

**COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ISOTÓPICA ( $^{13}\text{C}$ ) DE  
SEDIMENTOS DE VÁRZEA E SUAS INTERAÇÕES COM  
ALGUNS RIOS DA BACIA AMAZÔNICA**

**LUIZ ANTONIO MARTINELLI**

**Orientador: Dr. REYNALDO LUIZ VICTÓRIA**

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia. Área de Concentração: Energia Nuclear na Agricultura.

**PIRACICABA**  
Estado de São Paulo - Brasil  
Junho - 1986

*À memória de Haroldo Jacintho (Tito) Martinelli, meu pai*

*MINHA HOMENAGEM ESPECIAL*

*À minha mãe*

*Aos meus avós*

*A Michel e Misael Saad, meus tios  
e a Henrique Del Nero*

*DEDICO*

*AGRADECIMENTO ESPECIAL*

*Ao Dr. Henrique Bergamã'n Filho por ter me mostrado um rio. Ao Dr. Francisco José Krug e ao MS. José Roberto Ferreira por terem me ensinado a nadar em suas águas. Ao Dr. Reynaldo Luiz Victoria por ter me ensinado a navegar por este rio.*

## AGRADECIMENTOS

- Ao Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) pelas facilidades oferecidas;
- Ao Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA) pelo apoio logístico, principalmente à Dra. Maria de Nazaré Gões Ribeiro;
- À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP) pelo suporte financeiro;
- Ao Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz" (ESALQ) pelas facilidades oferecidas;
- Aos amigos José Aurélio Bonassi, Maria Antonia Zambetta Perez, Maria Isabel Beira Moda, Geraldo de Arruda Jr., Maria de Fátima Bernardino, Miguel Baldessin, Bento Moçambique de Moraes Neto e Marisa Piccolo, pelas análises isotópicas;
- As amigas Marileusa Bassi, Yolanda Rufini, Sandra Pereira dos Santos, Fátima Patreze, Valdemir F. de Barros e José Roberto Martins, pelas análises químicas;
- A tripulação da Lancha Motor AMANAÍ, principalmente: Miguel de Sousa Rodrigues (Comandante); Adamor Mendonça (Motorista Fluvial); Pedro Iná

cio da Silva (Marinheiro); Lauro Bimbinha (Prático); Raimundo (Contra-Mestre); Limuel P. Gomes (Contra-mestre); João J. da Costa (M. fluvial); Teresa (Cozinheira) e Argemiro M. dos Santos (Cozinheiro), os quais sempre nos conduziram com segurança pelos rios da Amazônia e tudo fizeram para que nossa estada a bordo fosse a mais agradável possível;

- Aos amigos Ariovaldo M. de Carvalho, Francisco C. Pellegrino, Ricardo B. Sgrillo e André L. Gonsales, pelo auxílio nas análises estatísticas;
- Aos amigos Benedito H. Davanzo e Celso Aguiar, pelos serviços gráficos;
- Às amigas Marília R.G. Henyei, Janete L.B. de Moura, Pedrila F. Pellegrinotti e Liamar D. Antonioli pelo auxílio da revisão bibliográfica;
- Às amigas Elisabete Salmeron, Neusa Maria Augusti e Neusa M. Costa Pereira, pelos serviços datilográficos e inúmeros outros;
- Aos colegas Paulo Cesar O. Trivelin, Eiichi Matsui, Jefferson Mortatti ; Takashi Muraoka, Carlos C. Cerri, Epaminondas S.B. Ferraz e Eneas Salati do Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA) pelo apoio e amizade;
- Aos colegas Bruce Forsberg, Jeffrey Richey, Allan Devol, John Hedges da Universidade de Washington, Robert Meade do United States Geological Survey e Antonio A. Mozeto da Universidade Federal de São Carlos pela

- v
- amizade, críticas e sugestões a este trabalho;
- Aos colegas Cláudia Wagner, pela tradução dos trabalhos em língua alemã e a Otávio Minoru Matsumoto pela elaboração das figuras.
  - Aos amigos da República Contratantus, em especial a Plínio Barbosa de Camargo e a família de Osmar de Almeida Prado pela amizade e apoio;
  - Enfim, um estudo que envolve um extenso trabalho de campo depende de inúmeras pessoas. A todas as pessoas aqui não citadas, mas que contribuíram para a realização deste trabalho

*Meu muito obrigado*

Enquanto os homens exercem seus podres poderes  
Matar e morrer de raiva, de fome e de sede  
São tantas vezes gestos naturais...

Caetano Veloso

## ÍNDICE

vii

	página
1. INTRODUÇÃO .....	01
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	03
2.1. Localização geográfica e aspectos hidrológicos da bacia Amazônica .....	03
2.2. Formação e composição geológica da bacia Amazônica .....	08
2.3. Relevo e sua evolução na bacia Amazônica .....	11
2.4. Principais solos da bacia Amazônica .....	15
2.5. Aspectos hidrogeoquímicos da bacia Amazônica. Sistemas de classificação das águas da Amazônia .....	22
2.6. As florestas de terra firme e as características químicas dos igarapês que as drenam .....	30
2.7. A várzea da Amazônia: características gerais .....	34
2.8. Os lagos de várzea da Amazônia .....	36
2.9. Produção primária nas águas da Amazônia .....	39
2.10. Aspectos climatológicos .....	46
2.11. Principais tipos de vegetação da bacia Amazônica .....	53
3. MATERIAIS E MÉTODOS .....	59
3.1. Área de estudo .....	61

3.2. Amostras de sedimento .....	66
3.2.1. Coleta de amostras .....	66
3.2.2. Métodos de análise .....	68
3.2.2.1. Cátions básicos trocáveis .....	68
3.2.2.2. pH, hidrogênio e alumínio trocável .....	68
3.2.2.3. Nitrogênio total .....	69
3.2.2.4. Fósforo total .....	69
3.2.2.5. Carbono .....	69
3.2.2.6. Relação isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .....	69
3.2.2.7. Diluição isotópica .....	70
3.3. Amostras de plantas .....	71
3.3.1. Coleta de amostras .....	71
3.3.2. Método de análise .....	71
3.3.2.1. Relação isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ .....	71
3.4. Métodos estatísticos .....	72
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	74

4.1. Cations básicos trocáveis e acidez do solo .....	74
4.1.1. Cálcio trocável .....	74
4.1.2. Magnésio trocável .....	85
4.1.3. Potássio trocável .....	86
4.1.4. Sódio trocável .....	88
4.1.5. Soma de bases trocáveis (S) .....	90
4.1.6. pH .....	91
4.1.7. Alumínio .....	93
4.1.8. Capacidade de troca catiônica .....	94
4.1.9. Variação espacial .....	105
4.1.10. Variação temporal .....	121
4.2. Nitrogênio .....	128
4.2.1. Variação espacial .....	133
4.2.2. Variação temporal .....	139
4.3. Fósforo .....	140
4.3.1. Variação espacial .....	142

	página
4.4. Carbono .....	143
4.4.1. Variação espacial .....	147
4.4.2. Variação temporal .....	153
4.4.3. Origem do carbono incorporado ao sedimento de várzea .	154
4.4.4. Caracterização isotópica das virtuais fontes de C para os vários sedimentos .....	155
4.4.5. Composição isotópica do carbono no sedimento de várzea do canal principal e possível origem .....	161
5. CONCLUSÃO .....	178
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	183
7. APÊNDICES .....	202

LISTA DE TABELAS

xi

página

<p>Tabela 1. DISTÂNCIA RELATIVA À VARGEM GRANDE (km) E DESCARGA (m<sup>3</sup>/s) AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL E TRIBUTÁRIOS DURANTE OS CRUZEIROS 6 (SECA), 7 (INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS) E 8 (INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS). DADOS OBTIDOS PELO PROJETO CAMREX .....</p>	<p>07</p>
<p>Tabela 2. LOCAIS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS CRUZEIROS 6, 7 E 8. DISTÂNCIAS EM km RELATIVA À PRIMEIRA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM, VARGEM GRANDE (0,0km) .....</p>	<p>64</p>
<p>Tabela 3.. CONCENTRAÇÃO NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DE CATIONS TROCÁVEIS (Ca, Mg, K, Na, Al E H), SOMA DE BASES (S)*, CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC)** , EXPRESSOS EM meq/100g; ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE BASES (V%); pH E RELAÇÕES Ca/Mg, K/Na, Ca/S, Mg/S, K/S E Na/S. AS AMOSTRAS FORAM COLETADAS EM TRÊS PERÍODOS DISTINTOS (CRUZEIROS 6, 7, E 8). OS VALORES SÃO MÉDIAS DE TRÊS PROFUNDIDADES, O TOTAL DOS DADOS ENCONTRA-SE NO APÊNDICE 1 .....</p>	<p>75</p>
<p>Tabela 4. CONCENTRAÇÃO DE CATIONS BÁSICOS TROCÁVEIS E ALUMÍNIO (EXPRESSA EM meq/100g), VALORES DE pH, SOMA DE BASES (S)*, CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC)** (S E CTC EXPRESSOS EM meq/100g), V*** (EXPRESSO EM PORCENTAGEM) E RELAÇÃO Ca/Mg, K/Na, Ca/S, Mg/S, K/S, Na/S NO SEDIMENTO DE VÁRZEA COLETADO NOS TRIBUTÁRIOS .....</p>	<p>78</p>

Tabela 5.	CÂTIONS BÁSICOS TOTAIS DA FRAÇÃO PELÍTICA EM SUSPENSÃO DE RIOS AMAZÔNICOS. RESULTADOS EXPRESSOS EM ppm .....	102
Tabela 6.	CÂTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS DA FRAÇÃO ARGILA DO MATERIAL EM SUSPENSÃO DO RIO AMAZONAS E TRIBUTÁRIOS. RESULTADOS EXPRESSOS EM meq/100g .....	103
Tabela 7.	TESTES ESTATÍSTICOS. ÉPOCAS AMOSTRADAS SÃO INDICADAS POR C <sub>6</sub> , C <sub>7</sub> E C <sub>8</sub> NO TESTE DE SPEARMAN (TENDÊNCIA CRESCENTE* OU DECRESCENTE NA CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS NO SEDIMENTO DE VÁRZEA RIO ABAIXO) E TESTE DE WILCOXON (SUPERIORIDADE DE UMA POPULAÇÃO EM RELAÇÃO À OUTRA) COM AS RESPECTIVAS MÉDIAS, NÚMEROS INDICAM O NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA E ns NÃO SIGNIFICATIVO .....	113
Tabela 8.	CÂTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS ADSORVIDOS PELA FRAÇÃO ARGILA DOS SOLOS AMAZÔNICOS. RESULTADOS EXPRESSOS EM meq/100g .....	117
Tabela 9.	CÂTIONS BÁSICOS TOTAIS NO SEDIMENTO EM SUSPENSÃO TRANSPORTADO PELO CANAL PRINCIPAL. RESULTADOS EXPRESSOS EM ppm .....	118
Tabela 10.	COMPARAÇÃO ENTRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SEDIMENTO RECÉM-DEPOSITADO* (SEM COBERTURA VEGETAL) E O SEDIMENTO JÁ VEGETADO** NA LOCALIDADE VARGEM GRANDE. CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS EXPRESSA EM meq/100g .....	127

Tabela 11. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL ( $N_t$ ); FÓSFORO TOTAL ( $P_t$ ) E CARBONO ORGÂNICO ( $C_{org.}$ ), EXPRESSOS EM PORCENTAGEM E VALORES DAS RELAÇÕES N:P E C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA DO CANAL PRINCIPAL PARA OS TRÊS PERÍODOS DE COLETA (CRUZEIROS 6, 7 E 8). .....	130
Tabela 12. VALORES DE NITROGÊNIO ORGÂNICO PARTICULADO FINO ( $PON_f$ )* TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS. CONCENTRAÇÃO ABSOLUTA EXPRESSA EM mg/l. PARTICIPAÇÃO RELATIVA DE $PON_f$ NOS SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (TSS) EXPRESSO EM PORCENTAGEM** .....	137
Tabela 13. VALORES DE CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO FINO* ( $POC_f$ ) TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS. CONCENTRAÇÃO ABSOLUTA EXPRESSA EM mg/l E PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO $POC_f$ NOS SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (TSS) EXPRESSO EM PORCENTAGEM**. VALORES DA RELAÇÃO ATÔMICA C:N DA FRAÇÃO FINA DO SEDIMENTO TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS .....	149
Tabela 14. VALORES DE $\delta^{13}C$ (‰) DE GRAMÍNEAS <i>Echinochloa polystachya</i> COLLETADAS NAS VÁRZEAS AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL .....	157
Tabela 15. VALORES DE $\delta^{13}C$ (‰) DO SEDIMENTO DE VÁRZEA PARA OS DIVERSOS LOCAIS AMOSTRADOS AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL. OS DADOS SÃO MÉDIAS DE TRÊS PROFUNDIDADES ( $C_7$ ) E DE QUATRO PROFUNDIDADES ( $C_8$ ) .....	163

Tabela 16. PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO CARBONO DAS GRAMÍNEAS ( <i>Echinochloa polystachya</i> ) E DO SEDIMENTO TRANSPORTADO EM SUSPENSÃO (TSS) NO SEDIMENTO DE VÁRZEA*. RESULTADOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM .....	169
--	-----

LISTA DE FIGURAS

xv

página

Figura 1.	BACIA AMAZÔNICA. (0) CANAL PRINCIPAL (SOLIMÕES/AMAZONAS); (1) RIO IÇÃ; (2) RIO JUTAÍ; (3) RIO JURUÁ; (5) RIO PURUS E (6) RIO MADEIRA. A LINHA PONTILHADA REPRESENTA OS LIMITES DA BACIA AMAZÔNICA .....	06
Figura 2.	PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS DA BACIA AMAZÔNICA: (+) TERCIÁRIO; ( ) QUATERNÁRIO; (.) PRÉ-CAMBRIANO; E (: :) PALEOZÓICO. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS: (1) BACIA AMAZÔNICA; (2) ESCUDOS CRISTALINOS; (3) DEPRESSÃO SUB-ANDINA E (4) CORDILHEIRA DOS ANDES .....	09
Figura 3.	EVENTOS DE DEPOSIÇÃO E EROÇÃO NA BACIA AMAZÔNICA E FORMAS DE RELEVO ATUAL. ADAPTADO DE KLAMMAER (1984).....	12
Figura 4.	DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE UM ANO EM ALGUMAS REGIÕES DA BACIA AMAZÔNICA. FONTE: SALATI <i>et al.</i> (1979) .....	48
Figura 5.	HIDRÓGRAFA DE ALGUNS RIOS DA BACIA AMAZÔNICA EM CENTÍMETROS. FONTE: SALATI (1986) .....	50
Figura 6.	TIPOS DE VEGETAÇÃO DOMINANTE NA REGIÃO NORTE DO BRASIL. (A) MATA DE TERRA FIRME; (B) MATA DE VÁRZEA; (C) FLORESTA SUBCADULIFÓLIA E (D) CAMPO. ADAPTADO DE KUHLMANN (1977)..	54

- Figura 7. VARIACÃO NA DESCARGA DO CANAL PRINCIPAL EM TRÊS DIFERENTES LOCAIS. BARRAS VERTICAIS INDICAM A FASE DA HIDRÓGRAFA NAS QUAIS FORAM COLETADAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE VÁRZEA: CRUZEIROS 6, 7 E 8 ..... 60
- Figura 8. LOCAIS DE COLETA DE SEDIMENTO DE VÁRZEA NO CANAL PRINCIPAL (RIO SOLIMÕES/AMAZONAS) E EM SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS: (1) VG, (2) SAI, (3) BAR., (4) XIB., (5) INF., (6) TUPE, (7) MARI, (8) PAN., (9) JUT., (10) ITAP., (11) AN., (12) MANAC., (13) S.J. AMAT., (14) PAURA, (15) S. LUZIA, (16) CALD., (17) ÔBIDOS, (A) RIO IÇÃ, (B) RIO JUTAÍ; (C) RIO JURUÁ, (D) RIO JAPURA, (E) RIO PURUS E (F) RIO MADEIRA ..... 63
- Figura 9. PARTICIPAÇÃO MÉDIA DOS CÁTIONS Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM PORCENTAGEM, NA SOMA DE BASES (S) DO SEDIMENTO DE VÁRZEA DO CANAL PRINCIPAL ..... 80
- Figura 10. COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Ca, Mg, K, Na, Al, SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSA EM meq/100 E pH ENTRE O SEDIMENTO DE VÁRZEA COLETADO EM: (1) CANAL PRINCIPAL, (2) RIO IÇÃ, (3) RIO JURUÁ, (5) RIO PURUS E (6) RIO MADEIRA ..... 82

- Figura 11. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM meq/100g, NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERÍODO DE SECA (OUT.-NOV., 1983-C<sub>6</sub>) ..... 107
- Figura 12. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE Al, SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSA EM meq/100g E pH NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERÍODO DE SECA (OUT.-NOV., 1983 - C<sub>6</sub>) ..... 108
- Figura 13. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM meq/100g, NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV., 1984-C<sub>7</sub>) ..... 109
- Figura 14. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE Al, SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSAS EM meq/100g E pH NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV.-1984-C<sub>7</sub>) .. 110
- Figura 15. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM meq/100g, NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (JUN.-JUL., 1984 - C<sub>8</sub>) ..... 111

- Figura 16. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE  $Al$ , SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSAS EM meq/100g E pH NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (JUN.-JUL., 1984-C<sub>8</sub>). 112
- Figura 17. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE N-TOTAL E C-ORGÂNICO, EXPRESSA EM PORCENTAGEM E RELAÇÃO C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERÍODO DE SECA (OUT.-NOV., 1983 - C<sub>6</sub>) ..... 134
- Figura 18. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE N-TOTAL E C-ORGÂNICO, EXPRESSA EM PORCENTAGEM E RELAÇÃO C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV., 1984 - C<sub>7</sub>) ..... 135
- Figura 19. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE N-TOTAL, C-ORGÂNICO, P-total, EXPRESSA EM PORCENTAGEM E RELAÇÃO C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (JUN.-JUL., 1984 - C<sub>8</sub>) ..... 136
- Figura 20. HISTOGRAMA DOS VALORES DE  $\delta^{13}C$ (‰) EM VÁRIOS COMPARTIMENTOS: G-GRAMÍNEAS (*E. polystachya*); POC<sub>f</sub>-CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO FINO (<63 $\mu$ m) TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS; A-FOLHAS DE ÁRVORES DE OCORRÊNCIA NA VÁRZEA E TERRA FIRME, M-MACRÓFITAS AQUÁTICAS DO TIPO C<sub>3</sub> E SV-SEDIMENTO DE VÁRZEA COLETADO DURANTE OS CRUZEIROS: 6 (PERÍODO DE SE

CA, OUT.-NOV., 1983), 7 (INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS, JAN.- FEV., 1984) E 8 (INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS, JUN.-JUL., 1984) .....	162
Figura 21. VARIACÃO NO VALOR DE $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERÍODO DE SECA (OUT.- NOV., 1983 - C <sub>6</sub> ) .....	165
Figura 22. VARIACÃO NO VALOR DE $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV., 1984 - C <sub>7</sub> ) .....	166
Figura 23. VARIACÃO NO VALOR DE $\delta^{13}\text{C}(\text{‰})$ NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERÍODO DE SECA JAN.- JUL., 1984 - C <sub>8</sub> ) .....	167

COMPOSIÇÃO QUÍMICA E ISOTÓPICA ( $^{13}\text{C}$ ) DE SEDIMENTOS DE VÁRZEA E SUAS INTERAÇÕES COM ALGUNS RIOS DA BACIA AMAZÔNICA

*Luiz Antonio Martinelli*

Reynaldo Luiz Victória  
Orientador

RESUMO

Amostras de sedimento foram coletadas na várzea do rio Amazonas, em diversos pontos, ao longo de sua calha e nos seus principais tributários. As coletas foram realizadas em três épocas diferentes; durante o período de seca (outubro-novembro/83), durante o início da subida das águas (janeiro-fevereiro/84) e durante o início da descida das águas (junho-julho/84).

Os parâmetros determinados foram cations trocáveis - Ca, Mg, K, Na, Al e H; pH; nitrogênio total; fósforo total; carbono orgânico e valor de  $\delta^{13}\text{C}$ .

A concentração de cations básicos trocáveis - Ca, Mg, K e Na foi mais elevada no sedimento de várzea do canal principal em relação aos tributários. Por outro lado, a concentração de hidrogênio e, conseqüente

mente, alumínio foi mais elevada na várzea dos tributários em relação ao canal principal. A causa para este comportamento foi apontada como sendo a distinta composição do substrato geológico das bacias de drenagem e os diferentes regimes de erosão atuando nestas bacias.

De um modo geral, a concentração de cations básicos trocáveis, fósforo total e carbono decresceram rio abaixo. A concentração de alumínio e nitrogênio total não mostraram variação espacial. Paralelamente, a qualidade do sedimento transportado pelo canal principal também mudou rio abaixo, decrescendo as concentrações de alguns cations básicos.

Por outro lado, praticamente não houve variação na concentração dos elementos no sedimento de várzea entre os períodos amostrados. Possivelmente, a ciclagem de nutrientes promovida pelas gramíneas e macrófitas seja responsável por este comportamento.

Finalmente, os resultados indicaram que a maior parte do carbono do sedimento de várzea do canal principal foi oriundo da matéria orgânica particulada pelo canal principal. Na região do baixo Amazonas a proporção de carbono oriundo da decomposição das gramíneas foi maior em comparação ao alto Amazonas.

CHEMICAL AND CARBON ISOTOPE COMPOSITION OF VARZEAS SEDIMENTS AND ITS  
INTERACTIONS WITH SOME AMAZON BASIN RIVERS.

*Luiz Antonio Martinelli*

Reynaldo Luiz Victória  
Advisor

SUMMARY

Varzea sediment samples were collected on the banks of Amazon rivers and in the most important tributaries. The samples were taken in three different river stages; dry period (oct-nov/83), early rising water period (jan-feb/84) and early falling water period (jun-jul/84).

The major cations; pH; total nitrogen; total phosphorus; carbon and  $\delta^{13}\text{C}$  value were determined.

The concentration of major basic cations - Ca, Mg, K e Na were greater in the main channel sediments than in the tributaries. On the other hand, the hydrogen and aluminium concentrations were greater in the tributaries sediments than in the main channel. Probably the differences in the substrats geology and erosional regimes of the basins account for this pattern.

Generally, the major basic cations; total phosphorus and carbon concentration were lower in the low Amazon varzeas. The aluminium and total nitrogen concentrations in the varzea sediments didn't change down river. On the other hand, the quality of the sediment transported by the main channel changed down river too.

Between the three different sampling periods, practically, the elements concentration in varzea sediment was constant. Possibly the fast cycling of nutrient by grasses and macrophytes growing in the varzea account for this trend.

Finally, the data showed that most parts of varzea carbon sediment had its origin in the fine particulated organic matter transported by the Amazon river. Down river the amount of grasses derived carbon in the sediment is greater in comparison to the upper part of the river.

## 1. INTRODUÇÃO

A várzea da Amazônia, uma extensa área de aproximadamente 60.000 km<sup>2</sup>, é considerada um apêndice fértil dentro da bacia Amazônica, a qual é caracterizada pela escassez de nutrientes, tanto em seus solos como em suas águas (SIOLI, 1975a; JUNK, 1984; FURCH, 1984), contrastando com a riqueza da flora e da fauna (PRANCE, 1986; BEST, 1984).

Produzidos pelo intemperismo físico das rochas Andinas (STALLARD, 1983; GIBBS, 1964) grande quantidade de material é transportado em suspensão pelos rios da região. Ao entrar na depressão Amazônica este material é depositado ano a ano através de inundações periódicas.

Dessa forma, as planícies de inundação dos grandes rios (várzea) recebem uma grande quantidade de nutrientes (SIOLI, 1984). Como consequência, a produção primária nos lagos de várzea, é relativamente alta (SCHIMIDT, 1973 b), a produção de peixe é grande (GOULDING, 1986) e o solo é considerado fértil (JUNK, 1970). Portanto, devido à relativamente grande oferta de alimentos, as várzeas da Amazônia têm a mais alta densidade populacional da região (MEGGERS, 1984, 1986).

As características peculiares deste sistema despertaram o interesse da comunidade científica.

Diversos são os estudos sobre lagos de várzea (SCHMIDT, 1973; FURCH, 1984; FORSBERG, 1983; DEVOL *et al.*, 1983 entre outros), ecologia das macrófitas (JUNK, 1970, 1984; JUNK & HOWARD-WILLIAMS, 1984), relevo (KLAMER, 1984), geologia (IRION, 1976, 1978, 1984), fauna (JUNK, 1973b; BEST, 1984), peixes (GOULDING, 1984), etc.

Todavia, a maioria destes trabalhos ficaram restritos à região central da Amazônia, nas proximidades de Manaus (JUNK, 1984). Em adição, os sedimentos de várzea foram escassamente estudados (IRION, 1978; RADAM, 1978). Na maioria das vezes são reconhecidos como férteis, no entanto, esta afirmação é baseada em suposições, geralmente válidas, mas não definitivas (SIOLI, 1975 a; JUNK, 1984).

Portanto, julga-se pertinente um primeiro reconhecimento sobre a fertilidade destes sedimentos depositados ao longo do canal principal (ríos Solimões e Amazonas) e em seus principais tributários, sendo este o principal objetivo deste trabalho.

## 2. REVISÃO DA LITERATURA

### 2.1. Localização geográfica e aspectos hidrológicos da bacia Amazônica

A exata definição dos limites geográficos da bacia Amazônica é bastante difícil, uma vez que o termo Amazônia é empregado num sentido bastante amplo. Assim, por vezes, o termo Amazônia é utilizado para identificar a região norte do Brasil, muito embora, como região natural, ela estenda-se por vários outros países da América do Sul; ao norte as duas Guianas e o Suriname, a leste pela Venezuela, Colômbia, Equador, Peru e Bolívia. Por outro lado a Amazônia também é identificada como sendo a área que compreende a bacia de drenagem do rio Amazonas. No entanto, a Amazônia, em algumas regiões, ultrapassa os divisores de água desta bacia e dos seus principais tributários, Xingu, Tapajós e Tocantins, têm suas cabeceiras situadas no cerrado brasileiro. Muito embora alguns autores não considerem o rio Tocantins como afluente do rio Amazonas.

A Amazônia, como unidade paisagística natural, compreende uma área de 7.050.000 km<sup>2</sup>, segundo SIOLI (1984) e 6.300.000 km<sup>2</sup>, segundo GIBBS (1965). Esta diferença, possivelmente seja devida à inclusão da bacia do

Tocantins, pelo primeiro autor, estende-se do meridiano 79°W Gr (rio Chamaya, Peru), até o 46°W Gr (rio Palma, Goiás, Brasil) e do paralelo 5°N Gr (rio Cotinga, Roraima, Brasil) até 17°S Gr (alto Araguaia, Mato Grosso, Brasil), (FIGURA 1).

Considerando-se estas coordenadas, a área da bacia Amazônica será de aproximadamente 8.000.000 Km<sup>2</sup>, a qual é cerca de 1.000.000 Km<sup>2</sup> maior que a estimativa feita por SIOLI (1984) e cerca de 1.650.000 Km<sup>2</sup> maior que a estimativa feita por GIBBS (1965).

A partir de 1966, o governo brasileiro, visando a ocupação da região definiu uma extensa área chamando-a de Amazônia Legal. Esta região abrange cerca de 5.030.000 Km<sup>2</sup> ou aproximadamente 59% do território brasileiro. É limitada pelo paralelo 16°S no Estado do Mato Grosso, pelo paralelo 13°S no Estado de Goiás e pelo meridiano 44°W Gr no Estado do Maranhão. A Amazônia Legal, além das florestas de terra-firme abrange extensas áreas de florestas de transição e de áreas de cerrado.

Portanto, a área que abrange a Amazônia é bastante variável em função dos parâmetros que são considerados quando da definição do termo.

A bacia do rio Amazonas tem uma configuração clássica, ou seja, uma extensa planície ladeada por terras elevadas. Ao leste a Cordilheira dos Andes, com altitude de 3.000 a 7.000 m, ao norte o escudo das Guianas com altitude variando de 200 a 500 m e ao sul o escudo Brasileiro (200 a 500 m de altura). O rio Amazonas é formado pelos rios Ucayali e Marañon em terras peruanas. Tem como principais tributários, na margem direita os rios Jutai, Purus, Madeira, Tapajós e Xingu, enquanto, na margem esquerda, encontram-se os rios Iça, Japurá, Negro e Trombetas (FIGURA 1). Percorre no sentido oeste-leste aproximadamente 6.771 Km, paralelo à linha do Equador, desaguando no Oceano Atlântico (STALLARD, 1983).

DAVIS (1964) estimou a descarga do rio Amazonas em 212.000 m<sup>3</sup>/s. Por outro lado OLTMAN (1968), através de medidas realizadas na "garganta" de Obidos, obteve um valor um pouco abaixo daquele, 175.000 m<sup>3</sup>/s. Medidas recentes realizadas por RICHEY e colaboradores em vários setores do rio Amazonas e em distintos ciclos hidrológicos, fornecerão uma caracterização mais abrangente de vários parâmetros hidrológicos (TABELA 1).

GIBBS (1965) calculou a descarga total de sedimentos pelo rio Amazonas em aproximadamente  $3,5 \times 10^8$  t/ano, 80% da quantidade total que é descarregada na região equatorial do Oceano Atlântico. MEADE *et al.*, (1986) calcularam a descarga de sedimentos em  $1,1$  a  $1,3 \times 10^9$  t/ano, que

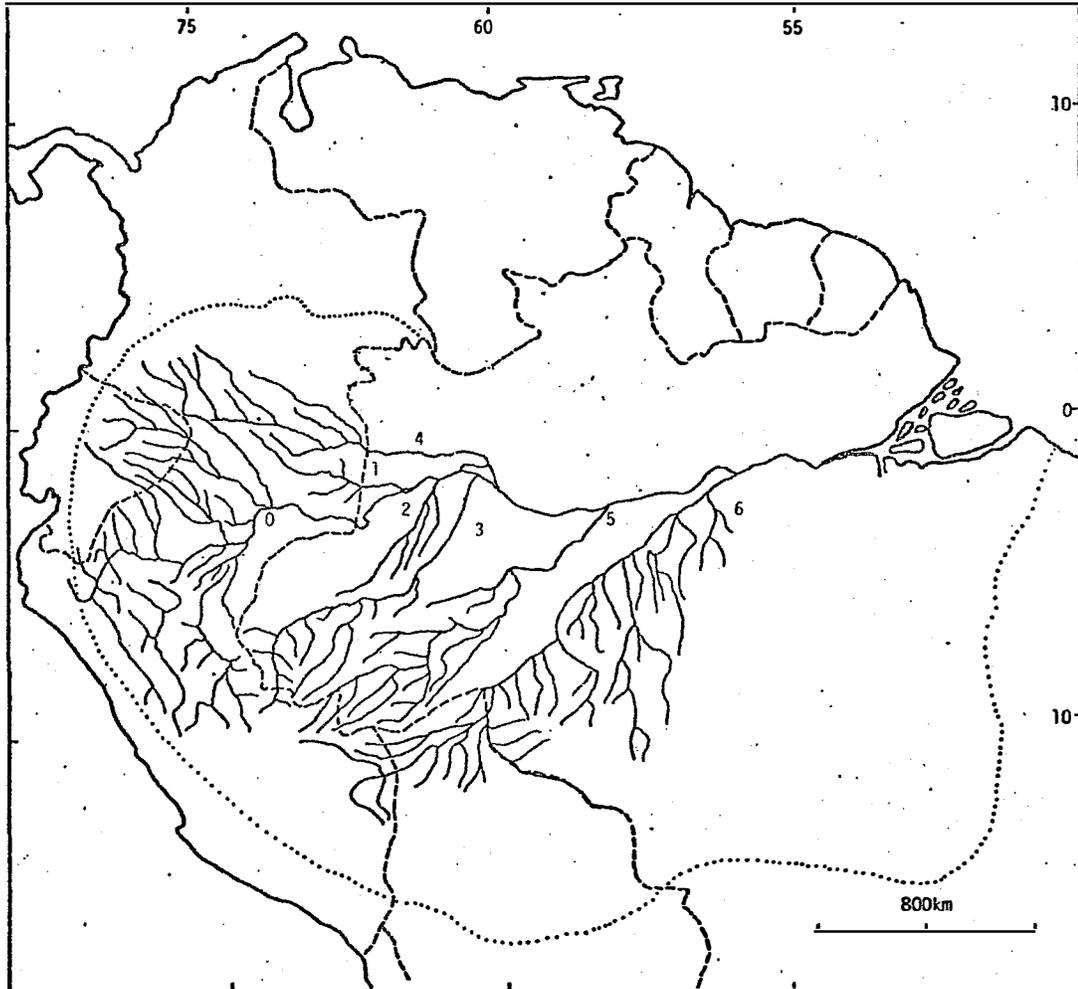


Figura 1. ÁREA MOSTRADA : (0) CANAL PRINCIPAL (SOLIMÕES/AMAZONAS); (1) RIO IÇA; (2) RIO JUTAI; (3) RIO JURUA; (4) RIO JAPURÁ; (5) RIO PURUS E (6) RIO MADEIRA. A LINHA PONTILHADA REPRESENTA OS LIMITES DA BACIA AMAZÔNICA.

TABELA 1. DISTÂNCIA RELATIVA À VARGEM GRANDE (km) E DESCARGA ( $m^3/s$ ) AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL E TRIBUTÁRIOS DURANTE OS CRUZEIROS 6 (SECA), 7 (INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS) E 8 (INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS), DADOS OBTIDOS PELO PROJETO CAMREX.

LOCAL	DISTÂNCIA km	Descarga ( $m^3/s$ )		
		6	7	8
Vargem Grande	0	26.600	51.500	48.000
Rio Iça	16	5.800	7.300	8.400
S. A. do Iça	20	32.600	59.500	56.400
Xibeco	175	32.200	60.600	57.000
Rio Jutã	186	1.400	3.800	3.300
Tupe	241	33.900	63.100	59.900
Rio Juruã	259	900	5.200	4.800
Rio Japurã	400	14.700	12.760	16.700
Jutica	507	50.700	81.700	84.400
Itapeua	680	51.800	85.200	104.500
Anori	874	54.500	85.900	105.100
Rio Purus	884	2.800	10.720	16.200
Manacapuru	998	56.600	109.000	119.500
Rio Negro	1084	12.400	2.800	46.300
S.J. do Amatori	1194	75.300	129.000	174.300
Rio Madeira	1222	6.800	42.100	19.300
Paura	1434	81.700	165.700	201.600
Obidos	1696	91.700	177.000	202.900
Média canal principal		53400 $\pm$ 6600	97100 $\pm$ 1300	110.000 $\pm$ 1800

é bastante próxima da descarga dos rios Huanghe e Ganges-Brahmaputra  $2 \times 10^9$  t/ano e  $2,2 \times 10^9$  t/ano, respectivamente (HOLEMAR, 1968, citado por STALLARD, 1983).

## 2.2. Formação e composição geológica da bacia Amazônica

A bacia Amazônica geologicamente pode ser definida como uma bacia sedimentar intercratônica formada entre os escudos Brasileiros e das Guianas (PUTZER, 1984; SCHUBART, 1983; SIOLI, 1975<sup>b</sup>). Segundo STALLARD (1983), quatro maiores zonas morfoestruturais podem ser distinguidas: escudo dos Pré-Cambrianos (Brasileiro e das Guianas), a bacia Amazônica, a Cordilheira dos Andes e a depressão Sub-Andina (FIGURA 2).

A base de toda bacia é formada por rochas cristalinas da era Pré-Cambriária. Estas rochas formam os limites norte e sul da bacia Amazônica. Ao norte, encontra-se o escudo das Guianas composto de rochas ígneas e metamórficas de composição ácida a intermediária (PUTZER, 1984; STALLARD, 1983). Ao sul situa-se o escudo Brasileiro, que é bastante similar ao escudo das Guianas. Estas plataformas cristalinas avançam do norte e do sul em direção à depressão Amazônica, sendo posteriormente cobertas por sedimentos mais recentes (KLAMMER, 1984). O limite oeste da bacia, a cordilheira dos Andes, que surgiu na era Cenozóica, portanto geologicamente bem mais recente que os escudos cristalinos, apresenta uma litologia bastante complexa. Resumidamente, a litologia sedimentar da cordilheira é composta por argilitos, carbonatos, arenitos e sedimentos flúvio-lacustres (STALLARD, 1983).

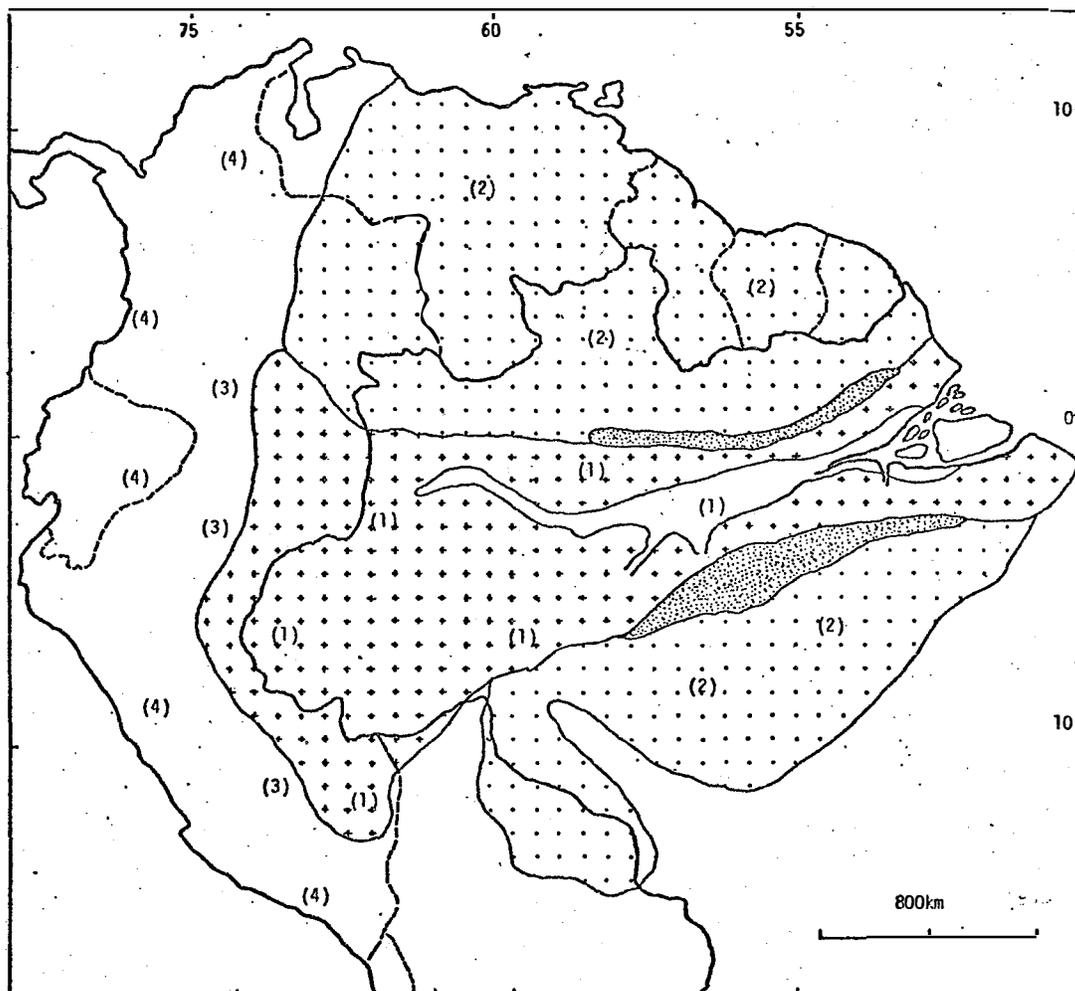


Figura 2. PRINCIPAIS UNIDADES GEOLÓGICAS E GEOMORFOLÓGICAS DA BACIA AMAZÔNICA: (+) TERCIÁRIO; ( ) QUATERNÁRIO; (.) PRÉ-CAMBRIANO E (:) PALEOZÓICO. UNIDADES GEOMORFOLÓGICAS: (1) BACIA AMAZÔNICA; (2) ESCUDOS CRISTALINOS; (3) DEPRESSÃO SUB-ANDINA E (4) CORDILHEIRA DOS ANDES.  
 FONTE: SIOLI (1975a)

Historicamente, a formação da bacia Amazônica é bastante antiga. Na era Paleozóica, há 420 milhões de anos, quando não havia ainda surgido a cordilheira dos Andes, a África e a América do Sul formavam um único continente. A depressão situada entre os dois escudos cristalinos foi invadida pelo mar através de transgressões no sentido oeste para leste, pelo menos três vezes durante os 200 milhões de anos que duraram esta era. Desta forma alternaram-se períodos de sedimentação e erosão (PUTZER, 1984; SIOLI, 1975b; SCHUBART, 1983). Atualmente, estes sedimentos só não foram cobertos em duas estreitas faixas que margeiam os escudos cristalinos na região do baixo Amazonas (FIGURA 2). Na era Mesozóica, segundo SIOLI (1975 b) e PUTZER (1984) não houve deposição sedimentar, sendo um período de desnudação. Ocorreram apenas no período Cretáceo intrusões de diabásio através de fraturas da crosta, quando da formação do Oceano Atlântico. No entanto, contrariamente, SCHUBART (1983) cita que, nesta era, houve deposição de sedimentos flúvio-lacustres. Nesta fase, havia duas bacias distintas: uma onde o padrão de drenagem era semelhante ao que ocorre atualmente, ou seja, os rios percorriam predominantemente o sentido oeste-leste (SCHUBART, 1983); na segunda bacia situada na região de Iquitos (Peru), os rios drenavam para o Pacífico, sentido leste-oeste. Segundo PUTZER (1984), esta é a razão de alguns golfinhos e peixes serem encontrados tanto no oceano Pacífico como nos tributários da região leste do Peru e no rio Madeira. No final da era Terciária, no período Mioceno, houve a elevação dos Andes; conseqüentemente, os rios que corriam em sua direção foram bloqueados, passando a fluir em sentido contrário, ou seja, de leste para oeste (GIBBS, 1965; SIOLI, 1975 b; PUTZER, 1984).

Seguiu-se então um período de deposição de sedimentos de origem flúvio-lacustre, constituído principalmente de silte-argila, originando a formação Barreiras (Alter do Chão). Durante o período Plioceno e toda a era Quaternária devido a oscilações do nível do mar ocasionadas pelas glaciações, os rios da bacia Amazônica alternaram períodos de deposição com períodos de erosão, formando extensas planícies de inundação e estabelecendo o atual padrão de drenagem (JUNK, 1984; SIOLI, 1975 b; KLAMMER, 1984; IRION, 1984a).

### 2.3. O relevo e sua evolução na bacia Amazônica

O relevo atual da bacia Amazônica acha-se intimamente relacionado a processos geológicos ocorridos na era Quaternária principalmente a variações no nível do oceano devido às glaciações e não, como anteriormente pensado, a movimentos da crosta continental (IRION, 1984a; KLAMMER, 1984).

KLAMMER (1984) enumerou, de acordo com a ordem decrescente de suas idades, as principais unidades de relevo na bacia Amazônica: (1) o "plateau" de deposição conhecido como argila Belterra, (2) um relevo de suave erosão descendo do platô até uma altitude de aproximadamente 80 m acima do nível atual dos rios e (3) um grupo de 9 a 10 várzeas fósseis estendendo-se da altura de 80 m até o presente nível do mar (FIGURA 3).

A argila Belterra tem altitude aproximada de 100 m a 250 m acima do nível do mar na região central da Amazônia. Ao se distanciar do rio Amazonas este plateau pode atingir 300 m de altitude. A origem deste material é bastante discutida; a hipótese de SOEMBROEK (1966), citado por IRION(1984a), é que esta argila é de origem marinha-lacustrina, sendo deposita

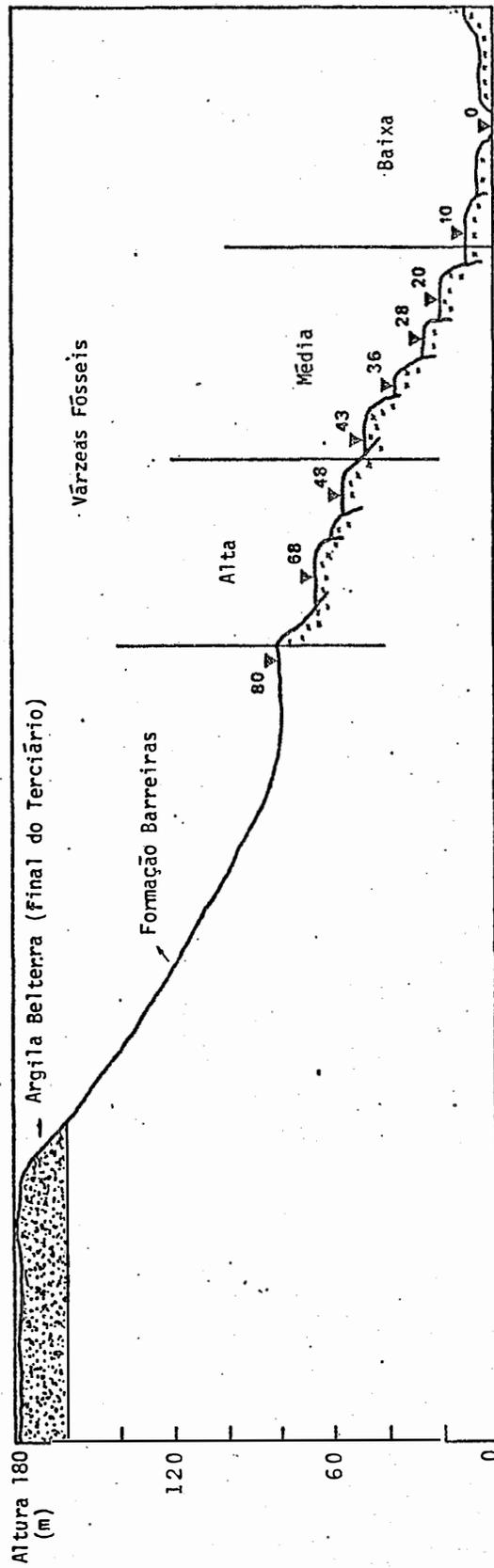


Figura 3. EVENTOS DE DEPOSIÇÃO E EROSIÃO NA BACIA AMAZÔNICA E FORMAS DE RELEVO ATUAL. ADAPTADO DE KLAMMER (1984).

da durante a formação de um grande lago, que foi formado pelo represamen-  
to dos rios devido à subida do nível do mar durante o período de transição  
entre a era Terciária e a Quaternária. Por outro lado, IRION (1984a) acha  
que a formação da argila Belterra se deve aos produtos de intemperismo da  
formação Barreiras sedimentos depositados durante a era Terciária. Na al-  
titude de 80 m em relação ao nível do mar, após o término do terraço, com  
suave declividade que vem desde o Platô Belterra situado entre as altitu-  
des 160 m até 80 m (FIGURA 3), tem início uma série de 9 a 10 terraços nos  
níveis 80, 68, 56, 50, 43, 26, 30, 20 e 10 m em relação ao nível do mar, os  
quais são testemunhas das várias transgressões marítimas ocorridas no Pleis-  
tocena e no Holoceno, alternando-se períodos de deposição (formação  
dos terraços) e de erosão (IRION, 1984a; KLAMMER, 1984). Desta forma, a  
grande extensão de terreno conhecida como terra-firme da Amazônia, são exa-  
tamente estas várzeas fósseis, que atualmente se encontram modeladas  
em função de sua litologia e estrutura e, segundo KLAMMER (1984), o grau de  
dissecação é um reflexo de sua idade. Para que a formação destes terraços  
ocorresse, foi fundamental a conformação coerente da bacia de drenagem e a  
baixa inclinação dos rios (a inclinação média do rio Amazonas é de 2 cm/km),  
estando a maioria das suas terras abaixo da cota 200 m.

