr., 11 (117) pp 5-52, Rio de Janeiro.
- APPELLO, C.A.J. & POSTMA, D. (1994): "Geochemistry, groundwater and pollution", Balkema Pub., Brookfield, The Netherlands, 536 p.
- ARCOVA, F. C. S. (1996): "Balanço hídrico, caractísticas do deflúvio e calibragem de duas microbacias hidrográficas da Serra do Mar, S.P.". Dissertação de Mestrado apresentada à Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 130 pp.
- ARCOVA, F. C. S., CESAR, S. F., CICCO, V. (1998): "Qualidade da água em microbacias recobertas por Floresta da Mata Atlântica, Cunha, S.P.". Revista do Instituto Florestal, São Paulo, 10(2): 185-196.
- ARENS, K. (1963): "As plantas lenhosas dos campos cerrados como flora adaptada às deficiências minerais do solo". In: Simpósio sobre o Cerrado, São Paulo, 1962. São Paulo, E. Blucher/Ed. Univ. de São Paulo, 423 p.p. 285-303.
- ASTOLFO, R.; FORTI, M.C.; MELFI, A.J. (1999): Estudo comparativo das saídas de espécies químicas em uma microbacia hidrográfica no Nordeste da Amazônia Parte II: Espécies em solução. Neste volume.
- BERNES, C. (1985) MONITOR: "The National Swedish Environmental Monitoring Programme (PMK)". National Swedish Environment Protection Board, Solna, 207 pp.
- BISHOP, J.E. (1973): "Limnology of a small Malaysian river", Monographiae Biologicae, 22, Junk Publisher, The Hague.
- BRUENING, E.F. AND SCHMIDT-LORENZ, R. (1985): "Some observation of the humic matter in kerangas and caating soils with respect to their role as sink and sources of carbon in the face of sporadic events", *Mitt. Geol. Palaeont. Inst.*, Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sond., 58, pp 107-122.
- CICCO, V., ARCOVA, F. C. S. E SHIMOMICHI, P. V. (1989): "Estimativa da evapotranspiração em bacia hidrográfica com floresta natural secundária de Mata Atlântica, São Paulo". Revista do Instituto Florestal, São Paulo, 1(2): 43-54.

- 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), pp 363-372.
- COLEMAN, D.C., REID, C.P.P AND COLE C.V. (1983): "Biological strategies of nutrient cycling in soil systems" Advances in Ecological Research, 13, pp 1-55.
- CULLENS, R. (1988): "Mineralogical and chemical changes of soil and stream sediment formed by intense weathering of alkalies, alkalines earths and halogen during weathering", *Chem. Geol.*, 60, pp 41-49.
- DEKOV, V.M., ARAÚJO, F., VAN GRIEKEN, R., SUBRAMANIAN, V. (1998): "Chemical composition of sediments and suspended matter from Cauvery and Brahmaputra rivers (India)", The Science of the Total Environment, 212, pp 89-105.
- DEKOV, V.M., KOMY, Z., ARAUJO, F., VANPUT, A. AND VAN GRIEKEN, R. (1997): "Chemical composition of sediments matter, river water and ground water of the Nile (Aswan-Sohag Traverse)". The Science of the Total Environment, 201, pp 195-210.
- DOUGLAS, I. (1969): "The efficiency of humid tropical denudation systems", Transactions Institute of British Geographers, 46, pp 1-15.
- DOUGLASS, J.E. AND HOOVER, M.D. (1988): "History of Coweeta", in Swank, W.T. and Crossley, D.A. Jr. (Eds): Forest hydrology and ecology at Coweeta Springer Verlag, New York, pp 17-31.
- DUPRÉ, B., GAILLARDET, J., ROUSSEAU, D. AND ALLÈGRE C.J. (1996): "Major and trace elements of river -borne material: the Congo basin", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 60, pp 1301-1321.
- FAISSOL, S. (1966): "Atlas do Estado do Amapá". Instituto Regional de Desenvolvimento do Amapá (IRDA) e Conselho Nacional de Geografia (IBGE), Rio de Janeiro, 40 pp.
- FEARNSIDE, P.M. (1983): Deforestation in Brazilian Amazon: the effect of population and land tenure. Ambio 22(8): 537-545.
- FITTKAU, E.J. (1971): Okologische Gliederung des Amazonas gagietes auf geochemisches Grundlage. Forsch Geol. Palaontol, 20:35-50.
- FÖLSTER, H. (1986): "Forest-Savana dynamics and desertification processes", *Interciências*, 11 (6), pp 311-316.