As várzeas mais jovens da Amazônia, próximas aos canais dos  
rios, têm sua origem no Holoceno (JUNK, 1984a; IRION, 1984). Durante a gla-  
ciação de Würmian (18.000 anos atrás), houve conseqüentemente um abaixamen-  
to no nível do mar de cerca de 130 m. Desta forma os vales do canal prin-  
cipal e o baixo curso de seus tributários foram intensivamente erodidos, ou  
seja, os sedimentos depositados durante o final da era Terciária e durante o

período Pleistoceno. Com o fim desta glaciação houve um rápido aumento no nível do mar até 125 m, havendo a formação de um grande lago devido ao represamento dos rios onde hoje estão localizadas as várzeas atuais (SIOLI, 1975 b; IRION, 1984a; KLAMMER, 1984). Iniciou-se então um processo de sedimentação, formando as várzeas mais recentes. No entanto, KLAMMER (1984) encontrou várzeas situadas entre as mais baixas várzeas fósseis (hoje terra-firme) e as várzeas Holocênicas, aproximadamente a 5-6 m acima do nível do mar, chamando-as de várzeas pré-Flandianas, pois, estas foram possivelmente formadas anteriormente à transgressão marítima Flandiana, as quais não apresentam caráter deposicional, mas, sim, formas de erosão. Ressaltando que as atuais várzeas da Amazônia não devem ter sua origem relacionada exclusivamente ao período Holocênico. Em adição, o mesmo autor ressalta que também paralelamente ao canal principal da bacia, as várzeas apresentam diferença quanto a seu aspecto físico. A textura do sedimento depositado na região do alto Solimões é diferente da textura encontrada nos sedimentos rio abaixo, sugerindo diferentes regimes de deposição. Havendo um aumento na porção aquática em detrimento da porção terrestre à medida que o rio Amazonas avança para o oceano até aproximadamente 150 km abaixo da cidade de Santarém. A partir daí é novamente observado um desenvolvimento semelhante ao ocorrido rio acima. KLAMMER (1984) interpreta a causa desta mudança, como sendo estágios de aluviação diferenciados. Os vales situados acima da boca do rio Negro foram já preenchidos com a máxima carga de sedimento compatível com o presente nível do rio. Por outro lado, rio abaixo, o processo de aluviação está incompleto, o rio ainda está preenchendo seus vales com sedimentos. Com a aproximação

do mar e com o conseqüente movimento das marés, as várzeas já atingiram sua altura máxima em relação ao atual nível do rio. Provavelmente, segundo o mesmo autor, devido ao processo de aprisionamento de sedimentos pela água salgada, a qual se move pela parte mais profunda do canal dos rios e sobe à superfície nas áreas turbulentas, concentrando e movimentando a carga em suspensão de acordo com o ciclo da maré, contribuindo para deposição de sedimento nas margens. Possivelmente, este fenômeno explique a razão pela qual, no baixo rio Amazonas, as margens são tão elevadas em relação à altura do rio na época de cheia. Enquanto, acima de Manaus, as margens, em alguns pontos, são pouco elevadas em relação à altura do rio, mesmo nas maiores cotas do mesmo (IRION, 1984a).

#### 2.4. Principais solos da bacia Amazônica

Devido sua grande extensão e decorrentes problemas logísticos o reconhecimento dos diferentes tipos de solo, exceto algumas áreas restritas, tem sido feito a nível de reconhecimento, sendo a escala dos mapas de classificação do solo, geralmente, inferior a 1:70.000 (RANZANI, 1979; IRION, 1978 e SOMBROEK, 1984a). Por esta razão, neste item são apresentadas, de forma resumida, as principais unidades taxonômicas existentes na região e sua área de ocorrência.

De uma forma geral, contrastando com a luxuriante "Hylea Amazônica" de Humboldt, os solos da Amazônia são bastante pobres. As principais razões para esta pobreza são a elevada taxa de precipitação e a relativamente antiga idade geológica da bacia Amazônica. Estes dois fatores congre

gados levarão à formação de perfis bastante profundos e intemperizados (SCHUBART, 1983; IRION, 1978; SOEMBROEK, 1984; STALLARD, 1980). As exceções são atribuídas a áreas de inundação adjacentes a calhas dos rios de "água-branca" geologicamente recentes e algumas áreas onde o intemperismo não foi tão intenso devido principalmente à fina textura do substrato (IRION, 1983; SOEMBROEK, 1983).

Segundo SANCHEZ *et al* (1982), 75% dos solos da Amazônia são solos ácidos e inférteis, principalmente Oxisols e Ultissols segundo o sistema americano de classificação ou Podzolicos e Latossolos, segundo a classificação brasileira de solos; 15% da área é dominada por solos aluviais pobremente drenados, são os Aquepts, Aquents, Gleysolos da classificação americana. Solos moderadamente férteis e bem drenados perfazem 8% da área (principalmente Alfisois, Molisois, Vertisois, Tropopts e Fluvents) e, finalmente, 3% são cobertos por solos de baixíssima fertilidade e arenosos (Spodosols, Psammentes e Podzols).

Quanto às principais limitações dos solos da bacia Amazônica, os mesmos autores citam que 90% dos solos são deficientes em fósforo, 73% apresentam toxidade de alumínio, 56% sofrem inundações periódicas e drenagem deficiente, 16%, baixa capacidade de troca catiônica, 15%, alta erodibilidade, 67%, formação de laterita, caso haja exposição do subsolo. Conseqüentemente, as maiores limitações dos solos da Amazônia são de origem química e não física, ressaltando-se que 6% da área (32 milhões de ha) são de solos sem maiores limitações para agricultura (SANCHEZ *et al.*, 1982).

STALLARD (1983) relacionou a ocorrência de três maiores tipos de solos com áreas de diferentes climas e vegetação. As savanas que ocorrem

na região nordeste e sul. Os solos desta região tendem a ser cauliníticos com níveis variáveis de sesquióxidos de alumínio. Esta região apresenta maior período seco em relação às outras duas. A floresta Amazônica, na parte central da bacia, onde os solos são predominantemente cauliníticos com médios teores de quartzo. Finalmente a região de campina-caatinga, com o menor período seco, que está sob solos bastante ricos em quartzo, com ocorrência de caulinitas e sesquióxidos de alumínio.

IRION (1978), por outro lado, relacionou os solos da bacia Amazônica com as principais formações geológicas da região. Solos relacionados aos escudos cristalinos e à formação Barreira. De uma maneira geral estes solos são formados pelas rochas cristalinas de textura grosseira, com alta permeabilidade e originalmente ricos em feldspatos (IRION, 1984a). Devido à alta pluviosidade e permeabilidade do solo, os perfis encontram-se altamente intemperizados com grande formação de caulinita a partir dos feldspatos. São solos ácidos e de baixa fertilidade, onde a soma de cations básicos (Ca, Mg, Na e K) é normalmente bastante baixa, (IRION, 1978, 1984a). Segundo IRION (1976), o principal mineral de argila deste solo é a caulinita (90%). Os solos existentes nos escudos cristalinos são ligeiramente mais ricos em elementos que o solo originado pela formação Barreira. Evidentemente, este fato se deve à origem da formação Barreira, ou seja, produto de intemperismo dos escudos cristalinos (IRION, 1984a).

A um nível mais detalhado, SOMBROEK (1984) dividiu geograficamente os solos formados a partir destas estruturas. A parte leste da bacia sedimentar com solos não concrecionários com propriedades óxicas e so

los concrecionários. Os primeiros são solos profundos, bem drenados, bastante ácidos, de cor amarelada a marron, friáveis e porosos, não havendo desenvolvimento de um horizonte B-argílico ou textural e sim um horizonte B-óxico. Quimicamente são bastante pobres devido à baixa saturação de bases (20%) e à baixa CTC da fração argila, predominantemente caulinitica. Os solos concrecionários apresentam a formação de petroplintita ou laterita são denominados solos concrecionários latiríticos indiscriminados distróficos.

Na parte oeste da bacia sedimentar, SOEMBROEK (1984) argumenta que os solos aí existentes são menos intemperizados que a parte leste, pois são predominantemente formados por materiais andinos, sedimentos marinhos e cinzas vulcânicas. Como consequência, estes solos são mais férteis que na parte leste da bacia, ainda que a pluviometria seja mais abundante nesta região. O autor divide os solos desta região, baseado na existência ou não de diferenciação textural. Os solos com diferenciação textural ocorrem predominantemente na parte sudoeste do Brasil e na Colômbia, Peru e Bolívia. Apesar de ácidos, como a composição de minerais de argila é de illita em adição a caulinita e sesquióxido, estes solos apresentam uma alta capacidade de troca catiônica e apresentam um horizonte B-textural ou argílico, podendo ter baixa atividade de argila (Podzólico Vermelho-Amarelo, álico, atividade de argila baixa ou Paleudults de acordo com a classificação americana) ou alta atividade de argila (Podzólico Vermelho-Amarelo, álico, atividade alta ou Tropudults na classificação americana). No Estado do Acre pode ocorrer este tipo de solo com valores elevados de soma de bases, caracterizando os Podzólicos Vermelho-Amarelo, eutrófico ou Tropudalfs na

classificação americana. Por outro lado, os solos sem diferenciação textural cobrem uma área pequena em relação aos anteriores e ocupam a orla mais oeste da bacia. Estes solos podem ser ricos como no Estado do Acre: Cambisol eutrófico (Eutropts na classificação americana), ou pobres como os que ocorrem nas planícies sedimentares da Colômbia e Equador.

Finalmente, na parte norte e sul, nos escudos cristalinos Pré-Cambrianos, encontram-se solos bastante variados nas suas características. Alguns são bastante semelhantes àqueles encontrados na planície Amazônica (formação Barreiras), como por exemplo, Latossolo Vermelho-Amarelo, álico (Haplortox na classificação americana). Outros solos são fisicamente semelhantes, mas sua fração argila apresenta uma grande porcentagem de óxido de ferro ativo, devido à maior riqueza da rocha-mãe (basaltos e rochas sedimentares ferro-magnésio). Estes solos são conhecidos como Terra-Roxa Estruturada (Paleudalfs na classificação americana).

Solos relacionados às áreas paleozóicas. De uma maneira geral são solos menos intemperizados em comparação aos solos formados sobre a formação Barreiras devido à menor impermeabilidade das rochas sedimentares do Paleozóico (IRION, 1976). A mica, nestes solos, apresenta-se ainda relativamente bem preservada, contrariamente aos feldspatos, que já foram totalmente intemperizados, levando à formação de caulinita. IRION (1978) cita que, nas primeiras camadas, estes solos são comparáveis aos solos que ocorrem na formação Barreiras e nos escudos cristalinos, porém, a partir de 1,5 a 5m como consequência do intemperismo parcial da ilita, o conteúdo de magnésio e potássio aumenta.

Solos sobre os depósitos Cretáceo-Terciário da região sudoeste da bacia Amazônica. Estes solos foram por SOEMBROEK (1984) relacionados como pertencentes à parte oeste da bacia sem apresentar gradiente textural significativo, sendo, portanto, já mencionados. Brevemente, são solos mais ricos em minerais, em comparação aos solos de formação Barreira e também menos uniformes, sendo constituídos de sedimentos de textura fina resistente à infiltração de água, portanto, pobremente drenados (IRION, 1976, 1978). O produto final de intemperização destes solos é geralmente a montmorilonita de baixa atividade (IRION, 1984 b).

Solos formados sobre as várzeas Quaternárias. Estes solos são formados pelos sedimentos transportados pelos rios e que são depositados nas suas margens durante periódicas inundações. Geologicamente podem ser divididos em várzeas formadas no Pleistoceno (mais velhas) e várzeas formadas no Holoceno (mais jovens, formadas há 5.000 anos), ambas formadas pelas flutuações do nível do mar e rios devido às glaciações nestes períodos. Segundo IRION (1978), a área coberta pelas várzeas Pleistocênicas é de aproximadamente 3.400.000 km<sup>2</sup>, enquanto as várzeas Holocênicas ocupam uma área de 64.400 km<sup>2</sup>.

Segundo IRION (1976), os solos das várzeas Pleistocênicas são mais ricos em minerais, em comparação aos solos formados sobre a formação Barreiras, sendo sua mineralogia constituída principalmente de caulinita, illita e traço de montmorilonita. O estado de intemperização é menos avançado que aquele observado em outros solos da Amazônia, no entanto, os cátions observados às superfícies dos minerais, já foram substituídos por H<sub>2</sub>O devido

ao baixo pH da solução do solo. Porém, como já ressaltado, em menor grau que outros solos Amazônicos.

As várzeas Holocênicas mais jovens e portanto mais próximas das calhas dos rios, podem ser consideradas como um dos solos mais ricos da Amazônia. O seu conteúdo mineral está intimamente ligado ao material transportado pelos rios de "águas-brancas", sendo principalmente material originário da região Andina e sub-Andina (GIBBS, 1965 e IRION, 1976). São solos mal drenados, e, sendo ainda jovens, não houve completa intemperização de seus minerais (IRION, 1978). IRION (1984a), analisou um perfil localizado no alto Solimões, na localidade de Terra Alta, o qual considerou como a mais nova das deposições Pleistocênicas, portanto, bastante próxima da composição das várzeas Holocênicas. Este autor observa que desde a base até a profundidade de 12 m, o sedimento mostra muito pouca alteração em relação ao sedimento recém-transportado pelo rio Solimões. Desta forma, a mineralogia da fração argila constitui-se principalmente de montmorilonita, (IRION, 1976, 1984a). SOMBROEK (1984), situa as várzeas Holocênicas da Amazonas em duas unidades taxonômicas distintas. Nas várzeas altas com solos apresentando estratificação sedimentar e drenagem interna livre, são os Fluventes segundo a classificação americana. Nas várzeas baixas predominam solos mais argilosos, com restrita drenagem interna; são os Aquepts segundo a classificação americana. Segundo este mesmo autor, os Fluventes dominam a parte oeste da bacia (rio Solimões) e os Aquepts são predominantes no rio Amazonas, porção leste da bacia.

## 2.5. Aspectos hidrogeoquímicos da bacia Amazônica.

### Sistemas de classificação das águas da Amazônia

Segundo SIOLI (1984), os rios, de uma maneira geral, não podem ser considerados "microscópios" como os lagos o são. Nestes corpos há predominância dos processos que circulam a matéria, tornando estes lagos relativamente independentes das contribuições exteriores. Muito pelo contrário, rios são considerados como "integradores" finais dos processos que ocorrem em suas bacias de drenagem (RICHEY *et al.*, 1982). SIOLI (1984) compara-os ao sistema renal dos animais, eliminando metabolitos produzidos pela sua bacia de drenagem. Logo, suas propriedades físicas e químicas, até certa extensão, refletem a composição geológica, climática, da cobertura vegetal, etc.

Para a bacia Amazônica, STALLARD (1983) observa que o substrato litológico e o regime de erosão das respectivas bacias de drenagem controlam a composição química das águas superficiais. Dentro desta idéia, GIBBS (1965), mostrou que aproximadamente 18% da área total da bacia fornecem a quantidade total de sais dissolvidos e sólidos em suspensão para toda a bacia Amazônica. Desta forma, os sistemas de classificação das águas superficiais da Amazônia tentaram relacionar a ocorrência de águas com diferentes características químicas e físicas com o substrato geológico. (SIOLI, 1975 a; FITTKAU, 1975; STALLARD, 1983; FURCH, 1984).

A primeira classificação das águas superficiais da Amazônia foi feita por SIOLI (1950), citado por SIOLI (1975 a, 1975 b). Esta clas

sificação baseia-se nas características ópticas, associada a características químicas dos rios e sua área predominante de ocorrência.

Rios de "águas-brancas" são rios de águas turvas, coloração em vários matizes de ocre, ricos em material particulado em suspensão, com relativamente alta quantidade de eletrólitos, pH variando de 6,2 a 7,2, tendo sua origem principalmente nas montanhas Andinas. Predominantemente são os grandes rios de origem Andina e sub-Andina, e.g. rio Amazonas-Solimões, rio Madeira. No entanto, alguns igarapês que drenam áreas Carboníferas durante a estação chuvosa, podem apresentar este tipo de água (SIOLI, 1984).

Rios de "águas-claras" são rios de águas transparentes em vários matizes de verde, com pouca quantidade de material em suspensão, composição química e pH variáveis em função do substrato geológico. Exemplos: rio Tapajós e Xingu. Além destes grandes rios, pequenos rios (igarapês) podem apresentar este tipo de água, predominante nas florestas de terra-firme e nos campos.

Rios de "águas-pretas" são rios de cor marron-oliva ("coca-cola") até marron-café devido a substâncias húmicas dissolvidas. São bastante ácidas (pH 3,8 a 4,9) e bastante empobrecidos em eletrólitos. O exemplo mais marcante é o rio Negro. Sua origem está ligada a vários relevos da bacia Amazônica, porém encontra-se sempre em associação a solos Podzóis (KLINGE, 1967); basicamente a maioria dos igarapês que drenam a terra-firme da Amazônia são de águas-pretas.

Esta classificação, ainda que amplamente difundida, apresenta alguns inconvenientes. A não uniformidade no pH e variação química das

Águas claras revelam que estas águas são homogêneas somente quanto à cor. Exemplificando, na zona da formação Barreiras (Terciário) o pH das águas claras está em torno de 4,5, enquanto águas claras que drenam regiões de ocorrência carbonífera o pH sobe para 7. Em adição, a mistura de águas de diferentes tipos, em rios de ordem superior torna difícil a classificação deste rio num tipo distinto. Esta tarefa torna-se mais difícil, quando os rios mudam a coloração de suas águas em resposta à estação seca e chuvosa. Este fato ocorre principalmente em locais onde não existe uma cobertura vegetal, acentuando a erodibilidade dos solos. Obviamente estas mudanças são muito mais visíveis em igarapés do que em rios maiores, portanto, apesar destes inconvenientes a classificação de Sioli é amplamente utilizada, principalmente na classificação de grandes rios (SIOLI, 1984; FURCH, 1984).

FITTKAU (1969), citado por FITTKAU *et al* (1975), propõe a divisão da bacia Amazônica em três regiões geoquimicamente distintas e dentro de cada região as características ecológicas serão relativamente uniformes. As águas superficiais que drenam cada região serão indicadores geoquímicos dos processos que ocorrem nestas áreas, obtendo, portanto, relativa homogeneidade, uma vez que estas regiões foram agrupadas de acordo com características geológicas uniformes (SIOLI, 1968; STALIARD, 1983).

Os escudos cristalinos periféricos do norte (da Guiana) e ao sul (Brasil eiro), constituem-se numa unidade ecológica, que é caracterizada por ter uma litologia mais heterogênea que a bacia sedimentar Terciária (formação Barreiras). Como consequência, a disponibilidade de nutrientes é variável. A maioria dos rios que drenam estas áreas são rios de águas-claras,

porém, como anteriormente ressaltados, de acordo com as condições climáticas podem mudar sua coloração (FITTKAU, 1975; SIOLI, 1984).

A segunda unidade é a Amazônia Central, que tem sua origem geológica relacionada a sedimentos flúvio-lacustres do Terciário e Pleistoceno (produtos de intemperismo dos escudos cristalinos ao norte e sul) com a formação de solos extremamente pobres (PUTZER, 1984; IRION, 1979). Conseqüentemente os rios que drenam esta região apresentam uma concentração muito baixa de eletrólitos. Geralmente são igarapês de água-preta, ricos em substâncias húmicas.

A região Andina, pré-Andina e as várzeas Holocênicas, que se estendem até a Ilha de Marajó, são consideradas como a terceira unidade (FITTKAU 1975). Portanto, esta unidade é totalmente formada por sedimentos Andinos, que são erodidos e transportados para a região sub-Andina e daí para as várzeas da Amazônia (GIBBS, 1965). Conseqüentemente, os rios que drenam esta região são relativamente ricos em sólido em suspensão e em eletrólitos, sendo classificados como rios de água-branca. Esta região engloba o rio Amazonas e seus principais tributários, exceto o Negro, Tapajós e Xingu (FITTKAU, 1975).

STALLARD (1983) classificou as águas da bacia Amazônica de acordo com a carga total de cátions (TZ+) e, segundo este autor, o substrato litológico e o regime de erosão controlam a composição química das águas superficiais. Sua classificação está também relacionada à Geologia: (1) Rios com TZ+ entre 0 e 200  $\mu\text{eq/l}$ , que drenam terrenos bastante intemperizados (sedimentos Terciários da bacia central, solos da bacia do rio Negro e

regiões similarmente intemperizadas); a forma predominante de regime de erosão é "limitada pelo transporte", ou seja, os produtores de intemperismo são empobrecidos em relação ao substrato litológico original. Estes rios mostram altos níveis de Fe, Al e H, sendo enriquecidos em Si relativamente a outras espécies. (2) Rios com TZ entre 200 e 450  $\mu\text{eq/l}$  drenando terrenos silícicos conseqüentemente são rios em sílica em relação a outros cátions. Segundo STALLARD (1983) o controle geológico destes rios é exercido principalmente pela intemperização de silicatos. (3) Rios com TZ+ entre 450 a 3.000  $\mu\text{eq/l}$ , drenam basicamente sedimentos marinhos e "red beds" ricos em cátions, presentes principalmente nos Andes Peruanos e Bolivianos. As concentrações de Ca, Mg e alcalinidade são relativamente altas. (4) Rios com TZ+ > 3.000  $\mu\text{eq/l}$ , drenam evaporitos, sendo ricos em Na e Cl. Rios dos grupos (3) e (4) são controlados geologicamente pela intemperização de carbonatos e evaporitos dos Andes.

Segundo esta classificação, no primeiro grupo (TZ+ entre 0 e 200  $\mu\text{eq/l}$ ) enquadram-se os rios da bacia do rio Negro, Tapajós e Trombetas que são formados no escudo cristalino Brasileiro. O rio Negro, na classificação de Sioli, é considerado o mais famoso exemplo de água-preta; os rios Branco e Iça são considerados rios de águas-brancas e os rios Tapajós e Trombetas, rios de águas-claras. Por outro lado, segundo a divisão ecológica de FITTKAU, o rio Negro, antes de sua junção com o rio Branco, faz parte da região Periférica Norte (escudo cristalino). Após a confluência com o rio Branco, ambos passam a integrar a região Amazônica Central (formação Barreiras). O rio Iça faz parte da região Periférica Oeste (Andes e várzeas Holocênicas) e os rios Trombetas e Tapajós originam-se na região Periférica Sul (escudo cristalino). Ainda fazem parte deste primeiro

grupo os rios Jutai, Tefé e Coari, considerados rios de águas-pretas e pertencentes à região Amazônica Central na classificação de Fittkau.

Ao segundo grupo ( $200 < TZ+ < 450 \mu\text{eq/l}$ ) pertencem os rios Madeira, próximo à sua foz, Napo (amostrado a 08.07.76), Branco (amostrado a 07.04.78), Trombetas (amostrado a 03.06.77) e Purus. O rio Madeira e Napo tem suas cabeceiras nas regiões sub-Andina e Andina, respectivamente, o rio Branco e o rio Trombetas nos escudos cristalinos, Norte e Sul, respectivamente e o rio Purus tem também origem sub-Andina, drenando uma extensa área de sedimentos marinhos. Os rios Branco, Madeira e Purus são rios de águas-brancas. O primeiro origina-se na região Periférica Norte e os dois últimos na região Periférica Oeste.

Grupo 3 ( $450 < TZ+ < 300 \mu\text{eq}$ ), enquadram-se os rios Solimões, Amazonas, Marañon e a maioria dos rios que compõem a sua bacia, rio Madeira amostrado em Porto Velho, Napo amostrado em 20.05.77, Japurá e Juruá. Todos têm formação Andina ou sub-Andina, portanto, pertencem à região Periférica-Oeste e são considerados rios de águas-brancas.

Ao quarto grupo ( $TZ+ > 3.000 \mu\text{eq/l}$ ) enquadram-se somente rios da bacia de drenagem do Ucayali, que são rios que drenam evaporites Andinos, fazendo parte da região Periférica Oeste e provavelmente sejam considerados rios de águas-brancas.

Como se pode notar, na classificação de Stallard, alguns rios, conforme o local e o período em que foram amostrados, podem fazer parte simultaneamente de dois grupos. Como exemplo, o rio Madeira na cidade de Porto Velho, tem um  $TZ+$  de  $620 \mu\text{eq/l}$ , enquanto próximo a sua foz,

após ter recebido a entrada de vários tributários com baixa concentração de eletrólitos, a concentração cai para um valor médio entre duas amostras de 415  $\mu\text{eq/l}$ , ou seja, devido a uma variação espacial o rio Madeira pertence simultaneamente a dois grupos. O rio Napo e Trombetas, por outro lado, apresentam a mesma característica, todavia, a razão para tanto é a diferença em concentração de eletrólitos que estes rios apresentaram por serem coletados em épocas diferentes, assim a 08.07.76 o rio Napo teve um TZ+ de 400  $\mu\text{eq/l}$  e no dia 20.05.77 de 493  $\mu\text{eq/l}$ , enquanto o rio Trombetas tem um TZ+ de 281  $\mu\text{eq/l}$  dia 14.06.76 e de 99  $\mu\text{eq/l}$  dia 03.06.77.

Em adição, também se pode notar que há uma similaridade entre os três sistemas de classificação, quando se trata de rios com TZ+  $\times$  450  $\mu\text{eq/l}$ , relativamente ricos em eletrólitos, os quais originaram-se na região Andina ou sub-Andina. Fazendo parte da região Periférica Oeste, segundo a classificação proposta por Fittkau e são também todos rios de águas-brancas segundo a clássica divisão de Sioli. No entanto, rios relativamente pobres em eletrólitos, TZ + < 450  $\mu\text{eq/l}$ , mostram discrepâncias quando classificados pelos três sistemas; por exemplo, o rio Iça, tributário da margem esquerda do Solimões, na região noroeste é classificado como um rio de água-branca, portanto deveria apresentar uma concentração relativamente maior de eletrólitos.

Os três sistemas de classificação das águas superficiais da Amazônia, se baseiam na premissa que o substrato geológico exerce o maior controle sobre a composição química das águas superficiais. Como visto, devido à complexidade da área, os três apresentam algumas imperfeições. No entanto, permitem o conhecimento de uma série de propriedades dos

rios, quando são classificados por um dos três sistemas.

FURCH (1984) selecionou 9 corpos hídricos, 5 dos quais representativos da área Periférica Oeste segundo a classificação de Fittkau, 2 representando a área Periférica Norte e os 2 restantes representando a Amazônia Central. Pela análise da composição química destas águas, a autora classificou estas águas sob o prisma estritamente químico, comparando-as por fim à composição média das águas mundiais e relacionando sua carga de eletrólitos com as províncias geoquímicas estabelecidas por FITTKAU (1971).

Sem levar em conta as variações temporais na composição química das águas, a autora chegou à conclusão de que as águas associadas à província Periférica Oeste (rio Solimões e lagos de Várzeas) são as mais ricas em eletrólitos. Nestas águas há predominância de Ca e  $\text{HCO}_3$  permitindo a classificação das mesmas como águas carbonatadas, o tipo mais comum encontrado no mundo. As águas que drenam a região Periférica Norte (rio Negro e rio Tarumã Mirim) têm uma concentração bem menor em eletrólitos, 15% da concentração encontrada na região Periférica Oeste, são relativamente ácidas (pH 5,1) havendo dominância de metais alcalinos (Na e K) e escassez de metais alcalinos terrosos (Ca e Mg) e carbonatos, 24% da sua composição é constituída de elementos traços, principalmente Fe e Al. O pH bastante ácido, em torno de 4,5, extremamente pobre em eletrólito com predominância bastante acentuada de metais alcalinos (57%), 32% de elementos traços e somente com 11% de Ca e Mg alcalinos terrosos) caracterizam os pequenos igarapês que escoam das florestas de terra-firme da Amazônia Central.

Em comparação à concentração média mundial para águas doces,

as águas representantes da região Periférica Oeste apresentam a mesma proporção de elementos, com dominância de Ca e  $\text{HCO}_3$ . No entanto, o conteúdo iônico é bastante menor, somente 33% da concentração média mundial. As águas que drenam a província Periférica Norte, mais pobres que a primeira, têm somente 5% da quantidade de eletrólitos em relação à concentração média mundial; o mesmo ocorrendo com as águas da Amazônia Central. Concluindo, a autora afirma que a divisão geoquímica proposta por FITTKAU (1971) é refletida na composição química das águas que drenam diferentes províncias. No entanto, mesmo dentro da uniformidade espacial de cada província geoquímica existem diferenças locais na composição química das águas e que a distribuição proporcional dos elementos nos corpos hídricos pode ser bastante útil no entendimento deste fenômeno e na geoquímica geral da Amazônia.

#### 2.6. As florestas de terra firme e as características químicas dos igarapés que as drenam

Independentemente dos sistemas de classificação das águas da Amazônia, os quais na verdade são abstrações de ordem metodológica e didática da ciência dos Homens, dois principais fenômenos são relevantes: a relativa riqueza de eletrólitos das águas que são formadas nos Andes e na região sub-Andina (entre outros STALLARD, 1983; GIBBS, 1965; JUNK & FURCH, 1986; SIOLI, 1975b) e a pobreza de eletrólitos que caracteriza as águas que drenam as florestas de terra-firme da Amazônia Central (entre outros, BRINKMANN, 1985; STALLARD, 1983; JORDAN, 1982). Tanto a riqueza das águas com origem nos Andes como a pobreza das águas que drenam as florestas de Terra-Firme refletem as características de seus substratos geológicos (SIOLI, 1968). Co

mo postulado por GIBBS (1965) o relevo acentuado e o intemperismo, principalmente físico, do substrato geológico relativamente recente (Pleistoceno) fornecem material em suspensão e dissolvido, os quais são responsáveis pela relativa riqueza destas águas. Por outro lado, na Amazônia Central, o substrato geológico é mais antigo (Terciário) produto de intemperismo dos escudos cristalinos Pré-Cambrianos (IRION, 1984a). Nesta região de relevo suave predomina o intemperismo químico, conseqüentemente, os solos serão empobrecidos e ricos em caulinita na fração argila (JORDAN, 1986; GIBBS, 1965; STALLARD, 1983).

Paradoxalmente, sobre este pobre substrato geológico, cresce uma floresta bastante rica em biomassa e nutrientes (KLINGE *et al.*, 1975). Conseqüentemente o saldo resultante do balanço de nutrientes desta floresta poderia enriquecer seu "sistema de excreção" - os igarapês de águas-pretas que a drenam. Fato semelhante ocorre em outros ecossistemas (POGGIANI, 1976; LIMA, 1976). No entanto, vários mecanismos de retenção de nutrientes dentro da floresta fazem com que haja um ciclo bastante fechado. Como resultado as perdas do sistema são mínimas (HERRERA, 1986; JORDAN, 1982; FRANKEN *et al.*, 1985, entre outros). Dentre os mecanismos de retenção de nutrientes, JORDAN (1982) destaca: a grande quantidade de raízes superficiais com grande capacidade de absorver nutrientes da matéria orgânica em decomposição, presença de micorrizas que aumenta a eficiência na absorção de nutrientes, folhas com epiderme resistente evitando o ataque de insetos e perdas por lixiviação, compostos produzidos pelas plantas que evitam ou desencorajam seus consumidores e epífitas que absorvem cátions e fixam N atmosférico. Em adição, BRINKMANN (1985) ressalta que as folhas das árvores destas florestas

sofrem desintegração e decomposição antes da queda. Os produtos de decomposição são transferidos da copa e caules para o chão através do escoamento pelo tronco e precipitação interna, os quais, via de regra, são mais enriquecidos em eletrólitos com relação à chuva e ao escoamento superficial (FRANKEN *et al.*, 1985; BRINKMANN & SANTOS, 1973; BRINKMANN, 1985). No entanto, BRINKMANN (1985) enfatiza que a fonte de nutrientes mais importante é a queda de folhas. KLINGE & RODRIGUES (1968) estimaram que 4,8 a 6,4 t de matéria seca/ha/ano chegam ao solo como folhas mortas. Comparando este valor à massa de folhas nas árvores KLINGE *et al.*, (1975) encontraram que aproximadamente 80% das folhas caem anualmente ao solo. Outra importante característica destas florestas tropicais no aproveitamento eficiente dos nutrientes que circulam no sistema é a grande variedade específica das árvores, porém com baixo número de indivíduos por espécie (KLINGE *et al.*, 1975). Esta diversidade proporciona uma exploração mais abrangente do sistema, aumentando a eficiência na utilização de nutrientes.

HERRERA (1986) observou que mais de 80% do elemento cálcio encontra-se na biomassa da floresta e, conseqüentemente, menos de 20% estava no solo. Este autor calculou o período de "turnover" do cálcio para a floresta de terra-firme estudada em somente 28 anos. STARK & JORDAN (1978), citados por HERRERA (1986), observaram que 90% do cálcio radioativo aplicado via água na superfície ficou retido na massa de raízes. Em adição, o lixiviamento de bases da superfície para o sub-solo é bastante pequeno, conseqüentemente a água-subterrânea também é bastante pobre em bases (BRINKMANN, 1985).

Trabalhando em florestas tropicais de terra-firme próximas a Manaus, BRINKMANN (1985) encontrou que do total de elementos alcalinos terrosos (Ca e Mg) que chegavam até a superfície somente 0,02% é fornecido pela chuva, 13,46% pelo escoamento através do caule, 29,67% pela precipitação interna e 56,11% pela queda das folhas e galhos e somente 1,5% saíram do sistema pelos igarapés. FRANKEN *et al.* (1985) mostraram que para vários elementos o fluxo destes na precipitação interna foi maior tanto em relação à chuva como ao escoamento superficial. VITOUSEK (1984) mostrou que as florestas Amazônicas utilizam cálcio mais eficientemente em comparação às florestas de clima temperado.

Contrariamente, o nitrogênio não parece ser um elemento tão crítico para as florestas tropicais como são os elementos alcalinos terrosos (JORDAN, 1982; VITOUSEK, 1984; HERRERA, 1986). Segundo dados obtidos por BRINKMANN (1985), o aporte de N total à superfície foi de 145 t/ha/ano, dos quais 20% (2900 t/ha/ano) foram retirados do sistema pelos igarapés JORDAN *et al.* (1982) mostraram que nas florestas de San Carlos do rio Negro (Venezuela), 63% do nitrogênio estava no solo e os restantes 37% estavam na matéria viva da floresta, calculando um "turnover" de 215 anos, bem mais longo que o encontrado para cálcio (28 anos). Finalmente, VITOUSEK (1984) observou que o uso de nitrogênio pelas florestas tropicais é tão ineficiente quanto o usado pelas florestas temperadas. Provavelmente, as razões para tanto seriam, segundo JORDAN (1982), a não dependência do suprimento de N em relação ao solo, ou seja, a entrada de nitrogênio via atmosférica e o potencial de fixação de N atmosférico por organismos superficiais e leguminosas seriam su

ficientes para suprir a floresta de nitrogênio. Este autor obteve um valor de 16,2 kg N fixado/ha. SALATI *et al.* (1982) calcularam para a bacia como um todo, uma fixação de N atmosférico de  $120 \times 10^5$  t/ano, considerando-se que a bacia Amazônica tem  $6,3 \times 10^8$  ha a quantidade de N fixado por hectare será de aproximadamente 19,0 kg/ha. No entanto, SILVESTER-BRADLEY *et al.* (1980) encontraram um baixo potencial de fixação de N atmosférico nas florestas de Terra-Firme da Amazônia.

Conseqüentemente, os igarapês que drenam as florestas de Terra-Firme, os quais, se unidos, resultariam em centenas de vezes o tamanho do rio Amazonas (SIOLI, 1975a), apresentam uma baixa concentração de eletrólitos, sendo esta a maior característica destes pequenos rios.

## 2.7. A várzea da Amazônia: características gerais

A várzea da Amazônia pode ser vista como uma enorme área inundável, produto da deposição de sedimentos pelos rios de água-branca, ricos em sedimento em suspensão de origem Andina (JUNK, 1983; SIOLI 1975b; JUNK, 1970). Nos Andes predomina uma litologia bastante variada, geologicamente recente (final do Terciário), com um relevo bastante acentuado. Estas características são responsáveis pela produção de grande quantidade de produtos de intemperismo, principalmente físico, que são depositados na região pré-Andina ao pé da cordilheira (GIBBS, 1965; STALLARD, 1983). A partir desta área este material é erodido e redepositado inúmeras vezes ao longo da calha do rio Amazonas, originando suas várzeas que perfazem uma área aproximada de 50.000 a 60.000 km<sup>2</sup> (SIOLI, 1975a, 1984).

Nas partes mais próximas às margens a várzea tem uma elevação maior, constituída principalmente de sedimentos mais grosseiros que são prontamente depositados. À medida que a água da inundação avança em direção à terra-firme, a água torna-se mais decantada e o material sedimentado será predominantemente constituído de material mais fino. Como consequência o terreno declinará suavemente nesta direção e nas partes mais baixas haverá a formação de lagos relativamente rasos - os lagos de várzea (SIOLI, 1975a, 1975b, 1984).

Devido sua hidrodinâmica, o rio Amazonas transforma continuamente a paisagem das várzeas. Em áreas desprotegidas, sedimento macio recém depositado é erodido e transportado rio abaixo. Contrariamente, nas áreas mais protegidas das correntes, o sedimento é depositado e ano após ano são construídos novos terraços; a partir de uma certa altura, estes terraços começam a ser colonizados pela vegetação característica das várzeas, principalmente *Salix humboldtiana* e as gramineas características destas áreas (JUNK, 1970, 1984, SIOLI, 1975a). Este dinamismo resulta na formação de um sem número de ilhas, diques marginais, lagos, canais, furos e paranãs (JUNK, 1984; SIOLI, 1975 a).

Devido à origem do sedimento depositado na várzea, o solo aí formado é bastante fértil, refletindo as características químicas e mineralógicas do sedimento transportado pelos rios (IRION, 1976, 1978, 1982, 1984a; RADAM, 1978). Em adição, os lagos-de-várzea da Amazônia são relativamente produtivos, (JUNK, 1970; DEVOL, 1984, FORSBERG, 1984; SCHMIDT, 1973b). Estes fatores conjugados fazem com que a várzea da Amazônia seja a área mais densa

mente habitada na região (MEGGERS, 1984, 1986), fornecendo alimento a seus habitantes através de plantações em seus solos e de seus estoques pesqueiros.

Portanto, a várzea pode ser considerada como um elemento aloctone a paisagem Amazônica, não só pelas propriedades químicas de seus solos e corpos hídricos como pela sua morfologia e relevo, totalmente contrastante em relação à terra-firme (SIOLI, 1975a, 1984). SIOLI (1975a) entende a várzea como um apêndice fértil, uma prolongação dos Andes, que pode ser visto como um vulcão em erupção e as larvas expelidas invadem a planície Amazônica carregadas pelos rios de águas-brancas.

## 2.8. Os lagos de várzea da Amazônia

Os lagos de várzea da Amazônia ocupam uma área aproximada de 1.000 km<sup>2</sup> (SIOLI, 1975a). Enquanto os rios são considerados sistemas abertos, devido ao constante movimento da água, lagos são considerados sistemas fechados. A maior característica dos lagos de várzea é a sua condição de sistemas intermediários entre sistemas abertos e fechados (JUNK & FURCH, 1986). Pois em adição a entrada de água e nutrientes da sua bacia de drenagem, estes lagos recebem água e nutrientes de um rio alimentador. A importância de cada um varia sazonalmente. Em adição, as duas fontes podem ser geoquimicamente distintas, provocando uma grande variação na carga hidráulica e de nutrientes. Processos físicos, químicos e biológicos como: absorção e liberação de nutrientes por ani

mais e plantas, sedimentação, decomposição e troca de nutrientes entre água e sedimentos determinarão a composição final de nutrientes na água (FORSEBERG *et al.*, no prelo ; JUNK, 1984; LOPES *et al.*, 1983; SIOLI, 1975a). A mesma influenciará a composição química dos rios e conseqüentemente o orçamento geoquímico mundial (RICHEY *et al.*, 1982).

FITTKAU *et al.* (1975) observaram que a relativa influência dos dois tipos de água que compõem os lagos de várzea é função da sua posição no relevo. Lagos situados em ilhas são praticamente preenchidos exclusivamente com água do rio. Por outro lado, lagos situados na várzea, porém próximos à Terra-Firme serão governados na seca por água-preta da floresta e na cheia por água-branca do rio, resultando num gradiente de mistura destes dois tipos de água de acordo com a posição do lago entre o rio e a terra-firme.

No entanto, FORSEBERG *et al.* (no prelo), estudando um grande número de lagos, encontraram que a proporcionalidade entre água-preta e água-branca é também função de tamanho da bacia de drenagem do lago em relação à área do mesmo. Desta forma, lagos com bacia de drenagem insignificantes em relação à área do lago terão a priori água do rio que o alimenta durante o ano todo. No outro extremo estão lagos com bacias de drenagem bastante grandes em relação a áreas dos lagos. Neste caso, durante a seca, a água do rio será totalmente substituída por água da bacia local. Entre estes dois extremos estão lagos intermediários, nos quais, durante a seca, haverá uma mistura entre água de rio e água oriunda da bacia de drenagem. Durante o período de cheia, independentemente do tamanho da bacia de drenagem em relação à área do lago, haverá domínio de água do rio com o qual o lago está

em contato. Portanto, de uma maneira geral, no período de cheia a composição química dos lagos refletirá a priori a composição química dos rios que os alimentaram, desvios destas condições refletirão processos de origem interna. Por outro lado, durante o período de seca, alguns lagos, nos quais há predomínio de água da bacia local (grande tamanho de bacia em relação à área de lago) a composição química refletirá a composição química destas águas e lagos em condições intermediárias, onde há mistura dos dois tipos de água, terão sua composição química determinada pela proporcionalidade desta mistura. Da mesma forma, desvios destas condições espelharão processos de origem interna ao lago (FORSBERG *et al.*, no prelo).

Outra importante característica dos lagos de várzea da Amazônia é a baixa concentração de oxigênio dissolvido. No período de cheia os lagos de várzea tornam-se mais profundos. Durante o dia ocorre um gradiente térmico até aproximadamente a profundidade de 5 m, estratificando a coluna de água até esta profundidade. Durante a noite, com o resfriamento da água superficial, haverá uma mistura completa dentro da coluna de água, atingindo aproximadamente 5 m. Esta mistura faz com que até a profundidade considerada a concentração de oxigênio seja homogenizada durante o período diurno. Porém abaixo desta profundidade não haverá mistura, como consequência, prevalecerão condições de anaerobismo, podendo haver formação de  $H_2S$ . No entanto, mesmo dentro desta zona aeróbica a quantidade de oxigênio é relativamente baixa. Vários fatores contribuem para este fenômeno, dentre eles: a baixa solubilidade do oxigênio a altas temperaturas; a reduzida circulação de água devido à pouca variação na temperatura; processos que aceleram o consumo de matéria orgânica; decomposição do material aloctone

trazido pelo rio e a produção de oxigênio por fitoplacton é reduzida devido ao sombreamento determinado pelas macrófitas aquáticas (SCHMIDT, 1973 a; JUNK, 1984).

Durante a seca a estratificação da coluna da água é praticamente inexistente, pois o lago torna-se bem mais raso facilitando a mistura das camadas pela ação dos ventos e movimentos dos peixes no fundo dos lagos. No entanto, mesmo nestas condições existe um gradiente na concentração de oxigênio com valores menores no fundo do lago (SCHMIDT, 1973a). Visando sua sobrevivência, plantas e animais desenvolveram várias adaptações para enfrentar esta condição de ausência de oxigênio (JUNK, 1984).

## 2.9. Produção primária nas águas da Amazônia

O estudo da produção primária nos vários ecossistemas aquáticos da Amazônia teve sua maior ênfase a partir de 1967 (SCHMIDT, 1973 a).

Dentre os sistemas estudados, grandes rios de águas-brancas, pretas e claraseigarapês que drenam a floresta de terra-firme e lagos de várzea, estes últimos foram sem dúvida os mais produtivos (SIOLI, 1975a; SCHMIDT, 1973; RAI & HILL, 1984). Segundo RAI & HILL (1984) uma das mais importantes características destes lagos é o balanço energia-biomassa, no qual a entrada dos rios nos lagos fornece a energia e o lago responde com uma produção razoável de biomassa. Portanto, parece que a várzea é o ecossistema que dá início à cadeia trófica na Amazônia. Como consequência a produção pesqueira é bastante dependente deste sistema. JUNK (1984) salien

ta que apesar da relativamente alta quantidade de nutrientes existentes na água do rio Madeira este rio é bem pouco piscoso devido à escassa formação de várzeas em suas margens. SCHMIDT (1973 b) calculou a partir da produção primária uma produção pesqueira anual de 100 a 150 kg/ha em um lago de várzea.

As principais limitações à produção primária nas águas da bacia Amazônica são da ordem física (falta de luz) e química (limitação de nutrientes).

Nos pequenos igarapés que drenam a Amazônia Central, estes dois fatores estão conjugados. Devido à floresta estes igarapés encontram-se permanentemente sombreados, somente 1 a 2% da radiação solar chega até sua superfície (SIOLI, 1975a). Em adição, como já visto anteriormente, nestes igarapés a concentração de nutrientes é bastante baixa. Portanto, os animais de diferentes níveis tróficos que habitam este ambiente são dependentes de materiais alóctones para sua sobrevivência (SIOLI, 1975a).

Nos grandes rios, obviamente, o problema de iluminação externa não ocorre. Porém, nos rios de águas-brancas, a grande quantidade de material em suspensão ocasiona uma entrada de luz limitada aos primeiros centímetros da coluna d'água. Logo, apesar da não limitação de nutrientes, a falta de luz e a correnteza contribuem para que a produção primária nestes rios seja bastante reduzida (RAI & HILL, 1984; SIOLI, 1975a). Nos grandes rios de águas pretas, a maior limitação à produção primária é de ordem nutricional, muito embora a penetração de luz nestas águas não atinja níveis ideais para a produção primária, apesar de ser maior que a encontrada nos rios de águas-brancas (SCHMIDT, 1973b; SIOLI, 1975a). Nos rios de águas-claras

que formam grandes lagos em suas bocas (rio Tapajós e Xingu) a produção primária pode ser considerada intermediária entre os lagos de várzea e os grandes rios de águas brancas e pretas. As condições para penetração de luz são favoráveis e frequentemente ocorrem "blooms" de algas azul-verdes, a maior limitação ao desenvolvimento de algas nestas águas é a escassez de nutrientes. Porém o rápido "turnover" destes nutrientes torna possível uma razoável produção primária nestes rios. SCHMIDT (1973b) encontrou, por unidade de área, valores semelhantes àqueles encontrados para lagos de várzea, no entanto, devido à pobreza de nutrientes, valores menores por unidade de volume (SIOLI, 1975a)..

Nos lagos de várzea, as condições de iluminação tornam-se adequadas para produção primária, quando há sedimentação das partículas em suspensão trazidas pelo rio que inunda a várzea no período de cheia. Em adição, estes rios também carregam nutrientes dissolvidos. Estes dois fatores aliados à alta temperatura fazem com que a produção primária seja maior nestas águas que em qualquer outro sistema aquático da Amazônia.

SIOLI (1975a) encontrou no lago Cabalina (ligado ao rio Solimões), para um determinado dia de coleta, elevados valores de temperatura da água (33,4°C) e pH (8,8). Dessa forma todo CO<sub>2</sub> livre foi consumido e a concentração O<sub>2</sub> atingiu 150% de saturação.

SCHMIDT (1973 b), trabalhando no Lago Castanho, um lago de várzea interligado com o rio Solimões, ressalta que a produção primária neste ambiente é caracterizada por duas peculiaridades: a produção tem lugar numa camada relativamente pouco profunda na coluna d'água, variando sua espes

surã sazonalmente em funçãõ da profundidade do lago (6 m na época cheia e 0,5 m na época seca). A segunda peculiaridade é a elevada produção por unidade de volume, sendo os maiores valores encontrados durante o período de seca, 1,8 g C/m<sup>3</sup>/d (15/11/67) e 2,15 g C/m<sup>3</sup>/d (23/10.69). Os valores mínimos foram encontrados durante a entrada da água do rio devido à diluição da massa fitoplanctônica pela água invasora e pela desfavorável condição de luz nesta época, o menor valor observado foi de 0,32 g C/m<sup>3</sup>/d.

Por outro lado, a produção por unidade de área apresentou seu maior valor (1,5 g C/m<sup>3</sup>/d) no período de cheia, logo após haver cessado o fluxo de água do rio para dentro do lago (SCHMIDT, 1973 b).

A produção líquida anual foi de 3 t C/ha, que é bastante considerável, se for comparada a outros lagos tropicais. Finalmente, SCHMIDT (1973 b) ressalta que a maior limitação à produção primária neste sistema é precária condição de luz predominante durante todo o ano e que a produção primária, em última análise, sofre variações durante o ciclo hidrológico como resposta a flutuações do nível de água ocasionada pela oscilação no nível do tributário ao qual se acha conectado.

Para o lago Cristalino que se acha ligado ao rio Negro, RAI & HILL (1980) observaram que a produção primária é limitada aos primeiros 2 m da coluna de água. Estes autores concluíram que a escassez de luz é de ocorrência generalizada nas águas dos lagos de várzea da Amazônia. No entanto FORSBERG (1984), através de bioensaios experimentais conduzidos com água deste lago, observou que a produção primária era limitada pela baixa concentração de fósforo em suas águas. Também para este lago, RAI & HILL

(1980) observaram que as maiores produções ocorrem na época seca, embora a maior produção tenha sido encontrada nos dois meses iniciais durante a subida da água. Ainda os grandes autores ressaltam que a produção deste sistema é muito mais respiratória que fotossintética, sendo a produção de fitoplâncton 18% da massa bacteriana produzida. Para o período estudado, a produção primária de fitoplâncton por unidade de área no lago Castanho foi bem menor em comparação ao lago Cristalino, 0,8 g C/m<sup>3</sup>/d para o primeiro e 4,3 g C/m<sup>3</sup>/d para o segundo.

Concluindo, em comparação a outros lagos tropicais do continente africano, a produção primária dos lagos de várzea da Amazônia é bastante semelhante (RAI & HILL, 1984). As principais limitações para a produção primária nestes lagos, são de ordem física (luminosidade) em primeiro lugar e ordem química (limitação de nutrientes) em segundo (SCHMIDT, 1973 b, FITTKAU *et al.*, 1975; SCHMIDT, 1973). A produção de fitoplâncton nestes lagos é sazonal, variando em função do nível de água nos lagos, determinado pela altura do rio com o qual está ligado (SCHMIDT, 1973 b; RAI & HILL, 1984). Troficamente RAI & HILL (1984) classificam os lagos de várzea como multitróficos, destacando que os conceitos de níveis tróficos desenvolvidos para lagos temperados não se aplicam a estes lagos.

A segunda importante fonte na produção primária são as gramíneas - *Paspalum fasciculatum*, *P. repens* e *Echinochloa polystachya* e plantas aquáticas flutuantes - *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* e *Salvinia auriculata*, entre outras que habitam as várzeas da Amazônia. Estas plantas são denominadas indistintamente de macrófitas aquáticas por JUNK (1984) e JUNK & H. WILLIAM (1984).

Esta comunidade de plantas aquáticas encontra-se bastante adaptada às condições de permanente flutuação do nível de água em seu habitat. Assim, rápido crescimento, alta taxa de reprodução e órgãos flutuadores são algumas das características destas plantas para se adaptarem ao seu meio (JUNK, 1970; JUNK & HOWARD-WILLIAMS, 1984). Em adição, algumas plantas têm seu principal período de crescimento durante a fase aquática do sistema. Entre estas plantas estão aquelas que flutuam livremente na superfície (*Eichhornia crassipes*, *Salvinia* spp., *Pistia stratiotes* entre outras), não enraizadas, mas submersas (*Utricularia* spp.), enraizadas ao sedimento com folhas flutuadoras (*Victoria amazônica*) e enraizadas ao sedimento com folhas emergentes como a gramínea *Echinochloa polystachya* (JUNK & HOWARD-WILLIAMS, 1984). Por outro lado, há plantas que têm sua principal fase de crescimento durante a fase terrestre. Entre elas a gramínea *Paspalum fasciculatum*, bastante comum nas várzeas (JUNK & HOWARD-WILLIAMS, 1984).

Para plantas de crescimento predominante na fase aquática e de flutuação livre, JUNK & HOWARD-WILLIAMS (1984) encontraram taxas de crescimento bastante significativas. A taxa de crescimento para *Salvinia auriculata* no lago Castanho foi de 0,096 g/g/dia, 0,088 g/g/dia para *Pistia stratiotes* e *Eichhornia crassipes* 0,074 g/g/dia. Com estas taxas de crescimento dentro de 7 a 10 dias estas plantas dobrariam sua massa.

Para as gramíneas os mesmos autores encontraram uma produção líquida de 3 a 5 t/ha/ano para *Paspalum repens* (JUNK, 1970), no entanto JUNK & HOWARD-WILLIAMS (1984) encontraram valores bem mais elevados para *Paspalum fasciculatum* - 39 t m.s./ha/ano, argumentando que *E. polystachya* deve

apresentar uma produção primária próxima a este valor. Em adição a produção de material vegetal, junto a estas plantas há o desenvolvimento de uma fauna bastante diversificada (JUNK, 1973). Segundo SIOLI (1975a) este biótopo forma o mais rico de todos ecossistemas aquáticos da Amazônia, tanto em grupos taxonômicos como no número de indivíduos.

Nesta comunidade de plantas, como para os fitoplanctons e bactérias, o balanço energia/biomassa de RAI & HILL (1984) tem uma de suas mais contundentes expressões. Os nutrientes para as plantas são retirados dos sedimentos e da água sendo fixados na biomassa. Desta forma tornam-se disponíveis a outros organismos que não poderiam aproveitá-los caso não fossem fixados na biomassa. Durante a seca, com a decomposição de uma fração destas plantas, parte destes nutrientes passam à fase terrestre, agindo estas plantas como fertilizantes naturais (JUNK, 1984, NODA *et al.*, 1978). Outra parte destas plantas passa da várzea para os rios entrando na sua cadeia trófica. Portanto, além de importantes na produção primária, estas plantas são fundamentais na transferência de nutrientes entre a fase aquática e terrestre, tornando a riqueza em nutrientes dos rios disponíveis aos organismos terrestres.

Finalizando, a várzea pode ser vista como um dos sistemas mais férteis da Amazônia, oriundo dos Andes e totalmente diferente das florestas de terra-firme.

JUNK (1980, 1984) considera que, devido à existência de uma fase terrestre e outra aquática, as várzeas não têm um biótopo definido, mas, sim, um mosaico de biótopos. Dentro desta característica, a fauna e flora

desenvolvem uma série de adaptações para melhor aproveitarem as condições oferecidas por este sistema.

Sob o prisma da ciclagem de nutrientes, JUNK (1980) enfatiza que a várzea tem que ser tratada como um ecossistema específico, intermediário entre sistemas abertos como os rios e sistemas fechados como os lagos.

## 2.10. Aspectos climatológicos

Segundo SALATI (1984), a Amazônia, situada na região equatorial, recebe no limite superior da atmosfera um máximo de  $875 \text{ cal.cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  entre janeiro e dezembro e um mínimo de  $730 \text{ cal.cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  em junho e julho. Desta quantidade, cerca de 50% chega à superfície. Devido à nebulosidade os valores extremos não coincidem entre si, desta forma, a maior radiação na superfície ocorre nos meses de setembro-outubro e a menor de dezembro a abril (VILLA NOVA, 1976; RIBEIRO, 1982). Portanto, a radiação solar média que atinge a superfície está em torno de  $400 \text{ cal.cm}^{-2}\text{d}^{-1}$ . Desta radiação somente 30% ou  $120 \text{ cal.cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  será usado como calor sensível (aquecimento local) e os restantes  $280 \text{ cal.cm}^{-2}\text{d}^{-1}$  (70%) serão utilizados nos processos de evaporação.

Este quadro confere à Amazônia características isotérmicas, variando a temperatura média em toda bacia entre 24º e 28ºC, com uma amplitude térmica oscilando em torno de 5ºC. As maiores temperaturas são comumente registradas em setembro-outubro e as menores em junho-julho (NIMER, 1977; SALATI, 1984).

Segundo NIMER (1977), devido ao regime de temperatura, toda região Norte do Brasil, na qual está contida 70% da bacia Amazônica, possui domínio climático quente, sendo os principais subdomínios climáticos o superúmido e o úmido. O superúmido domina a porção oeste da bacia, grosseiramente a partir de Manaus, onde o tipo climático é o equatorial. Na porção leste da bacia a partir de Manaus domina o úmido, com tipo climático tropical.

Contrariamente à temperatura, a distribuição da precipitação na bacia é sensivelmente menos uniforme. O movimento meridional do Sol entre os paralelos 23º27', cruzando a linha do Equador duas vezes por ano em intervalos de 6 meses conjuntamente com a fonte de água e ar quente que é o Oceano Atlântico, são os principais fatores que determinam os padrões de clima e conseqüentemente a pluviosidade da região (SALATI, 1984, 1986). Em adição, segundo MARQUES *et al.*, (1979) a quantidade média de vapor d'água armazenado na atmosfera (água precipitável) é da ordem de 35 mm, enquanto a média mundial é de 28 mm, conferindo à região condições isotérmicas, com alta pluviosidade. Na costa Norte é observada o maior total anual de precipitação com valores acima de 3.250 mm. Estes valores decrescem em direção à região da Amazônia Central até um mínimo de 1.750 mm. A partir daí, a quantidade anualmente precipitada começa a aumentar novamente em duas direções, nordeste e sudeste. Na direção nordeste são atingidos os maiores índices, em torno de 3.500 mm e a sudeste este valor é menor alcançando 2.250 a 2.500 mm. (SALATI *et al.*, 1978, NIMER, 1977). No entanto, segundo SALATI (1986) índices maiores que 5.000 mm/ano foram observados na região Andina (FIGURA 4).

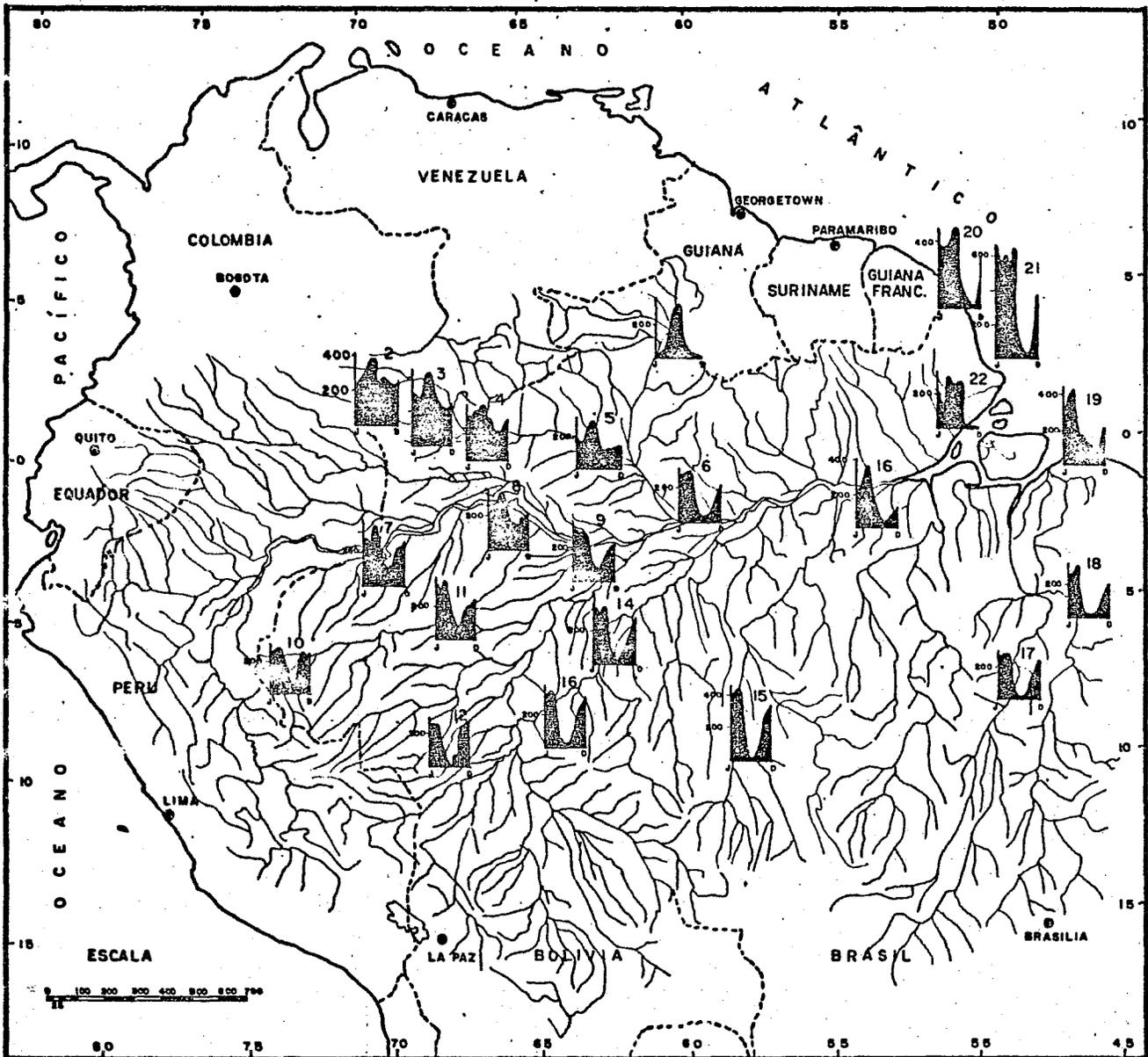


Figura 4. DISTRIBUIÇÃO DA PRECIPITAÇÃO DURANTE O PERÍODO DE UM ANO EM ALGUMAS REGIÕES DA BACIA AMAZÔNICA. FONTE: SALATI *et al.* (1979).

A distribuição destas precipitações ao longo do ano também não é uniforme, sendo a característica mais importante a defasagem, ao ~~re-~~ dor de 6 meses, entre o máximo das precipitações nas estações mais ao Norte (períodos mais chuvosos junho e julho) e nas estações mais ao Sul, onde os períodos de maior precipitação ocorrem entre fevereiro e março. Devido a este fato o pico de enchente entre os tributários das margens esquerda e direita do rio Amazonas também será defasado interferindo na hidrologia de toda a bacia (SALATI, 1983) (FIGURA 5).

O balanço de água na bacia Amazônica tem sido realizado em duas diferentes escalas: uma escala local, onde o balanço é feito dentro de uma pequena bacia de drenagem (RIBEIRO & VILLA NOVA, 1979; LEOPOLDO, 1982 a, 1982 b; JORDAN *et al.*, 1981). A segunda escala envolve a bacia Amazônica como um todo, utilizando vários métodos (MOLION, 1975; VILLA NOVA *et al.*, 1976; MARQUES *et al.*, 1980).

RIBEIRO & VILLA NOVA (1979), trabalhando na reserva florestal Ducke (26 km Norte da cidade de Manaus), para o período de 1965 a 1973, observaram um valor médio da precipitação de 2.478 mm e de 1.536 mm para evapotranspiração, empregando o método THORNTWAITE & MATTER (1955), citado pelos autores. Desta forma 62% da água precipitada voltou à atmosfera e 38% ficou retida no sistema e/ou saiu do mesmo escoamento superficial.

Para a Bacia Modelo (23,5 km<sup>2</sup>) a aproximadamente 80 km do noroeste da cidade de Manaus; LEOPOLDO *et al.*, (1982b) encontraram que 74% da precipitação que atingiu o dossel da floresta foi evapotranspirado e o restante 26% foi escoado pelo igarapé Tarumã Açú. O valor absoluto da precipi



tação foi de 2088,9 mm e a evapotranspiração de 1548,2mm, o que significa uma evapotranspiração média de 4mm/dia para o período de 02.02.80 a 10.02.81. Os mesmos autores, na mesma bacia que trabalharam RIBEIRO & VILLA NOVA, (1979) - reserva florestal Ducke - obtiveram que cerca de 81% da precipitação foi evapotranspiração e 19% representou o escoamento superficial, portanto, para este período (23,09/76 a 25/09/77) a quantidade de água evapotranspirada foi maior que a quantidade encontrada por RIBEIRO & VILLA NOVA (1979).

Finalmente JORDAN *et al.*, (1981), em São Carlos do Rio Negro (Venezuela), fazendo uso de um TANQUE CLASSE A estimou que 52% da precipitação foi evapotranspirada e 48% deixou a bacia pelo escoamento superficial. Porém a precipitação foi bem mais elevada nesta região, 3.664 mm/ano, enquanto as outras bacias da Amazônia Central tiveram em média 2.214 mm/ano.

A floresta também desempenha um importante papel na interceptação da água de chuva pela cobertura vegetal, retornando esta água interceptada a fazer parte da massa de vapor d'água atmosférica (SALATI *et al.*, 1979; FRANKEN *et al.*, 1982a). Para as bacias Modelo e Ducke, na região central da Amazônia, próximo a Manaus, foi encontrada para dois períodos distintos uma interceptação média de 22%, chegando até o solo através da precipitação interna praticamente 78%, uma vez que o escoamento pelo tronco mostrou-se insignificante (FRANKEN *et al.*, 1982 a, 1982 b; LEOPOLDO *et al.*, 1982 a, 1982 b). No entanto, JORDAN *et al.*, (1981) encontraram um valor bem abaixo deste, ao redor de 5% e também um valor significativo no escoamento pelo tronco, ao redor de 8%. Ressaltando-se que o trabalho de Jordan

foi feito numa área distinta, na bacia experimental de San Carlos na Venezuela.

Por outro lado, para a bacia como um todo, os valores de evapotranspiração foram um pouco mais elevados. MOLION (1979), utilizando-se do método climatonômico, observou que 48,0% da precipitação (2.379 mm/ano) era evapotranspirado e 52% era escoado pelo rio Amazonas. MARQUES *et al.* (1980) chegaram a resultados semelhantes, onde 54% foi evapotranspirado de um total de 2.328 mm/ano precipitado. Neste estudo foi utilizado o método aerológico. Por fim, utilizando o método de Penman adaptado à floresta, VILLA NOVA *et al.*, (1976) acharam que de um total de 2.000 mm/ano, 73% havia sido evapotranspirado e 27,0% escoado pelo rio Amazonas. A média destes três valores resulta que 58% da precipitação (2.236 mm/ano) foi evapotranspirado e 42% foi escoado pelo rio Amazonas. Generalizando, SALATI (1984), referindo-se ao trabalho de MARQUES *et al.*, (1980) concluiu que, através da precipitação, a bacia como um todo recebe  $11,87 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>/ano e, através da descarga do rio Amazonas, deixa o sistema  $5,44 \times 10^{12}$  m<sup>3</sup>/ano.

Portanto, a quantidade de água reciclada dentro da bacia é bastante grande como se pode notar pela grande quantidade de água evapotranspirada em relação à precipitação (MARQUES *et al.*, 1977). SALATI *et al.*, e DALL'OLIO *et al.*, (1979), utilizando-se de valores de  $\delta^{18}O$  confirmaram a importância da água evapotranspirada pela floresta. Ou seja, as duas fontes de vapor d'água para a Amazônia vêm em proporções iguais do Oceano Atlântico e da água evapotranspirada da floresta, sendo o tempo de reciclagem deste vapor bastante rápida, em torno de 5 dias segundo MARQUES *et al.*, (1979). En

fim, não é difícil prever que a retirada da cobertura vegetal acarretará importantes modificações na circulação de vapor d'água na atmosfera, consequentemente a pluviometria e o regime térmico serão também alterados (SALATI *et al.*, 1979).

Concluindo, climatologicamente, a bacia Amazônica caracteriza-se por altas temperaturas com baixa amplitude térmica onde predomina o clima quente e úmido; precipitação bastante elevada durante o ano, em média 2,200 mm (SALATI, 1986) e com uma ciclagem interna de vapor d'água bastante intensa, onde a massa total de vapor d'água é constituída de 50% de vapor d'água de origem marinha (oceano Atlântico) e 50% vapor d'água na própria bacia através da evapotranspiração.

## 2.11, Principais tipos de vegetação da bacia Amazônica

Segundo KUHLMANN (1977) a Região Norte e o restante da bacia Amazônica é dominada pela Floresta Latifoliada Perene - Hiléia de Humboldt e também conhecida como Mata de Terra-firme. Apesar deste predomínio, na bacia Amazônica ocorrem outros tipos de vegetação e mesmo a mata de Terra-firme não é tão homogênea quanto parece. Não sendo ainda satisfatoriamente explicada esta diversidade. Relações com o clima, solo e relevo ainda não estão claras, sendo a mais aparente relação a existente entre o tipo de vegetação e as bacias hidrográficas (PIRES, 1984; PIRES & PRANCE, 1986). Fitograficamente pode-se afirmar que cada rio tem uma flora própria (FIGURA 6).

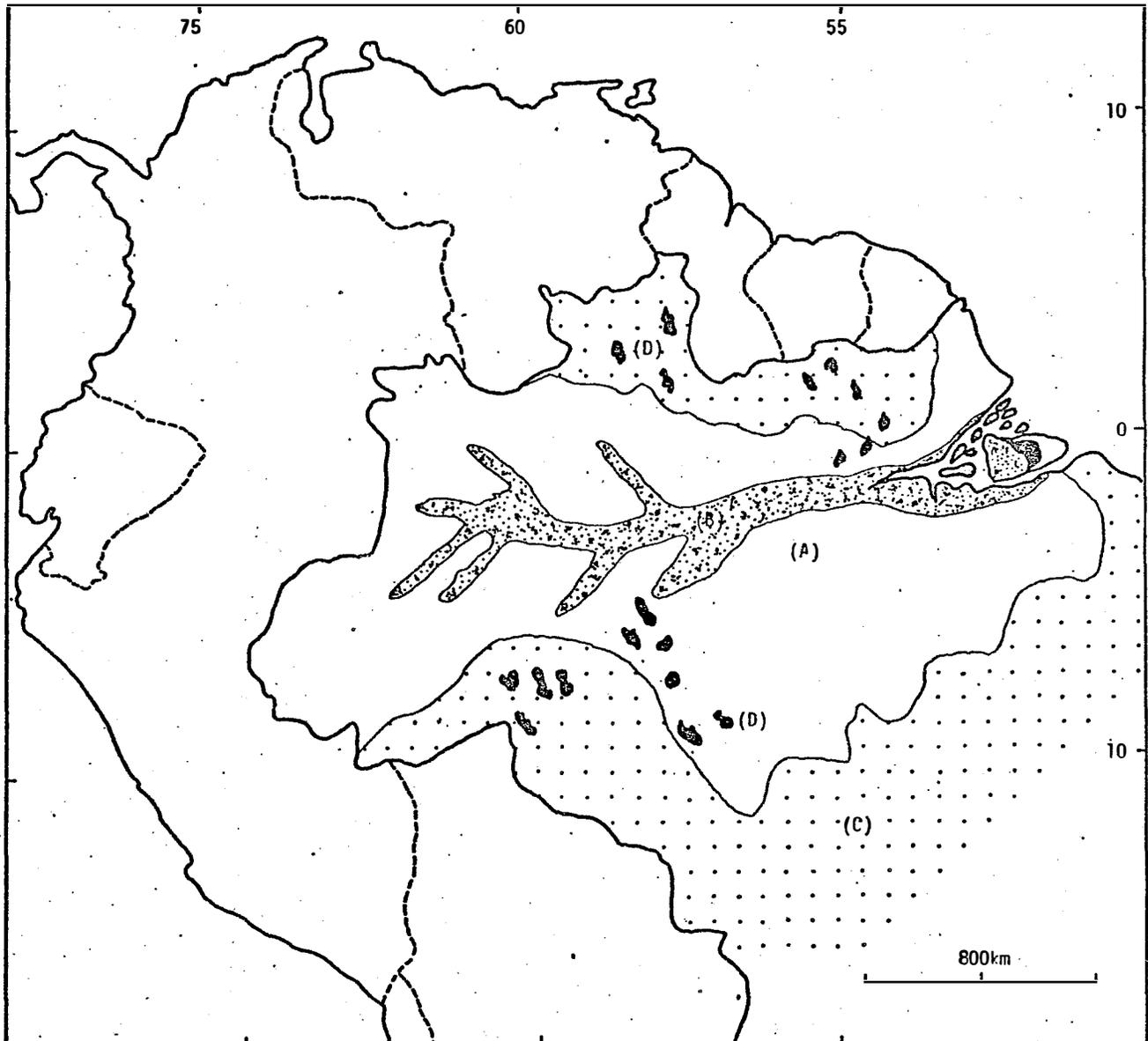


FIGURA 6. TIPOS DE VEGETAÇÃO DOMINANTE NA REGIÃO NORTE DO BRASIL. (A) MATA DE TERRA FIRME; (B) MATA DE VÁRZEA; (C) FLORESTA SURCADUCIFÓLIA E (D) CAMPO, ADAPTADO DE KUHLMANN (1977).

Segundo PIRES (1984) a luz exerce grande influência na composição da floresta de terra-firme como elemento limitante; outra característica desta vegetação é o grande número de espécies por área, dotando de estabilidade o sistema, pois, esta formação é resultado de um processo evolucionário de milhões de anos.

PIRES & PRANCE (1986), em seu estudo, dividem os tipos florestais de acordo com a posição no relevo e a condição de inundação do solo. Assim, por um lado se tem as Florestas de Terra-firme e por outro Florestas Inundadas. As primeiras também denominadas Floresta Perinifolia Higrofila Hileiana Amazônica, que cobre mais de 5 milhões de km<sup>2</sup> (cerca de 80% da área da bacia Amazônica) é a segunda conhecida também por Floresta Perenifolia Paludosa Rebeirinha Periodicamente Inundada (mata de várzea) e Permanentemente Inundada (mata de igapó) que perfazem 10% da área (KUHLMANN, 1977; SCHUBART, 1983). O restante está dividido entre Cerrados, Campos, Vegetações Litorâneas e outros.

Segundo PIRES & PRANCE (1986) a Floresta de Terra-Firme pode ser dividida em:

. Floresta Densa - caracterizada por ter a maior biomassa, com uma superfície limpa, ocorrendo onde as condições ambientais são ótimas sem fatores limitantes como escassez ou falta de água. Contudo, PIRES & PRANCE (1986) não definem se a fertilidade do solo é ou não um fator limitante para esta floresta.

. Floresta Aberta sem Palmas - possui uma biomassa menor quando comparada à anterior e as árvores também são mais baixas. Desta forma haverá

uma razoável penetração de luz, tornando possível o desenvolvimento de vegetação arbustiva, sendo o chão da floresta densamente povoado. Várias causas podem ser apresentadas para a menor biomassa destas florestas, dentre elas: lençol freático próximo à superfície, impermeabilidade do solo e outras condições que não permitem uma boa penetração da raiz.

. Florestas Abertas com Palmeiras- formação similar à anterior, somente com uma maior frequência de palmeiras, tais como Babaçu (*Orbygnya barbosiana*), Açú da Mata (*Euterpe precatoria*).

. Florestas de Cipó - neste tipo enquadram-se uma gama variada de florestas abertas com abundância de cipós. São importantes, pois ocupam uma área bastante extensa, todavia, de forma descontínua, formando um mosaico com florestas sem cipós.

. Florestas Secas - de ocorrência restrita na parte sudoeste e na divisão entre Amazônia e o Brasil Central é uma floresta de transição onde há uma sazonalidade e uma seca mais pronunciada.

. Florestas Montanhosas- restritas a áreas montanhosas dos Andes e escudos cristalinos Brasileiro e da Guiana.

Por outro lado, as Florestas Inundadas ou de Inundação são divididas em Florestas de Várzeas e Igapós. A diferença se baseia no tipo e qualidade do solo. Enquanto as Florestas de Várzea são restritas a rios de águas-brancas que formam solos relativamente férteis, as Florestas de Igapó ocorrem nas margens dos rios de águas-pretas e nos rios de águas-claras, que carregam pequena quantidade de material em suspensão.

. Várzeas de solo argiloso sem presença de canarana - estas várzeas ocorrem na região do Alto Amazonas (rio Solimões), de Manaus para cima. Apresenta vegetação rica na superfície. Segundo HUBES (1909), citado por PIRES & PRANCE (1986), estas várzeas são bem mais ricas em comparação às situadas rio abaixo.

. Várzea de solo argiloso com presença de canarana - este tipo de vegetação predomina no baixo Amazonas, indo da boca do rio Negro até abaixo da boca do rio Xingu. A ocorrência da canarana se dá conjuntamente com a floresta típica desta região, segundo PIRES & PRANCE (1986), os "campos" de canarana ocorrem atrás da floresta em direção à terra firme. No entanto, o autor não pensa que haja somente este tipo de distribuição. Em nossas observações a ocorrência destes dois tipos de vegetação não segue um padrão determinado, floresta próxima ao rio e gramínea atrás da floresta.

Por outro lado, os mesmos autores referem-se a este tipo de várzea, como "savanas inundadas do baixo Amazonas", criando uma dualidade na denominação deste sistema. Talvez, os autores queiram se referir à vegetação de gramíneas como savanas e as florestas que ocorrem junto às várzeas como o tipo de vegetação citado no parágrafo anterior. Segundo KUHLMANN (1977) ... "toda área de vegetação aberta que se opõe fisionalmente às áreas fechadas ou florestadas, recebe o nome de campo ...". Desta forma, este autor classifica a área de vegetação das várzeas como Campos de Várzea, onde habitam vários tipos de gramíneas.

. Igapós - são florestas que ocorrem na bacia de rios de águas-pretas e águas-claras, cobrem as areias brancas das margens destes rios. Durante a

cheia o tronco destas árvores permanece inundado por vários meses, chegando a existir igapós inundados permanentemente. Segundo PIRES & PRANCE (1986) a área ocupada por estes tipos de vegetação não é extensa.

Outros tipos de vegetação que ocorrem na bacia Amazônica, ocupando uma área bem menor em relação às florestas são as Savanas ou Campos, (segundo PIRES & PRANCE, 1986; KUHLMANN, 1977), que é uma transição entre vegetação tipo floresta e vegetação tipo aberta (não-florestas). PIRES & PRANCE (1986) dividem a vegetação de Savanas em dois tipos: as que ocorrem na terra-firme e as que ocorrem nas várzeas. Ainda, segundo estes mesmos autores, estes tipos de vegetação ocorrem em qualquer tipo de solo.

Também de ocorrência restrita na bacia Amazônica é a Caatinga ou Campina ou ainda Campinarana, que, segundo PIRES & PRANCE (1986) englobam um tipo de vegetação com pouca variação entre si, que se caracterizam por crescerem sobre areia quartzosa, solos paupérrimos em nutrientes. Ocorrem num clima propício ao desenvolvimento de floresta, contudo existem vários fatores limitantes no meio que não permitem o desenvolvimento deste tipo de vegetação. Geralmente a maior limitação é a pobreza em nutrientes destes solos (areias quartzosa), juntamente, a sazonalidade causada ora pela inundação que não permite a respiração das raízes ora a seca causada pela porosidade excessiva do solo.

### 3. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo faz parte do projeto "Biogeoquímica do Carbono na Bacia Amazônica" (CAMREX). Os propósitos deste projeto estão detalhadamente descritos em RICHEY (1982). Brevemente, o principal objetivo deste trabalho é a caracterização do ciclo do carbono no rio Amazonas. Para tanto, o rio Amazonas foi dividido em 10 setores discretos e contínuos. Os fluxos de carbono, na entrada e na saída de cada setor, foi quantificado. Em adição, virtuais perdas e ganhos deste elemento pelo sistema foram visualizados pelo balanço de massa.

O projeto foi desenvolvido em nove excursões entre os anos de 1982 e 1985, cobrindo aproximadamente 1.700 km entre Santo Antonio do Içã (pequena cidade no extremo oeste do Estado do Amazonas) até a cidade de Óbidos, no Estado do Pará.

Os cruzeiros foram distribuídos durante o ano de modo a cobrir os períodos críticos do ciclo hidrológico da região (FIGURA 7). Dessa forma, os cruzeiros 1, 5, 8 e 9 foram realizados próximos ao pico de cheia do rio; os cruzeiros 3 e 6 no período seco ou próximo a este e os

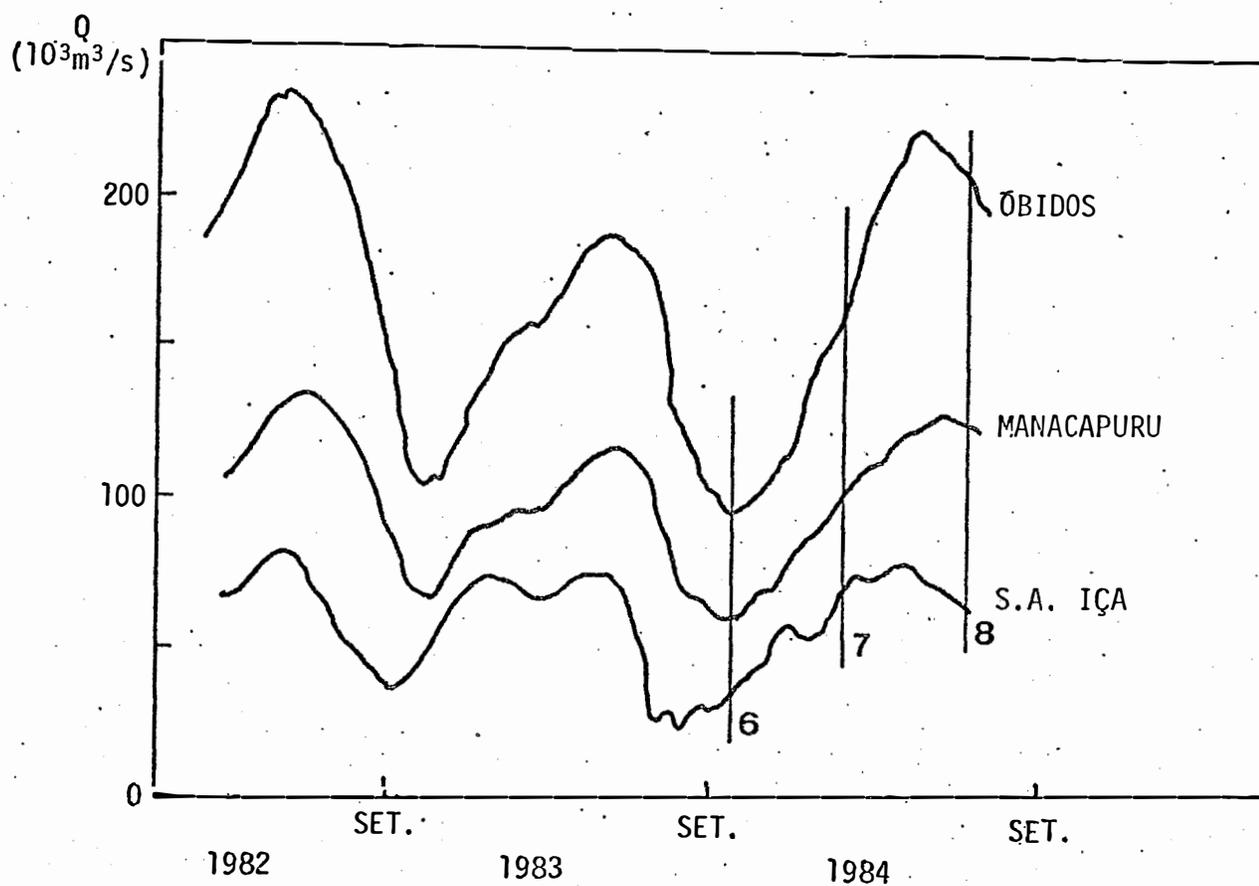


Figura 7. VARIAÇÃO NA DESCARGA DO CANAL PRINCIPAL EM TRÊS DIFERENTES LOCAIS. BARRAS VERTICAIS INDICAM A FASE DA HIDRÓGRAFA NAS QUAIS FORAM COLETADAS AMOSTRAS DE SEDIMENTO DE VÁRZEA: CRUZEIROS 6, 7 e 8.

cruzeiros 2, 4 e 7 em várias fases da subida da água. Para maiores detalhes ver RICHEY *et al.*, (1986).

Este estudo teve início no cruzeiro 6 (C 6), que foi desenvolvido no período de cota mínima do rio (FIGURA 7), estendendo-se até o cruzeiro 8 (C 8), quando ocorria o início da descida das águas (FIGURA 7). Obviamente, o cruzeiro 7 (C 7) foi realizado entre os dois, no início da subida das águas. A TABELA 1 reúne a época e a descarga média do rio Amazonas durante os cruzeiros 6, 7 e 8. Para facilitar, daqui por diante, em algumas ocasiões a referência ao nível do rio será feita pelo número do cruzeiro a que corresponde, ou seja, cruzeiro 6 (C 6) período de seca; cruzeiro 7 (C 7) início da subida das águas e cruzeiro 8 (C 8) início da descida das águas.

O termo canal principal será usado para designar os rios Solimões e Amazonas como um corpo único. Na literatura, geralmente, os rios Solimões e Amazonas são indistintamente denominados rio Amazonas.

Como visto anteriormente, a várzea estende-se por uma área bastante extensa. Portanto, os resultados, discussões e conclusões que serão apresentados restringem-se aos locais em que as amostras foram coletadas, próximo à margem dos rios.

### 3.1. Área de estudo

A caracterização mais abrangente da área de estudo já foi feita no item 2.1. Neste item será somente descrita a localização geográfica dos pontos amostrados.

As coletas do sedimento de várzea no canal principal (rio Solimões e rio Amazonas) foram realizadas dentro de uma extensão aproximadamente de 1.700 km. Variando entre as coordenadas geográficas 3916.3' Latitude Sul e 67955.2' Latitude Oeste (localidade - Vargem Grande - AM) a 1955.9' Latitude Sul e 55930.4' Latitude Oeste (localidade - Óbidos - PA). Como referência, foi definida que o primeiro local de coleta (Vargem Grande), situado no extremo oeste da bacia, fosse o marco inicial (0 km). A partir deste, no sentido deste, foram sendo definidos outros locais para a amostragem e suas localizações foram baseadas nas distâncias relativas à Vargem Grande. (FIGURA 8).

Todos os esforços foram feitos no sentido de se conservar, entre um cruzeiro e outro, o mesmo local de coleta. No entanto, devido ao tamanho da área e outras dificuldades logísticas, nem sempre isto foi possível. Por exemplo, devido à grande flutuação no nível do canal principal entre um período e outro, nem sempre foi possível ao barco navegar pelo mesmo paranã ou furo. Em segundo lugar, determinados locais amostrados na excursão anterior, no cruzeiro seguinte foram alcançados durante a noite, não havendo tempo hábil para que a embarcação ficasse ancorada até o amanhecer. Em adição, alguns pontos de coleta foram realocados e outros foram acrescentados, visando a uma distribuição mais uniforme ao longo do rio. Portanto, entre uma excursão e outra houve variações nos locais amostrados, contudo, estas variações foram mínimas diante do tamanho da área.

Os locais amostrados, a distância relativa à Vargem Grande, em quilômetros, a frequência do local amostrado entre os cruzeiros estão definidos na TABELA 2.

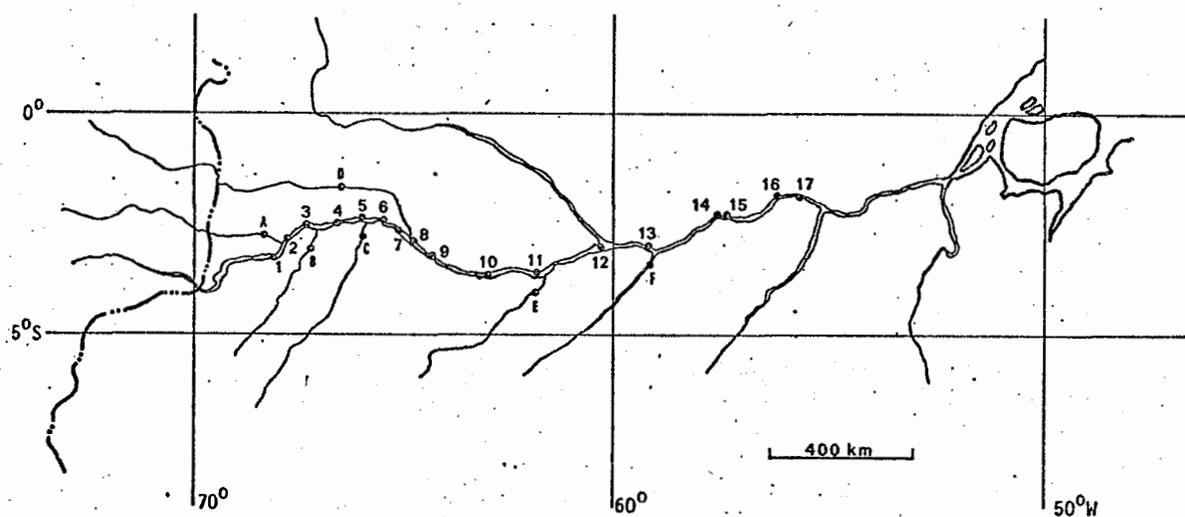


Figura 8. LOCAIS DE COLETA DE SEDIMENTO DE VÁRZEA NO CANAL PRINCIPAL (RIO SOLIMÕES/AMAZONAS) E EM SEUS PRINCIPAIS TRIBUTÁRIOS: (1) VG, (2) SAI, (3) BAR., (4) XIB., (5) INF., (7) MARI, (8) PAN., (9) JUT., (10) ITAP., (11) AN., (12) MANAC., (13) S.J. AMAT., (14) PAURA, (15) S. LÚZIA, (16) CALD., (17) ŪBIDOS, (A) (R. IÇA), (B) (R. JUTAÍ), (C) (R. JURUA), (D) (R. JAPURA), (E) (R. PURUS) E (F) (R. MADEIRA).

TABELA 2. LOCAIS DE AMOSTRAGEM DURANTE OS CRUZEIROS 6, 7 e 8. DISTÂNCIAS EM km RELATIVA À PRIMEIRA ESTAÇÃO DE AMOSTRAGEM, VARGEM GRANDE (0,0km).

(x) Indica que a amostra foi coletada naquele local

(-) Indica que a amostra não foi coletada naquele local

CANAL PRINCIPAL				
LOCAL	DISTÂNCIA RELATIVA km	CRUZEIROS		
		6	7	8
Vargem Grande	0,0	x	x	x
S.A. do Iça	60,0	x	x	x
Bararua	100,0	-	x	x
Xibeco	175,0	x	x	x
Inferno	230,0	-	x	-
Tupe	270,0	-	-	x
Mari-Mari	300,0	x	x	x
Panamim	450,0	-	x	x
Jutica	500,0	-	x	x
Itapeua	680,0	x	x	x
Anori	874,0	x	x	x
Manacapuru	998,0	x	x	x
Careira	1.110,0	-	x	-
S.J. do Amajari	1.194,0	-	x	x
Itacoatiara	1.320,0	-	x	-
Santa Luzia	1.434,0	x	x	x
Paura	1.435,0	-	-	x
Caldeirão	1.650,0	-	-	x
Óbidos	1.696,0	x	-	x

Cont.