- FORTI, M. C., MELFI, A. J. E AMORIM, P. R. N. (1997): "Hidroquímica das Águas de Drenagem de uma Pequena Bacia Hidrográfica no Nordeste da Amazônia (Estado do Amapá, Brasil): Efeitos da Sazonalidade". Geochim. Brasil., (11/3): 325-340.
- FREYDIER, R., DUPRÉ, B., LACAUX, J.P. (1998): "Precipitation Chemistry in Intertropical Africa". Atmosferic Environment, vol. 32, n°4, pp. 749-765.
- GALAN, C. (1984): "Memória explicativa del mapa de zonas climáticas de la cuenca del Rio Caroni", CVG-EDELCA Internal Report, Caracas, 74 p.
- GIBBS, R. (1967): "The geochemistry of the Amazon river basin. Part I: The factors that control the salinity and the composition and concentration of suspended solids", Bull. Geol. Soc. Am., 78, pp 1203-1232.
- GOLDSTEIN, S.J. AND JACOBSEN, S.B. (1988): "Rare earth element in river waters", Earth Planet Sci. Lett., 89, pp 35-47.
- GOOGLAND, R. J. A. (1971): "Oligotrofismo e alumínio no Cerrado. In: Simpósio sobre o Cerrado, 3°, São Paulo, 1971. São Paulo, E. Blucher/Ed. Univ. de São Paulo, 239 p.p. 44 60.
- Guimaräes, J. R. D., Fostier, A. H., Forti, M. C., Melfi, A. J., Kehrig, H., Mauro, J. B. N., Malm, O. and Krug, J. F. (1999): "Mercury in Human and Environmental Samples from Two Lakes in Amapá, Brazilian Amazon". Ambio, vol. 28, n°4, pp. 296-301.
- HERNÁNDEZ, L. (1987): "Degradación de los bosques de la Gran Sabana", Pantepui, 3, pp 11-25.
- HORNBECK, J.W. AND FEDERES, C.A. (1975): "Effects of management practices on water quality and quantity: Hubbard Brook experimental forest, New Hampshire", Gen. Tech. Rep. NE-13, USDA, Forest Service, NE Forest Experimental Station, Broomall, P.A., pp 68-75.
- HORNBECK, J.W., MARTIN, C.W., PIERCE, R.S., BORMANN, F.H., LIKENS, G.E. AND EATON, J.S. (1986): "Clearcutting northern hardwoods: effects on hydrologic and nutrient ion budgets", Forest Sci., 32 (3), pp 667-686.
- HUBER, H. (1986): "La vegetación de la cuenca del Rio Caroni", *Interciências*, 11 (6), pp 301-310.
- HUNTINGTON, T., HOOPER, R., MURDOCH, P. (1996): "Small watershed studies: analytical approaches for understanding ecosystem response to environment change", INTERNET

- JOUANNEAU, J.M., LAPAQUELLERIE Y., LATOUCHE C., AND TASTET, J.P. (1990): "Résultats préliminaires de la campagne Oubangui-Congo de Novembre 1988", Sci. Geol. Bull., 43, pp 1-12.
- KIRBY, C., NEWSON, M. D. AND GILMAN, K. (1991): "Plynlimon research: the first two decades. Institute of Hydrology Report no 109, Wallingford, UK. 188pp.
- LAI FOOD SEE (1992): "Sediment and solute yelds from logged steep upland catchments in peninsular Malaysia", *Unpublished PHD Thesis*, University of Manchester, 590 p.
- LAW, F (1996: "The effect of afforestation upon the yield of water catchment areas". F. Br. Waterworks Assoc., 38: 489-494.
- LAW, K.F., CHEONG, C.W., ONG, T.S., MUSTAFA KAMAL, B, TENGKU BAKRY SHAH, T.J., MAKETAB, M., FROOMG, S.F., CHE HASHIM, H., MOHD NIZUM, M.N., ABDUL TAHIM, N., ZULKIFLI, T., LOW, K.S. AND LAI, F.S. (1989): Sungai tekam experimental basin final report, July 1977 to June 1986. Water resources publication, 20, Kuala Lumpur: Bahagian Pengairan dar Saliran, Kementariam Pentanian, Malaysia.
- LEITE, P.F. ET ALII (1974): "As regiões fitoecológicas, sua natureza e seus recursos econômicos. Estudo fitogeográfico nas folhas NA/NB.22 Macapá", in Brasil, Departamento Nacional da Produção Mineral: Projeto RADAM, 1974 (levantamento de recursos naturais, 6).