T R I B U T Á R I O S				
L O C A L	D I S T Â N C I A R E L A T I V A k m *	C R U Z E I R O S		
		6	7	8
Rio Iça	16,0	x	x	x
Rio Jutã	186,0	-	x	x
Rio Juruã	259,0	x	x	-
Rio Japurã	400,0	x	x	x
Rio Purus	884,0	x	x	x
Rio	1.222,0	x	x	x

\* Distância relativa de Vargem Grande a foz do tributário

### 3.2. Amostras de sedimento

#### 3.2.1. Coleta das amostras

A várzea abrange uma vasta área, incluindo uma série de diferentes biótopos (JUNK, 1970; SIOLI, 1984 entre outros). Portanto, julga-se importante uma definição, a mais exata possível, do local amostrado.

Invariavelmente as amostras foram coletadas próximas à margem dos rios. A máxima distância em relação à linha d'água foi de 100 m. Na maioria das vezes a vegetação dominante eram gramíneas tropicais. Localmente esta região é denominada de "várzea baixa". As exceções foram os rios Iça e Jupurã. No primeiro durante os três cruzeiros e no segundo durante o cruzeiro 8 as amostras foram coletadas onde o tipo predominante de vegetação eram florestas de várzea.

A principal causa para a amostragem ser realizada nestes locais é a possibilidade da interação na várzea ser máxima e mais frequente durante o ciclo hidrológico em relação a locais situados mais próximos a terra-firme. Em adição, as gramíneas se constituem em um dos principais tipos de vegetação da várzea, tanto em quantidade como em importância na ciclagem de nutrientes dentro do sistema (JUNK, 1970, 1984). Desta forma, garantiu-se que as amostragens fossem feitas em sedimentos recém depositados pelas inundações periódicas, possibilitando uma melhor caracterização das interações na várzea. Geologicamente, este tipo de várzea é denominada de Holocênica por IRION (1978, 1984a), e se caracterizam por serem as deposições sedimentares mais recentes da Amazônia.

Durante a primeira excursão, no período de seca (C 6), as amostras foram coletadas de forma integrada até a profundidade de 50 m, utilizando-se um trado geológico. Estas sub-amostras foram coletadas em 2 a 3 diferentes pontos da várzea e reunidas em uma única amostra composta.

A partir da segunda excursão, início da subida das águas (C 7), as amostras foram coletadas de maneira fracionada de 20 em 20 cm até a profundidade de 60 cm. As amostras passaram a ser coletadas utilizando-se um trado de caneca e, geralmente, em três diferentes pontos dentro da várzea distantes de 50 a 100 m entre si. Assim, os solos coletados entre 0 a 20 cm são oriundos de três diferentes pontos, o mesmo ocorrendo para as outras profundidades. Estas sub-amostras oriundas da mesma profundidade, porém, de diferentes pontos dentro da várzea são homogenizadas em uma única amostra composta representante daquela profundidade.

Estas amostras foram secas ao ar a bordo de nossa embarcação, embaladas e transportadas. Em algumas ocasiões, devido ao elevado índice pluviométrico da região, a secagem das amostras foi demorada e de forma imperfeita, principalmente durante o início da subida das águas (C 7). As amostras então, foram novamente expostas ao ar para completa secagem. Portanto, pode ter havido possíveis alterações na composição química destas amostras. No entanto, os resultados obtidos e a semelhança no padrão de comportamento das tendências encontradas encoraja-nos a acreditar que tais alterações não ocorreram, ou, se ocorreram, foram mínimas.

Finalizando, as amostras de sedimento coletadas para análise isotópica foram as mesmas que aquelas destinadas a outras análises durante

a primeira (C 6) e a segunda excursão (C 7). Na terceira excursão (C 8), visando observar-se possíveis alterações ao longo do perfil, que na prática não ocorreram, as amostras foram coletadas de maneira fracionada em intervalos de 5 em 5 cm até a profundidade de 20 cm.

### 3.2.2. Métodos de análise

#### 3.2.2.1. Cations básicos trocáveis

As amostras de sedimento após serem secas ao ar (TFSA) foram destorroadas e passadas em peneira de 2mm.

A extração de Ca, Mg, K e Na foi feita com HCl 0,05 N, 5 g da amostra em 50 ml de solução. Após filtragem, o teor destes elementos foi determinado por espectrometria de absorção atômica, utilizando-se um aparelho Varian, série 634.

#### 3.2.2.2. pH, hidrogênio e alumínio trocável

O pH foi determinado por potenciometria. A extração foi feita em água na proporção de 10 g de sedimento para 25 ml de água (CATANI & JACINTHO, 1974).

Alumínio e hidrogênio foram extraídos por uma solução de KCl 1N, na proporção de 5 g em 50 ml. A determinação foi feita por titulometria (CATANI & JACINTHO, 1974).

### 3.2.2.3. Nitrogênio total

A mistura digestora utilizada foi composta de 350 ml de água oxigenada a 30%, 14 g de  $\text{SiSO}_4\text{H}_2\text{O}$ , 0,02 g de alumínio em pó e 420 ml de  $\text{H}_2\text{SO}_4$  concentrado. O método de análise utilizado foi colorimetria fenol azul, utilizando-se um aparelho Auto Analyser II - Technicon (BREMNER, 1965).

### 3.2.2.4. Fósforo total

Utilizou-se uma mistura digestora composta de 5 ml de ácido fluorídrico, 5 ml de  $\text{HNO}_3$  e 2 ml de  $\text{HClO}_4$  e completando o volume com água destilada a 75 ml. A análise foi feita por colorimetria (método vanadato-molibdato).

### 3.2.2.5. Carbono

O teor de carbono nas amostras foi determinado por combustão seca e dosagem de  $\text{CO}_2$  no Carmógrafo WOSTMOFF mod. 12-A.

### 3.2.2.6. Relação isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$

As amostras de sedimento após serem secas ao ar (TFSA) e passadas por peneira de 2 mm, em seguida foram moídas e passadas em peneira de 60 "mesh". Aproximadamente 1 mg de carbono, que corresponde a uma quantidade variável de sedimento dependendo do teor de carbono da amostra, é transformado em  $\text{CO}_2$  por combustão com óxido de cobre em tubo PYREX evacuado. Este  $\text{CO}_2$  é purificado e admitido no aparelho. A relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  foi determinada por espectrometria de massa, em um aparelho MICROMASS 602 E com duplo sistema de admissão e duplo coletor. A relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da amostra

é comumente expressa na forma  $\delta$  por mil que é definido por:

$$\delta^{13}\text{C} = \frac{R \text{ amostra} - R \text{ padrão}}{R \text{ padrão}}$$

onde:

R amostra é a relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  da amostra

R padrão é a relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do padrão

O padrão considerado é uma rocha calcárea da formação PD no Canyon Diablo (EUA).

### 3.2.2.7. Diluição isotópica

Este cálculo será utilizado no item 4.4.5., quando da aplicação do modelo de mistura de duas fontes. Portanto, acha-se conveniente a apresentação de sua dedução.

$$A + B = 1 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$A (\delta^{13}\text{C}_a) + B (\delta^{13}\text{C}_b) = 1 (\delta^{13}\text{C}_s) \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$B = 1 - A \quad \dots\dots\dots (3)$$

Substituindo-se (3) em (2)

$$A (\delta^{13}\text{C}_a) + 1 - A (\delta^{13}\text{C}_b) = \delta^{13}\text{C}_s$$

Desenvolvendo-se

$$A = \frac{\delta^{13}C_s - \delta^{13}C_b}{\delta^{13}C_a - \delta^{13}C_b}$$

onde:

A - quantidade relativa de material oriundo da fonte A na formação do produto S

B - quantidade relativa de material oriundo da fonte B na formação do produto S

$\delta^{13}C_a$  - composição isotópica de carbono da fonte A

$\delta^{13}C_b$  - composição isotópica de carbono da fonte B

$\delta^{13}C_s$  - composição isotópica de carbono do produto S (amostra).

### 3.3. Amostras de plantas

#### 3.3.1. Coleta das amostras

Para determinação da razão  $^{13}C/^{12}C$  foram coletadas folhas de plantas nos mesmos locais em que foram coletadas amostras de sedimento (TABELA 2 ).

#### 3.3.2. Método de análise

##### 3.3.2.1. Relação isotópica $^{13}C/^{12}C$

As folhas de plantas coletadas foram secas a bordo da L. M. AMANAÍ. Para análise isotópica estas amostras foram moídas e oxidadas da

mesma forma que foram os sedimentos. A relação isotópica foi determinada por espectrometria de massa em um aparelho MICROMASS 602 E.

### 3.4. Métodos estatísticos

A estatística utilizada no tratamento dos dados foi não-paramétrica devido à distribuição não normal dos dados, o que geralmente acontece em estudos geoquímicos BROWN *et al.* (submetido).

Para estabelecer correlação entre duas populações de dados independentes foi utilizado o teste de correlação de Spearman (CAMPOS, 1983). Concomitantemente, para se estabelecer superioridade de uma população de dados em relação à outra foi aplicado o teste de Wilcoxon (CAMPOS, 1983).

A representação da significância do teste será feita da seguinte forma: (X, Y).

onde:

X - teste aplicado, Spearman (TSR) ou Wilcoxon (TW)

Y - nível de significância

A média dos resultados será apresentada junto com o erro padrão da média e com o número de dados com os quais aquela média foi calculada. A forma de expressão será:  $Z \pm W$  (n = T).

onde:

Z - a média dos dados

W - erro padrão da média

T - número de dados

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Cations básicos trocáveis e acidez do solo

Neste ítem serão analisados os cations básicos mais comumente encontrados no solo - Ca, Mg, K e Na (VAN RAIJ, 1983), além de pH e concentração de Al. Como já citado, a amostragem foi feita em três diferentes profundidades (APÊNDICE 1). Como não foram significativas as variabilidades dentro do perfil, os dados foram agrupados em um único valor representativo do local amostrado (TABELAS 3 e 4).

Basicamente, a análise destes parâmetros será abordada de duas maneiras distintas. Uma na qual será considerada a variação na concentração dos elementos no sedimento da várzea ao longo do canal principal (variabilidade espacial) e outra onde será considerada a variação entre três épocas distintas de coleta (variabilidade temporal).

#### 4.1.1. Cálcio trocável

Este elemento ocorre predominantemente na forma trocável como cations divalente  $\text{Ca}^{+2}$ , muito embora alguns minerais com  $\text{CaCO}_3$  (calcita) e

TABELA 3. CONCENTRAÇÃO NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DE CÁTIONS TROCÁVEIS (Ca, Mg, K, Na, AC e H), SOMA DE BASES (S)\*, CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC)\*\*, EXPRESSOS EM meq/100g; ÍNDICE DE SATURAÇÃO DE BASES (V%); pH E RELAÇÕES Ca/Mg, K/Na, Ca/S, Mg/S, K/S e Na/S. AS AMOSTRAS FORAM COLETADAS EM TRÊS PERÍODOS DISTINTOS (CRUZEIROS 6, 7 E 8). OS VALORES SÃO MÉDIAS DE TRÊS PROFUNDIDADES, 0 TOTAL DOS DADOS ENCONTRA-SE NO APÊNDICE 1.

LOCAL	CRUZEIRO	Ca	Mg	K	Na	Al	H	pH	S	CTC	V (%)	Ca/Mg	K/Na	Ca/S	Mg/S	Na/S	K/S
Vargem Grande	6	9,10	1,80	0,05	0,09	0,03	0,10	7,1	11,04	11,17	98,84	5,06	0,56	0,82	0,16	0,008	0,005
	7	9,40	2,03	0,12	0,09	0,02	0,19	7,2	11,64	11,85	98,23	4,63	1,33	0,81	0,17	0,008	0,010
	8	13,00	3,58	0,17	0,09	0,05	0,19	7,2	16,84	17,08	98,59	3,63	1,89	0,77	0,21	0,005	0,010
S.A. do Iça	6	11,80	2,40	0,22	0,09	0,01	0,09	6,8	14,51	14,61	99,32	4,92	2,44	0,81	0,17	0,006	0,015
	7	13,00	3,57	0,15	0,11	0,05	0,16	6,6	16,83	17,04	98,77	3,64	1,36	0,77	0,21	0,007	0,009
	8	15,70	3,80	0,20	0,11	0,03	0,29	6,5	19,81	20,13	98,41	4,13	1,82	0,79	0,19	0,006	0,010
Bararua	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	10,80	2,35	0,15	0,10	0,03	0,20	7,1	13,40	13,63	98,31	4,60	1,50	0,81	0,18	0,007	0,011
	8	12,90	2,73	0,15	0,08	0,02	0,22	7,2	15,86	16,10	98,51	4,73	1,88	0,81	0,17	0,005	0,009
XI'beco	6	10,30	1,80	0,15	0,08	0,03	0,07	7,1	12,33	12,43	99,20	5,72	1,88	0,84	0,15	0,006	0,012
	7	14,80	3,63	0,18	0,11	0,03	0,18	6,9	18,72	18,93	98,89	4,08	1,64	0,79	0,19	0,006	0,010
	8	15,20	3,73	0,24	0,09	0,02	0,29	6,9	19,26	19,57	98,42	4,08	2,67	0,79	0,19	0,005	0,012
Inferno	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	13,50	2,85	0,16	0,09	0,02	0,20	6,9	16,60	16,82	98,69	4,74	1,78	0,81	0,17	0,005	0,010
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Cont ...

LOCAL	CRUZEIRO	Ca	Mg	K	Na	Al	H	pH	S	CTC	V (%)	Ca/Mg	K/Na	Ca/S	Mg/S	Na/S	K/S
Tupe	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	9,10	2,97	0,14	0,14	0,08	0,38	6,9	12,35	12,81	96,41	3,06	1,00	0,74	0,24	0,011	0,011
Mari-Mari	6	11,80	2,50	0,10	0,09	0,04	0,06	6,4	14,49	14,59	99,31	4,72	1,11	0,81	0,17	0,006	0,007
	7	12,70	2,83	0,18	0,15	0,03	0,17	7,1	15,86	16,06	98,75	4,49	1,20	0,80	0,18	0,009	0,011
	8	8,60	2,17	0,21	0,08	0,10	0,31	6,1	11,06	11,47	96,43	3,96	2,63	0,78	0,20	0,007	0,019
Panamim	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	13,10	3,57	0,16	0,14	0,02	0,08	6,7	16,97	17,07	99,41	3,67	1,14	0,77	0,21	0,008	0,009
	8	10,80	3,30	0,25	0,09	0,05	0,22	6,6	14,44	14,71	98,16	3,27	2,78	0,75	0,23	0,006	0,017
Jutica	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	5,60	4,40	0,13	0,25	0,05	0,26	6,9	14,38	14,69	97,89	2,18	0,52	0,67	0,31	0,017	0,009
	8	11,00	3,70	0,21	0,15	0,16	0,31	6,0	15,06	15,53	96,97	2,97	1,40	0,73	0,25	0,010	0,014
Itapeua	6	11,70	2,30	0,17	0,11	0,03	0,14	6,2	14,28	14,45	98,82	5,09	1,55	0,82	0,16	0,008	0,012
	7	11,60	2,95	0,14	0,13	0,06	0,24	6,6	14,82	15,12	98,02	3,93	1,08	0,78	0,20	0,009	0,009
	8	10,30	2,80	0,19	0,10	0,02	0,26	6,6	13,39	13,67	97,95	3,68	1,90	0,77	0,21	0,007	0,014
Anori	6	9,70	1,80	0,16	0,12	0,05	0,12	6,8	11,78	11,95	98,58	5,39	1,33	0,82	0,15	0,010	0,014
	7	11,60	1,90	0,13	0,11	0,10	0,22	6,6	13,74	14,06	97,72	6,11	1,18	0,84	0,14	0,008	0,009
	8	10,30	2,80	0,15	0,09	0,07	0,29	6,5	13,34	13,70	97,37	3,68	1,67	0,77	0,21	0,007	0,011
Manacapuru	6	11,40	4,20	0,14	0,21	0,11	0,12	6,3	15,95	18,18	98,58	2,71	0,67	0,71	0,26	0,013	0,009
	7	9,20	2,10	0,15	0,06	0,11	0,29	6,0	11,51	11,91	96,64	4,38	2,50	0,80	0,18	0,005	0,013
	8	8,30	2,17	0,14	0,07	0,05	0,37	6,1	10,68	11,10	96,22	3,82	2,00	0,78	0,20	0,007	0,013

Cont ...

LOCAL	CRUZEIRO	Ca	Mg	K	Na	AT	H	pH	S	CTC	V (%)	Ca/Mg	K/Na	Ca/S	Mg/S	Na/S	K/S
Careiro	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	9,60	1,70	0,12	0,08	0,10	0,26	5,9	11,50	11,86	96,96	5,65	1,50	0,83	0,15	0,007	0,010
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
S.J. do Amajari	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	7,80	1,10	0,11	0,04	0,04	0,24	6,6	9,05	9,33	97,00	7,09	2,75	0,86	0,12	0,004	0,012
	8	9,30	2,93	0,28	0,09	0,05	0,32	6,4	12,60	12,97	97,15	3,17	3,11	0,74	0,23	0,007	0,022
Itacoatiara	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	7,90	2,50	0,15	0,13	0,32	0,30	5,9	10,68	11,30	94,51	3,16	1,15	0,74	0,23	0,012	0,014
	8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Santa Luzia	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	8,20	1,90	0,11	0,10	0,04	0,25	6,3	10,31	10,60	97,26	4,32	1,10	0,80	0,18	0,010	0,011
	8	8,10	2,03	0,15	0,07	0,08	0,28	6,4	10,35	10,71	96,64	3,99	2,14	0,78	0,20	0,007	0,014
Paura	6	7,40	1,10	0,10	0,07	0,03	0,12	6,5	8,67	8,82	98,30	6,73	1,43	0,85	0,13	0,008	0,012
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	8,60	1,97	0,18	0,06	0,08	0,30	5,7	10,81	11,19	96,60	4,37	3,00	0,80	0,18	0,006	0,017
Caldeirão	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	9,20	2,60	0,20	0,07	0,20	0,37	5,6	12,07	12,64	95,49	3,54	2,86	0,76	0,22	0,006	0,017
Obidos	6	12,00	2,50	0,18	0,12	0,05	0,26	5,0	14,80	15,11	97,95	4,80	1,50	0,81	0,17	0,008	0,012
	7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	8	9,70	2,43	0,33	0,07	0,02	0,31	6,2	12,53	12,86	97,43	3,99	4,71	0,77	0,19	0,006	0,026

\* S = Ca + Mg + K + Na

\*\* CTC = AT + H + S

\*\*\* V = S/CTC x 100

TABELA 4. - CONCENTRAÇÃO DE CÁTIONS BÁSICOS TROCAVEIS E ALUMÍNIO (EXPRESSA EM meq/100g), VALORES DE PH, SOMA DE BASES (S)\*, CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC)\*\* (S E CTC EXPRESSOS EM meq/100g), V\*\*\* (EXPRESSO EM PORCENTAGEM) E RELAÇÃO Ca/Mg, K/Na, Ca/S, Mg/S, K/S, Na/S NO SEDIMENTO DE VARZEA COLETADO NOS TRIBUTÁRIOS.

Tributários	Cruzeiros	Ca	Mg	K	Na	Al	pH	S	CTC	V	Ca/Mg	K/Na	Ca/S	Mg/S	K/S	Na/S
R. Iça	6	7,00	2,50	0,10	0,07	0,98	5,6	9,67	11,29	85,7	2,80	1,43	0,72	0,26	0,01	0,01
	7	3,30	1,73	0,12	0,10	5,92	4,8	5,30	12,23	43,3	1,91	1,20	0,63	0,33	0,02	0,02
	8	3,30	1,70	0,13	0,10	5,37	4,6	5,23	11,64	44,9	1,94	1,30	0,63	0,33	0,02	0,02
R. Jutai	6	8,40	1,93	0,13	0,12	0,46	5,6	10,65	11,83	90,0	4,35	1,08	0,79	0,18	0,01	0,01
	7	10,60	2,37	0,25	0,12	0,60	5,2	13,31	14,40	92,4	4,47	2,08	0,80	0,17	0,02	0,01
	8	10,60	4,10	0,17	0,13	6,45	4,9	15,00	22,36	67,1	2,58	1,31	0,71	0,27	0,01	0,01
R. Juruá	6	10,30	2,33	0,27	0,13	1,35	5,5	13,00	14,84	87,6	4,42	2,08	0,79	0,18	0,02	0,01
	7	11,90	3,80	0,20	0,11	0,02	7,0	14,01	14,49	99,4	6,61	1,82	0,85	1,13	0,02	0,01
	8	8,90	1,70	0,15	0,06	6,7	10,74	11,00	97,6	5,24	2,50	2,50	0,83	0,16	0,01	0,00
R. Japurá	6	3,80	0,97	0,07	0,06	0,93	6,3	4,94	6,33	78,0	3,92	1,17	0,78	0,20	0,01	0,01
	7	7,60	2,20	0,10	0,06	0,21	5,1	9,96	10,45	95,3	3,45	1,67	0,76	0,22	0,01	0,01
	8	4,20	1,30	0,10	0,11	2,07	5,5	5,67	8,25	68,7	3,23	0,91	0,74	0,23	0,02	0,02
R. Madeira	6	3,70	1,20	0,11	0,06	1,73	5,1	5,00	7,29	69,9	3,08	1,83	0,74	0,24	0,02	0,00
	7	5,70	2,00	0,13	0,04	0,02	6,1	7,87	8,12	96,9	2,85	3,25	0,72	0,25	0,02	0,01
	8	3,60	2,10	0,10	0,06	0,59	5,7	5,85	6,84	85,5	1,71	1,67	0,62	0,36	0,02	0,00
		4,10	1,87	0,17	0,06	0,73	5,1	6,19	7,06	87,7	2,19	2,83	0,66	0,30	0,03	0,10

\* S = Ca + Mg + K + Na

\*\* CTC = S + Al + H

\*\*\* V =  $\frac{S}{CTC} \times 100$

$\text{CaSO}_4 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$  (gypsum) possam ocorrer no solo principalmente em regiões áridas. No entanto, são minerais pouco solúveis, facilmente lixiviados, não sendo comumente encontrados em regiões tropicais (THOMPSON & TROEH, 1978 e GIBBS, 1965). Preferencialmente, o cálcio encontra-se adsorvido a minerais de argila com alta CTC como a montmorilonita e em menor extensão a minerais de argila de baixa CTC. Seu teor médio nos solos é de 1 a 2% (MALAVOLTA, 1976). Dentre os cátions básicos trocáveis é o mais abundante, constituindo cerca de 75 a 85% da soma de bases (S) em regiões temperadas (THOMPSON & TROEH, 1978). Segundo VAN RAIJ (1983) a predominância do cálcio na fração trocável é devido ao seu tamanho relativamente pequeno em relação à carga, sendo mais facilmente adsorvido pelas argilas e matéria orgânica do solo.

No sedimento coletado nas margens do canal principal a concentração de cálcio trocável para todos os dados, não sendo considerada a variabilidade temporal ou espacial, variou entre 7,40 a 15,70 meq/100 g com um valor médio de  $10,70 \pm 0,34$  meq/100 g ( $n = 40$ ) (TABELA 3). Este valor é comparado aos melhores solos do Estado de São Paulo; por exemplo Terra Roxa Estruturada tem concentração variando entre 4,30 a 10,93 meq/100 g de solo ou Podzólico Vermelho-Amarelo de Lins e Marília var. Marília variando entre 1,57 a 11,62 meq/100 g de solo (VERDADE, 1960). Por outro lado, Latossolo Amarelo que ocupa uma área bastante extensa na Amazônia, teve uma concentração média de cálcio de  $0,38 \pm 0,04$  meq/100 g ( $n = 3$ ) em três perfis, variando sua textura de média a muito argiloso (VIEIRA, 1975).

Em relação à soma de bases (Ca + Mg + K + Na), o teor de cálcio representa em média 79%, (TABELA 3) o qual está dentro da variação citada por THOMPSON & TROEH (1978) de 75 a 85% (FIGURA 9).

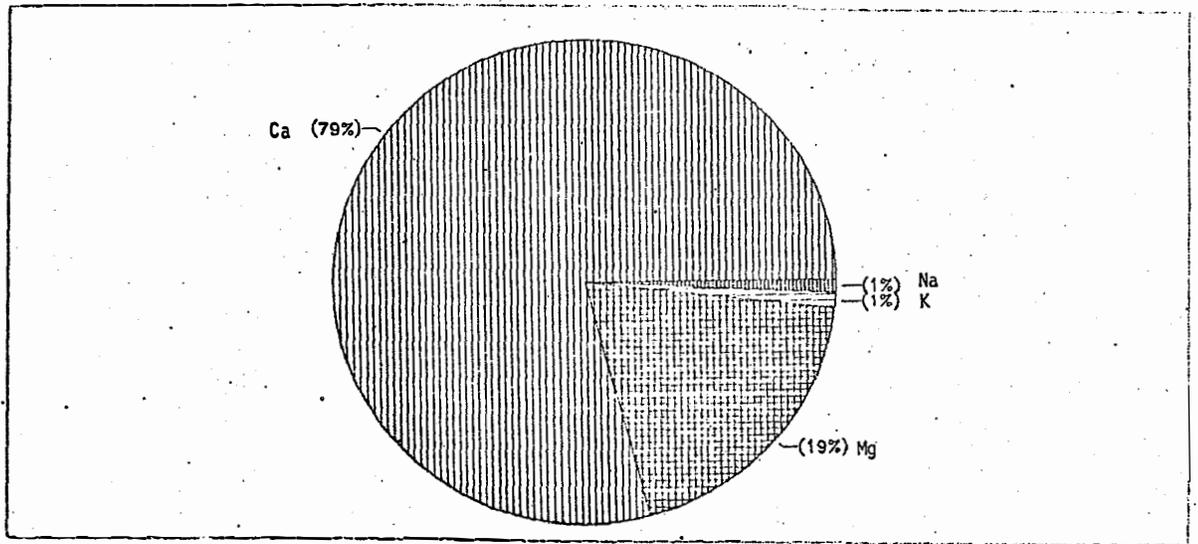


Figura 9. PARTICIPAÇÃO MÉDIA DOS CÁTIONS Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM PORCENTAGEM, NA SOMA DE BASES (S) DO SEDIMENTO DE VÁRZEA DO CANAL PRINCIPAL.

Os sedimentos amostrados nas várzeas dos tributários tiveram uma concentração de cálcio significativamente ( $TW 0,0025$ ) menor em comparação à várzea coletada no canal principal (TABELA 4 e FIGURA 10). No entanto, ressalta-se que a concentração de cálcio nas várzeas dos tributários foi medida no curso anterior destes rios durante três épocas diferentes. Por outro lado a concentração no canal principal foi medida ao longo de todo seu curso e como será visto, ocorre uma variabilidade espacial na concentração dos elementos, sendo maior a concentração de cálcio na parte superior do canal principal. Portanto, o valor da concentração nos tributários pode estar subestimado, pois pode ocorrer que a concentração de cálcio na várzea destes afluentes seja também mais elevada rio acima.

Os principais tributários amostrados na margem esquerda do canal principal são os rios Iça e Japurá. Os dois têm suas cabeceiras na região Norte dos Andes (FIGURA 1) e suas bacias, geologicamente, são similares (STALLARD, 1983). No primeiro a concentração média de cálcio no sedimento de várzea foi de  $4,53 \pm 1,23$  meq/l ( $n = 3$ ) e no segundo de  $8,20 \pm 2,36$  meq/l ( $n = 3$ ). Apesar da similaridade geológica entre as bacias, estes valores são significativamente diferentes ( $TW 0,005$ ). Contudo, por diversos motivos, a coleta de sedimento no rio Japurá foi feita em três locais distintos. A primeira e a segunda coleta foram feitas na confluência do rio Japurá com o paranã Aranapu, que traz água e sedimentos do rio Solimões, portanto, provavelmente o local amostrado seja composto por sedimentos importado do canal principal (R. MEADE, comunicação pessoal). Assim sendo, a concentração de cálcio foi de 11,9 meq/100 g na primeira e de 8,9 meq/100 g na segunda coleta, os quais são semelhantes à concentração encontrada na vár

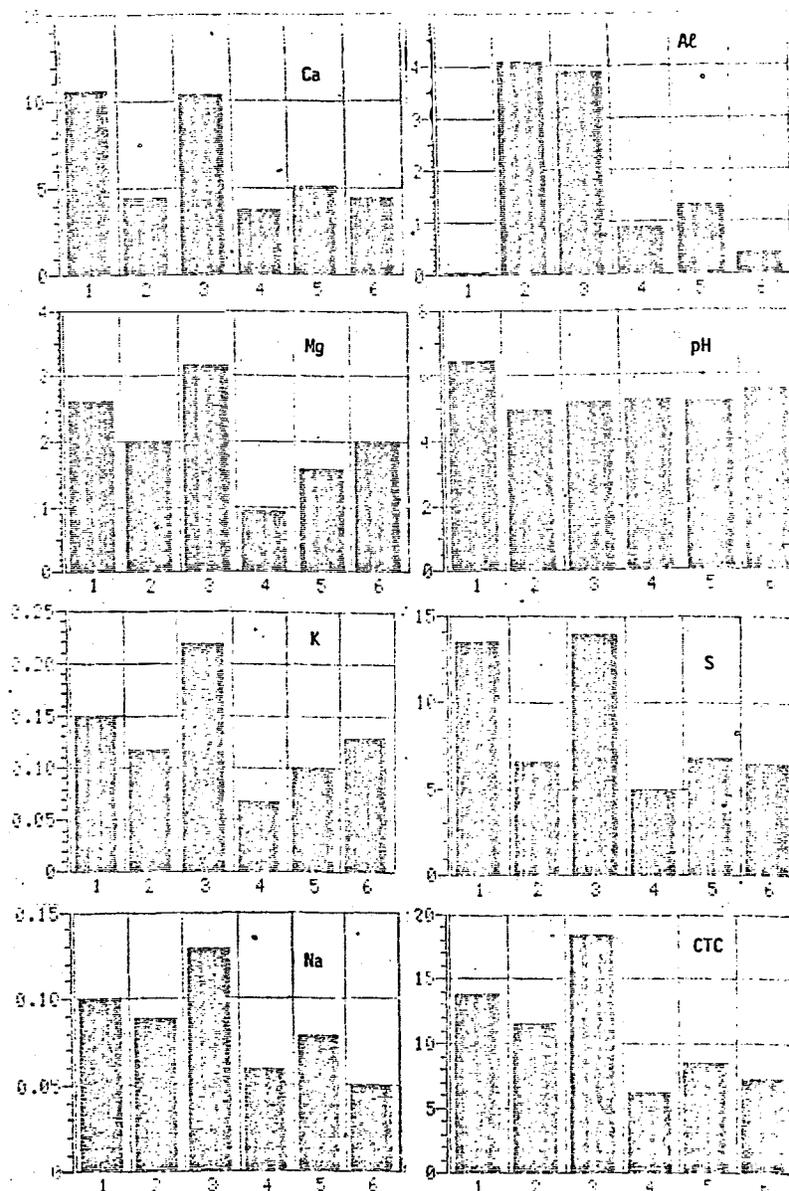


Figura 10. COMPARAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO MÉDIA DE Ca, Mg, K, Na, Al, SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSA EM meq/100g E pH ENTRE O SEDIMENTO DE VÁRZEA COLETADO EM: (1) CANAL PRINCIPAL, (2) R. IÇA, (3) R. JURUA, (4) R. JAPURA, (5) R. PIRUS E (6) R. MADEIRA.

zea do canal principal (TABELA 3). A última coleta foi realizada acima da confluência do paranã Aranapu; como consequência a concentração de cálcio diminui para 3,80 meq/l, que é mais próxima ao valor encontrado na várzea do rio Iça (TABELA 4).

Na margem direita, de oeste para leste, o primeiro tributário importante é o rio Jutai (FIGURA 1), que tem sua origem na depressão Amazônica, na formação Barreira (deposição sedimentar do Terciário). A concentração de cálcio na sua várzea foi de  $9,50 \pm 1,10$  meq/100 g, surpreendentemente alta para um rio de água-preta que carrega pouca quantidade de sedimento em suspensão e que tem sua origem dentro do ambiente tropical (GIBBS, 1965; RICHEY, dados não publicados). Porém, a coleta foi feita junto à confluência do paranã Copetana, o qual, como o paranã Aranapu, traz água e sedimento do rio Solimões (R. MEADE, comunicação pessoal). Assim, como no rio Japurá, a várzea amostrada provavelmente foi formada por material alóctone. É uma várzea do rio Solimões formada a margem do rio Jutai.

O segundo tributário importante da margem direita é o rio Juruá, que também tem sua cabeceira nas terras baixas da Amazônia (FIGURA 1). Segundo GIBBS (1965) é classificado como um rio de ambiente tropical, porém sua cabeceira é mais próxima da região sub-Andina, no Estado do Acre, onde há uma maior fonte de sedimento. Portanto, carrega mais sedimento em suspensão que o rio Jutai. A concentração de cálcio na sua várzea também é mais elevada, com valores semelhantes ao encontrado na várzea do canal principal (FIGURA 10). A concentração média foi de  $10,45 \pm 0,15$  meq/100 g (n=2).

O rio Purus, terceiro tributário importante da margem direita, tem também origem nas terras baixas da Amazônia. Porém, como o rio Juruá, está próximo à região sub-Andina, no Estado do Acre, carrega quantidade semelhante de sedimento (FIGURA 1). No entanto, apesar da semelhança geológica de suas bacias, a concentração de cálcio no rio Purus é menor em comparação ao rio Juruá (FIGURA 10),  $5,17 \pm 1,50$  meq/100 g ( $n = 3$ ).

A principal diferença entre o rio Madeira e os rios Içá e Japurá é que, apesar da origem comum (Cordilheira dos Andes), o rio Madeira é formado na parte sul, na cordilheira peruana e boliviana, enquanto os rios Içá e Japurá são formados na porção norte da cordilheira (FIGURA 1). Este fato, devido à diferente composição geológica destes dois locais, levou a diferentes composições mineralógicas do material em suspensão destes rios (IRION, 1976, 1984a; STALLARD, 1983). Todavia, a concentração média de cálcio foi semelhante entre estes tributários (FIGURA 10). O rio Madeira teve uma concentração média de  $4,21 \pm 0,75$  meq/100 g ( $n = 3$ ).

Em relação à proporção entre o cálcio e a soma de bases (S), os valores encontrados para os tributários foram menores (TW 0,006) que os valores encontrados para o canal principal (FIGURA 10). Para os rios Içá e Madeira a proporção Ca : S foi em torno de 68%; para os outros tributários - Juruá, Japurá e Purus - a proporção foi um pouco mais elevada em torno de 75%.

#### 4.1.2. Magnésio trocável

O magnésio, apesar de em menor quantidade, tanto na forma trocável como em solução comporta-se semelhantemente ao cálcio, ocorrendo também na forma de cátion divalente (THOMPSON e TROEH, 1978; MALAVOLTA, 1976). Em adição, o magnésio pode também participar da estrutura de micas e minerais de argila (VAN RAIJ, 1983); no entanto, segundo THOMPSON e TROEH (1978), a maior fonte de Mg disponível no solo está na forma trocável. Este elemento é a segunda base em quantidade na soma total de bases no solo (MALAVOLTA, 1976).

Não se considerando a variabilidade espacial e temporal, a concentração média de Mg no sedimento de várzea do canal principal foi de  $2,64 \pm 0,13$  meq/100 g (n = 40), sendo o menor valor de 1,10 meq/100 g e o maior de 3,80 meq/100 g (TABELA 10). Comparativamente aos solos mais férteis do Estado de São Paulo o valor encontrado na várzea Amazônica é mais elevado; a maior concentração encontrada nos solos do Estado de São Paulo foi de 1,20 meq/100 g (VERDADE, 1960). Em Latossolo Amarelo de ocorrência generalizada na bacia Amazônica, a concentração média de Mg em três perfis foi de  $0,21 \pm 0,03$  meq/100 g (n = 3) (VIEIRA, 1975). A participação média do magnésio em relação ao teor total de cátions básicos foi de 19% (FIGURA 9). Segundo MALAVOLTA (1979), 10% de Mg em relação a soma de bases seria a proporção ideal para um solo existente em região temperada.

Como o cálcio, a concentração de magnésio no sedimento de várzea dos tributários foi significativamente (TW 0,05) menor que os valores encontrados no canal principal (FIGURA 10).

O rio Juruá teve a maior concentração,  $3,22 \pm 0,89$  meq/100g (nº 2), seguido pelo rio Jutai,  $2,15 \pm 0,22$  meq/100 g. Porém, como discutido anteriormente, a várzea amostrada no rio Jutai não é representativa do material transportado por este rio e, sim, pelo rio Solimões. A menor concentração, 0,97 meq/100 g, foi encontrada na várzea do rio Japurá, não se considerando os valores obtidos na várzea coletada junto à confluência com o paranã Aranapu por motivos já expostos. Os rios Iça, Purus e Madeira tiveram concentrações intermediárias,  $1,98 \pm 0,26$  meq/100 g (n = 3),  $1,57 \pm 0,55$  meq/100 g (n = 3) e  $1,99/100 \text{ g} \pm 0,67$  (n = 3), respectivamente (TABELA 4).

Quanto à proporção Mg : S, os valores encontrados no sedimento de várzea dos tributários foram significativamente maiores (TW 0,006) em comparação aos valores do canal principal (TABELA 3 ). O sedimento de várzea dos rios Iça e Japurá tiveram a maior proporção, ao redor de 30%. Por outro lado, as várzeas dos rios Juruá, Japurá e Purus tiveram valores menores, ao redor de 22%. A relação Ca : Mg na várzea do canal principal é significativamente maior (TW 0,0016) que nos tributários. O valor médio do primeiro é de 4 : 1, enquanto a média dos valores encontrados nos tributários foi de 3 : 1 (TABELA 4).

#### 4.1.3. Potássio trocável

Na constituição das bases trocáveis de um solo, geralmente o potássio é o terceiro constituinte bem abaixo da concentração de cálcio e magnésio. Segundo THOMPSON e TROEH (1983) o potássio geralmente perfaz de

1 a 3% do total de bases trocáveis. O potássio no solo ocorre principalmente em 2 formas: como íon nonovalente na solução do solo e/ou adsorvido a minerais de argila e fazendo parte da estrutura de minerais como micas e feldspatos. Da quantidade total de K no solo cerca de 99% está na forma não trocável, fazendo parte da estrutura de alguns minerais e 1% está na forma trocável. A fração trocável, através de um equilíbrio dinâmico, passa para a solução do solo sendo o potássio rapidamente absorvido pelas plantas. Mais lentamente se dá a passagem da forma não trocável para a forma trocável. Em comparação ao cálcio e ao magnésio, o potássio é fracamente absorvido pelas argilas do solo, sendo facilmente passado à solução onde é absorvido pelas plantas ou lixiviado (VAN RAIJ, 1983; MALAVOLTA, 1986; THOMPSON e TROEH, 1978).

A concentração média de potássio para o sedimento de várzea do canal principal foi de  $0,17 \pm 0,01$  meq/100 g ( $n = 40$ ), variando entre 0,05 a 0,33 meq/100 g (TABELA 3). Os solos mais férteis do Estado de São Paulo apresentam, de uma maneira geral, teores mais elevados de potássio. Por exemplo, Terra-Roxa Estruturada tem uma concentração de potássio de até 1,35 meq/100 g (VERDADE, 1960). Cumpre, porém, dizer que, em termos agrônômicos, um teor de 0,17 meq/100g é considerado de médio a alto (VAN RAIJ, 1983).

Considerando-se a mesma ressalva que foi feita em relação a cálcio e magnésio, quando se comparou a concentração destes na várzea do canal principal com a concentração na várzea dos tributários, a concentração de potássio na várzea do canal principal foi significativamente ( $TW = 0,02$ ) maior que a concentração encontrada nos tributários (FIGURA 10).

Entre os tributários a maior concentração foi encontrada no rio Juruá, média de  $0,22 \pm 0,05$  meq/100 g ( $n=3$ ) e a menor  $0,07$  meq/100 g ( $n=3$ ) foi obtida no rio Japurá (TABELA 4). Nos demais tributários a concentração variou entre  $0,10 \pm 0,00$  meq/100 g ( $n=3$ ) no rio Purus,  $0,11 \pm 0,01$  meq/100 g ( $n=3$ ) no rio Iça e  $0,13 \pm 0,02$  meq/100 g ( $n=3$ ) no rio Madeira (TABELA 4).

Na várzea do canal principal, a relação K : S foi menor que os valores encontrados nos tributários, onde a relação variou entre 2% na várzea do rio Madeira, 1,6 na várzea dos rios Iça e Juruá e 1,5% nos rios Japurá e Purus (TABELA 4). Segundo, THOMPSON e THOEH (1978), em solos temperados esta proporção varia entre 1 a 3%. Em adição, a proporção Ca:K nos tributários foi significativamente ( $TW 0,004$ ) menor que no canal principal. A média desta relação no canal principal foi de 65 : 1 e nos tributários de 45 : 1. Segundo THOMPSON & THOEH uma relação Ca : K em torno de 50 ocorre em solos montmoriloníticos, enquanto em solos com predominância de caulinita, esta proporção é bem mais estreita, chegando até 13 : 1.

#### 4.1.4. Sódio trocável

Dentre as bases trocáveis que compõem o sistema solo, o sódio se encontra em menor proporção, devido a seu raio iônico grande e sua carga novalente é fracamente adsorvida na superfície dos minerais de argila. Em adição, não faz parte da estrutura destes minerais, sendo, portanto, facilmente lixiviado (MALAVOLTA, 1976).

A concentração média nos sedimentos de várzea do canal principal foi de  $0,10 \pm 0,01$  meq/100 g ( $n = 40$ ), (TABELA 4), a participação deste elemento na soma de bases trocáveis foi de 0,8% (média entre 40 dados (TABELA 3)).

Nos tributários, a concentração de sódio na várzea variou entre  $0,13 \pm 0,00$  meq/100 g ( $n = 2$ ) no rio Juruá a  $0,06 \pm 0,01$  meq/100 g ( $n=3$ ) no rio Madeira e Japurá. Nos demais tributários a concentração foi intermediária entre estes valores;  $0,09 \pm 0,01$  meq/100 g no rio Iça e  $0,08 \pm 0,02$  meq/100 g no rio Purus (TABELA 4). Estes valores são significativamente menores (TW 0,05) em comparação àqueles encontrados no canal principal (FIGURA 10).

Na várzea dos tributários a proporção do sódio na soma de bases trocáveis foi significativamente maior (TW 0,007) em relação à várzea do canal principal. Os rios Iça, Japurá e Purus tiveram uma relação Na : S ao redor de 1,2%, enquanto esta relação, nos rios Juruá e Madeira, foi um pouco menor, em torno de 0,9% (TABELA 4). Por outro lado, a relação K : Na não apresentou diferença significativa entre a várzea do canal principal e dos tributários. RANKAMA & SAHAMA (1950), citados por MALAVOLTA (1976), apresentam uma relação K : Na em sólidos dissolvidos de lagos e rios em torno de 0,4 : 1 e para sedimentos argilosos 3 : 1. A relação média para a várzea do canal principal (total de 40 pontos) foi de 16 : 1 (TABELA 3).

#### 4.1.5. Soma de bases trocáveis (S)

Refere-se à soma das bases trocáveis do sistema solo  $\text{Ca}^{+2} + \text{Mg}^{+2} + \text{K}^{+} + \text{Na}^{+}$ . É também usada com índice indicativo da fertilidade do solo.

No sedimento de várzea do canal principal os valores de S foram elevados, média de  $13,61 \pm 0,43$  (n = 40) (TABELA 3). Este valor é compatível com aqueles encontrados nos melhores solos do Estado de São Paulo (COMISSÃO DE SOLOS, 1960). Deste total, em média 79% é constituído de cálcio; o magnésio contribui com 19%, potássio com 1,2% e sódio com 0,8% (FIGURA 9). Em contrapartida, o valor S médio de três perfis de Latosolo Amarelo da Amazônia foi de  $0,61 \pm 0,14$  meq/100 g (n = 3).

Nos tributários os valores S são significativamente menores (TW 0,0018). A exceção é a várzea do rio Juruá que teve um valor semelhante ao do canal principal  $14,00 \pm 1,00$  meq/100 g (n = 3). Por outro lado o rio Japurá teve o menor valor  $4,94$  meq/100 g (n = 1), os demais tiveram valores ao redor de  $6,7$  meq/100 g (TABELA 4). Em adição, a proporção das bases na constituição do valor S é diferente em relação ao canal principal. Com exceção da relação Ca : S, que é significativamente menor (TW 0,0006), nos tributários, as demais relações - Mg : S, K : S e Na : S são significativamente maiores (TW 0,006, 0013, 0007; respectivamente) que os valores encontrados no canal principal (TABELA 4).

#### 4.1.6. pH

Comumente a concentração de hidrogênio é expressa pelo pH, definido como menos logarítimo da concentração hidrogemônica ou o logarítimo do inverso da concentração hidrogemônica.

Como já definido, a capacidade de troca catiônica é a quantidade de cátions que um solo é capaz de reter por unidade de peso ou de volume. Assim sendo, quanto maior a proporção de íon  $H^+$  neste complexo, maior será a acidez do solo. Segundo VAN RAIJ (1983), um solo pode ser ácido devido à pobreza do material de origem em cátions básicos ou por condições de pedogênese as quais favoreceram a remoção de cátions básicos do perfil. Uma destas condições é o grau de intemperismo do solo, ou seja, quanto mais intemperizado é um solo maior tendência o mesmo tem para perder suas bases trocáveis. Pois, com água de percolação há a dissociação do gás carbônico liberando íon  $H^+$  em solução, que rapidamente passa para a fase sólida do solo, deslocando cátions básicos que passam à solução e podem ser lixiviados como bicarbonato. Um exemplo típico deste fenômeno são os solos não aluviais da bacia Amazônica, formados sob a formação Barreiras, os quais são extremamente pobres em cátions básicos, perdidos por lixiviação (IRION, 1978; SODMBROEK, 1983). Portanto, uma última análise, o pH depende da quantidade de cátions básicos existentes no complexo de troca do solo (VAN RAIJ, 1983). Desta maneira tanto a soma de bases S (TSR 0,025) como o índice de saturação de bases V% (TSR 0,001) encontram-se positivamente

correlacionados com pH do sedimento de várzea do canal principal.

No sedimento de várzea do canal principal, o menor pH foi de  $5,6 \pm 0,6$  (n=2) e o mais elevado  $7,2 \pm 0,0$  (n=3). em comparação, sob os sedimentos do Terciário (formação Barreiras) está um dos solos de maior abundância na região - Latossolo Amarelo que em três perfis, variando a textura de média a muito argilosa tiveram um pH em torno de 4,8 (VIEIRA, 1975). Por outro lado em solos Podzólico Vermelho Amarelo var. Marília, no Estado de São Paulo, o valor de pH foi em torno de 5,5 nos horizontes superiores (COMISSÃO DE SOLOS, 1960).

O pH no sedimento de várzea dos tributários foi significativamente menor (TW 0,0004) em relação ao canal principal. Na várzea do rio Iça o pH foi o mais baixo,  $5,0 \pm 0,3$  (n=3). Nos rios Purus, Japurá e Juruá o pH foi ao redor de 5,2 e no rio Madeira  $5,6 \pm 0,3$  (n=3), que foi o valor mais elevado entre os tributários (TABELA 4).

Na várzea do rio Jutai, por motivos anteriormente expostos, todos os parâmetros tiveram valores bastante semelhantes aos encontrados na várzea do canal principal. Curiosamente o pH não seguiu esta tendência, sendo seu valor semelhante ao dos tributários ( $5,4 \pm 0,2$ , n=2). Portanto, parece que esta várzea não é inteiramente formada por sedimento do rio Solimões, mas apresenta também componentes oriundos do rio Jutai. Como terceira hipótese, a influência do material carregado pelo Solimões é mínima e esta várzea foi formada na sua maior parte por sedimentos trazidos pelo rio Jutai. No entanto, em nossas observações, não parece haver deposições alu-

vionárias nas margens deste rio. Um dos poucos locais encontrados o amonitizado.

#### 4.1.7. Alumínio

O alumínio no solo está contido na estrutura de inúmeros minerais primários e secundários. Dentre os minerais de argila, a caulinita tem na sua constituição aproximadamente 20% de alumínio e a montmorilonita ao redor de 9%. A concentração de alumínio em solução ou na forma trocável será função do pH do solo. Quanto mais baixo este valor maior será a dissolução dos minerais que contêm alumínio, liberando-os em solução (VAN RAIJ, 1983; MALAVOLTA, 1976).

Portanto, devido ao pH próximo à neutralidade nos sedimentos de várzea do canal principal, a concentração deste íon é bastante baixa, em média  $0,06 \pm 0,01$  meq/100 g ( $n=40$ ), onde o menor valor foi 0,01 meq/100 g e o maior 0,32 meq/100 g (TABELA 3). Por outro lado, a concentração média de alumínio trocável em três perfis de textura variável de Latossolo Amarelo da bacia Amazônica foi de  $1,02 \pm 0,25$  meq/100 l ( $n=3$ ).

A concentração deste íon no sedimento de várzea dos tributários é bastante mais alta em relação ao canal principal (TW 0,0004) (FIGURA 4). Mesmo a menor concentração, que ocorre no rio Madeira ( $0,52 \pm 0,14$  meq/100 g,  $n=3$ ), foi mais elevada que a maior concentração encontrada no canal principal. Em ordem crescente de concentração segue a várzea do rio Japurá com 0,93 meq/100 g ( $n=1$ ), a do rio Purus com  $1,31 \pm 0,56$  meq/100 g ( $n=3$ ) e a dos rios Juruá com  $3,90 \pm 2,55$  meq/100 g ( $n=2$ ) e Içã com  $4,08 \pm 1,57$  meq/100 g ( $n=3$ ) (TABELA 4).

Provavelmente, a causa da maior concentração de alumínio trocável no sedimento de várzea dos tributários seja a menor quantidade de cátions básicos que estes afluentes têm em relação ao canal principal. Com a menor concentração de bases, os sítios de adsorção nos minerais de argila estarão preenchidos com uma quantidade proporcionalmente maior de íons de hidrogênio, conseqüentemente o pH do solo será mais ácido, levando à dissolução de óxidos e minerais de alumínio, aumentando sua concentração em solução e na fração trocável.

#### 4.1.8. Capacidade de troca catiônica

As cargas negativas da fração argila dos solos são neutralizadas por íons de carga contrária, os quais assumem um caráter trocável. A determinação da CTC pode ser feita de forma direta utilizando-se acetado de amônio a pH 7 ou de forma indireta somando-se as bases trocáveis  $\text{Ca}^{+2}$ ,  $\text{Mg}^{+2}$ ,  $\text{K}^{+}$  e  $\text{Na}^{+}$  com a acidez  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^{+}$  (MALAVOLTA, 1976; VAN RAIJ, 1983). Desta forma, a CTC é um dos parâmetros mais utilizados na caracterização da fertilidade de um solo.

Nos sedimentos da várzea do canal principal, a CTC média foi de  $13,90 \pm 0,43$  meq/100 g (n = 40), onde os valores extremos foram de 8,82 e 20,13 meq/100 g (TABELA 3 ). Tais valores não diferenciam estatisticamente dos valores da soma de bases, devido à pouca quantidade de  $\text{Al}^{+3}$  e  $\text{H}^{+}$  presente nestes solos. Em conseqüência o valor V% ( $\text{S}/\text{CTC} \times 100$ ) foi bastante elevado, média de  $97,93 \pm 0,18\%$  (TABELA 3 ). Nos solos formados sobre a formação Barreiras, como os Latossolos Amarelo, o valor V%, é bem

mais baixo (~10%), indicando a presença de quantidades apreciáveis de  $Al^{+3}$  e  $H^+$  fazendo parte do complexo de troca do solo (RADAM, 1978; VIEIRA, 1975). Mesmo nos solos mais férteis do Estado de São Paulo este valor é ligeiramente inferior, por exemplo, Latossolo Vermelho-Amarelo Lins e Marília - var. Lins, apresentou em média um valor V% de 50 a 80% nas camadas superiores (COMISSÃO DE SOLOS, 1960).

No sedimento de várzea dos tributários, a CTC foi estatisticamente menor ( $TW = 0,035$ ) que no canal principal (FIGURA 10). O único valor que se aproxima daqueles encontrados na várzea do rio Amazonas são os dos rios Juruá ( $18,60 \pm 3,76$  meq/100 g,  $n = 2$ ) e Iça ( $11,72 \pm 0,27$  meq/100 g,  $n = 3$ ). O valor mais baixo foi encontrado na várzea do rio Japurá ( $6,33$  meq/100 g,  $n = 1$ ). Intermediariamente, no rio Madeira o CTC foi de  $7,32 \pm 0,40$  meq/100 g ( $n = 3$ ) e no rio Purus  $8,66 \pm 0,94$  meq/100 g ( $n = 3$ ) (TABELA 4). Como a concentração de  $Al^{+3}$  e  $H^+$  foi mais elevada nos tributários que no canal principal o valor V%, conseqüentemente, foi menor ( $TW = 0,0004$ ) nos afluentes em comparação à várzea do rio Amazonas.

### DISCUSSÃO

Em resumo, entre o sedimento de várzea do canal principal e dos tributários a maioria dos parâmetros indicadores da composição química dos solos são distintos (FIGURA 10). Todos os cátions básicos trocáveis (Ca, Mg, K e Na) estão em maior quantidade no sedimento de várzea do canal principal; conseqüentemente a soma total de bases segue a mesma tendência. A proporção relativa das bases trocáveis na composição da soma de bases também é diferente. No canal principal a proporção relativa de cálcio é maior,

por outro lado nos tributários os cations magnésio, potássio e sódio estão em maior proporção na soma de bases em relação aos valores encontrados no canal principal. A relação Ca : Mg é maior na várzea do canal principal que no tributário e a relação K : Na é o único parâmetro que não difere entre os dois sistemas. Quanto à acidez, o sedimento de várzea dos tributários é mais ácido que o do canal principal. Consequentemente, a concentração de alumínio trocável é menor na várzea deste último. No entanto, tanto em um como em outro, a concentração não chega a ser elevada o suficiente para que a capacidade de troca catiônica difira estatisticamente da soma de bases. Portanto, a CTC e o índice de saturação de bases na várzea do canal principal, também serão maiores que nos tributários (FIGURA 10). As várzeas são formadas por deposição de sedimentos transportados pelos rios. A composição química e mineralógica deste material deriva da composição dos horizontes de intemperismo que ocorrem dentro de sua bacia de drenagem (IRION, 1984b). Portanto, a composição química e mineralógica do sedimento depositado na várzea reflete, com algumas alterações, a composição do material carregado pelo rio, o qual teve origem na respectiva área de drenagem.

Segundo STALLARD (1983), as grandes subacias da bacia Amazônica encerram substratos geológicos bastante distintos. Dessa forma a "qualidade" do material transportado pelos grandes tributários e, consequentemente depositados em suas várzeas serão também distintos.

GIBBS (1965) classificou os tributários e formadores do rio Amazonas em função da posição geográfica de suas cabeceiras: (1) sistema montanhoso - são rios com origem nos Andes, Ucayali e Marañon principais

formadores do Amazonas. (2) sistema tropical - a origem destes rios são as terras baixas da Amazônia, ou seja, a região de solos pouco férteis, tendo como substrato geológico sedimentos de origem Terciária (formação Barreiras). Dentre eles estão os rios Jutai, Juruá e Purus. (3) sistema misto - origem na região sub-Andina, entre os Andes e as terras baixas da Amazônia; os principais tributários são Içá, Japurá e Madeira. Finalmente, a composição do material transportado pelo canal principal é controlada pela mistura de água de vários tributários (STALLARD, 1983).

As distintas posições geográficas das cabeceiras dos tributários (FIGURA 1), leva a diferentes substratos geológicos. Segundo (STALLARD, 1983) a litologia dominante do sistema tropical, especialmente dos rios Juruá e Purus, é constituída de sedimentos flúvio-lacustres do final do Terciário e Quaternário e material de origem sedimentar, principalmente arenitos e argilitos, não havendo diferenças entre as duas bacias. No sistema misto, a bacia dos rios Iça e Japurá geologicamente são semelhantes com litologia dominante de sedimentos flúvio-lacustres da transição Terciária-Quaternária e material de origem sedimentar geralmente de cor avermelhada oriunda do Mesosóico e Terciário. Por outro lado, a litologia dominante do rio Madeira é um pouco mais variada incluindo, além de sedimentos flúvio-lacustres e material sedimentar, rochas dos escudos Pré-Cambriano, quartzitos (Pré-Cambriano e Mesosóico) e ardosas (Pré-Cambriano). Finalmente, na bacia do rio Marañon, principal formador do Amazonas, a litologia é muito mais variada incluindo calcáreo, evaporitos, arenitos, rochas vulcânicas e granitos, entre outros.

Em adição, na composição química e mineralogia do material em suspensão e dissolvido transportados pelos rios da bacia Amazônica, além do substrato geológico, o regime de erosão exerce um controle bastante acentuado. O regime de erosão de uma certa paisagem está intimamente relacionada com a posição que esta ocupa no relevo. Portanto, o regime de erosão dominante na cordilheira dos Andes será distinta daquele que domina nas terras baixas da Amazônia.

Nos Andes, o regime de erosão dominante foi denominado de "limitado pelo intemperismo (weathering-limited) por STALLARD (1980) citado por STALLARD (1983) ou "intemperismo físico a alto relevo" (increased - relief physical weathering) por GIBBS (1965). Neste regime a mineralogia resultante é composta principalmente de produtos gerados por quebra- física dos minerais, tais como micas, cloritas e feldspatos. Nos rios haverá proporção semelhante entre o material dissolvido e o particulado em suspensão, e a taxa de erosão por  $\text{km}^2$  será alta (GIBBS, 1965). Em adição, os produ<sup>tos</sup> sólidos do intemperismo serão ricos em cátions e a fase dissolvida será mais pobre em relação à rocha-mãe. Ainda, as entradas de elementos via in- temperismo serão proporcionais à área exposta e a susceptibilidade da rocha ao intemperismo (STALLARD, 1983).

Em contraste, nas terras baixas da Amazônia (sistema tropical) o regime dominante é conhecido por "limitado pelo transporte" (transport-limited), denominado por STALLARD (1980), citado por STALLARD (1983) ou "intemperismo químico a baixo relevo" (low-relief chemical weathering) denominado por GIBBS (1965). As principais diferenças entre este re

gime e o anterior são que os sólidos em suspensão nos rios serão produtos de processos químicos (caulinita e gibbsita). A fase dissolvida nos rios é dominante, ao redor de 90% do total e a taxa de erosão por km<sup>2</sup> é bastante menor em relação ao regime anterior (GIBBS, 1965). Neste regime, a taxa de intemperismo é maior que os processos de transporte, portanto sob estas condições haverá acúmulo do material produzido. Como consequência, devido a processos de lixiviação o material sólido será empobrecido em relação à rocha matriz e os produtos de intemperismo que estão numa fase dissolvida sofrerão pouco fracionamento em relação à rocha-mãe (STALLARD, 1983).

No sistema misto, ou seja, nos rios que têm sua origem na região sub-Andina, as condições e os produtos de intemperismo refletirão a posição intermediária entre os dois extremos.

Os rios, como integradores dos processos que ocorrem em suas bacias de drenagem, transportarão os produtos finais do intemperismo físico e/ou químico. A fração < 2 $\mu$ , onde estão os minerais de argila, segundo IRION (1976), compõe-se predominantemente de produtos de intemperismo. Portanto, constituem-se num bom indicador dos processos geoquímicos que estão ocorrendo na área de drenagem do respectivo tributário.

Segundo GIBBS (1965), o mineral de argila dominante na fração < 2 $\mu$  dos rios andinos é principalmente composta de montmorilonita que teria sua origem nas rochas básicas dos Andes, tais como calcários, dolomitas e rochas vulcânicas. Este mineral tem uma elevada capacidade de troca de cátions, em torno de 80 a 150 meq /100 g (GRIM, 1980).

Nos rios do sistema tropical a caulinita é o mineral de argi

lá dominante na fração  $< 2\mu$ . A formação deste material se dá através do intemperismo químico de rochas ígneas e metamórficas (GIBBS, 1965).

Nos rios do sistema misto prevalecerá uma mistura em proporções variáveis entre montmorilonita e caulinita.

O terceiro mineral de argila em abundância na fração  $< 2\mu$  do material em suspensão dos rios da bacia Amazônica é a mica, sendo mais abundante nos rios da bacia de drenagem do rio Madeira (GIBBS, 1965; IRION, 1976; STALLARD, 1983). Este material tem basicamente a mesma configuração que a montmorilonita. A maior diferença é que o cations presente entre as camadas octaédricas e tetraédricas é o potássio, que pode ser trocado por  $H^+$ , dando origem à formação da ilita. A CTC deste mineral de argila varia entre 10 a 40 meq/100 g (IRION, 1984 b; GRIM, 1968).

No entanto, a classificação de GIBBS (1965), anteriormente mencionada, é bastante geral. IRION (1976; 1984a; 1984 b) ressalta que a composição mineralógica dos rios Jutai, Juruá e Purus é principalmente composta por montmorilonita pouco carregada (low-charged) e o restante é formada por caulinita. No entanto, estes autores - GIBBS e IRION, concordaram com a composição da fração argila do material em suspensão do rio Madeira, que é principalmente mica-ilita. No canal principal, o predomínio é de montmorilonita com elevada CTC, seguindo por ilita, caulinita e, em menor quantidade, clorita. No entanto há mudanças na qualidade mineralógica do material em suspensão do canal principal que serão abordadas mais detalhadamente adiante (IRION, 1976).

Porém, praticamente, estas pequenas diferenças entre a composição mineralógica da fração argila ( $< 2\mu$ ) levam a diferenças acentuadas na concentração de cations básicos desta fração no material em suspensão dos rios da bacia Amazônica.

Em resumo, tanto o substrato geológico, como o regime predominante de erosão na bacia de drenagem dos tributários e canal principal são distintos. Como consequência, o produto do intemperismo físico e químico serão também distintos.

Assim, IRION (1976) determinou a concentração de cations básicos totais na fração pelítica do material em suspensão dos principais rios da bacia Amazônica (TABELA 5 ). De uma maneira geral, a maior concentração de cations básicos totais foi observada nos rios Andinos e sub- Andinos, intermediariamente no rio Solimões/Amazonas e a menor concentração nos tributários Jutai, Juruá e Purus, conjuntamente analisados. A soma de bases trocáveis do rio Madeira atingiu valores semelhantes ao do canal principal devido à alta concentração de potássio, que faz parte da estrutura de micas que é o mineral de argila dominante no rio Madeira (STALLARD, 1983; GIBBS, 1965).

Em adição, IRION (1976) determinou os cations básicos trocáveis da fração argila do material em suspensão do rio Amazonas e tributários (TABELA 6 ). Também nesta condição, os cations básicos são mais abundantes nos rios do sistema Andino e sub-Andino. No entanto, a concentração destes cations no Alto Juruá foi maior que a concentração encontrada no Alto Amazonas e semelhante à encontrada em rios da região sub-Andina. Possivelmente

TABELA 5. CÁTIONS BÁSICOS TOTAIS DA FRAÇÃO PELÍTICA EM SUSPENSÃO DE RIOS AMAZÔNICOS. RESULTADOS EXPRESSOS EM ppm.

LOCAL	Ca	Mg	K	Na
Andes	37.000	16.000	15.500	6.500
Sub-Andes	13.200	14.900	23.600	2.600
Rio Solimões	11.000	11.900	19.000	3.300
Rio Amazonas	7.100	10.500	22.200	2.500
Est. do Acre	8.500	10.700	18.400	1.680
Rio Madeira	6.600	12.200	27.000	3.200

Adaptado: IRION (1976)

TABELA 6. CATIONS BÁSICOS TROCÁVEIS DA FRAÇÃO ARGILA DO MATERIAL EM SUSPENSÃO DO RIO AMAZONAS E TRIBUTÁRIOS. RESULTADOS EXPRESSOS EM meq/100 g.

LOCAL	Ca	Mg	K	Na
Andes	92,0	14,0	18,5	30,0
Sub-Andes	80,0	8,6	10,0	13,0
Alto Solimões	64,0	8,6	10,0	13,0
Médio Solimões	60,0	8,6	10,0	14,0
Baixo-Amazonas	45,0	8,6	9,0	13,0
Rio Jutai	20,0	4,0	5,0	5,0
R. Purus (curso inferior)	56,0	10,0	14,0	14,0
R. Juruá (curso superior)	75,0	10,0	11,5	14,0

Adaptado: IRION (1976)

este fato justifique a elevada concentração de cations básicos trocáveis observada no sedimento de várzea destes rios. No material particulado do baixo rio Purus a concentração de cations básicos trocáveis foi semelhante àque-la encontrada no baixo Amazonas. No rio Jutai foi observada a menor concentração de cations básicos, indicando que, possivelmente, a várzea amostrada era constituída de material alóctone oriundo do rio Solimões e não formada por material do rio Jutai. A proporção relativa dos cations básicos nesta fração trocável é distinta em comparação à fração trocável dos sedimentos de várzea dos tributários e do rio Amazonas. No primeiro, a maior proporção é de cálcio, seguindo de sódio, estando o potássio e o magnésio no mesmo nível relativamente à soma total de cations básicos. No segundo, o cálcio também está em maior proporção, porém, em seguida, estão em ordem decrescente o magnésio, potássio e sódio. Segundo VAN RAIJ (1983) esta condição é comum na maioria dos solos devido à maior retenção do cálcio em relação ao magnésio e deste em relação ao potássio e ao sódio pelos minerais de argila.

Concluindo, a concentração de cations básicos nos sedimentos de várzea parece estar relacionada com a concentração destes cations, tanto totais como trocáveis, presentes nos sedimentos em suspensão dos tributários formadores das várzeas. Em geral, a concentração de cations básicos trocáveis foi maior na várzea do canal principal que nos tributários. A mesma tendência foi observada na concentração destes cations no material particulado em suspensão. Por fim, a característica química do sedimento transportado pelos rios reflete os horizontes de intemperismo de sua área de drenagem, ou seja, a geologia local. Portanto, por extensão a composição química do sedimento de várzea é também controlada pelo substrato geológico da bacia,

principalmente nas áreas em que os tributários são formados. Como, segundo GIBBS (1965), a grande parte de sólidos em suspensão nos rios da bacia Amazônica são fornecidos pela erosão de 18% do total da área desta bacia, pode-se dizer que esta mesma porcentagem da área total é responsável pela formação das várzeas na bacia Amazônica.

#### 4.1.9. Variação espacial

Neste item serão analisadas as variações na concentração dos elementos no sedimento de várzea do canal principal em função da sua distância relativa aos Andes. Ou seja, será considerada a variação dos elementos rio abaixo, no sentido oeste - leste, das cordilheiras para o oceano Atlântico. Portanto, o local mais a oeste amostrado, chamado Vargem Grande situado a aproximadamente 300 km da fronteira Brasil-Peru-Colômbia (FIGURA 8), será considerado o ponto inicial (0,0 km). Deste ponto até aproximadamente 1.700 km rio abaixo, na cidade de Óbidos no Estado do Pará a cerca de 500 km da foz do rio Amazonas, será considerado o ponto final.

Como já citado anteriormente, as amostragens foram realizadas em três períodos distintos. O primeiro corresponde aos meses de outubro-novembro de 1983, época de seca na região; o segundo aos meses de janeiro-fevereiro de 1984, início da subida das águas e o último corresponde aos meses de junho-julho de 1984, começo da descida das águas, logo após o pico da cheia (FIGURA 7). Para facilitar, estes períodos serão referidos a cruzeiros 6 (C 6), 7 (C 7) e 8 (C 8), respectivamente, os quais correspondem a viagens por rio do projeto "Biogeoquímica do carbono na bacia Amazônica", do qual este trabalho faz parte. Assim sendo, a variação espacial

na concentração dos elementos será considerada individualmente para cada época amostrada.

Durante o período de seca (outubro-novembro/83, C 6) a concentração dos cations trocáveis no sedimento de várzea não variou significativamente (TSR) entre as várzeas situadas rio acima e aquelas situadas rio abaixo (FIGURAS 11 e 12).

Para os dois outros períodos em que as várzeas foram amostradas, contrariamente, a concentração daqueles parâmetros variou em função da localização geográfica da várzea ao longo do canal principal (FIGURAS 13, 14, 15 e 16).

Durante o início da subida das águas (janeiro-fevereiro/84, C 7), com exceção do alumínio a concentração de cations trocáveis e o pH no sedimento depositado na várzea foi significativamente maior (TSR, TABELA 7) nas várzeas localizadas rio acima, diminuindo a concentração progressivamente em direção leste, ao baixo Amazonas (FIGURA 13). Para o alumínio a tendência foi inversa, ou seja, a concentração aumentou em direção ao baixo Amazonas (FIGURA 14).

Para o início da descida das águas (junho-julho/84, C 8) a tendência observada foi praticamente a mesma (TSR, TABELA 7). As exceções foram no comportamento do potássio e no do alumínio que não tiveram suas concentrações significativamente modificadas devido à posição geográfica das várzeas ao longo do canal principal (FIGURAS 15 e 16).

Conseqüentemente, o valor de soma de bases (S) e a capacidade de troca catiônica (CTC) não variaram significativamente durante o pri

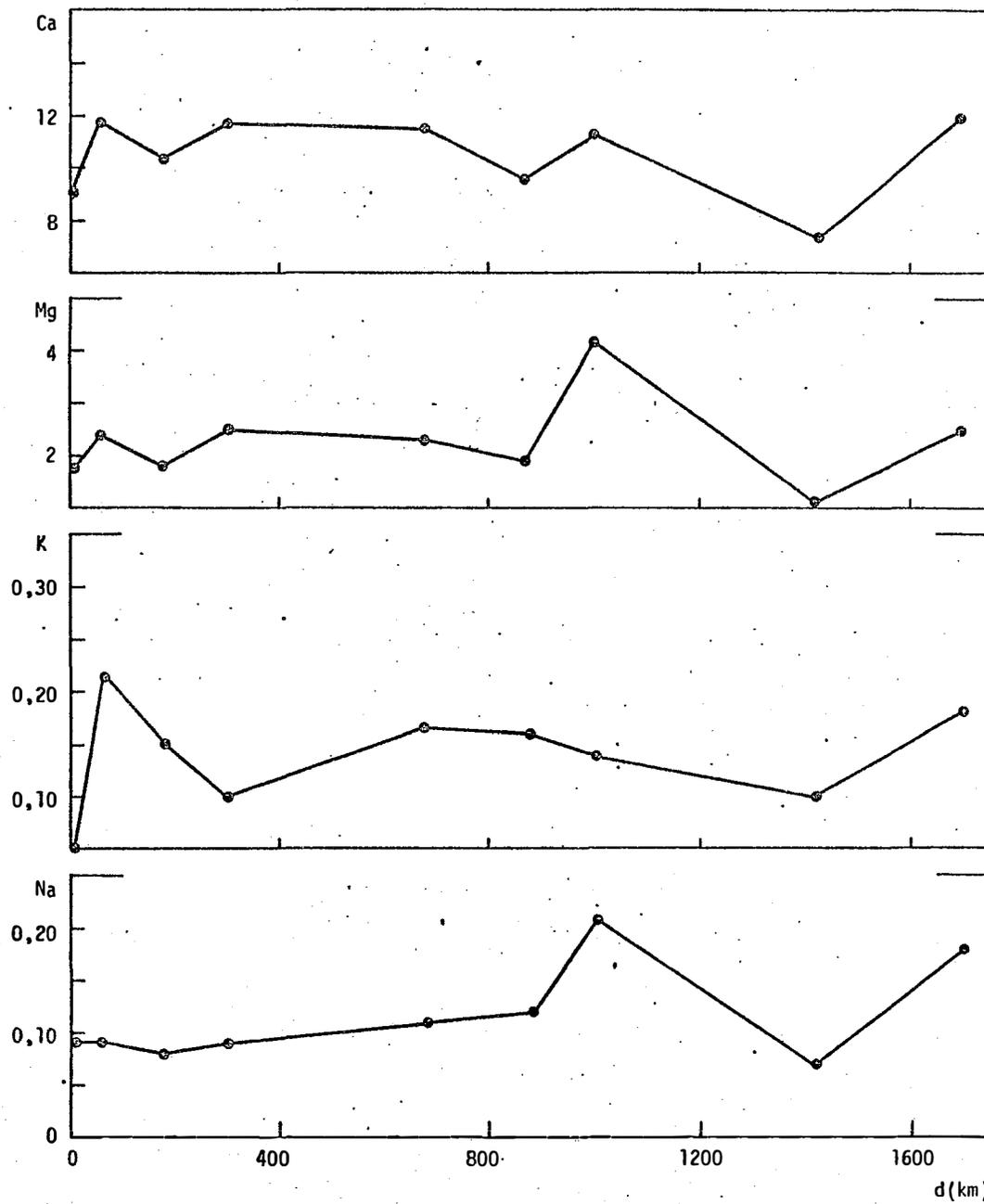


Figura 11 - VARIACÃO NA CONCENTRAO DE Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM meq/100g, NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERIODO DE SECA (OUT.-NOV, 1983 C<sub>6</sub>).

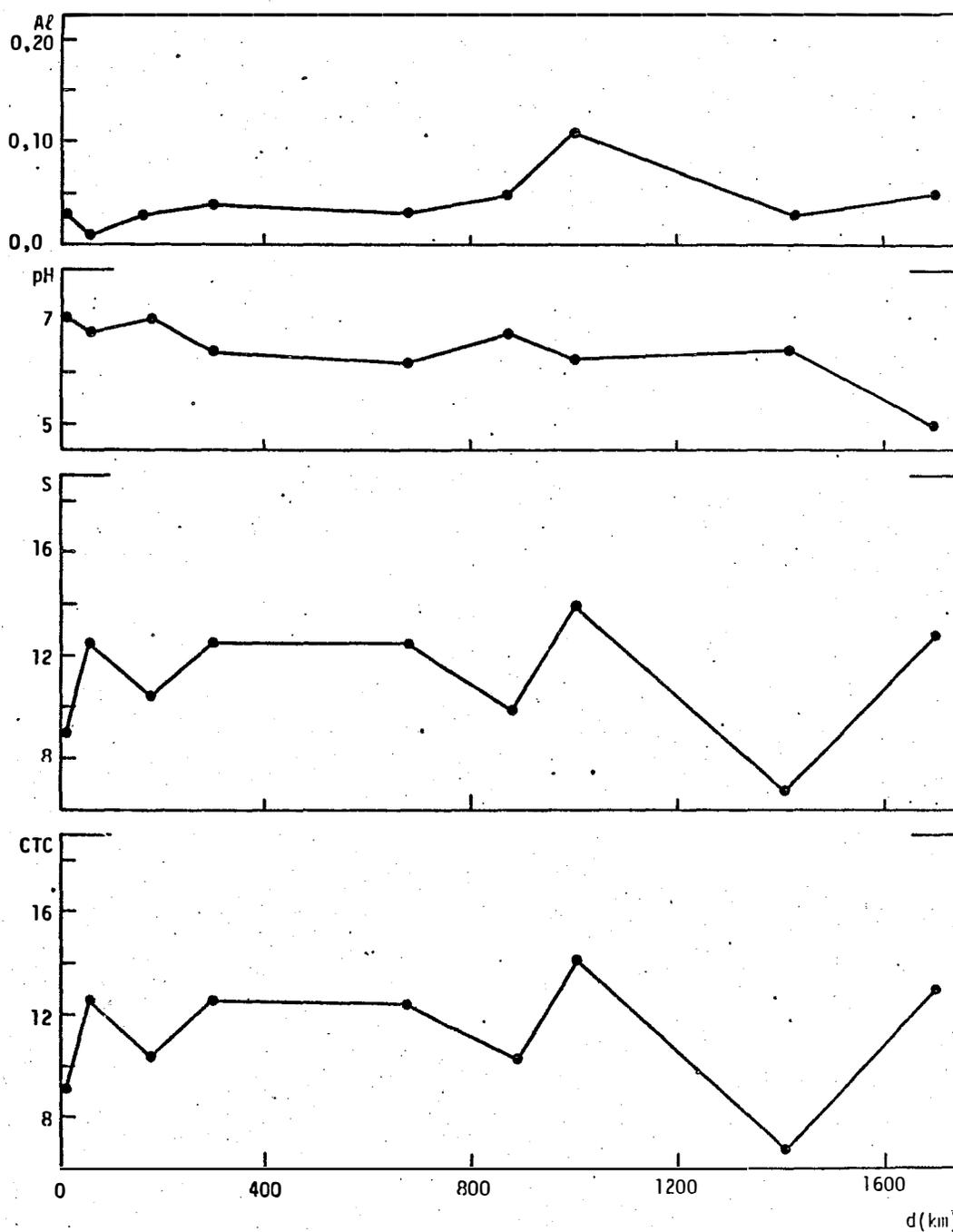


Figura 12. VARIACÃO NA CONCENTRAO DE Al, SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSA EM meq/100g E pH NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERIODO DE SECA (OUT.-NOV., 1983 - C.).

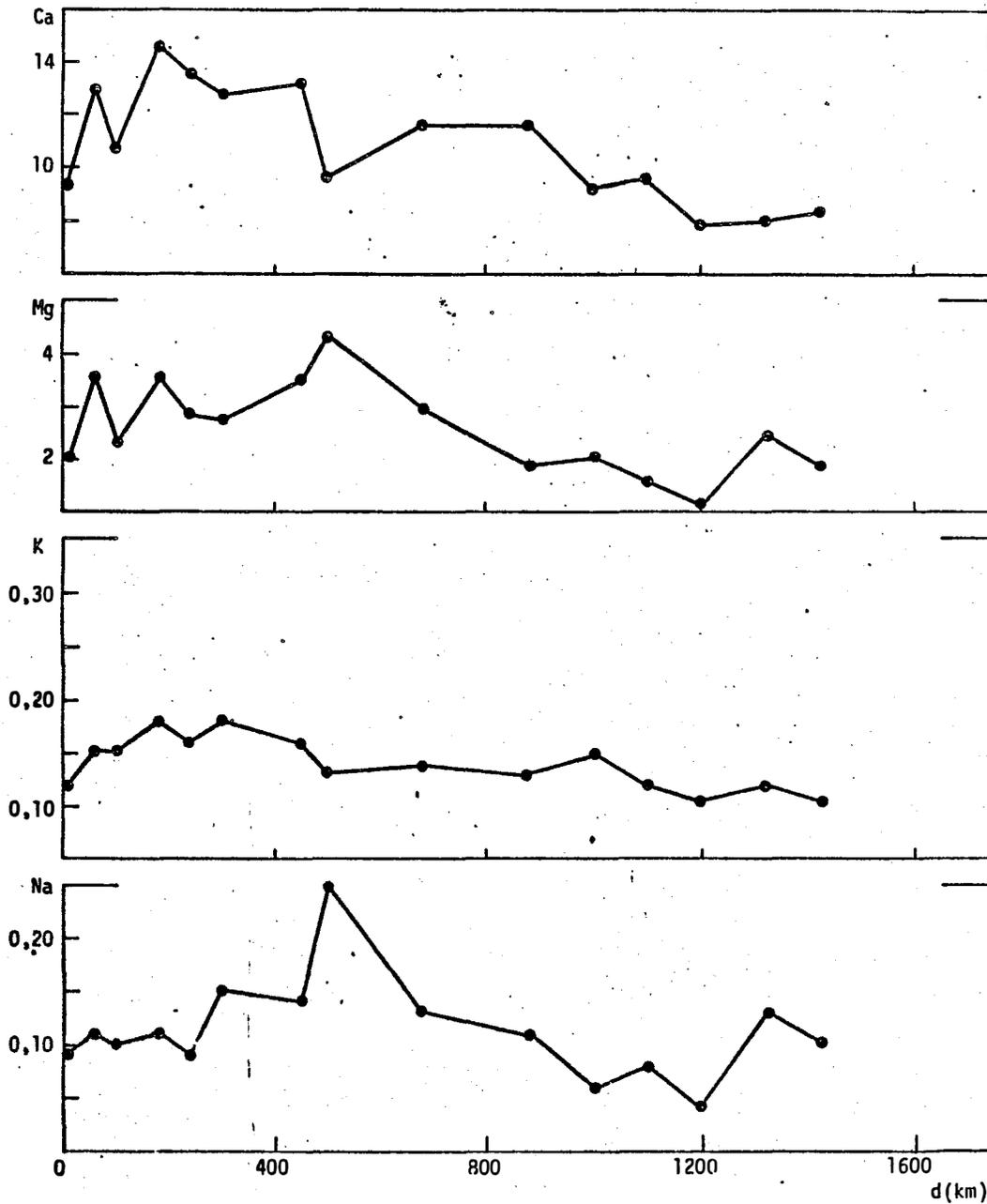


Figura 13. VARIACÃO NA CONCENTRAO DE Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM meq/100g, NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INICIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV., 1984 - C7).

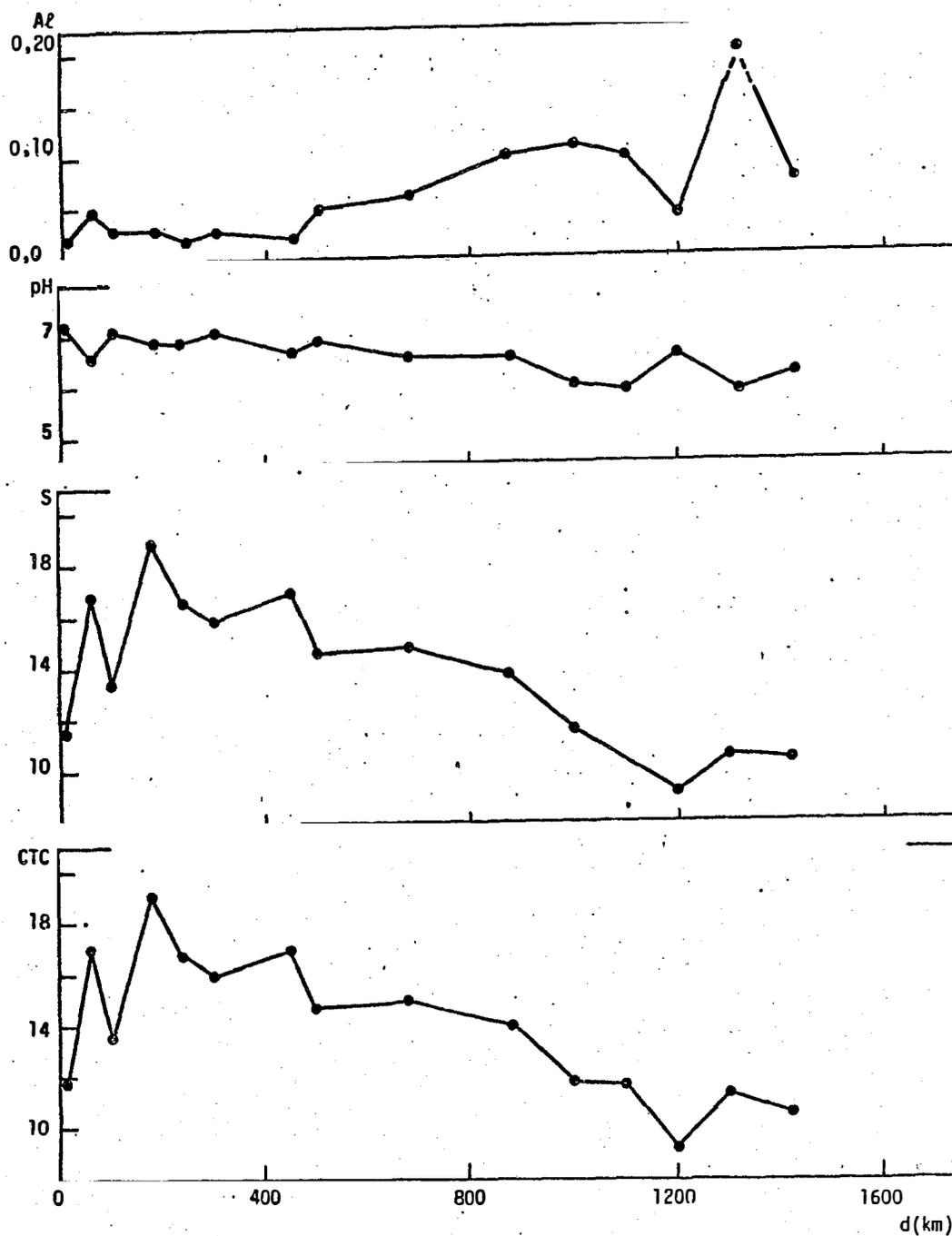


Figura 14. VARIAÇÃO NA CONCENTRAÇÃO DE Al, SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSAS EM meq/100g E pH NO SEDIMENTO DE VARZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV., 1984 - C<sub>7</sub>).

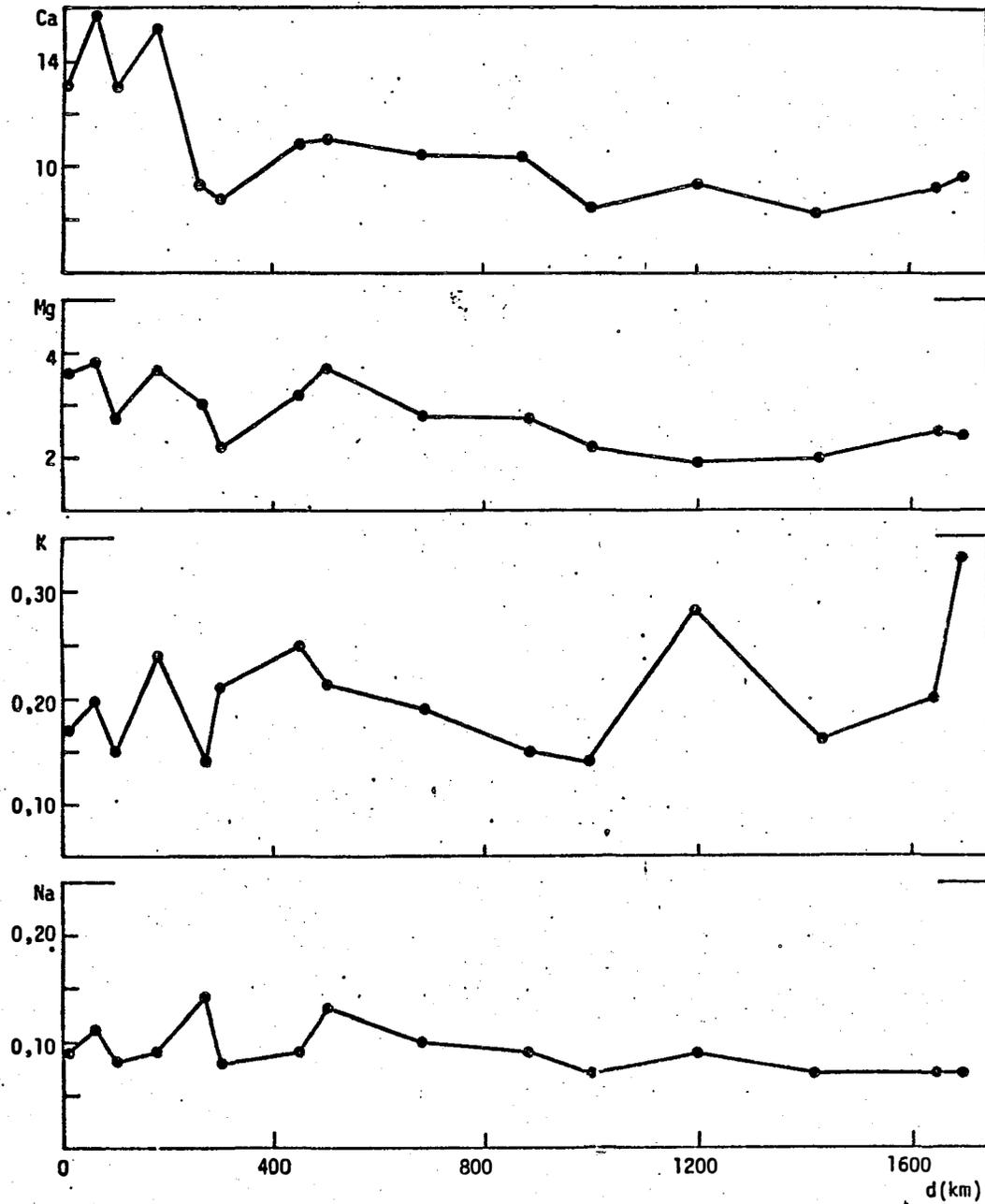


Figura 15. VARIACÃO NA CONCENTRAO DE Ca, Mg, K E Na, EXPRESSA EM meq/100g, NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (JUN.-JUL., 1984-C<sub>8</sub>).

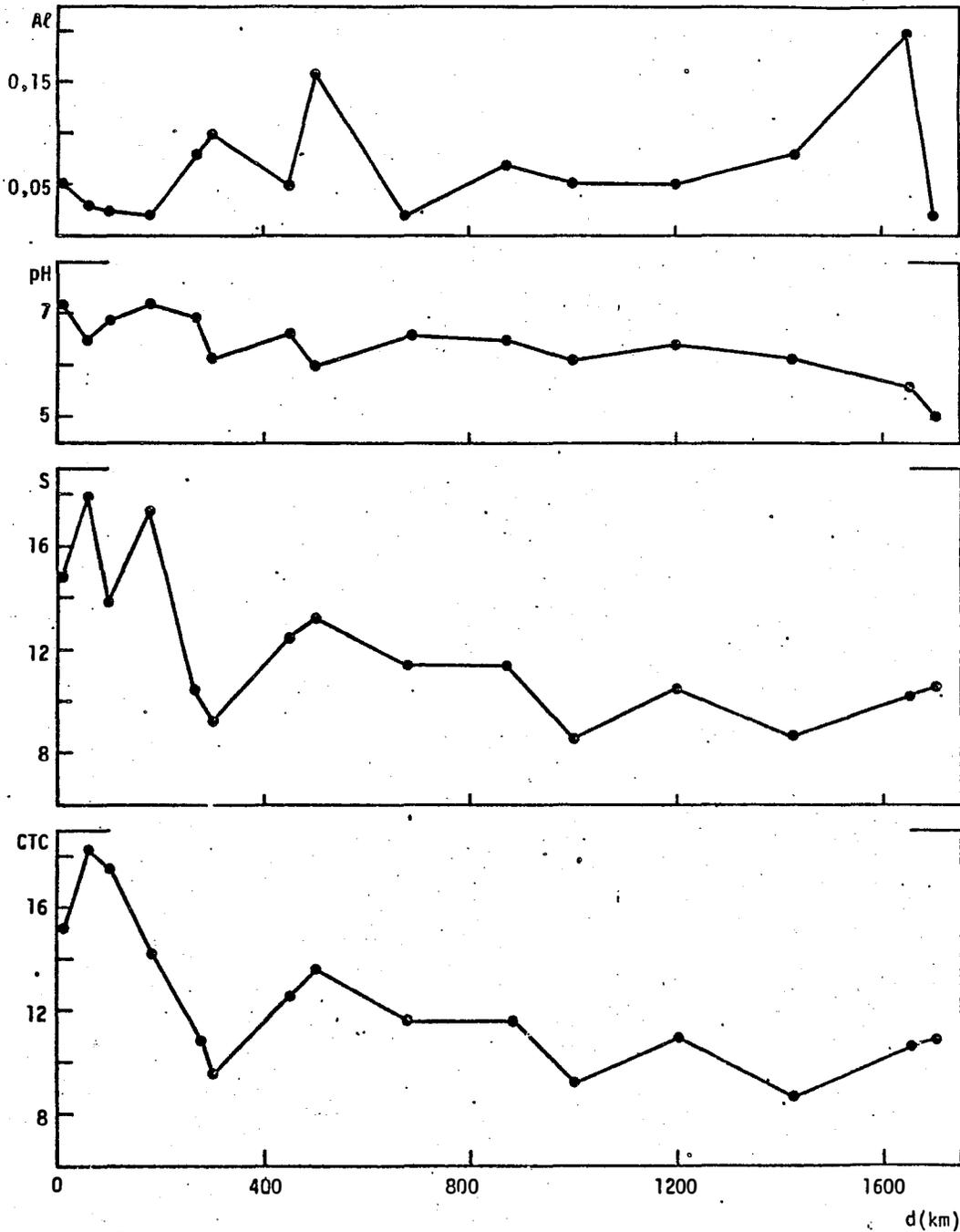


Figura 16. VARIACÃO NA CONCENTRAO DE  $Al$ , SOMA DE BASES (S) E CAPACIDADE DE TROCA CATIONICA (CTC), EXPRESSAS EM meq/100g E pH NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (JUN.-JUL., 1984-C<sub>8</sub>).

TABELA 7. TESTES ESTATÍSTICOS. ÉPOCAS AMOSTRADAS SÃO INDICADAS POR C<sub>6</sub>, C<sub>7</sub> E C<sub>8</sub> NO TESTE DE SPEARMAN (TENDÊNCIA CRESCENTE\* OU DECRESCENTE NA CONCENTRAÇÃO DOS PARÂMETROS NO SEDIMENTO DE VÁRZEA RIO ABAIXO) E TESTE DE WILCOXON (SUPERIORIDADE DE UMA POPULAÇÃO EM RELAÇÃO À OUTRA) COM AS RESPECTIVAS MÉDIAS, NÚMEROS IN DICAM O NÍVEL DE SIGNIFICÂNCIA E ns NÃO SIGNIFICATIVO.