- LESACK, L. F. W. (1993): "Export of nutrients an major ionic solutes from a rain forest catchment in the Central Amazon Basin". Water Resources Research, vol. 29, n° 3, pp. 743-758.
- LESACK, L. F. W. (1993): "Water balance and hydrologic characteristics of a rain forest catchment in Central Amazon Basin". Water Resources Research, vol. 29, n° 3, pp. 743-758.
- LIKENS, G. E., BORMAN, F. H., PIERCE, R. S., EATON, J. S. AND JOHNSON, N. M. (1977): "Biogeochemistry of a Forest Ecosystem", 146 pp., Springer-Verlag, New York.
- LUCAS, Y. (1997): "Biogeoquímica em ambiente equatorial: exemplo dos sistemas latossolospodzóis da Amazônia", Acta X Semana de Geoquímica / IV Congresso de Geoquímica dos Países de Lingua Prtuguesa, Bragsa, Portugal, pp 9-12.
- MAASS, J.M., JORDAN, C. AND SARUKHÁN, J. (1988): "Soil erosion and nutrient losses in seasonal tropical agroecosystems under various management techniques", J. Appl. Ecol., 25 (2), pp 595-607
- MAASS, J.M., PATIÑO, C. AND SÁNCHEZ, A. (1990): "Caracterización de la biomassa leñosa muenta en uma selva baja caducifolia", XI Cong. Mex. Botánica, Oaxtepec, Mexico.

- MARTIN, J.M. AND MEYBECK, M. (1979): "Elemental mass balance of material carried by major world rivers", *Marine Chem.*, 7, pp 173-206.
- MARTÍNEZ-YRIZAR, A. (1980): "Tasas de decomposición de la materia orgánica foliar de espécies arbóreas e de selvas en clima estacional", *Graduate Thesis*, UNAM, México, 78 p.
- MARTINS, O., PROBST, J.L. (1991): "Biogeochemistry of major African rivers: carbon and mineral transport", in Degens, E.T., Kempe, S., Richey, J.E., editors, "Biogeochemistry of the world rivers", New York: Wiley, pp 127-155.
- MEDINA, E. (1984): "Nutrient balance and physiological processes at the leaf level", pp 134-154 in Medina, E., Mooney, H.A. and Vásquez-Yanes, C. (Eds): Physiological ecology of plants of the wet tropics, Junk, The Hague, 254p.
- MELFI ET AL, (1997): Estudo do Ciclo do Mercúrio no Ecossistema da Floresta Amazônica: Avaliação do Impacto da Mineração de Ouro com Utilização de Mercúrio. Relatório Final Projeto PADCTII/CIAMB CNPq Nº 62375/92.2.
- MOLDAN, B. AND FOTTOVÁ, D. (1989): "Network of Integrated Environmental Monitoring GEOMON". File Report. Czech Geological Survey, Prague, 21 pp., in Czech.
- MORTATTI, J., PROBST, J.L., FERREIRA, J.R. (1992): "Hydrological and geochemical characteristics of the Jamari and Jiparana river basins (Rondônia, Brazil)", *Geojournal*, 26.3 pp 287-296.
- MULLER, J.P., MARCEAU A., CALAS G., ALLARD T., ILDEFONSE, P. AND HAZEMANN, J.L. (1994): "Crystal chemistry of kaolinite and Fe-Mn oxides: relations with formation conditions of low temperature systems", *Amer. J. Sci.*, 295, pp 1115-1155.
- NAGELL, R.H. AND SERRA, A.C. (1958): "Trabalhos geológicos no distrito manganesífero", Report presented to Icomi.
- NATIONAL INSTITUTE OF STANDARDS AND TECHNOLOGY (1990): "SRM 2704. Buffalo River Sediment". Certificate of Analysis. National Institute and Technology, Gaithersburg, MD, USA.
- NEAL, C. (1997): "Intrduction to the Special Issue of Hydrology and Earth System Sciences, the water quality of the Plynlimon catchments. Hydrology and Earth System Sciences, 1(3): 385-388.
- NESBITT, H.W., MARKOVICS, G. AND PRICE, R.C. (1980): "Chemical processes affecting alkalies and alkaline earths during continental weathering", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 44, pp 1659-1666.

- PATIÑO, M.C. (1990): "Variación espacial y temporal de la capa de hojarasca (mantillo) em ena selva baja caducifolia em Chamela", Jal., México. Graduate thesis. UNAM, México, 78 pp.