Parâmetros	Teste de Spearman			Teste de Wilcoxon				Médias		
	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	C <sub>6</sub> xC <sub>7</sub>	C <sub>6</sub> xC <sub>8</sub>	C <sub>7</sub> xC <sub>8</sub>	C <sub>6</sub>	C <sub>7</sub>	C <sub>8</sub>	
Ca	ns	0,005	0,005	ns	ns	ns	10,58a	10,85a	10,63a	
Mg	ns	0,025	0,005	ns	0,016	ns	2,27a	2,62ab	2,86b	
K	ns	0,010	ns	ns	0,010	0,010	0,14a	0,14b	0,20b	
Na	ns	0,005	0,005	ns	ns	ns	0,11a	0,11a	0,09a	
Al	ns	0,025	ns	ns	ns	ns	0,04a	0,17a	0,07a	
pH	0,010	0,001	0,001	ns	ns	ns	6,5a	6,6a	6,5a	
S	ns	0,001	0,005	ns	ns	ns	13,09	13,73a	13,78a	
CTC	ns	0,005	0,005	ns	ns	ns	13,26a	14,12a	14,14a	
Ca/Mg	ns	ns	ns	0,030	0,001	0,017	5,02a	4,44b	3,75c	
K/Na	ns	ns	0,001*	ns	ns	0,010	1,52a	1,45a	2,34b	
N	ns	ns	ns	ns	ns	ns	0,122a	0,139a	0,152a	
C	ns	0,001	0,01	ns	ns	ns	0,67a	0,56a	0,65a	
C/N	ns	0,005	0,025	ns	ns	ns	5,84a	3,75a	4,55a	
P	-	-	0,005	-	-	-	-	-	0,069	
N/p	-	-	0,010	-	-	-	-	-	2,06	
δ <sup>13</sup> C	ns	0,010	0,001	ns	0,013	0,030	-26,5a	-25,8a	-24,7b	

meiro período de coleta (C 6) e decresceram no sedimento de várzea progressivamente em direção ao oceano nos outros dois períodos em que as várzeas foram amostradas (FIGURAS 11, 13 e 15).

Finalmente, a relação Ca : Mg não variou significativamente (TSR, TABELA 7 ) em nenhum dos períodos amostrados e a relação K : Na somente variou no início da descida das águas (C 8), tendo seu valor aumentado rio abaixo). Quanto à relação dos cations básicos com a soma total de bases, somente a relação K : S mostrou variação crescente (TSR, TABELA 7 ) em direção ao baixo Amazonas no início da descida das águas (junho- julho/ 81), ou seja, neste período, rio abaixo a concentração de K em relação à concentração total de cations básicos aumentou.

#### *DISCUSSÃO*

Segundo GIBBS (1965) e IRION (1984) a composição dos minerais de argila, na fração  $< 2\mu$  do material, particulado transportado pelo rio sofre pouca alteração entre o local de sua origem (Andes e região sub-Andina) e a descarga final no oceano Atlântico. No entanto, apesar de não haver diferença na mineralogia deste material o mesmo não ocorre com sua composição química, tanto na concentração de cations totais como trocáveis.

IRION (1976) determinou a concentração de cations básicos totais e trocáveis na fração pelítica do material em suspensão do canal principal em vários pontos ao longo do seu eixo longitudinal (TABELAS 5 e 6). Nota-se que houve um decréscimo na concentração de cations básicos a partir das amostras coletadas na região Andina em direção ao baixo Amazonas. Na

fração total, entre as amostras obtidas nos Andes e a obtida no rio Amazonas a diferença na soma de bases foi de 56% para a fração trocável esta diferença foi ao redor de 50%. Em decorrência, a comparação entre a concentração de cátions básicas trocáveis na fração de argila do sedimento de várzea, determinado por IRION (1984) e solos andinós (IRION, 1976), mostra o maior enriquecimento deste último em relação ao primeiro (TABELA 8). Ainda que os principais minerais de argila no sedimento de várzea são montmorilonita, illita e caulinita, semelhante à composição mineralógica do material em suspensão (IRION, 1984).

Em adição, amostras de sedimento em suspensão foram coletadas pelo autor ao longo do canal principal, de Vargem Grande até Óbidos, durante os meses de julho-agosto/85 e nelas determinada a concentração de cátions básicos totais, ressaltando-se que não somente na fração  $<2\mu$  como fez IRION (1976, 1984 a) mas na amostra como um todo (TABELA 9). Neste caso a concentração de cálcio e magnésio decresceu (TSR 0,05) em direção a leste (baixo Amazonas), a concentração de potássio não variou e a de sódio aumentou rio abaixo (TSR 0,05).

Ainda que a coleta de sedimento em suspensão tenha sido feita em data distinta em relação as amostras de sedimento de várzea e que nas

primeiras foi determinada a concentração de cátions básicos totais, enquanto, nas últimas, foi determinada a concentração de cátions básicos trocáveis, julga-se pertinente algumas comparações entre os dois.

A concentração de cálcio e magnésio decresce em direção ao baixo Amazonas em ambos os compartimentos. Tanto durante o cruzeiro 6 como fração total, entre as amostras obtidas nos Andes e a obtida no rio Amazonas a diferença na soma de bases foi de 56%, para a fração trocável. Esta diferença foi ao redor de 50%. Em decorrência, a comparação entre a concentração de cátions básicos trocáveis na fração de argila do sedimento de várzea, determinado por IRION (1984) e solos andinos (IRION, 1976), mostra o maior enriquecimento deste último em relação ao primeiro (TABELA 8).

TABELA 8. CÁTIONS BÁSICOS TROCÁVEIS ADSORVIDOS PELA FRAÇÃO ARGILA DOS SOLOS AMAZÔNICOS. RESULTADOS EXPRESSOS EM meq/100 g.

LOCAL	Ca	Mg	K	Na	Autor
Solo Andino	35,0	13,0	2,8	5,0	IRION (1976)
Várzea Holocênica	22,8	21,2	1,4	4,5	IRION (1976)
Várzea Pleistocênica	3,8	2,5	2,3	5,0	IRION (1978)

TABELA 9. CÁTIONS BÁSICOS TOTAIS NO SEDIMENTO EM SUSPENSÃO TRANSPORTADO PELO CANAL PRINCIPAL. RESULTADOS EXPRESSOS EM ppm.

LOCAL	Ca	Mg	K	Na
S. A. do Iça	18.090	12.320	23.390	2.507
Xibeco	18.890	11.860	24.690	2.206
Tupe	16.880	11.520	14.355	2.756
Jutica	15.600	10.400	19.510	2.805
Itapeua	15.810	10.790	21.295	2.805
Anori	16.280	10.250	22.865	2.805
S. J. Amatari	15.080	9.695	22.340	2.756
Paura	16.480	10.600	21.555	2.756
Óbidos	15.160	9.771	23.125	2.954

no cruzeiro 8, a concentração de potássio não variou espacialmente no material particulado em suspensão nem no sedimento de várzea. Por outro lado, durante o cruzeiro 7, a concentração deste elemento no sedimento de várzea decresceu rio abaixo. Para o sódio, as tendências foram opostas, enquanto a concentração deste elemento decresceu rio abaixo no sedimento de várzea durante os cruzeiros 7 e 8 e não variou durante o cruzeiro 6. No material particulado em suspensão a mesma cresceu em direção ao baixo Amazonas. Nota-se também, que no material em suspensão, o cátion em maior concentração foi o potássio, seguindo em ordem decrescente pelo cálcio, magnésio e sódio (TABELA 9). No sedimento de várzea, o potássio passa ser o terceiro elemento em abundância, o cálcio, o primeiro é o magnésio, o segundo. Segundo VAN RAIJ (1983) esta configuração é esperada nos solos devido à menor adsorvidade que os minerais de argila têm em relação ao potássio. Em adição a relação Ca : Mg e K : Na do material em suspensão não variou espacialmente (TABELA 9).

Concluindo, os resultados indicam que o decréscimo em direção ao baixo Amazonas da concentração de cátions básicos no sedimento de várzea seja causado, principalmente, pelo decréscimo na mesma direção da concentração de cátions básicos no material particulado transportado pelo rio Amazonas. IRION (1976) argumenta que o decréscimo da quantidade de montmorinólita na fração argila do material particulado determina uma diminuição progressiva na concentração de cálcio. Em adição, a ocupação da montmorinólita pelo cálcio também diminui devido à diluição da água do rio com a entrada de tributários empobrecidos, o mesmo ocorrendo com illita. Todavia, segundo este autor, após a confluência com o rio Madeira a quantida-

de este mineral volta a aumentar devido sua abundância na fração argila do material particulado em suspensão. O cátion básico mais abundante neste mineral é o potássio. Conseqüentemente devido ao aporte deste elemento pelo rio Madeira a sua concentração não varia no sedimento em suspensão ao longo do canal principal (TABELA 9). A mesma tendência é observada na variação da concentração deste elemento no sedimento de várzea do canal principal durante o início da descida das águas (C 8). No entanto, no início da subida das águas (C 7) a tendência é outra, ou seja, a concentração de potássio no sedimento de várzea decresceu rio abaixo. Possivelmente este fato possa ser explicado pela contribuição do rio Madeira ao longo do ciclo hidrológico. Este tributário tem seu pico de cheia dois meses antes que o canal principal (MEADE *et al.*, 1985). Dessa forma, quando foi amostrada a várzea, no início da subida das águas do canal principal, o rio Madeira estava no seu máximo pico de cheia. Entretanto, a sua contribuição de sedimento não havia sido sentida na várzea. Como consequência, houve decréscimo na concentração de potássio no sedimento de várzea do canal principal. Quando do início da descida das águas do canal principal, a seca já estava mais adiantada no rio Madeira e a várzea do canal principal já havia recebido a contribuição da enchente precedente do rio Madeira. Portanto, a concentração de potássio no sedimento de várzea aumentou na região após a confluência com o rio

Madeira, levando a uma não variação espacial deste elemento no sedimento de várzea do canal principal.

Finalizando, a perda progressiva de cátions pela montmorilonita pode ser entendida como diluição da água do rio Amazonas pela entrada de tributários mais empobrecidos (IRION, 1976). Por outro lado, este fenômeno bem como o decréscimo na concentração de outros elementos no sedimento particulado e conseqüentemente na várzea formada por este sedimento, pode ser entendido como conseqüências do binômio deposição-erosão nas margens do canal principal. Cada vez que este sedimento é depositado, por efeito de lixiviação e pelo balanço retirada-devolução pela vegetação, há perda de uma parte de cations básicos. Uma parte deste sedimento será erodido e transportado rio abaixo, onde novamente poderá ser depositado e assim por diante. Este mecanismo conhecido como "SPIRALLING" (espiralamento) pode levar à perda progressiva de cations rio abaixo (VANOTTE *et al.*, 1980). No entanto a colocação é apenas uma hipótese, que poderá ser provada pela determinação de índices geoquímicos que qualifiquem o grau de intemperismo do sedimento de várzea depositado no alto e no baixo Amazonas.

#### 4.1.10. Variação temporal

De acordo com o ciclo hidrológico predominarão na várzea

condições que a caracterizam como um sistema aquático ou terrestre, A  
variação no nível hídrico determina o aspecto físico do sistema, bem como  
o comportamento da sua biota (JUNK, 1970, 1984; SIOLI, 1984). Portanto,  
os processos biogeoquímicos em andamento na várzea não podem ser perfeita-  
mente caracterizados sem que sejam consideradas as duas fases. Assim  
sendo, o sedimento de várzea foi amostrado em três períodos distintos  
já mencionados.

De uma maneira geral, dentre os cátions básicos trocáveis  
do sedimento de várzea do canal principal a variação na concentração em  
relação às diferentes épocas de amostragem foi restrita a magnésio e potás-  
sio (TABELA 3 ).

A concentração de magnésio foi significativamente diferente  
(TW 0,016) entre o período de seca (C 6) e o início da descida das águas  
(C 8), sendo a concentração na primeira excursão menor (seca) que na últi-  
ma (início da drenagem).

No início da descida das águas (C 8) a concentração de po-  
tássio no sedimento de várzea foi significativamente maior (TW 0,01) em  
comparação à concentração deste elemento no período de seca (C 6) e início  
da subida das águas (C 7).

Quanto aos parâmetros indicativos da acidez do solo, alumínio e pH não variaram significativamente entre os três períodos amostrados (TABELA 3).

#### DISCUSSÃO

A fertilização da várzea pela deposição de sedimentos carreados pelos rios de águas-brancas, apesar de poucos dados disponíveis, é reconhecida por vários autores (IRION, 1976, 1978; JUNK, 1970, 1984; SIOLI, 1975a; 1984). Entretanto, pelo menos a curto prazo, não há acúmulo de cations básicos no sedimento de várzea. Portanto, parece que parte do aporte de nutrientes propiciado pelas inundações periódicas passa rapidamente para outra fase, e durante a seca quando a interação água-sedimento de várzea é inexistente, estes nutrientes são devolvidos ao sedimento. Como consequência não há diferença na concentração de elementos entre a cheia e a seca. A amostragem do sedimento de várzea foi feita no biótopo que JUNK (1970) chamou de zona de sedimentação, o qual é caracterizado por fraca correnteza, relativamente pouca profundidade durante a inundação e seca no período de água baixa. A vegetação dominante nesta região são gramíneas bastante abundantes nas várzeas - *Echinochloa polystachya*, *Paspalum fasciculatum* e *Paspalum repens*.

*E. polystachya* (canarana) tem seu período de crescimento durante a fase de água alta, crescendo rapidamente para que suas folhas fiquem acima da água. No entanto, as raízes permanecem presas ao sedimento. Durante a seca, parte desta população morre e decompõe sob o sedimento, ou

tra parte sobrevive como fase terrestre desta gramínea (JUNK, 1970).

*P. repens* (membreca), como canarana, tem sua principal fase de crescimento durante a subida da água, porém não permanece enraizada ao sedimento. No período de água baixa, parte da população morre e parte forma raízes e sobrevive como forma terrestre. Todavia, contrariamente a canarana, a fase terrestre é totalmente diferente morfológicamente em relação à fase aquática (JUNK, 1970).

Finalmente, *P. fasciculatum* (murim) tem sua principal fase de crescimento durante o período de água baixa, tendo portanto, suas raízes firmemente presas ao sedimento. Em contraste com as outras duas gramíneas, esta não é flutuante, ou seja, suas folhas não acompanham o aumento da altura d'água, ficando submersas (JUNK, 1970)..

Portanto, durante todo o ciclo hidrológico há uma alternância entre produção e decomposição entre estas gramíneas. Em adição, estas plantas para sobreviverem às constantes oscilações do meio, são caracterizadas por alta produção, rápido crescimento, altas taxas de reprodução e, devido às condições extremas de umidade e temperatura, sua decomposição é bastante rápida (JUNK E HOWARD-WILLIANS, 1983; JUNK, 1984). Segundo JUNK & HOWARD-WILLIANS (1984) em aproximadamente duas semanas de decomposição estas plantas perdem a maioria de seus nutrientes. Estes autores estimaram que a produção de matéria orgânica seca por *P. fasciculatum* é cerca de 40 t/ha por período de crescimento (8 meses). JUNK (1970) para *P. repens* estimou uma produção de matéria seca em torno de 6 a 8 t/ano por período de crescimento. Apesar de não haver medidas feitas, JUNK & HOWARD-WILLIANS (1984) citam que *E. polystachya* provavelmente tenha uma produção semelhante

a *P. fasciculatum*.

Em adição a estas gramíneas, existem na várzea outras plantas, também classificadas como macrófitas aquáticas por JUNK e colaboradores, que apresentam características similares às gramíneas. Dentre estas plantas as mais encontradas são *Eicchornia crassipes* (aguapê), *Salvinia auriculata* e *Pistia stratiotes*. Para estas plantas JUNK & HOWARD-WILLIAMS (1984) calcularam o tempo médio para que estas plantas dobrem sua biomassa ("doubling time"). Para *S. auriculata* e *P. stratiotes*, este período foi de aproximadamente 8 dias e para o aguapê este período foi de aproximadamente duas semanas. Também como as gramíneas, a decomposição destas plantas é bastante rápida, em cerca de duas semanas, mais da metade de seus nutrientes já foram lixiviados durante sua decomposição; sendo observado pelo autor um número apreciável destas macrófitas decompondo sobre o sedimento de várzea.

Desta forma, as macrófitas aquáticas (incluindo as gramíneas) fixam nutrientes dissolvidos da água e do sedimento de várzea. Parte destes nutrientes voltam ao sedimento pela decomposição destas plantas e parte dre na para cadeia trófica aquática de rios e lagos. O rápido crescimento, curto ciclo de vida e rápido processo de decomposição fazem com que estas plantas promovam a ciclagem dos nutrientes a curto prazo, sendo que no sedimento a ciclagem de nutrientes será a longo prazo. Em adição, as eventuais perdas de nutrientes pelo sedimento através do saldo entre a tomada e a devolução dos mesmos, pelo ciclo de vida das macrófitas, são repostas pelo sedimento em suspensão trazido pela água de inundação. Assim, segundo JUNK (1984), provavelmente há uma maior quantidade de nutrientes ciclando dentro

do sistema daquela que seria esperada pela quantidade adicionada através da água de inundação. Possivelmente, a reposição de nutrientes ou mesmo o acúmulo de nutrientes no solo até que o equilíbrio dinâmico seja atingido, segundo a hipótese de ODUM (1969, 1971) comentada por JUNK (1984), seria logo após o início da drenagem das várzeas, quando os sedimentos não estão ainda vegetados. Porém, esta fase dura poucas semanas (JUNK, 1984), tendo logo em seguida início a colonização do sedimento pela fase terrestre da vegetação, que inicia a rápida ciclagem dos nutrientes através deste compartimento.

Durante o início da descida das águas (C 8), no primeiro ponto coletado, em Vargem Grande (0,0 km), foi possível coletar sedimentos recém depositados na várzea (sem cobertura vegetal) e sedimento mais antigo já vegetado (TABELA 10 ). Caso a hipótese anterior seja correta, a concentração de elementos no sedimento não vegetado deve ser maior em comparação ao sedimento já vegetado. Esta tendência foi observada para cálcio (TW 0,008) e soma total de bases (TW 0,008). Por outro lado, magnésio, potássio e sódio não diferiram significativamente entre os dois locais amostrados. No entanto, ressalta-se que esta comparação foi feita num único ponto de amostragem, não sendo possível uma conclusão final sobre o assunto. No período de julho-agosto/85, o mesmo cruzeiro foi repetido. Nesta época, quando o processo de drenagem das várzeas estava mais adiantado em relação a junho-julho/84 (C 8), foi possível fazer este tipo de comparação (sedimento fresco x sedimento com cobertura vegetal) para todos os pontos coletados ao longo do canal. Infelizmente não foi possível incluir estes dados neste trabalho. Contudo, no futuro, possivelmente, haverá dados mais con-

TABELA 10. COMPARAÇÃO ENTRE A COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO SEDIMENTO RECENTE-DEPOSITADO\* (SEM COBERTURA VEGETAL) E O SEDIMENTO JÁ VEGETADO\*\* NA LOCALIDADE VARGEM GRANDE. CONCENTRAÇÃO DOS ELEMENTOS EXPRESSA EM meq/100 g.

Parâmetros	Sed. não vegetado	Sed. vegetado
Ca	17,5 ± 0,5	13,0 ± 1,5
Mg	4,2 ± 0,2	3,6 ± 0,5
K	0,18 ± 0,02	0,17 ± 0,01
Na	0,09 ± 0,01	0,09 ± 0,00
pH	7,2 ± 0,5	7,4 ± 0,0
Al	0,05 ± 0,00	0,03 ± 0,01
S	22,0 ± 0,8	16,9 ± 1,5
CTC	22,2 ± 0,9	17,1 ± 1,7

Média entre 4 valores

\*\* Média entre 5 valores

clusivos sobre a variação temporal dos elementos no sedimento de várzea da Amazônia.

Por enquanto, possivelmente, os dados indicam que a responsabilidade pela não existência de variação temporal na concentração de cations básicos trocáveis no sedimento de várzea recai sobre as gramíneas, que promovem uma rápida ciclagem de nutrientes pelo sistema.

#### 4.2. Nitrogênio

A forma predominante de nitrogênio no solo é a forma orgânica, cerca de 98% do total. Os 2% restantes estão na forma inorgânica  $\text{NH}_4^+$  e  $\text{NO}_3^-$ . As plantas absorvem exclusivamente as duas formas inorgânicas, sendo os processos de mineralização e imobilização responsáveis pela conversão de N orgânico para N mineral e vice-versa (VAN RAIJ, 1983). O ciclo do nitrogênio é bastante mais complexo em comparação aos cations básicos, pois este elemento apresenta forma gasosa, e faz com que o nutriente cicle através do solo, da biota e da atmosfera. Em adição, este elemento é limitante para vários ecossistemas, o que torna seu processamento pela biota um tanto mais ativo em relação aos cations básicos. Ainda, a relação deste elemento com o substrato geológico é muito menos nítida em comparação a cálcio, magnésio, potássio e sódio.

Segundo MCGILL & CHRISTIE (1983) a concentração média de nitrogênio total (N orgânico + N mineral) varia entre 0,1 a 0,6%. Nos melhores solos do Estado de São Paulo a concentração variou entre 0,04 a 0,21% para Podzólico Vermelho Amarelo de Lins e Marília var. Marília e de 0,07 a

0,30% para Terra-Roxa Estruturada (COMISSÃO DE SOLOS, 1960). Por outro lado, na Amazônia um dos solos de maior ocorrência na terra-firme, Latossolo Amarelo, teve uma concentração variando de 0,02 a 0,09% para solo de textura média, de 0,05 a 0,07% para solo de textura argilosa e para textura muito argilosa a variação foi de 0,06 a 0,31% (VIEIRA, 1975).

No sedimento de várzea do canal principal, não sendo levado em conta a época nem o local de amostragem, teor médio de N total foi de  $0,136 \pm 0,07\%$  ( $n = 40$ ), variando o teor entre 0,07 a 0,215% (TABELA 11). Segundo o critério de GARGANTINI *et al.*, (1970) solos com teores variando entre 0,075 a 0,125%, são classificados como tendo teores médios e solos tendo mais que 0,125% são solos tidos como ricos em N para fins agrícolas.

No sedimento da várzea, ao contrário dos cátions básicos, o teor de N não difere estatisticamente do teor encontrado na várzea dos tributários.

A várzea do rio Iça, entre os tributários, teve a concentração mais elevada  $0,22 \pm 0,02\%$  de N ( $n = 3$ ). Nos rios Juruá, Japurá e Madeira o teor de N no sedimento de várzea foi semelhante, em torno de 0,18% e, finalmente, a várzea do rio Purus teve uma concentração média de  $0,08 \pm 0,01\%$  ( $n = 3$ ), a menor concentração na várzea dos tributários.

### DISCUSSÃO

O nitrogênio é um elemento essencial e limitante para vários ecossistemas FORSBERG, (1984) portanto, é processado pela biota bastante ativamente. A ligação deste nutriente com o substrato geológico é bem menos evi

TABELA 11. CONCENTRAÇÃO DE NITROGÊNIO TOTAL (Nt); FÓSFORO TOTAL (Pt) E CARBONO ORGÂNICO (C org.), EXPRESSOS EM PORCENTAGEM E VALORES DAS RELAÇÕES N : P e C : N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA DO CANAL PRINCIPAL PARA OS TRÊS PERÍODOS DE COLETA (CRUZEIROS 6, 7 e 8).

LOCAL	CRUZEIRO	N total	P total	C org.	N/P	C/N
Vargem Grande	6	0,099	-	0,320	-	3,23
	7	-	-	-	-	-
	8	0,148	0,074	0,856	2,00	5,78
S.A. do Iça	6	0,155	-	1,600	-	10,32
	7	0,199	-	0,778	-	3,91
	8	0,215	0,083	0,994	2,59	4,62
Xibeco	6	0,106	-	0,640	-	6,04
	7	0,217	-	0,847	-	3,90
	8	0,178	0,073	0,966	2,44	5,43
Bararua	6	-	-	-	-	-
	7	0,075	-	0,449	-	5,99
	8	0,095	0,071	0,595	1,34	6,26
Inferno	6	-	-	-	-	-
	7	0,113	-	0,505	-	4,47
	8	-	-	-	-	-
Tupe	6	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-
	8	0,135	0,057	0,428	2,37	3,17

Cont. ....

LOCAL	CRUZEIRO	N total	P total	C org.	N/P	C/N
Mari-Mari	6	0,120	-	1,040	-	8,67
	7	0,208	-	0,795	-	3,82
	8	0,159	0,074	0,821	2,15	5,16
Panamim	6	-	-	-	-	-
	7	0,190	-	0,676	-	3,56
	8	0,171	0,076	1,000	2,25	5,85
Jutica	6	-	-	-	-	-
	7	0,158	-	0,272	-	1,72
	8	0,210	0,068	0,851	3,09	4,05
Itapeua	6	0,148	-	0,400	-	2,70
	7	0,155	-	-	-	-
	8	0,140	0,070	0,532	2,00	3,80
Anori	6	0,106	-	0,560	-	5,28
	7	0,156	-	0,481	-	3,08
	8	0,134	0,074	0,676	1,81	5,04
Manacapuru	6	0,120	-	0,560	-	4,67
	7	0,111	-	-	-	-
	8	0,094	0,067	0,439	1,40	4,67
Careiro	6	-	-	-	-	-
	7	0,116	-	-	-	-
	8	-	0,067	-	-	-

Cont ...

LOCAL	CRUZEIRO	N total	P total	C org.	N/P	C/N
S.J. do Amatari	6	-	-	0,150	-	-
	7	0,070	-	0,233	-	3,33
	8	0,132	0,066	0,495	2,00	3,75
Itacoatiara	6	-	-	-	-	-
	7	0,178	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-
Santa Luzia	6	-	-	0,560	-	-
	7	-	-	0,412	-	-
	8	0,110	0,058	0,339	1,90	3,08
Paura	6	-	-	-	-	-
	7	0,100	-	-	-	-
	8	0,157	0,062	-	-	-
Caldeirão	6	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-
	8	0,172	-	0,595	-	3,46
Óbidos	6	-	-	0,890	-	-
	7	-	-	-	-	-
	8	0,187	0,064	0,773	2,92	4,13

dente em comparação aos cátions básicos. Desta forma, a concentração semelhante de N no sedimento de várzea do tributário e do canal principal não causou surpresa.

#### 4.2.1. Variação espacial

A concentração de nitrogênio no sedimento de várzea não variou significativamente rio abaixo (Leste) em nenhum dos três períodos amostrados (FIGURAS 17, 18 e 19).

#### DISCUSSÃO

RICHEY (dados não publicados) determinou a concentração de nitrogênio orgânico particulado na fração  $< 63\mu\text{m}$  do sedimento em suspensão transportado pelo canal principal (TABELA 12). Como a quantidade de nitrogênio inorgânico é pequena em relação ao orgânico (VAN RAIJ, 1983; MALAVOLTA, 1976), pode-se comparar esta fração com o nitrogênio total (N orgânico + N inorgânico) do sedimento de várzea.

O valor percentual do nitrogênio orgânico particulado não apresentou variação significativa entre Vargem Grande (0,0 km) e Óbidos (1.700 km, Leste). Ou seja, contrariamente a alguns cátions básicos, a "qualidade" do sedimento em suspensão em relação ao nitrogênio não sofre alteração significativa entre os dois pontos considerados.

Portanto, apesar de conhecida a dificuldade de se comparar a concentração de N nos dois compartimentos devido à grande mobilidade e ciclagem complexa deste nutriente, a não variação na concentração de nitroçê

---

RICHEY, J.E. (Univ. de Washington - USA). Dados não publicados

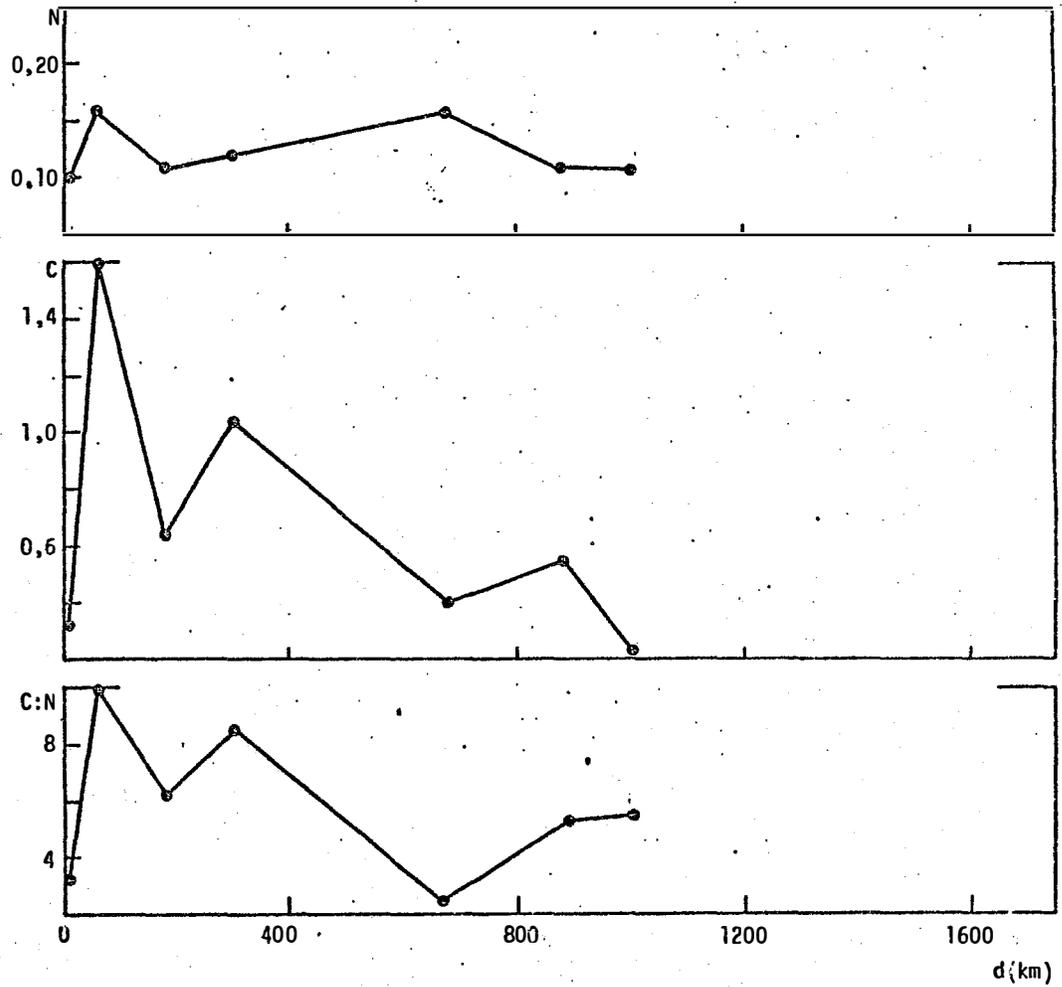


Figura 17. VARIACÃO NA CONCENTRAO DE N-total E C-orgânico, EXPRESSA EM PORCENTAGEM E RELAO C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O PERÍODO DE SECA (OUT.-NOV., 1983 - C<sub>6</sub>).

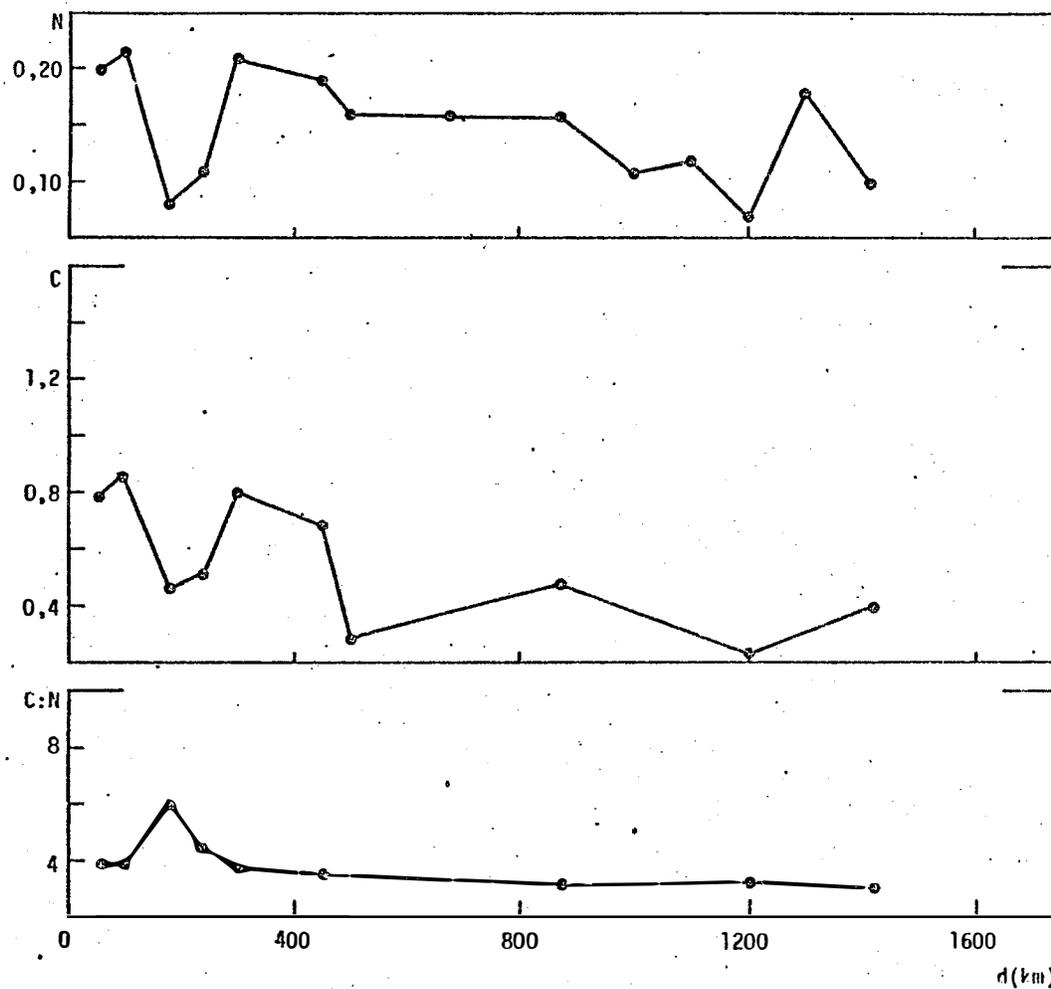


Figura 18. VARIACÃO DA CONCENTRAO DE N-total E C-orgânico, EXPRESSA EM PORCENTAGEM E RELAO C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (JAN.-FEV., 1984 - C<sub>7</sub>).

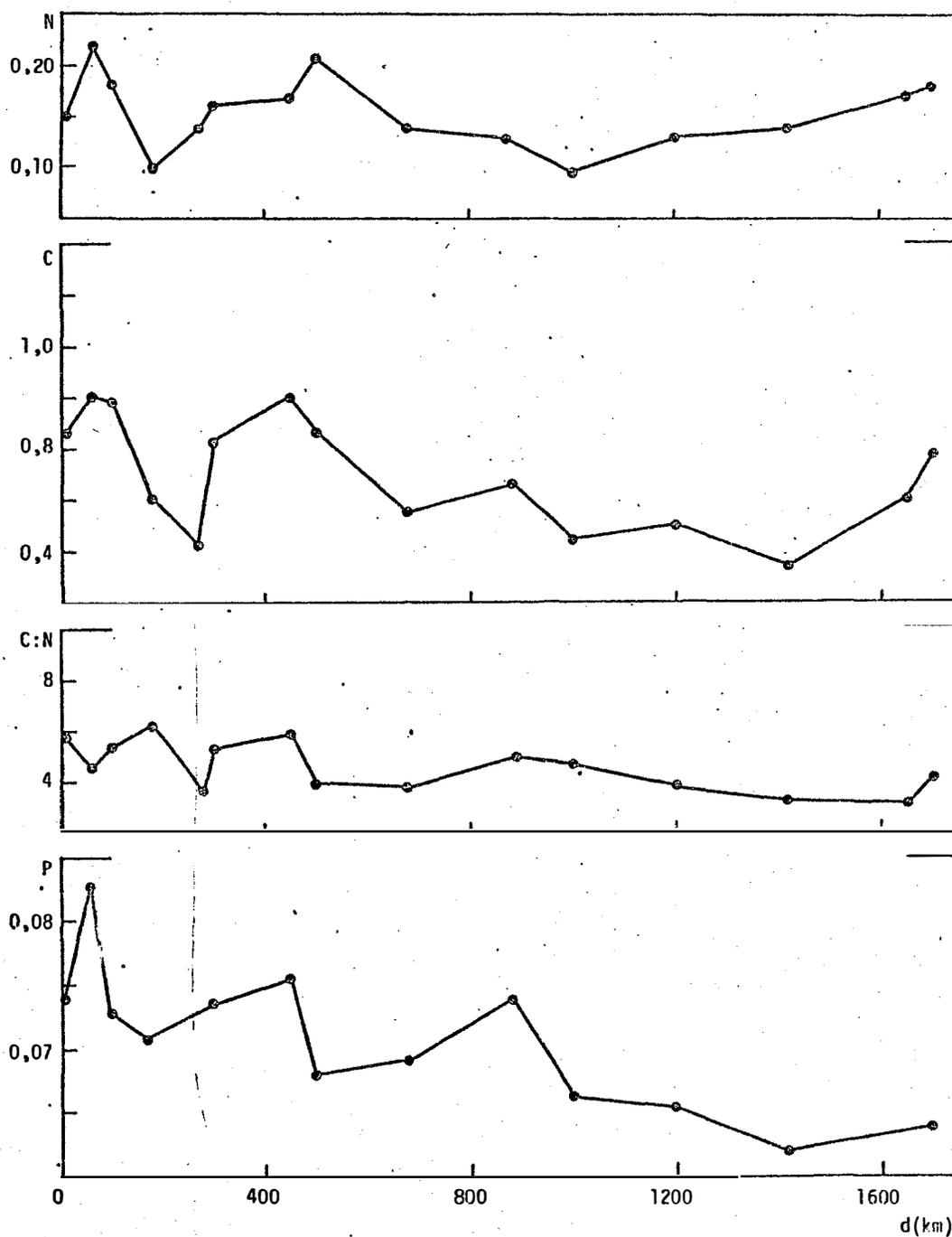


Figura 19. VARIACÃO NA CONCENTRAO DE N-total, C-orgânico, P-total, EXPRESSA EM PORCENTAGEM E RELAO C:N NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (JUN.-JUL., 1984 - C<sub>H</sub>).

TABELA 12. VALORES DE NITROGÊNIO ORGÂNICO PARTICULADO FINO(PONf)\* TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS. CONCENTRAÇÃO ABSOLUTA EXPRESSA EM mg/l. PARTICIPAÇÃO RELATIVA DE PONf NOS SÓLIDOS SOLUVEIS TOTAIS (TSS) EXPRESSO EM PORCENTAGEM\*\*.

LOCAL	6			7		
	PONf (mg/l)	TSS (mg/l)	PONf %	PONf (mg/l)	TSS (mg/l)	PONf %
Vargem Grande	0,31	276,0	0,11	0,58	592,0	0,10
S.A. do Iça	0,23	237,0	0,10	0,46	513,0	0,09
Xibeco	0,26	304,0	0,09	0,49	541,0	0,09
Tupe	0,31	274,0	0,12	0,50	533,0	0,09
Jutica	0,24	246,0	0,10	0,43	400,0	0,11
Itapeua	0,27	221,0	0,12	0,37	376,0	0,10
Anori	0,30	254,0	0,12	0,35	372,0	0,10
Manacapuru	0,26	225,0	0,12	0,34	345,0	0,10
S.J. Amajari	0,17	145,0	0,11	0,32	245,0	0,13
Paura	0,12	105,8	0,11	0,48	408,0	0,12
Obidos	0,17	92,6	0,18	0,41	385,0	0,11

Cont

LOCAL	CRUZEIRO 8		
	PONf (mg/l)	TSS (mg/l)	PONf %
Vargem Grande	0,23	323,0	0,09
S.A.do Içã	0,20	282,0	0,11
Xibeco	0,23	280,0	0,11
Tupe	0,21	245,0	0,08
Jutica	0,15	187,0	0,11
Itapeua	0,17	182,0	0,08
Anori	0,14	168,0	0,10
Manacapuru	0,13	156,0	0,10
S.J. Amatari	0,12	158,0	0,14
Paura	0,15	182,0	0,14
Óbidos	0,16	195,0	0,11

\* Fração < 63  $\mu$ m

$$** \text{ PONf (\%)} = \frac{\text{PONf (mg/l)}}{\text{TSS (mg/l)}} \times 100$$

nio do sedimento transportado e depositado na várzea rio abaixo pode ser uma das explicações para este comportamento. Em adição, como já discutido, as gramíneas e macrófitas da várzea podem minimizar as eventuais diferenças na concentração de N no sedimento de várzea localizado no alto ou baixo Amazonas. Como pode ser notado, a variação na concentração de N no sedimento de várzea é mais elevada que no sedimento transportado.

#### 4.2.2. Variação temporal

A concentração de nitrogênio no sedimento de várzea não variou significativamente entre os três períodos amostrados (TABELA 11).

### DISCUSSÃO

A mesma argumentação usada para justificar a não variação temporal na concentração de cations básicos no solo pode ser utilizada no caso do nitrogênio. Além da ciclagem de N através de gramíneas e macrófitas, o solo pode sofrer adição de N pela fixação de nitrogênio atmosférico pelas leguminosas que habitam as várzeas da Amazônia (SALATI *et al.*, 1982; MARTINELLI *et al.*, 1985). Coincidentemente, a concentração de nitrogênio no sedimento de várzea é significativamente mais elevado que a concentração de nitrogênio orgânico particulado no sedimento transportado pelo rio Amazonas durante o início da subida das águas e início da descida das águas. Assumindo-se que a concentração de nitrogênio inorgânico seja pequena no sedimento de várzea, fato que é em parte confirmado pela boa correlação entre carbono orgânico

nico de nitrogênio orgânico (HEDGES *et al.*, 1986). A comparação entre a concentração de nitrogênio nos dois comportamentos pode ser feita diretamente, mesmo levando-se em conta que numa fração está computado somente nitrogênio orgânico enquanto na outra estão computados nitrogênio orgânico + nitrogênio mineral. Portanto, possivelmente, processos como fixação biológica de nitrogênio e devolução de nitrogênio ao solo pelas gramíneas e macrófitas podem aumentar a concentração deste elemento no sedimento de várzea em comparação a concentração de nitrogênio no sedimento em suspensão ao longo do canal principal. Em adição, estas gramíneas absorveram rapidamente nitrogênio dissolvido na água (VICTÓRIA *et al.*, 1985), transferindo este nutriente fase aquática para a terrestre, o que contribuirá para o enriquecimento do sedimento de várzea.

#### 4.3. Fósforo

O fósforo no solo caracteriza-se por estar presente em três frações: dissolvido na solução do solo, numa forma lábil e outra não lábil (VAN RAIJ, 1983; MALAVOLTA, 1976).

Na solução do solo a concentração de fósforo devido a baixa solubilidade de seus compostos é bastante baixa. Segundo VAN RAIJ (1983), esta concentração raramente atinge 0,1 ppm, muito embora, segundo MALAVOLTA (1976) a concentração de P em solução pode atingir até 20 ppm. As formas de P em solução são derivadas do ácido ortofosfórico -  $H_3PO_4$ . Entre os pH 3 a 6,5 o predomínio é de  $H_2PO_4^-$ , decrescendo em direção à neutralidade. Em torno de pH 6,5 haverá uma proporção equivalente entre as formas  $H_2PO_4^-$  e  $HPO_4^{2-}$ , esta última aumenta sua proporção

ã medida que o meio se torna mais b́sico (BUCKMAN & BRADY, 1976; MALAVOLta, 1976; VAN RAIJ, 1983),

Na fase s3lida do solo, o f3sforo forma compostos com o cālcio, ferro, alum3nio e mat3ria orgānica. Segundo MALAVOLTA (1976) a proporço relativa entre a fraç3o mineral e orgānica de f3sforo 3 bastante variāvel. Em adiç3o, a importāncia relativa destes compostos minerais do f3sforo 3 funç3o do pH e do tipo e quantidade de minerais existentes na fraç3o argila (VAN RAIJ, 1983). Segundo MALAVOLTA (1976), a disponibilidade do f3sforo deve ser m3xima pr3xima a pH 6,5, quando a maior parte do f3sforo estaria ligada 3 argilas do solo ou 3 mat3ria orgānica.

Quanto 3 disponibilidade para as plantas, a forma absorv3vel 3 aquela que se encontra em soluç3o. Entretanto, como visto, a concentraço desta forma 3 bastante baixa, n3o satisfazendo a exig3ncia das plantas. Para tanto, de acordo com as condiç3es de equil3brio din3mico, o f3sforo l3bil passa para a soluç3o do solo e da3 migra para a regi3o das ra3zes onde 3 absorvido pelas plantas (VAN RAIJ, 1983).

No sedimento de v3rzea foi determinada a fraç3o de f3sforo total a qual constitui p f3sforo em soluç3o + f3sforo l3bil + f3sforo n3o l3bil. A concentraç3o desta fraç3o foi determinada somente durante o in3cio da descida das 3guas (C 8).

A concentraç3o m3dia entre todos os pontos amostrados foi de  $0,069 \pm 0,000\%$  (n = 16) ou 690 ppm (TABELA 11 ). Para solos do Estado de S3o Paulo os maiores valores encontrados foram em Latossolo Roxo Eutr3fico, 1107 ppm e Terra-Roxa Estruturada, 834 ppm (JORGE & VALADARES, 1969). Por

tanto, em média, a concentração de fósforo total no sedimento de várzea do rio Amazonas foi um pouco menor que as maiores concentrações encontradas nos solos do Estado de São Paulo por JORGE & VALADARES (1969).

#### 4.3.1. Variação espacial

A concentração de fósforo total no sedimento de várzea do canal principal diminuiu significativamente (TSR 0,005) em direção a leste de Vargem Grande para Obidos (FIGURA 19).

#### DISCUSSÃO

A relativamente alta concentração de fósforo no sedimento de várzea do canal principal pode ser determinada, pelo menos em parte, pela deposição de sedimento rico em fósforo transportado pelo rio Amazonas, pois, segundo FORSBERG (1984) a maior parte da carga total de fósforo está na forma particulada.