- PEH, C.H. (1981): "The suspended and dissolved load of three small forested drainage basins in peninsular Malaysia", *Malaysian Forester*, 44, pp 438-452.
- PROJETO RADAM BRASIL (1974): Folha NA/NB.22 Macapá Levantamento de Recursos Naturais, v. 6.
- RIBEIRO, M.N.G. (1982): "Bacia modelo: caracterização ecológica de uma bacia hidrográfica experimental na Amazônia Central", *Acta Amazonica*, 12 (3), suplemento, Manaus, Amazonas.
- RICHEY, J.E., MEADE, R.H., SALATI, E., DEVAL, A.H., NORDIN, C.F. AND SANTOS, U. (1986): "Water discharge and suspended sediment concentrations in the Amazon river: 1982-1984", Water Resources Research, vol. 22, No 5, pp 756-764.
- ROBSON, A. J.; NEAL, C. (1997): "Regional water quality of river Tweed", The Science of the Total Environment, vol 194/195, pp 173-192.
- RULL, V. (1991): "Contribuición a la paleocología de Pantepui y la Gran Sabana, Guyana venezolana: clima, biogeografía y ecología", *Scientia Guyanae*, 2, XXII + 133 p.
- SALATI, E., VOSE, P.B. (1984): "A system in equilibrium", Science, 225, pp 129-138.
- SEMKIN, R.G.; JEFFRIES, D. J. AND CLAIR, T. A. (1994): "Hidrochemical Methods and Relationships for Study of Stream Output from Small Catchments" Cap. 07, pp 163 184, in Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environment Research. Edited by B. Moldan and J. Cerný, 1994 SCOPE.
- SIOLI, H. (1984): "Former and recent utilization of Amazonia and their impact on the environment" in Sioli, H. (Ed): The Amazon. Dr W. Junk, Dordrecht.
- SOARES, J. W. (1994): "Geologia das Imediações do Igarapé Pedra Preta Distrito Manganesifero de Serra do Navio". Indústria e Comércio de Minérios S/A Seção de Geologia da Mina.
- STALLARD, R.F. AND EDMOND, J.M. (1983): "Geochemistry of the Amazon: 2. The influence of the geology and weathering environment on dissolved load", J. Geophys. Res., 88, pp 9671-9688.
- STALLARD, R.F. AND EDMOND, J.M. (1987): "Geochemistry of the Amazon: 3. Weathering chemistry and limits to dissolved inputs", J. Geophys. Res., 92 (C8), pp 8293-8302.

- STUMM, W. & MORGAN, J.J. (1981): "Aquatic chemistry.- An introduction emphazing chemical equilibria in natural waters", John Wiley & Sons Inc, N.Y., 78 p.
- SWANK, W.T. AND JOHNSON, C. E. (1994): "Small Catchments Research in the Evaluation and Development of Forest Management Practices" Cap. 17, pp 383 408, in Biogeochemistry of Small Catchments: A Tool for Environment Research. Edited by B. Moldan and J. Cerný, 1994 SCOPE.
- SWIFT, L.W., JR (1988): "Forest access roads: design, maintenance and soil loss", in Swank, W.T. and Crossley, D.A., Jr (Eds): Forest hydrology and ecology at Coweeta, Ecological studies, vol. 66, Springer Verlag, New York, pp 313-324.
- VEGAS-VILARÚBIA, T. AND PAOLINI, J. (1988a): "A physico-chemical survey black water rivers from the Orinoco and the Amazon basins in Venezuela", *Arch. Hydrobiol.*, 111 (4), pp 491-506.
- VEGAS-VILARÚBIA, T. AND PAOLINI, J. (1988b): "Differentiation of source Venezuelan black water rivers based upon physico-chemical properties of their humic substances", Biogeochemistry, 6, pp 59-77.
- ZHANG, J., HUANG, W.W. AND WANG, J.H. (1994): "Trace -metal chemistry of the Huanghe, China. Examination of the data from *in situ* measurements and laboratory approach", *Chem. Geol.*, 114, pp 83-94.
- ZINK, A. (1986): "Caracteristicas y fragilidad de los suelos en ambiente de selva nublada: el ejemplo de Rancho Grande", in Huben, O. (Ed.): "La selva nublada de Rancho Grande. Parque Nacional 'Henri Pittien'. Fondo", Ed. Acta Cient. Venez., Caracas, pp 31-66.