Segundo MCGILL e CHRISTIE (1983), em solos minerais, a relação Nt : Pt é de aproximadamente 6 partes de Nt para uma parte de Pt. No sedimento de várzea do canal principal esta relação foi menor, em média  $2,06 \pm 0,19$  (n = 15). FORSBERG *et al.* (1986) encontraram a mesma tendência na coluna de água dos lagos de várzea da Amazônia. Devido à retirada de fósforo da coluna d'água pela sedimentação do fósforo particulado a relação N : P é maior nos lagos em comparação ao rio com o qual o lago acha-se ligado.

O decréscimo da concentração de fósforo no sedimento de várzea em direção à foz do rio Amazonas é de difícil explicação, pois, como o

nitrogênio, o fósforo é geralmente um elemento limitante para vários ecossistemas. A adição de fósforo ao solo se dá quase que exclusivamente pelo intemperismo do substrato rochoso, uma vez que pela via atmosférica é praticamente nula. Ainda, como a fração analisada foi fósforo total, ou seja, parte dele encontrava-se em uma forma não lábil; pode-se considerar que até certo ponto, a variação espacial da concentração de fósforo total no sedimento de várzea seja controlada predominantemente por fatores geológicos e não biológicos. Logo, o decréscimo na concentração de fósforo no sedimento de várzea rio abaixo pode ser atribuído ao controle que a cordilheira dos Andes exerce sobre a composição química destes sedimentos. Possivelmente, como alguns cátions básicos, a concentração de fósforo total do sedimento em suspensão transportado pelo rio Amazonas decresce à medida que se afasta dos Andes em direção ao oceano.

#### 4.4. Carbono

A fonte original de carbono para os solos é constituída principalmente de material vegetal em diferentes estágios de decomposição (BUCKMAN & BRADY, 1976). Em menor extensão a matéria orgânica do solo é constituída de material animal em diferentes estágios de decomposição.

A quantidade de carbono no solo é extremamente variável, não podendo ser definido um teor médio encontrado no solo. Nos solos do Estado de São Paulo, com exceção de solos orgânicos que chegam a ter 20% de carbono, a variação na concentração de carbono foi bastante grande. Os menores valores estão ao redor de 0,30% de carbono e os maiores oscilando entre 2,5 a 3% (COMISSÃO DE SOLOS, 1960).

A concentração de carbono no sedimento de várzea do canal principal foi em média  $0,644 \pm 0,049\%$  ( $n=35$ ), não sendo consideradas diferentes épocas de amostragem ou distribuição geográfica dos locais amostrados, (TABELA 11). Quase que exclusivamente este carbono está numa forma orgânica, pois os carbonatos já foram lixiviados do perfil na região sub-Andina (IRION, 1984a).

### DISCUSSÃO

A concentração de carbono no solo é controlada por uma série de fatores, que interagem entre si, tornando complexa a tarefa de se definir a causa de uma determinada concentração num determinado local. Cada situação terá uma série de fatores que juntos determinarão a concentração de carbono do solo. Portanto, é necessário o conhecimento destes fatores bem como sua variação no tempo e no espaço para que possam ser conhecidas as causas que determinam a concentração de C do local. Assim sendo, devido à grande área amostrada que este trabalho abrange e seu caráter geral, as hipóteses aqui levantadas serão bastante abrangentes e, portanto, sujeitas a várias restrições. Enfim, será apenas a primeira aproximação na abordagem de um problema bastante complexo.

Em comparação a regiões temperadas, as regiões tropicais tendem a acumular menos matéria orgânica devido à maior velocidade de decomposição gerada pelo aumento da temperatura. A condição hídrica de solo também é um fator ambiental que exerce influência no acúmulo de matéria orgânica no solo. Em condições de aridez, mesmo a elevadas temperaturas, haverá

acúmulo de matéria orgânica no solo. Por outro lado, excesso de água em solos insuficientemente drenados em condições anaeróbicas leva também ao acúmulo de matéria orgânica (BUCKMAN & BRADY, 1976). Portanto, pelo menos sob este aspecto, as condições na várzea da Amazônia são favoráveis para que haja acúmulo de matéria orgânica no solo. Contudo, segundo JUNK (1984), isto não ocorre devido à alternância entre as fases terrestre e aquática.

Além destes fatores ambientais, a concentração de carbono acumulada no solo é também controlada pela dinâmica de nutrientes, principalmente nitrogênio (MELILLO e GOSZ, 1983).

A velocidade de decomposição da matéria orgânica determinará seu acúmulo ou não no solo. A população microbiana heterotrófica é responsável pela decomposição deste material. O parâmetro que controlará o ritmo de trabalho desta população será a relação C : N da matéria orgânica adicionada ao solo e desta relação no próprio solo (VAN RAIJ, 1983; BUCKMAN & BRADY, 1976). Por exemplo, uma baixa relação C : N no solo levará a uma limitação de carbono à população decompositora e caso a matéria orgânica adicionada ao solo tenha também uma reduzida C : N haverá conseqüentemente, acúmulo de matéria orgânica no solo. Por outro lado, uma alta relação C : N tornará o nitrogênio limitante à população decompositora e, se a matéria orgânica adicionada ao solo não fornecer este elemento adequadamente, haverá, também, acúmulo de carbono no solo (BUCKMAN & BRADY, 1976; MALAVOLTA, 1976).

Portanto, a relação C : N controla a decomposição da matéria orgânica no solo. A longo prazo, excetuando-se os períodos de intensa de

composição, a relação C : N do solo tende a tornar-se constante. Pois, a perda de carbono na forma de CO<sub>2</sub> tende a ser equilibrada pela perda de nitrogênio lixiviado ou imobilizado pela biota (BUCKMAN & BRADY, 1976). Geralmente, esta proporção está em torno de 10 a 13 átomos de carbono para um átomo de nitrogênio.

No sedimento de várzea do rio Amazonas a relação C:N foi menor, em média  $4,60 \pm 0,31$  (n = 31) (TABELA 11). Portanto, nas várzeas a quantidade de carbono é menor e a quantidade de nitrogênio é maior. Segundo JUNK (1983), como observado pela concentração de carbono no solo, nas várzeas não é comum o acúmulo de matéria orgânica. Para que este fato ocorra é necessário que o material vegetal incorporado ao solo forneça carbono, ou seja, tenha uma alta relação C : N. Desta forma a decomposição da matéria orgânica será rápida, não acumulando no solo, uma vez que as condições climáticas favorecem a rápida decomposição deste material. Nos locais amostrados a vegetação dominante eram as gramíneas características das várzeas Amazônicas, anteriormente já caracterizadas. A relação C : N determinada por HEDGES *et al.*, (1986) foi em torno de 106, e, possivelmente seja suficientemente alta para que a decomposição da matéria orgânica se processe rapidamente. A estabilização da relação C : N no sedimento de várzea em nível tão estreito, provavelmente, se dá pela adição de nitrogênio através da fixação e/ou pelo aporte de sedimento através de inundações periódicas. Ao mesmo tempo, o carbono oriundo da decomposição não se acumula no solo, sendo perdido na forma de CO<sub>2</sub>. Em favor desta hipótese, como será visto, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  mostra que o carbono oriundo da decomposição da gramínea não se encontra em grande quantidade incorporado ao solo.

Concluindo, a característica mais peculiar do sedimento de várzea do canal principal é sua estreita relação C : N e a relativamente baixa concentração de carbono no solo. Como pode ser observado do exposto anteriormente as causas para este fato são bastante complexas, sendo seu entendimento ainda bastante limitado.

#### 4.4.1. Variação espacial

A concentração de carbono no sedimento de várzea de canal principal decresce significativamente rio abaixo, no sentido oeste para leste, tanto durante o início da subida das águas (TSR 0,001) como no início da descida das águas (TSR 0,01). Somente durante o período de seca a concentração não variou significativamente em relação à distribuição geográfica dos pontos de coleta (FIGURAS 17, 18 e 19).

A relação C : N também decresce significativamente em direção à foz do rio Amazonas durante o início da subida (TSR 0,005) e início da descida da água (TSR 0,025), não variando durante o período de seca (FIGURAS 17, 18 e 19).

### DISCUSSÃO

Como será visto mais adiante, a principal fonte de carbono para o solo parece ser o sedimento transportado pelo rio que é depositado nas várzeas. (HEDGES *et al.*, 1986). Dessa forma, presume-se que a concentração e a distribuição do carbono no sedimento transportado pelo rio deve influenciar o comportamento do carbono incorporado ao sedimento depositado na várzea.

A concentração de carbono orgânico particulado total (POCt) em suspensão no rio durante a época seca (C 6) e no início da subida d'água (C 7) não variou significativamente rio abaixo (TABELA 13 ). No entanto, durante o início da descida da água (C 8) decresceu significativamente (TSR 0,05) rio abaixo (TABELA 13 ). Portanto, as tendências são semelhantes durante o período seco (C 6) e início da descida das águas (C 8). No primeiro ambas as concentrações de carbono, no sedimento em suspensão e depositado nas várzeas não variou significativamente em relação à distância de Vargem Grande em direção a Óbidos (FIGURA 17 ), no segundo período (C 8) ambas as concentrações decresceram rio abaixo (FIGURAS 18 e 19).

No entanto, deve ser ressaltado que, apesar da relativamente semelhante tendência nos dois compartimentos (em suspensão e depositado nas várzeas), a concentração de carbono no sedimento transportado pelo rio é significativamente (TW 0,001) mais elevada que a concentração de carbono do sedimento de várzea para as três diferentes épocas de amostragem.

Quanto à relação C : N no sedimento transportado pelo rio, será considerada a fração fina que tem uma concentração mais elevada e é mais rica em carbono que a fração grossa (HEDGES *et al.*, 1986; RICHEY, dados não publicados). A relação C : N desta fração é em média  $10,66 \pm 0,20$  (n = 33), considerando-se os valores obtidos nos três períodos amostrados. Este valor é significativamente (TW 0,001) mais elevado que a relação C : N encontrada no sedimento de várzea. Quanto a sua variação espacial, a relação C : N do sedimento fino em suspensão decresceu significativamente (TSR 0,005) durante os três cruzeiros 6,7 e 8. Portanto, apesar de mais elevada, a tendência da relação C : N da fração em suspensão e deposi-

TABELA 13. VALORES DE CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO FINO\* (POCf) TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS. CONCENTRAÇÃO ABSOLUTA EXPRESSA EM mg/l E PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO POCf NOS SÓLIDOS SOLÚVEIS TOTAIS (TSS) EXPRESSO EM PORCENTAGEM\*\*. VALORES DA RELAÇÃO ATÔMICA C : N DA FRAÇÃO FINA DO SEDIMENTO TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS.

LOCAL	CRUZEIRO 6				CRUZEIRO 7			
	POCf (mg/l)	TSS (mg/l)	POCf %	C:N	POCf (mg/l)	TSS (mg/l)	POCf %	C:N
Vargem Grande	2,81	276,0	1,02	11,5	4,96	592,0	0,83	9,9
S.A. do Iça	2,09	237,0	0,88	10,9	4,48	513,0	0,87	11,4
Xibeco	2,48	304,0	0,82	10,3	4,50	541,0	0,83	10,8
Tupe	2,76	274,0	1,00	13,0	4,47	533,0	0,84	10,5
Jutica	2,01	246,0	0,82	11,2	3,54	400,0	0,88	9,7
Itapeua	3,32	221,0	1,05	12,2	3,42	376,0	0,91	10,7
Anori	2,68	254,0	1,06	12,1	3,27	372,0	0,88	10,8
Manacapuru	2,26	225,0	1,00	12,1	2,93	345,0	0,85	9,9
S.J. do Amajari	1,48	145,0	1,02	10,7	2,52	245,0	1,03	9,3
Paura	1,00	106,0	0,94	10,3	3,54	408,0	0,87	8,5
Óbidos	1,17	93,0	1,26	16,1	3,28	385,0	0,85	9,2

. Cont....

LOCAL	C R U Z E I R O 8			
	POCf (mg/l)	TSS (mg/l)	POCf %	C : N
Vargem Grande	2,65	323,0	0,82	13,4
S.A. do Iça	2,34	282,0	0,83	14,0
Xibeco	2,29	280,0	0,82	11,7
Tupe	2,12	245,0	0,87	11,7
Jutica	1,42	187,0	0,76	10,9
Itapeua	1,59	182,0	0,87	11,2
Anori	1,34	168,0	0,80	11,2
Manacapuru	1,24	156,0	0,79	11,0
S.J. do Amajari	1,19	158,0	0,75	11,4
Paura	1,41	182,0	0,77	11,1
Óbidos	1,66	195,0	0,85	11,9

\* fração &lt; 63 µm

$$** \text{ POCf (\%)} = \frac{\text{POCf (mg/l)}}{\text{TSS (mg/l)}} \times 100$$

tada em decrescer rio abaixo foi comum para ambas durante o início da subida (C 7) e da descida das águas (C 8); somente no período seco as tendências não foram semelhantes.

Desta maneira, caso a origem do carbono depositado nas várzeas seja realmente o sedimento transportado pelo rio, processos diagenéticos devem estar atuando levando a uma diminuição do teor de carbono no solo e a um aumento no teor de nitrogênio do mesmo. No geral, rio abaixo as tendências são, a grosso modo, semelhantes entre as duas frações.

Para tanto, pode-se argumentar que, após a deposição do sedimento na várzea, haverá uma perda de carbono por decomposição da matéria orgânica. Como consequência, haverá imobilização de N, segundo HEDGES *et al.*, (1986), um fenômeno comum durante a degradação do material vegetal. Embora, segundo os mesmos autores, o estado do sedimento transportado pelo rio seja refratário, principalmente a fração fina mais abundante.

Quanto ao decréscimo da relação C : N no sedimento de várzea durante o início da subida (C 7) e início da descida da água (C 8) pode possivelmente ser explicado, pela mudança na composição do sedimento particulado fino transportado pelo rio. HEDGES *et al.*, (1986), analisando a composição do material orgânico particulado transportado pelo rio Amazonas durante as quatro primeiras excursões do projeto "Biogeoquímica do Carbono na Bacia Amazônica", concluiu que as principais mudanças rio abaixo na composição deste material são um decréscimo na relação C : N e da concentração de lignina, e um aumento no índice (Ad : Al), que indica um aumento na degradação do material em direção à foz do Amazonas. Assim sendo, parece

que, durante o transporte, deposição nas várzeas e resuspensão, o sedimento está sendo mais degradado, perdendo carbono e imobilizando N, diminuindo dessa forma sua fração C:N rio abaixo, tanto na fração em suspensão como depositada nas várzeas. Mesmo assim, HEDGES *et al.*, (1986) acreditam que não é este "spiralling" do carbono que leva estas mudanças na composição do material orgânico particulado do rio Amazonas, mas sim a adição de tributários de águas pretas que drenam as terras firmes (ver item 2.6.). Pois todas estas características são peculiares ao material orgânico transportado por estes tributários.

Concluindo, por um lado o carbono do sedimento de várzea tem algumas características semelhantes à do material orgânico particulado, principalmente fino, transportado pelo rio Amazonas. Estas características comuns são: valores semelhantes de  $\delta^{13}\text{C}$ , que parece não ser significativamente alterado pelos processos diagenéticos (FRY & SHERR, 1984). Em segundo lugar, a composição destes materiais é semelhante, ou seja, enquanto a composição do material particulado grosso é predominantemente constituída de folhas e material lenhoso, a fração fina é constituída principalmente de material húmico oriundo de solos da região de formação do Amazonas (HEDGES *et al.*, 1986). Porém, por outro lado existem características distintas entre o carbono dos dois compartimentos. Em primeiro lugar, a relação C : N, que, segundo LAZERT (1983), é facilmente alterada por processos diagenéticos e, em segundo lugar, a maior concentração de carbono no sedimento particulado fino transportado pelo rio Amazonas.

Portanto, as causas que determinam a concentração e mesmo a variação desta concentração de carbono no sedimento de várzea ao longo do

canal principal são bastante complexas e estão longe de ser entendidas. A intenção deste trabalho foi apenas de abordar o problema de uma maneira bastante geral. Acredita-se que experimentos localizados com material orgânico marcado podem ser de grande utilidade na caracterização da dinâmica do carbono neste sedimento.

#### 4.4.2. Variação temporal

A concentração de carbono na várzea não variou significativamente (TABELA 11) entre os cruzeiros 6, 7 e 8, bem como a relação C : N também não variou entre o período de seca (C 6), início de subida (C 8) e início da descida da água (TABELA 11 ).

#### DISCUSSÃO

A concentração de carbono no sedimento transportado pelo rio Amazonas foi significativamente maior (TW 0,05) no período de seca (C 6) em relação aos dois outros períodos amostrados (C 7 e C 8). Em adição, a relação C : N da fração fina do sedimento transportado, foi mais elevada no início da subida das águas em relação a outros dois períodos amostrados (TABELA 13 ).

Logo, parece haver variações temporais na concentração e relação C : N do material transportado pelo rio Amazonas. HEDGES *et al.* (1986), trabalhando com a composição do material orgânico particulado nos primeiros quatro cruzeiros do projeto CAMREX, verificaram que a relação C : N do sedimento fino transportado pelo canal principal também variou significativamente entre os cruzeiros.

Portanto, apesar das mudanças na concentração e composição do sedimento em suspensão, as mesmas não estão refletidas no sedimento depositado nas várzeas do rio Amazonas. Desta maneira, parece que as mudanças quanto à composição do carbono do sedimento de várzea ocorrem a longo prazo em relação ao sedimento em suspensão do rio Amazonas.

#### 4.4.3. Origem do carbono incorporado ao sedimento de várzea

A grande maioria das amostras de sedimento de várzea foram coletadas em locais onde havia uma grande dominância de gramíneas (*E. polystachya*, *P. repens* e *P. fasciculatum*). Como observado anteriormente, estas plantas parecem exercer grande influência na ciclagem de elementos no sedimento de várzea. Portanto, estas plantas podem ser consideradas como fonte potencial de carbono para o sedimento.

Por outro lado, o sedimento em suspensão do rio Amazonas, por razões óbvias, pode ser também caracterizado como virtual fonte de carbono para o sedimento de várzea. Finalmente, uma possível terceira fonte de carbono seria o restante da vegetação de várzea que não gramíneas. Por exemplo, macrófitas e árvores de maior porte que habitam as várzeas e a terra firme (JUNK, 1984), embora, como já ressaltado, a maior parte das amostras foram coletadas sob bancos de gramíneas.

Uma das mais úteis e precisas ferramentas na caracterização da origem da matéria orgânica depositada nos sedimentos é a utilização da relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  (SACKETT, 1964; NISSENBAUM & KAPLAN, 1972; HEDGES & PARKER, 1976; SHERR, 1982 e TAN & STRAIN, 1983). O uso desta técnica consis

te na comparação da relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  das virtuais fontes com a relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  do produto. Num caso simples, onde somente duas fontes estão presentes na composição de uma determinada amostra, a sua composição isotópica refletirá diretamente a quantidade relativa das duas fontes (FRY & SHERR, 1984).

#### 4,4,4. Caracterização isotópica das virtuais fontes de C para o de vários sedimentos

Para a utilização deste modelo de mistura com duas fontes ("two end-members mixing models") é necessário que as mesmas fontes tenham diferentes valores de  $\delta^{13}\text{C}$  (definição desta terminologia no item 3.2.2.7 Material e Métodos), e que estes valores sejam conservados na amostra produzida pela mistura relativa das duas fontes. Portanto, a primeira providência é a caracterização isotópica das virtuais fontes de carbono para o sedimento de várzea do rio Amazonas.

BENDER (1968), citado por DEINES (1980), foi o primeiro a observar uma diferença consistente na composição isotópica do carbono entre certos grupos de plantas, notando que milho e outras gramíneas tropicais mostravam-se enriquecidos em  $^{13}\text{C}$  em relação a outras plantas. SMITH & EPSTEIN (1971) dividiram as plantas em duas categorias. Aquelas que se mostravam consistentemente enriquecidas em  $^{13}\text{C}$  e aquelas que se mostravam empobrecidas, sugerindo que esta variação era devida a diferentes caminhos seguidos pelo carbono durante sua fixação. Basicamente estes caminhos são: o ciclo CALVIN-BENSON, onde o primeiro composto intermediário formado é constituído de três carbonos. São as plantas do tipo C 3 e o ciclo HATCH-SLACK. Neste caso

o primeiro composto intermediário formado contém quatro carbonos são as plantas do tipo C 4. Nas primeiras - plantas do tipo C 3 há um empobrecimento em  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C} = -26^{\circ}/\text{oo}$  a  $-27^{\circ}/\text{oo}$ ) mais acentuadas no que nas plantas do tipo C 4 ( $\delta^{13}\text{C} = -12^{\circ}/\text{oo}$  a  $14^{\circ}/\text{oo}$ ).

HEDGES *et al.* (1986) foram os primeiros a determinar a composição isotópica de carbono das gramíneas e outros tipos de vegetação de várzea da bacia Amazônica. O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  para duas amostras de gramíneas foi de  $-12,0^{\circ}/\text{oo}$  para *P. repens* e de  $-12,4^{\circ}/\text{oo}$  para *E. polystachya*. Para macrófitas aquáticas que não gramíneas o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  foi de  $-28,3^{\circ}/\text{oo}$  *Gynerium sagittatum*,  $-27,9^{\circ}/\text{oo}$  *Eicchornia crassipes* e  $-26,5^{\circ}/\text{oo}$  *Pistia stratioides*; sendo a média  $-27,6 \pm 0,5^{\circ}/\text{oo}$  ( $n=3$ ). Finalmente, estes autores caracterizam isotopicamente uma série de árvores de ocorrência comum na várzea. O  $\delta^{13}\text{C}$  deste material foi determinado na madeira e nas folhas. Neste trabalho será reportado apenas o valor das folhas, pois devido à maior facilidade de decomposição das folhas em relação ao material lenhoso, estas provavelmente têm maior interação com o sedimento de várzea. O valor médio encontrado foi de  $30,1 \pm 0,2^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 15$ ).

Os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  determinados para a vegetação de várzea neste trabalho restringiram-se à gramíneas e à macrófita *Eicchornia crassipes*. No entanto, com um número bastante mais elevado de amostras, principalmente de gramíneas (TABELA 14).

O valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  de *E. polystachya* para os três períodos amostrado foi de  $-12,8 \pm 0,1^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 30$ ). Entretanto houve uma diferença significativa estatisticamente ( $TW 0,001$ ) entre o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  des

TABELA 14. VALORES DE  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) DE GRAMÍNEAS *Echinochloa polystachya* COLLECTADAS NAS VÁRZEAS AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL

LOCAL	C R U Z E I R O S		
	6	7	8
Vargem Grande	-12,4	-13,0	-12,1
S.A. do Iça	-11,7	-12,4	-12,0
Xibeco	-11,9	-13,3	-
Bararuã	-	-13,3	-12,4
Tupe	-	-12,2	-12,6
Inferno	-	-	-
Mari-Mari	-12,3	-12,7	-
Panamim	-	-13,2	-
Jutica	-	-	-
Itapeua	-12,5	-13,4	-13,1
Anori	-	-12,8	-
Manacapuru	-12,8	-12,8	-13,2
S.J. do Amajari	-12,9	-14,0	-13,4
Paura	-	-	-13,3
Santa Luzia	-13,0	-	-
Caldeirão	-	-	-13,1
Óbidos	-12,4	-	-13,4

ta gramínea determinada no período de seca (C 6) e no início da subida das águas (C 7). Neste último os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  foram mais negativos, ou seja, mais empobrecidos em  $^{13}\text{C}$ . LOWDON & DICK (1974), citados por GEARING *et al.*, (1984), também observaram variações sazonais na relação isotópica do carbono em algumas espécies; entretanto, as plantas analisadas por estes autores em diferentes épocas eram as mesmas. No caso deste estudo esta condição não foi mantida. Em adição a variação sazonal, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  da espécie *E. polystachya* variou significativamente (TSR 0,05) em relação à sua posição geográfica, tanto para a seca como para a descida das águas, C 6 e C 8, respectivamente (FIGURAS 16, 17, 18). Quanto mais para o interior do continente, maior foi o enriquecimento de  $^{13}\text{C}$  nestas gramíneas, ou seja, as gramíneas da região do alto Amazonas tiveram um valor menos negativo em comparação à gramíneas que habitam o baixo Amazonas. Curiosamente, MARTINS (1981) encontrou resultados opostos, analisando folhas de milho (*Zea mays*) que cresceram em Belém (próximo ao mar) e Manaus (aproximadamente 1.000 Km distante do mar). Nas primeiras houve um enriquecimento em  $^{13}\text{C}$  em relação as plantas desenvolvidas em Manaus.

Paralelamente, a determinação do  $\delta^{13}\text{C}$  de *E. polystachya*, durante o início da descida das águas (C 8), foram determinadas as razões iso-

tópicas de carbono de duas outras espécies de gramíneas de várzea. Membeca (*Paspalum repens*), que teve um  $\delta^{13}\text{C}$  médio de  $-15,2 \pm 0,2^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 6$ ) e Murim (*Paspalum fasciculatum*) com um valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-14,5 \pm 0,6^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 4$ ). Curiosamente, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  destas duas gramíneas foram significativamente diferentes ( $TW$  0,03 e 0,02 respectivamente) em relação aos valores determinados para *E. polystachya* (TABELA 14), evidenciando uma diferenciação intraespecífica na razão isotópica destas plantas.

No entanto, segundo JUNK (1970), 90% da população de gramíneas de várzea é formada por bancos de *E. polystachya* e *P. repens*. Em adição, devido ao enraizamento ao sedimento a espécie *E. polystachya*, geralmente ocupa as posições mais elevadas da margem. Enquanto *P. repens*, não sendo enraizada ao sedimento, ocupa um lugar mais abaixo, mais próximo à linha d'água em relação a *E. polystachya*. Portanto, a maioria das amostras de sedimentos foram coletadas sob bancos de *E. polystachya*. Desta forma o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  representativo das gramíneas de várzea será aquele de espécie *E. polystachya*, ou seja,  $-12,8^{\circ}/\text{oo}$ .

Além da determinação da razão isotópica destas gramíneas foi determinada a razão isotópica de quatro amostras de *Eicchornia crassipes*, (muriru na região e aguapê no Estado de São Paulo), macrófita aquática bastante dissimulada na região. O valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  destas quatro amostras foi de  $-32,1 \pm 1,2^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 4$ ) que é  $4,2^{\circ}/\text{oo}$  menor que o valor encontrado por HEDGES *et al.*, (1986) para duas amostras desta mesma planta. O valor de  $\delta^{13}\text{C}$  representativo desta planta será a média entre os valores encontrados neste estudo e no trabalho de HEDGES, ou seja,

-31,3 ‰. Finalmente, o valor representativo das macrófitas, não incluindo as gramíneas, será a média entre o  $\delta^{13}\text{C}$  de *Eicchornia crassipes* -31,3 ‰ e as outras duas macrófitas amostradas por HEDGE e colaboradores resultando num valor médio de  $-28,7 \pm 1,4$  ‰.

Além da vegetação, outra virtual fonte de carbono para o sedimento de várzea é o carbono incorporado ao sedimento transportado em suspensão pelo rio Amazonas, que é depositado nas várzeas, quando das grandes inundações.

A origem deste sedimento, bem como, sua composição isotópica de carbono foi bem caracterizada por HEDGES *et al.*, (1986). Segundo estes autores o carbono orgânico particulado fino (POCf), que está em bem maior quantidade em relação ao carbono orgânico particulado grosso (POCg), é composto de material húmico de origem no solo associado com minerais finamente granulados. O  $\delta^{13}\text{C}$  médio deste material foi de  $-27,0 \pm 0,1$  ‰ (n = 50), não se levando em conta variações temporais ou espaciais. As amostras para obtenção deste resultado foram coletadas durante os quatro primeiros cruzeiros do projeto CAMREX. Por outro lado, a composição do carbono orgânico particulado grosso (POCg) é constituída em média de 70-80% de folhas, 15 - 25% de material lenhoso e de 0 - 10% de gramíneas de várzea, sendo o  $\delta^{13}\text{C}$  deste material,  $-27,8 \pm 0,1$  ‰ (n = 48), próximo do  $\delta^{13}\text{C}$  do POCf. Portanto, a razão isotópica do carbono não é um bom parâmetro para separar estas duas fontes. Embora, para os cruzeiros 6, 7 e 8, que englobam o período de amostragem deste trabalho, a contribuição de carbono pela fração grossa em relação ao total foi em média de apenas  $16 \pm 2\%$  (n = 31). Considerando-se o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do POCf e do POCg determina

dos por HEDGES e colaboradores válidos para os períodos de amostragem deste estudo, consideração plausível uma vez que o  $\delta^{13}\text{C}$  do POC transportado pelo rio mostrou pouca variação nos quatro cruzeiros em que foi amostrado (HEDGES *et al.*, 1986); ter-se-á um valor ponderado de  $\delta^{13}\text{C}$  da fração total do carbono orgânico particulado em suspensão em torno de  $27,1^{\circ}/\text{oo}$ . Pois, deste total, 16% (POCf) tem valor médio de  $-27,8^{\circ}/\text{oo}$  e os  $84^{\circ}/\text{oo}$  (POCc) restantes têm valor médio de  $\delta^{13}\text{C}$  em torno de  $-27,0^{\circ}/\text{oo}$ . Portanto, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  assumido como representativo de carbono orgânico particulado, transportado pelo canal principal, será de  $-21,7^{\circ}/\text{oo}$ .

Em resumo, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das virtuais fontes de carbono para o sedimento de várzea, não se considerando variações sazonais ou espaciais são:  $-12,8^{\circ}/\text{oo}$  para a gramínea *E. polystachya*,  $-28,7^{\circ}/\text{oo}$  para outras macrófitas de várzea que não gramíneas,  $-30,1^{\circ}/\text{oo}$  para a vegetação arborea de várzea e finalmente  $-27,1^{\circ}/\text{oo}$  para o sedimento transportado em suspensão pelo rio Amazonas (FIGURA 20).

#### 4.4.5. Composição isotópica do carbono no sedimento de várzea do canal principal e possível origem

O valor médio do  $\delta^{13}\text{C}$  do sedimento de várzea foi de  $25,5 \pm 0,3^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 37$ ), não sendo considerada variação temporal ou espacial (TABELA 15). O total geral dos dados encontra-se no APÊNDICE 2.

Portanto, de acordo com este dado o carbono do sedimento de várzea tem na sua constituição uma mistura desigual das suas quatro naturais fontes, predominando as fontes empobrecidas em  $^{13}\text{C}$ , ou seja,

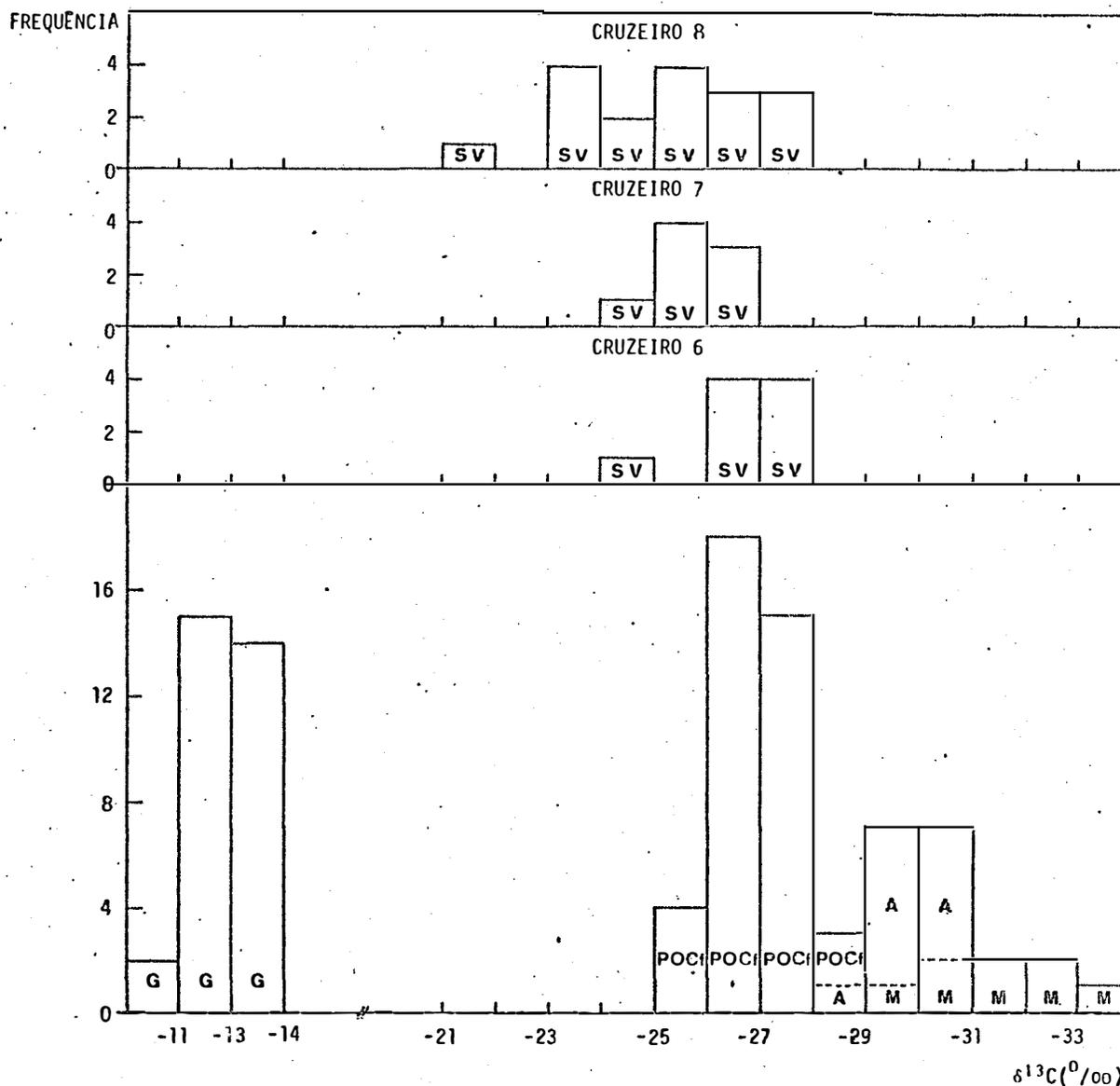


Figura 20. HISTOGRAMA DOS VALORES DE  $\delta^{13}C(‰)$  EM VÁRIOS COMPARTIMENTOS: G-GRAMÍNEAS (*E. polystachya*); POCf-CARBONO ORGÂNICO PARTICULADO FINO ( $<63\mu m$ ) TRANSPORTADO PELO RIO AMAZONAS; A-FOLHAS DE ÁRVORES DE OCORRÊNCIA NA VÁRZEA E TERRA FIRME; M-MACRÓFITAS AQUÁTICAS DO TIPO  $C_3$  E SV-SEDIMENTO DE VÁRZEA COLETADO DURANTE OS CRUZEIROS: 6 (PERÍODO DE SECA, OUT.-NOV., 1983), 7 (INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS, JAN.-FEV., 1984) E 8 (INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS, JUN.-JUL., 1984).

TABELA 15. VALORES DE  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) DO SEDIMENTO DE VÁRZEA PARA OS DIVERSOS LOCAIS AMOSTRADOS AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL. OS DADOS SÃO MÉDIAS DE TRÊS PROFUNDIDADES (C 7) E DE QUATRO PROFUNDIDADES (C 8). O TOTAL DOS DADOS ENCONTRA-SE NO APÊNDICE 2.

LOCAL	C R U Z E I R O		
	6	7	8
Vargem Grande	-27,6	-26,1	-27,4
S.A. Iça	-26,9	-27,2	-25,5
Xibeco	-26,4	-27,7	-
Bararuã	-	-26,8	-26,9
Tupe	-	-	-25,9
Inferno	-	-27,2	-
Mari-Mari	-26,5	-26,1	-25,2
Panamim	-	-26,6	-24,9
Jutica	-	-	-23,1
Itapeua	-23,9	-25,6	-25,6
Anori	-26,9	-25,4	-24,5
Manacapuru	-27,5	-23,8	-23,7
S.J. do Amajari	-	-25,6	-21,5
Paura	-	-	-27,3
Santa Luzia	-27,3	-25,1	-23,8
Caldeirão	-	-	-26,5
Obidos	-	-	-23,1

sedimento em suspensão, macrófitas de várzea que não gramíneas e vegetação arborea de várzea. Entretanto, pela localização das amostragens, na grande maioria das vezes junto a banco de gramíneas e pelas características flutuantes das outras macrófitas, proporcionando um menor contato sedimento-macrófitas; acredita-se que as duas principais fontes de carbono para o sedimento de várzea sejam o sedimento transportado pelo canal principal e as gramíneas. Assim sendo, pode-se através desta simplificação e utilizando-se diluição isotópica ou modelo de mistura com duas fontes ("two end-members mixing model") estimar a quantidade relativa dos dois "end-members" no sedimento de várzea. De acordo com este modelo, a contribuição de carbono das gramíneas para o sedimento depositado é de apenas 10%, sendo o restante fornecido pelo sedimento transportado em suspensão.

Porém, o valor mencionado (10%) é apenas uma média que não considera variações temporais e espaciais tanto nos valores de  $\delta^{13}\text{C}$  das gramíneas bem como no  $\delta^{13}\text{C}$  do material transportado pelo rio Amazonas e, como será visto, estas variações modificam bastante este panorama geral.

Nas amostras coletadas durante a seca (C 6), o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  no sedimento de várzea não variou significativamente, ou seja, os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  no alto Amazonas são semelhantes aos valores encontrados no baixo Amazonas (FIGURA 21). Por outro lado, durante o início da subida das águas (C 7), em direção ao baixo Amazonas, progressivamente as amostras de sedimento tornaram-se enriquecidas em carbono 13. O mesmo comportamento foi observado durante o início da descida das águas (FIGURAS 22 e 23).

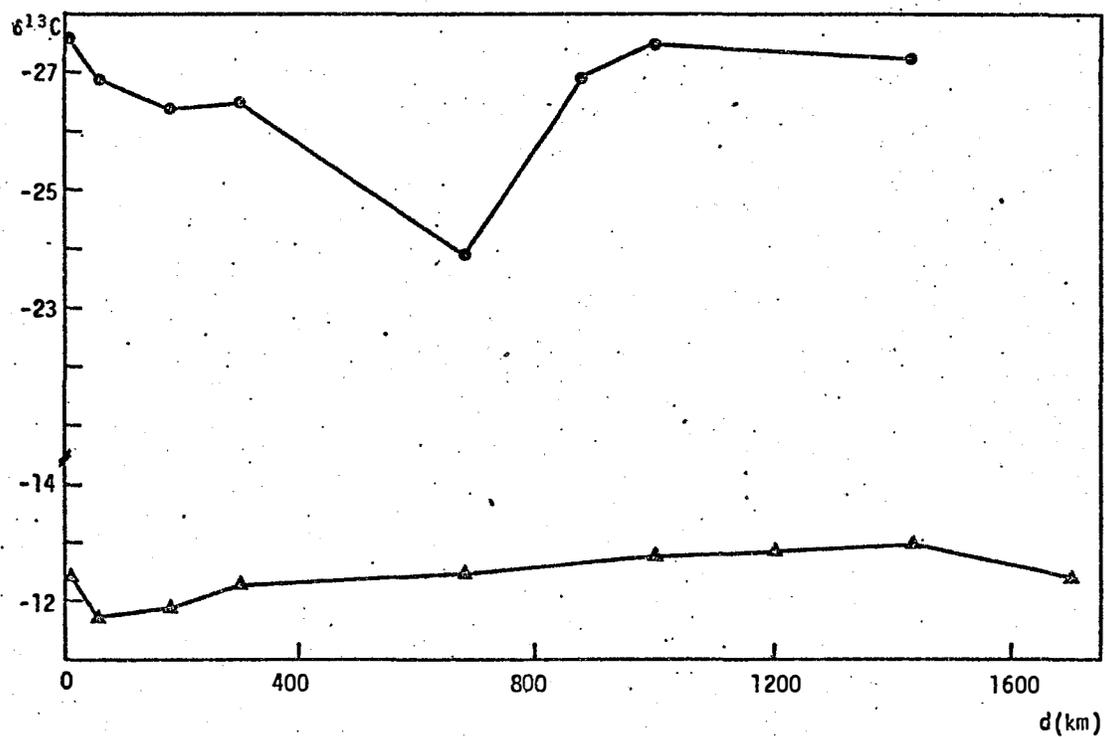


Figura 21. VARIACÃO NO VALOR DE  $\delta^{13}C$  (‰) EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS (●) E GRAMINEAS (▲) COLETADAS DURANTE O PERIODO DE SECA (C-6) AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.

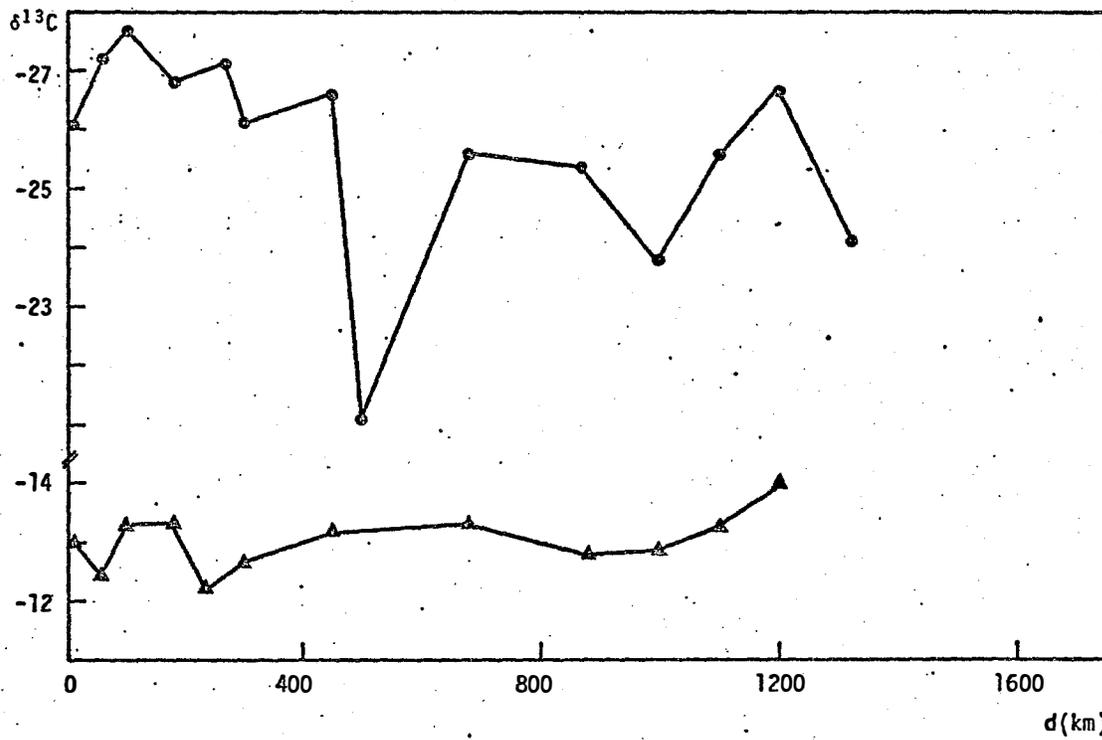


Figura 22. VARIACÃO NO VALOR DE  $\delta^{13}C$  (‰) EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS (●) E GRAMINEAS (▲) COLETADAS DURANTE O INICO DA SUBIDA DAS ÁGUAS (C-7) AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.

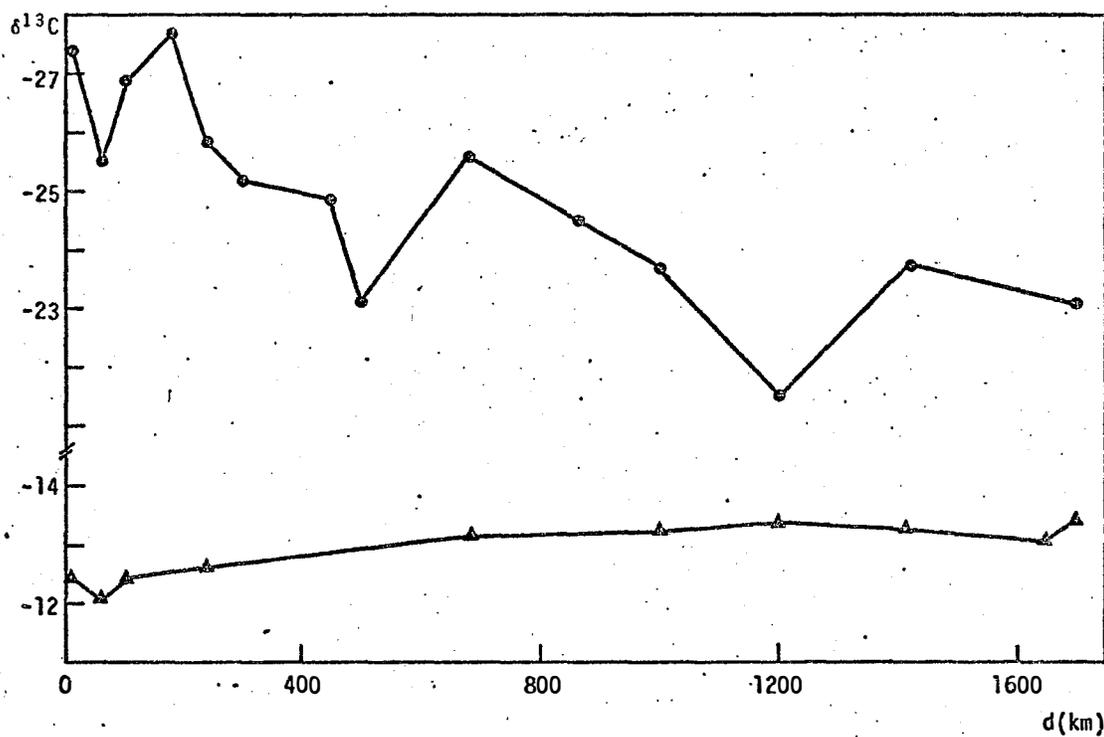


Figura 23. VARIAÇÃO NO VALOR DE  $\delta^{13}C$  (‰) EM AMOSTRAS DE SEDIMENTOS (●) E GRAMÍNEAS (▲) COLETADAS DURANTE O INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS (C-8) AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL.

Das possíveis fontes de carbono para o sedimento de várzea, a única que mostra um enriquecimento em  $^{13}\text{C}$  suficiente para gerar os valores mais pesados encontrados no sedimento de várzea é a gramínea *E. polystachya*, que apesar de mostrar um empobrecimento em  $^{13}\text{C}$  rio abaixo (FIGURAS 21,22,23), tem valores de  $\delta^{13}\text{C}$  suficientemente elevados para influenciar o aumento no  $\delta^{13}\text{C}$  do sedimento de várzea localizado rio abaixo.

Caso seja considerada a simplificação anteriormente mencionada, onde as fontes de carbono para o sedimento de várzea restringem-se a somente duas e, em adição, que o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do sedimento transportado pelo rio Amazonas não varie espacialmente e temporalmente. Pode-se calcular a contribuição relativa das duas fontes para o sedimento de várzea. Cumpre porém ressaltar que HEDGES *et al.*, (1986) em dois dos cruzeiros amostrados observou que os valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tornaram-se mais negativos rio abaixo.

Para o período de seca (C 6) a influência da gramínea no sedimento de várzea ao longo do canal principal foi mínima (TABELA 16) não havendo tendência nenhuma em direção ao baixo Amazonas. A exceção foi o local de coleta denominado S.J. do Amatari (1.130 km), 120 km após a confluência do rio Solimões com o rio Negro. Neste ponto, surpreendentemente a contribuição da gramínea chegou a 23% (TABELA 16).

Por outro lado, durante o início da subida das águas (C 7) a contribuição da gramínea para o sedimento de várzea aumentou significativamente rio abaixo (TSR 0,10). Esta mesma tendência se repetiu no início da descida das águas (TABELA 16), ou seja, à medida que o Amazonas corre para o mar, por alguns motivos, a quantidade de macrófitas incorporada ao sedimento aumenta significativamente (TSR 0,05).

TABELA 16. PARTICIPAÇÃO RELATIVA DO CARBONO DAS GRAMÍNEAS (*Echinochloa polystachya*) E DO SEDIMENTO TRANSPORTADO EM SUSPENSÃO (TSS) NO SEDIMENTO DE VÁRZEA\*. RESULTADOS EXPRESSOS EM PORCENTAGEM,

LOCAL	C R U Z E I R O					
	6		7		8	
	GR.	TSS	GR.	TSS	GR.	TSS
Vargem Grande	0,0	100,0	7,0	93,0	0,0	100,0
S.A. do Iça	1,0	99,0	0,0	100,0	11,0	89,0
Xibeco	5,0	95,0	0,0	100,0	-	-
Bararuã	-	-	2,0	98,0	2,0	98,0
Tupe	-	-	-	-	-	-
Inferno	-	-	-	-	-	-
Mari-Mari	4,0	96,0	7,0	93,0	-	-
Panamim	-	-	4,0	96,0	-	-
Jutica	-	-	-	-	-	-
Itapeua	23,0	77,0	11,0	89,0	11,0	89,0
Anori	-	-	12,0	88,0	-	-
Manacapuru	0,0	100,0	23,0	77,0	24,0	76,0
S.J. do Amajari	-	-	11,0	89,0	41,0	59,0
Paura	0,0	100,0	-	-	24,0	76,0
S. Luzia	-	-	-	-	-	-
Caldeirão	-	-	-	-	4,0	96,0
Óbidos	-	-	-	-	29,0	71,0

\* calculado pelo balanço isotópico  $\% \text{gramíneas} = \frac{\delta^{13}\text{C amostra} - \delta^{13}\text{C TSS}}{\delta^{13}\text{C GR.} - \delta^{13}\text{C TSS}} \times 100$

### DISCUSSÃO

No geral, a quantidade de gramínea incorporada ao sedimento de várzea parece ser bastante baixa (TABELA 16). Durante o período de seca esta contribuição foi muito baixa. Para os outros dois períodos a influência das gramíneas restringe-se à região do baixo Amazonas. Mesmo aí a maior proporção relativa de gramíneas no sedimento está ao redor de 20% com exceção do ponto S. J. do Amajari (110 km) que, durante o início da descida da água a influência da gramínea chegou a 40% (TABELA 16), muito embora, a influência das gramíneas no baixo Amazonas tenha sido, até certo ponto, subestimada. Pois, como observado por QUAY *et al.*, (no prelo) e HEDGES *et al.*, (1976), o  $\delta^{13}\text{C}$  do carbono orgânico particulado sofre um ligeiro decréscimo neste valor rio abaixo. Assim sendo, ao ser assumido constante este valor ( $\delta^{13}\text{C} = -27,1^{\circ}/\text{oo}$ ) ao longo do canal principal, subestimou-se a contribuição das gramíneas. Por exemplo, se no ponto de coleta Paura durante o cruzeiro 8 fosse assumido um valor de  $\delta^{13}\text{C}$  de  $-28^{\circ}/\text{oo}$ , para o POC do rio, a contribuição da macrófita passaria de 24% para 29%.

Até certo ponto este fato é surpreendente, pois devido à grande quantidade de biomassa produzida por estas gramíneas (JUNK, 1970, 1984) e sua rápida decomposição (JUNK & HOWARD-WILLIAMS, 1984) era esperado que a incorporação desta matéria orgânica ao sedimento ocorresse em maior proporção. Em adição, a literatura é farta em exemplos onde o  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica do solo reflete o  $\delta^{13}\text{C}$  de sua cobertura vegetal. Por exemplo: ambiente marinho a influência de *spartina alterniflora*, uma planta do tipo C4, é bastante acentuada no sedimento marinho à sua volta (FRY *et al.*, 1977; TAN

& STRAIN, 1983; SHERR, 1982 e FRY & SHERR, 1984). Também em ambiente terrestre o  $\delta^{13}\text{C}$  da matéria orgânica do solo é influenciada pela sua cobertura vegetal (NISSENBAUM & SCHALLINGER, 1974). NISSEMBAUM & KAPLAN (1972) encontraram valores de  $\delta^{13}\text{C}$  ao valor de  $-15^{\circ}/\text{oo}$  para ácidos húmicos de solo cuja cobertura vegetal era cana-de-açúcar, uma planta do tipo C4 que, portanto, apresenta  $\delta^{13}\text{C}$  ao redor de  $-12^{\circ}/\text{oo}$ .

Qual, porém, o destino da matéria orgânica produzida pelas gramíneas?

Devido à alternância de fases aquática e terrestre na várzea os produtos de decomposição das gramíneas podem fazer parte da cadeia trófica aquática, entrando no sistema via água de drenagem das várzeas. É comum nos rios da Amazônia a presença de "ilhas flutuantes" de gramíneas e macrófitas (JUNK, 1970, 1984 ; JUNK & HOWARD-WILLIAMS, 1984). Após o processamento químico, pela biota do rio, e físico pelo movimento da água, a fração remanescente poderia ser transportada em suspensão pelo canal principal. No entanto, pelo menos na fração que, devido ao seu tamanho foi coletada pelo amostrador utilizado (RICHEY *et al.*, no prelo), HEDGES *et al.*, (1986) encontraram baixa influência da gramínea no carbono orgânico particulado fino ( $<63\mu\text{m}$ ) e na fração grosseira. Estes autores obtiveram que a porcentagem de carbono oriundo das gramíneas neste sedimento variou somente entre 0 e 10%. Muito embora, possa ocorrer que a maior parte do material oriundo da decomposição das gramíneas seja suficientemente grande para que não possa ser coletado pelo amostrador utilizado (HEDGES, comunicação pessoal).

ERTEL *et al.*, (1986) caracterizaram a composição do material húmico transportado na forma de carbono dissolvido (DOC). Estes autores, também nesta fração, não encontraram uma influência significativa das gramíneas; citam ainda que a origem do DOC parece ser plantas vasculares, porém do tipo C 3 e não C 4. Em adição, QUAY *et al.*, (no prelo) determinaram a razão isotópica de carbono desta fração (DOC), encontrando um valor médio de  $-26^{\circ}/\text{oo}$  para  $\delta^{13}\text{C}$ , sendo que este valor pouco variou ao longo do canal principal. Valores de  $\delta^{13}\text{C}$  tão leves quanto  $-28,7^{\circ}/\text{oo}$  indicam plantas vasculares do tipo C 3 e não C 4 como fontes, de acordo com o encontrado por ERTEL *et al.*, (1986).

Outro possível destino para o carbono das gramíneas seria sua transformação para  $\text{CO}_2$  através dos processos de decomposição e consequentemente dissolução no sistema aquoso. Isotopicamente, o  $\text{CO}_2$  oriundo da decomposição refletirá a mesma característica do substrato que está sendo decomposto. Desta maneira, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  oriundo de plantas do tipo C 4 terá valores ao redor de  $-12^{\circ}/\text{oo}$  a  $-14^{\circ}/\text{oo}$ , enquanto o  $\text{CO}_2$  produzido pela decomposição de plantas C 3 terá valores ao redor de  $-26^{\circ}/\text{oo}$ . O  $\delta^{13}\text{C}$  do carbono inorgânico dissolvido variou em média de  $-12,3 \pm 0,2^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 7$ ) em Vargem Grande (0 km) a  $-15,3 \pm 0,6^{\circ}/\text{oo}$  ( $n = 7$ ) em Obidos (a 1.700 km leste de Vargem Grande). Portanto, rio acima o carbono inorgânico dissolvido acha-se enriquecido em  $^{13}\text{C}$  em relação ao DIC no baixo Amazonas. Segundo QUAY *et al.*, (no prelo) este empobrecimento em  $^{13}\text{C}$  rio abaixo é causado pelo aumento relativo de carbono inorgânico dissolvido oriundo das várzeas e tributários, os quais são empob-

enriquecidos em  $^{13}\text{C}$  (em média  $-26^{\circ}/\text{oo}$  a  $-27^{\circ}/\text{oo}$ ) em relação ao carbono inorgânico dissolvido oriundo do intemperismo de rochas carbonatadas Andinas, os quais os autores assumem ser bem mais rico em  $^{13}\text{C}$  ( $\delta^{13}\text{C} \approx 0^{\circ}/\text{oo}$ ). Logo, rio abaixo aumenta a quantidade de carbono inorgânico dissolvido oriundo da decomposição da matéria orgânica. Resta saber, quanto da respiração das plantas C 4 (gramínea) é responsável por este empobrecimento rio abaixo. Talvez, este empobrecimento em  $^{13}\text{C}$  no DIC rio abaixo seja a causa do progressivo empobrecimento em  $^{13}\text{C}$  observado nas gramíneas, principalmente de espécie *E. polystachya* (FIGURAS 22 e 23). Segundo MATSUI (comunicação pessoal) resultados preliminares mostraram que, ao redor da planta, o valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  atmosférico é próximo ao valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  que deixa o solo, havendo um gradiente da superfície em direção à atmosfera.

Em resumo, tanto no sedimento depositado na várzea como no sedimento transportado pelo rio a porcentagem média de carbono oriundo das gramíneas em relação ao total de carbono é de 10%. No carbono orgânico dissolvido (DOC) parece que a influência do carbono das gramíneas é bastante reduzida (ERTEL *et al.*, 1986; QUAY *et al.*, (no prelo). Finalmente, no carbono inorgânico dissolvido, uma das fontes de carbono parece ser o intemperismo das rochas carbonatadas dos Andes e outra fonte o  $\text{CO}_2$  produzido pela oxidação de plantas (QUAY *et al.*, no prelo). Contudo, a contribuição das gramíneas neste processo é ainda desconhecida.

Resta, portanto, considerar a perda de  $\text{CO}_2$  para atmosfera via decomposição da matéria orgânica das plantas tipo C 4 (gramíneas). QUAY & WILBUR (no prelo), analisando o  $\delta^{13}\text{C}$  do  $\text{CO}_2$  atmosférico sobre

o canal principal e utilizando-se das equações do balanço isotópico, encontraram que aproximadamente 20% do  $\text{CO}_2$  amostrado pode ser oriundo de gramíneas de várzea.

Assim sendo, o destino do carbono oriundo da decomposição das gramíneas para os vários compartimentos está ainda longe de ser completamente caracterizado. Para tanto, haverá necessidade de experimentos localizados, em menor escala, dentro de cada compartimento. Por exemplo, a utilização de matéria orgânica marcada com  $^{14}\text{C}$  ou  $^{15}\text{N}$  incorporada ao sedimento de várzea, caracterizando-se sua dinâmica dentro do sistema.

Além da relativamente baixa influência da matéria orgânica das gramíneas no sedimento de várzea, esta não é distribuída uniformemente ao longo do canal principal (TABELA 16). Na região do baixo Amazonas a incorporação da matéria orgânica das gramíneas ao sedimento de várzea é maior que na região do alto Amazonas (FIGURAS 22,23) durante o início da subida das águas (C 7) e durante sua descida (C 8).

Algumas hipóteses foram levantadas visando obter-se a explicação para esta heterogênea distribuição do  $^{13}\text{C}$  ao longo do canal principal.

A hipótese do autor leva em consideração a distribuição das gramíneas ao longo do canal principal. Visualmente, foi observado que a ocorrência de gramíneas parece ser maior na região do baixo Amazonas. Todavia, este critério está aberto a diversas críticas, principalmente por ser em critério bastante subjetivo. Em adição, mesmo as amostras coletadas na região do alto Amazonas foram amostradas, na maioria das vezes, sob banco de gramíneas. Contudo, na região do baixo Amazonas há um tipo de vegetação

denominada Campo de várzea, dominado por gramíneas, que não ocorrem na região do alto Amazonas (PRANCE, 1986). Caso esta hipótese esteja correta, a explicação para o maior enriquecimento em  $^{13}\text{C}$  no sedimento de várzea rio abaixo seria óbvio. Simplesmente, um efeito de quantidade. Mas, qual seria a explicação para a não ocorrência deste efeito durante a época seca (C 6)?

*Echinochloa polystachya* e *Paspalum repens*, que juntas perfazem 80-90% do total de gramíneas de várzea, têm sua principal época de crescimento durante o período de subida da água e de cheia (JUNK, 1970). Durante a seca, parte destas plantas morrem e se decompõem sob o sedimento e parte se adapta à condição terrestre. A única gramínea que tem sua principal fase de crescimento na seca é *Paspalum fasciculatum*. Talvez, a biomassa produzida durante este período aliada a condições hídricas do solo não tão favoráveis à decomposição (seca) levem a uma não incorporação de "carbono pesado" das gramíneas ao solo.

A segunda hipótese considera a possibilidade da ocorrência de um mecanismo de "spiralling" com o carbono das gramíneas, ou seja, quanto mais distante de Vargem Grande (0,0 km) no sentido da foz do Amazonas, maior a quantidade de "carbono pesado" estaria sendo transportado, depositado e resusperdido. Repetindo-se este ciclo inúmeras vezes, a cada deposição haverá um acréscimo de carbono-gramínea incorporado a este sedimento (VICTÓRIA, comunicação pessoal). O aumento progressivo e não abrupto no teor  $^{13}\text{C}$  do sedimento de várzea em direção à foz corrobora com esta hipótese. Porém, paralelamente ao enriquecimento em  $^{13}\text{C}$  no sedimento de várzea deveria ocorrer em enriquecimento semelhante no sedimento transportado em

suspensão. Entretanto, é observado exatamente o oposto, ocorre um empobrecimento no  $^{13}\text{C}$  do material em suspensão. Segundo HEDGES (comunicação pessoal) e QUAY (dados não publicados), este decréscimo é devido à entrada de tributários empobrecidos em  $^{13}\text{C}$  em adição à entrada de carbono oriundo da decomposição da matéria orgânica, também mais leve.

Finalmente, a última hipótese considera que uma mudança tão rápida no conteúdo isotópico de carbono em tão curto espaço de tempo somente pode ser explicada pela medição da razão isotópica de raízes de gramíneas que penetrarão no solo (HEDGES, comunicação pessoal). Em adição, este material deve ser suficientemente lábil para que desapareça do solo e durante o novo período de crescimento (subida da água e cheia) retorne ao solo. A não visualização desta característica rio acima seria devido à menor ocorrência de gramíneas nesta região.

Todas as considerações até aqui realizadas levam em conta que após a incorporação do carbono, de qualquer origem, no sedimento de várzea não haja alteração na relação isotópica  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  deste sedimento, ou seja, presume-se que não haja alterações no conteúdo isotópico devido a processos diagenéticos. Em adição, também não foram consideradas possíveis alterações na relação  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  durante a decomposição das gramíneas.

Segundo FRY & SHERR (1984), baseados numa minuciosa revisão bibliográfica, não foram observadas mudanças significativas maiores que 2‰ tanto durante a decomposição anaeróbica como aeróbica de plantas. Em adição, NISSENBAUM & KAPLAN (1972) e NISSENBAUM & SCHALLINGER (1974) mostraram não haver alterações significativas no valor de  $\delta^{13}\text{C}$  do material húmico do so

QUAY, P. (Universidade de Washington-USA), dados não publicados  
HEDGES, J.I. (Univ. de Washington - USA) comunicação pessoal, 1985

lo. Entretanto, MOZETO (comunicação pessoal) encontrou um enriquecimento progressivo em relação ao aumento da profundidade num perfil de solo.

Portanto, qualquer uma das hipóteses aqui consideradas apresentam aspectos não suficientemente claros para que qualquer uma delas seja tomada como definitiva. Talvez, as três sejam válidas e conjuntamente expliquem o fenômeno. Por outro lado, o reverso também é verdadeiro. Enfim, o enriquecimento do sedimento de várzea em  $^{13}\text{C}$  rio abaixo é um fato. Muito possivelmente a causa deste enriquecimento seja a contribuição do "carbono pesado" oriundo das gramíneas. Porém, as causas que levam a este enriquecimento diferenciado no sedimento de várzeas ao longo do canal principal, são ainda pouco entendidas.

---

Mozeto, A.A. (Univ. Fed. de S. Carlos) comunicação pessoal, 1986

## 5. CONCLUSÃO

Baseado nos resultados obtidos neste trabalho concluiu-se que:

(1) A concentração de cátions básicos trocáveis no sedimento de várzea do canal principal foi relativamente alta. A concentração de cálcio variou de 7,40 a 15,70 meq/100 g, magnésio de 1,10 a 3,80 meq/100 g, potássio de 0,05 a 0,33 meq/100 g e sódio de 0,04 a 0,25 meq/100g. Nos tributários, com exceção do rio Juruá, a concentração destes cátions no sedimento de várzea foi significativamente menor.

(2) O pH do sedimento de várzea do canal principal esteve próximo à neutralidade, variando de 5,6 a 7,2. Na várzea dos tributários o pH do sedimento de várzea foi significativamente menor. A concentração de alumínio no sedimento de várzea foi bastante baixa no canal principal, variando de 0,01 a 0,32 meq/100 g. Por outro lado, nos tributários, a concentração de alumínio foi significativamente maior.

(3) O valor de soma de bases (S) e capacidade de troca catiônica no sedimento de várzea do canal principal foram elevados, no entanto, não diferiram estatisticamente entre si. A média do valor S foi de  $13,61 \pm 0,43$  meq/100 g (n = 40) e da CTC  $13,90 \pm 0,43$  meq/100 g (n = 40).

(4) As diferenças na composição química do sedimento de várzea do canal principal e tributários foram atribuídas à diferença na composição do substrato geológico das bacias e no regime de erosão, atuando em cada uma delas.

(5) Durante o período de seca (C 6), a concentração dos cátions trocáveis no sedimento de várzea não variou significativamente entre as várzeas situadas rio acima e aquelas situadas rio abaixo.

Durante o início da subida das águas (C 7) a concentração de cátions trocáveis no sedimento depositado na várzea foi significativamente maior nas várzeas localizadas no alto Amazonas, diminuindo a concentração progressivamente em direção ao baixo Amazonas. A exceção foi a concentração de alumínio que apresentou uma tendência inversa.

Durante o início da descida das águas (C 8) a tendência observada foi praticamente a mesma. As exceções foram no comportamento do potássio e no do alumínio, que não tiveram suas concentrações significativamente alteradas rio abaixo.

(6) Provavelmente, a diferença na concentração dos cátions trocáveis no sedimento de várzea, em função da posição geográfica da várzea amostrada, seja explicada pelo decréscimo de cátions no material particulado em suspen

são transportado pelo rio Amazonas.

(7) Dentre os cations básicos trocáveis do sedimento de várzea do canal principal a variação na concentração em relação a diferentes épocas de amostragem foi restrita a magnésio e potássio.

(8) Provavelmente, a não existência de variabilidade temporal na concentração de cations do sedimento de várzea do canal principal seja devido à ciclagem de nutrientes promovida pelas gramíneas que habitam as várzeas.

(9) A concentração de nitrogênio total no sedimento de várzea do canal principal variou entre 0,07% a 0,215%.

(10) Em adição, a concentração de nitrogênio total não variou significativamente no abaixo em nenhum dos três períodos amostrados. Provavelmente, a causa para tanto seja a ciclagem bastante ativa deste elemento pela biota, devido a sua natureza limitante. Ainda, a concentração de nitrogênio no sedimento em suspensão transportado pelo rio Amazonas também não variou espacialmente, podendo ser esta uma outra explicação para o fato.

(11) A concentração de nitrogênio no sedimento de várzea não variou significativamente entre os três períodos amostrados.

(12) A mesma argumentação usada para justificar a não variação temporal na concentração de cations trocáveis foi utilizada neste caso. Em adição, o sedimento de várzea pode receber aportes de nitrogênio através de fixação de nitrogênio atmosférico, mascarando possíveis variações que possam ter ocorrido entre um período e outro.

(13) A concentração média de fósforo total no sedimento de várzea do canal principal foi de  $0,069 \pm 0,000\%$  ( $n = 16$ ), diminuindo a concentração significativamente rio abaixo. A causa para este fato é ainda pouco entendida.

(14) A concentração de carbono no sedimento de várzea do canal principal variou de 0,233 até 1,600%.

(15) Em adição, a concentração de carbono no sedimento de várzea do canal principal decresceu significativamente rio abaixo. As causas para este fato são bastante complexas. Por um lado, o carbono do sedimento de várzea tem algumas características semelhantes a do material orgânico particulado, principalmente fino, transportado pelo rio Amazonas. No entanto, por outro lado, entre os dois compartimentos existem diferenças tanto na relação C:N, como na concentração de carbono do sedimento transportado pelos rios e depositado na várzea.

(16) A concentração de carbono no sedimento de várzea do canal principal não variou significativamente entre os períodos amostrados.

(17) A principal fonte de carbono para o sedimento de várzea foi a matéria orgânica particulada, fração fina, transportada pelo rio Amazonas. A contribuição do carbono oriundo da decomposição das gramíneas foi maior na região do baixo Amazonas.

No entanto, como já ressaltado, a várzea é uma área bastante

extensa. Assim sendo, as conclusões apresentadas são válidas para a região em que as amostras foram coletadas, próximo à margem dos rios. Variações dentro do sistema como um todo não foram consideradas neste trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BEST, R.C.; 1984. The aquatic mammals and reptiles of the Amazon. In: Sioli, H., ed. The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a mighty Tropical Rivers and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 371 - 412.

BREMNER, J.M., 1965. Nitrogen availability indexes. In: BLOCK, C.A., ed. Methods of Soil Analysis. Part 2. Agronomy. Madison, American Society of Agronomy, p. 1324 - 1345.

BRINKMANN, W.L.F. e A. SANTOS 1973. Natural waters in Amazonia. IV. Soluble calcium properties. Acta Amazônica, Manaus, 3: 33 - 40.

BRINKMANN, W.L.F., 1985. Studies on Hydrobiogeochemistry of a Tropical Lowland Forest System. Geojournal, Dordrecht, 11: 89 - 101.

- BROWN, I.F., The use of simple statistics to show the uncertainty inherent in geochemical information (submetido a Jour. of Geoch. Educ.)
- BUCKMAN, H.O. e N.C. BRADY, 1976. Natureza e Propriedades dos Solos. 4a. ed. Rio de Janeiro, Freitas Bastos, p. 594.
- CAMPOS, H., 1983. Estatística Experimental não Paramétrica. 4a. ed. Piracicaba, 349 p.
- CATANI, C.A. e A.O. JACINTHO, 1974. Análise Química para avaliar a fertilidade do solo. Piracicaba, ESALQ/USP. Boletim Técnico Científico nº 37.
- COMISSÃO DE SOLOS, 1960. Levantamento de Reconhecimento dos Solos do Estado de São Paulo. Ministério da Agricultura. Boletim Técnico nº 12.
- DALL'OLIO, A.; E. SALATI; C.T. AZEVEDO e E. MATSUI, 1979. Modelo de Fracionamento isotópico da água na bacia Amazônica. Acta Amazônica, Manaus, 9: 675 - 687.
- DAVIS, L.C., 1964. The Amazon's rate of flow. Natural History, New York, 73: 14 - 19.
- DEINES, P., 1980. The Isotopic Composition of Reduced Organic Carbon. In: FRITZ, P. e J. Ch. FONTES, eds. Handbook of Environmental Isotope Geochemistry. Amsterdam, Elsevier, p. 329 - 393.

DEVOL, A.H.; T.M. ZARET, B.R. FORSBERG, 1984. Sedimentary organic matter diagenesis and its relations to the carbon budget of tropical Amazon floodplain lakes. Verh. Internat. Verein. Limnol., Stuttgart, 22: 1299 - 1304.

ERTEL, J.R.; J.I. HEDGES; A.H. DEVOL; J.E. RICHHEY. Dissolved humic substances of the Amazon River, system. Limn. and Ocean. (no prelo).

FITTKAU, E.J., 1971. Ökologische Gliederung des Amazonas gebietes auf geochemisches Grundlage. Forsch Geol. Palaöntol., Münster, 20: 35 - 50.

FITTKAU, E.J.; U. IRMLER; W.J. JUNK; F. REIS e G.M. SCHMIDT, 1975. Productivity, Biomass and Populations Dynamics in Amazonian Water Bodies. In: GOLLEY, F.B. e E. MEDINA, eds. Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Research. Berlin, Springer-Verlag. p. 289-312.

FORSBERG, B.R., 1984. Nutrient Processing in Amazon flood plain lakes. Verh. Internat. Verein Limnol. Stuttgart, 22: 1294 - 1298.

FORSBERG, B.; A. DEVOL; L.A. MARTINELLI e U. SANTOS. Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. (no prelo).

- FRANKEN, W.; P.R. LEOPOLDO; E. MATSUI; M.N.G. RIBEIRO, 1982 a. Interceptação das precipitações em floresta Amazônica de Terra-Firme. Acta Amazônica, Manaus, 12 (supl.): 15 - 22.
- FRANKEN, W.; P.R. LEOPOLDO; E. MATSUI; M.N.G. RIBEIRO, 1982 b. Estudo da interceptação da água de chuva em cobertura florestal Amazônica do tipo Terra-Firme. Acta Amazônica, Manaus, 12: 327 - 332.
- FRANKEN, W.; P.R. LEOPOLDO e H. BERGAMIN FILHO, 1985. Fluxo de nutrientes de Águas Naturais em Floresta de Terra Firme na Amazônia Central. In: Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests Problems for Research, Piracicaba, 1985. Piracicaba, CENA/USP.
- FRY, B.; R.S. SCALAN e P.L. PARKER, 1977. Stable Carbon Isotope Evidence for two Sources of Organic Matter in Coastal Sediments: Sea Grasses e Plankton. Geoch. et Cosmoch. Ac., New York, 41: 1875 - 1877.
- FRY, B. e E.B. SHERR, 1984. Measurements as Indications of Carbon Flow in Marine and Freshwater Ecosystems. Contr. in Mar. Sci., Austin, 27.
- FURCH K., 1984. Water chemistry of the Amazon Basin: The distribution of chemical elements among freshwaters. In: SIOLI, H., ed. The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 167 - 200.

- GARGANTINI, H.; F.A.S. COELHO; F. VERLENGIA e E. SOARES, 1970. Levantamento de Fertilidade dos Solos do Estado de São Paulo. Secr. Agric. Est. São Paulo, Inst. Agrônômico.
- GEARING, J.N.; P.J. GEARING; D.F. RUNDNICK; A.G. RE e M.J. HUTCHINS, 1984. Isotope Variability of Organic Carbon in a Phytoplankton based temperate Estuary. Geoch. et Cosmoch. Ac., New York, 48: 1089 - 1098.
- GIBBS, J.R., 1964. The Geochemistry of the Amazon Basin. San Diego, Univ. of California, 95 p (PhD Thesis).
- GOULDING, M., 1986. Forest Fishes of the Amazon. In: PRANCE G.T. e T.E. LOVEJOY, eds. Amazonia. Oxford, Pergamon Press, p. 307 - 327.
- GRIM, R.E., 1968. Clay Mineralogy. 2a. ed. New York, McGraw-Hill, p. 51-121.
- HEDGES, J.I. e P.L. PARKER, 1976. Land-derived organic matter in surface Sediments from the Gulf of Mexico. Geoch. et Cosmoch. Ac., New York, 40: 1019 - 1029.
- HEDGES, J.I.; W.A. CLARK; P.D. QUAY; J.E. RICHEY; A.H. DEVOL e U.M. SANTOS, 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. Limn. on Ocean. (no prelo)
- HERRERA, R., 1986. Nutrient Cycling in Amazonian Forests. In: PRANCE, G.T. e T.E. LOVEJOY, eds. Amazonia. Oxford, Pergamon Press, p. 95 - 108.

IRION, G., 1976. Mineralogisch - geochemische Untersuchungen and der pilitischen fractions Amazonischer Oberböders und Sedimente. Biogeographica, The Hague, 7: 7 - 25.

IRION, G., 1978. Soil Infertility in the Amazon Rain Forest. Naturwissenschaften, Berlin, 65: 515 - 519.

IRION, G., 1984 a. Sedimentation and sediments of Amazon rivers and evolution of the Amazon landscape since Pleocine time. In: SIOLI, H. ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of might Tropical Rivers and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 201 - 203.

IRION, G., 1984 b. Clay Minerals of Amazonian soils. In: SIOLI, H. ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 537 - 577.

JORDAN, C.F. e J. HEUNELDOP, 1981. The water budget of an Amazonian rain forest. Acta Amazônica, Manaus, 11: 87 - 92.

JORDAN, C.F.; W. CASKEY; G. ESCALANTE; R. HERRERA; F. MONTAGINI; R. TODD e C. UHL, 1982. The nitrogen cycle in a "terra-firme" rain forest on oxisol in the Amazon territory of Venezuela. Plan and Soil, The Hague, 67: 325 - 332.

- JORDAN, C.F., 1986. Soils of Amazon Rainforest. In: PRANCE, G.T. e T.E. LOVEJOY, eds. Amazonia. Oxford, Pergamon Press. p. 83 - 94.
- JORGE, T.A. e J. VALADARES, 1969. Formas de Fósforo em solos do Estado de São Paulo. Bragantia, Campinas, 28: 23.- 30.
- JUNK, W., 1970. Investigations on the Ecology and Production - Biology of the "Floating Meadows" (*Paspalo-Echinochoetun*) on the middle Amazon. Part I: The floating vegetations and its ecology. Amazoniana, Kiel, 2: 449 - 496.
- JUNK, W., 1973. Investigation on the Ecology and Production - Biology of the "Floating Meadows" (*Paspalo-echinochoetun*) on the middle Amazon. Part II: The aquatic fauna in the root zone of floating vegetations. Amazoniana, Kiel, 4: 9 - 102.
- JUNK, W.I., 1980. Areas inundáveis - um desafio para a limnologia. Acta Amazônica, Manaus, 10: 775 - 796.
- JUNK, W.J., 1984. Ecology of the várzea floodplains of Amazonan white-water rivers. In: SIOEI, H., ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 271 - 293.

- JUNK, W.J. e C. HOWARD-WILLIAMS, 1984. Ecology of Aquatic Macrophytes in Amazon. In: SIOLI, H., ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical Rivers and its Basin. Dordrecht, Dr. Junk Publishers. p. 271 - 283.
- KLAMMER, G., 1984. The relief of the extra Andian Amazon basin. In: SIOLI, H. ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 49-83.
- KLINGE, H., 1967. Podzol soils: a source of blachwater river in Amazônia. In: Atas do Simpósio sobre a biota Amazônica, 3, Rio de Janeiro, 1967. Rio de Janeiro, Conselho Nacional de Pesquisa, p. 117 - 126.
- KLINGE, H. e W.A. RODRIGUES, 1968. Litter productions in an area of Amazonian terra firme forest. I. Amazoniana, Kiel, 1: 287 - 302.
- KLINGE, H.; W.A. RODRIGUES; E. BRUNING e E.J. FITTKAU, 1975. Biomass and Structures in a Central Amazonian Rain Forest. In: GOLLEY, F.B. e E. MEDINA, eds., Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Research. Berlin, Springer - Verlag, p. 115 - 122.
- KUHMANN, E. 1977. Vegetação. In: Geografia do Brasil - Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE, p. 59 - 90.

- LAZERTE, B., 1983. Stable Carbon Isotopes Ratios: implications for the source of sediment carbon and for phytoplankton carbon assimilation in Lake Memphremagog, Quebec. Can. J. Fish Aquatic Sci., Ottawa, 40:1658-1668.
- LEOPOLDO, P.R.; W. FRANKEN e E. SALATI, 1982 a. Balanço hídrico de pequena bacia hidrográfica em floresta Amazônica de Terra-firme. Acta Amazônica, Manaus, 12: 333 - 338.
- LEOPOLDO, P.R.; W. FRANKEN; E. MATSUI e E. SALATI, 1982 b. Estimativa da evapotranspiração de floresta Amazônica de Terra-Firme. Acta Amazônica, Manaus, 12: (supl.) 23 - 28.
- LIMA, W. de P., 1976. Interceptação da chuva em povoamento de eucalipto e pinheiro, IPEF, Piracicaba, 13: 75 - 90.
- LOPES, V.B.; U.M. SANTOS e M.N.G. RIBEIRO, 1983. Liminologia química do lago do Arroz (ilha do Careiro), suas flutuações em função do meio hídrico do rio Amazonas. Acta Amazônica, Manaus, 13: 227 - 254.
- MALAVOLTA, E., 1976. Manual de Química Agrícola. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 453 p.
- MALAVOLTA, E., 1979. Potássio, Magnésio e Enxofre nos Solos e Culturas Brasileiras. Piracicaba, Instituto de Potássio e Fosfato, 92 p.

- MARQUES, J.A.; J.M. SANTOS; N.A. VILLA NOVA e E. SALATI, 1977. Precipitable water and water vapour flux between Belém and Manaus. Acta Amazônica, Manaus, 7: 355 - 362.
- MARQUES, J.; J.M. SAUTOS e E. SALATI, 1979. O armazenamento atmosférico de vapor d'água sobre a região Amazônica. Acta Amazônica, Manaus, 9: 715 - 721.
- MARQUES, J.; E. SALATI e J.M. dos SANTOS, 1980. Cálculo da evapotranspiração real na bacia Amazônica através do método aerológico. Acta Amazônica, Manaus, 10: 357 - 361.
- MARTINELLI, L.A.; P.C. TRIVELIN; R.L. VICTÓRIA; G. SHEARER e J.E. RICHEY, 1984. Fixação Simbiótica de Nitrogênio nas Várzeas da Amazônia. Uma possível fonte de N-NO<sub>3</sub> para o rio. In: Seminário Regional sobre o uso de Radioisótopos em estudos das relações Solo-Planta-Atmosfera. Piracicaba, 1984. Piracicaba, CENA/USP.
- MARTINS, D., 1981. Variações Naturais de concentração de CO<sub>2</sub> e da razão isotópica <sup>13</sup>C/<sup>12</sup>C no ar atmosférico. Piracicaba, ESALQ/USP. (Tese de Mestrado).
- McGILL, W.B. e E.K. CHRISTIE, 1983. Biogeochemical Aspects of Nutrient Cycle Interactions in Soils and Organisms. In: BOLIN, B. e R.B. COOK, eds. The Major Biogeochemical Cycles and Their Interactions. Chichester, John Wiley e Sons. p. 271 - 296.

- MEADE, R.H.; T. DUNNE, J.E. RICHEY; U. SANTOS e E. SALATI, 1985. Storage and Remobilization of Suspended Sediment in the Lower Amazon River of Brazil. Science, Washington, 228: 488 - 490.
- MEGGERS, B.J., 1984. The indigenous people of Amazonia, their cultures, land use patterns and effects on the landscape and biota. In: SIOLI, H., ed. The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical Rivers and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 627 - 648.
- MEGGERS, B.J., 1986. Aboriginal adaptation to Amazonia. In: PRANCE, G.T. e T.M. LOVEJOY, eds., Amazonia. Oxford, Pergamon Press, p. 307 - 327.
- MOLION, L.C., (1979), 1975. A climatonic study of the energy and moisture fluxes of the Amazon basin with considerations of deforestation effects. Madison, Univ. of Wisconsin (PhD Thesis).
- MELLILO, J.M. e J.R. GOSZ, 1983. Interactions of Biogeochemical Cycles in Forest Ecosystems. In: BOLIN, B. e R.B. COOK, eds. The Major Biogeochemical Cycles and their Interactions. Chichester, John Wiley & Sons., p. 177 - 217.
- MORTATTI, J.; E. SALATI; R.L. VICTÓRIA e M.N.G. RIBEIRO, 1985. Analysis of the Isotopic Behaviour of Hydrogen and Oxygen of Water in The Main Channel of the River Solimões/Amazon. SCOPE/UNEP HEFT 58, Hamburgo, p. 259 - 266.

NIMER, E., 1977. Clima. In: Geografia do Brasil - Região Norte. Rio de Janeiro, IBGE, p. 39 - 58.

NISSEMBAUM, A. e I.R. KAPLAN, 1972. Chemical and Isotope Evidence for in Origin of Marine Humic Substances. Limnol. and Ocean., Baltimore, 17: 570 - 582.

NISSEMBAUM, A.E. e M. SCHALLINGER, 1974. The distribution of the Stable Carbon Isotope ( $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$ ) in fractions of Soil Organic Matter. Geoderma, Amsterdam, 11: 137 - 145.

NODA, H.; W.J. JUNK e A. PAHLEN, 1978. Emprego de macrófitas aquáticas ("Matupa") como fonte de matéria orgânica para cultura de feijão-de-asa (*Psophocarpus tetragonolobus*) em Manaus. Acta Amazônica, Manaus, 8: 107 - 109.

ODUM, E.P., 1969. The strategy of ecosystem development. Science, Washington, 164: 262 - 270.

ODUM, E.P., 1971. Fundamentals of Ecology. London, W.B. Saunders Company, 574 p.

OLTMANN, R.E., 1967. Reconnaissance investigations of the discharge and water quality of the Amazon. In: Atas do Simpósio sobre a Biota Amazônica, Rio de Janeiro, 1967. Rio de Janeiro. Conselho Nacional de Pesquisa, p. 163-186.

PIRES, J.M., 1984. The Amazon Forest, In: SIOLI, H., ed, The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical Rivers and its Basin, Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 581 - 602.

PIRES, J.M. e G.T. PRANCE, 1986. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE G.T. e T.E. LOVEJOY, eds. Amazonia. Oxford, Pergamon Press, p. 109 - 145.

POGGIANI, F., 1985. Nutrient Cycling in *Eucalyptus* and *Pinus* Plantations Ecosystems, Silvicultural Implications. In: Workshop on Biogeochemistry of Tropical Rain Forests: Problems for Research, Piracicaba, 1985. Piracicaba, CENA/USP.

PRANCE, G.T., 1986. The changing forests. In: PRANCE, G.T. e T.M. LOVEJOY, eds. Amazonia. Oxford, Pergamon Press, p 146 - 165.

PROJETO RADAM-BRASIL, 1982. Folha SA-20 Manaus. Rio de Janeiro, Ministério de Minas e Energia , 619 p (Levantamento de Recursos Naturais, 18).

PUTZER, H., 1984. The geological evolution of the Amazon Basin and its mineral resources. In: SIOLI, H., ed. The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 15 - 45.

- QUAY, P.D.; D.O. WILBUR; M. STUIVER; J.I. HEDGES; A.H. DEVOL; J.E. RICHEY,  
 $^{13}\text{C}$  Composition of Particulate and Dissolved Carbon in the Amazon River:  
Implications about Carbon Cycling (no prelo).
- QUAY, P. e D. WILBUR. Atmospheric  $\delta^{13}\text{C}$  -  $\text{CO}_2$  levels in the Amazon Basin:  
A preliminary assesment (no prelo).
- RAI, H. e G. HILL, 1980. Classification of Central Amazon Lakes on the Basis  
of their microbiological and physico-chemical characteristics. Hydrobiol.  
Sophia, 72: 85 - 99.
- RAI, H e G. HILL, 1984. Primary production in the Aquatic Ecosystem. In:  
SIOLI, H., ed. The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might  
Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers p. 311 -  
336.
- RANZANI, G., 1979. Recursos pedol\u00f3gicos da Amaz\u00f4nia. Acta Amaz\u00f4nica, Manaus  
9: (supl.): 23 - 25.
- RIBEIRO, M.N.G. e N.A. VILLA NOVA, 1979. Estudos climatol\u00f3gicos da Reserva  
Florestal Ducke, Manaus, AM. III. Evapotranspira\u00e7\u00e3o. Acta Amaz\u00f4nica,  
Manaus, 9: 305 - 310.
- RICHEY, J.E.; J.T. PRANCE; R.J. NAIMAN; R.C. WISSMAR; R.F. STALLARD, 1980.  
Organic Carbon: Oxidation and Transport in the Amazon River. Science,  
Washington, 207: 1348 - 1351.

- RICHEY, J.E., 1982. The Amazon River System . A Biogeochemical Model. In: DEGENS, E.T., ed. Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers. Part I, Hamburg, SCOPE/UNEP HEFT 52, p. 365 - 378.
- RICHEY, J.E.; R.H. MEADE; E. SALATI; A.H. DEVOL; C.F. NORDIN; U. SANTOS. Water Discharge and Suspended Sediment Concentration in the Amazon River. 1982-1984. Wat. Res. Resear. (no prelo)
- SACKETT, W.M., 1964. The Depositional History and Isotopic Organic Carbon Compositional of Marine Sediments. Marine Geology, Amsterdam, 2: 173-185.
- SALATI, E.; J. MARQUES e L.C.B. MOLION, 1978. Origem e distribuição das chuvas na Amazônia. Interciência, Caracas, 3: 200 - 206.
- SALATI, E.; A. DALL'OLIO; E. MATSUI e J.R. GAT, 1979. Recycling of water in the Amazon Basin: an Isotopic Study. Wat. Res. Research, Washington, 15: 1250 - 1258.
- SALATI, E.; R. SYLVESTER-BRADLEY e R.L. VICTÓRIA, 1982. Regional gains and losses of nitrogen in the Amazon Basin. Plant and Soil, The Hague, 67: 367 - 376.
- SALATI, E. e J. MARQUES, 1984. Climatology of the Amazon Region. In: SIOLI, H., ed. The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 85 - 126.

- SALATI, E., 1986. Climatology and Hydrology of Amazonia. In: PRANCE, G. T., e T.E. LOVEJOY, eds. Amazonia. Oxford, Pergamon Press. p. 267 - 276.
- SANCHEZ, P.A.; D.E. BANDY; J.H. VILLACHICA e J.J. NICHOLAIDES; 1982. Amazon Basin Soils: Management for Continuous Crop Productions. Science, Washington, 216: 821 - 827.
- SCHMIDT, G.W., 1973 a. Primary Production of Phytoplankton in the three types of Amazonian Waters. I. The Limnology of a Tropical Floodplain lake in Central Amazonia (lago do Castanho). Amazoniana, Kiel, 2: 139 - 204.
- SCHMIDT, G.W., 1973 b. Primary Production of Phytoplankton in the three types of Amazonian waters. II. Primary productivity of phytoplankton in a tropical flood-plains lake of a Central Amazonia. Lago do Castanho, Amazonas, Brasil. Amazoniana, Kiel, 4: 379 - 404.
- SCHUBART, H.O.R., 1983. Ecologia e utilização das florestas. In: EA SALATI, H.O.R. SCHUBART, W.J. JUNK e A. OLIVEIRA, eds., Amazonia desenvolvimento, integração e ecologia. São Paulo, Brasiliense/CNPq, p. 101 - 143.
- SHERR, E.B., 1982. Carbon isotope composition of organic seston and sediments in a Georgia salt marsh estuary. Geoch. et Cosmoch. Ac., New York, 46: 1227 - 1232.

- SILVESTER-BRADLEY, R.; L.A. DE OLIVEIRA; J.A. PODESTA FILHO e T.V. ST. JOHN, 1980. Nodulation of legumes, nitrogenase activity of roots, and occurrence of nitrogen-fixing *Azospirellens spp.* in representative soil of Central Amazonia. Agroecosystems, Washington, 6: 249 - 266.
- SIOLI, H., 1968. Hydrochemistry and Geology in the Brazilian Amazon Region. Amazoniana, Kiel, 1: 267 - 277.
- SIOLI, H., 1975 a. Tropical River: The Amazon. In: B.A. WHITTON, ed. River Ecology. Berkeley, U.C. Press. p. 461 - 487.
- SIOLI, H., 1975 b. Tropical River as Expressions of their Terrestrial Environments: In: GOLLEY, F.B. e E. MEDINA, eds., Tropical Ecological Systems Trends in Terrestrial and Aquatic Research. Berlin, Springer-Verlag. p. 289 - 312.
- SIOLI, H., 1984. The Amazon and its main affluents: Hydrography, morphology of the river courses and river types. In: SIOLI, H. ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 127 - 165.
- SMITH, B.N. e S. EPSTEIN, 1971. Two Categories of  $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$  ratios for Higher Plants. Plant. Phys., Washington, 47: 330 - 384.
- SOMBROEK, W.G., 1984. Soils of the Amazon region. In: SIOLI, H., ed., The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin. Dr. Junk Publishers, p. 523 - 535.

- STALLARD, R.F. e J.M. EDMOND, 1983. Geochemistry of the Amazon 2. The influence of geology and weathering environment of the dissolved load. J. of Geoph. Res., Washington, 88: 9671 - 9688.
- TAN, F.C. e P.M. STRAIN, 1983. Sources, Sinks and Distribution of organic carbon in the St Lawrence estuary, Canadá. Geoch. et Cosmoch. Ac., New York, 47: 125 - 132.
- THOMPSON, L.M. e F.R. TROEH. Soils and Soil Fertility. 4a. ed. New York, McGraw-Hill, 495 p.
- VANNOTE, R.L.; G.W. MINSHALL; K.W. CUMMINS; J.R. SEDELL e C.E. CUSHING, 1980. The River Continuum Concept. Can. J. Fish. Aquat. Sci., Ottawa, 37: 130 - 137.
- VAN RAIJ, B., 1983. Avaliação da Fertilidade do Solo. 2a. ed. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, 142 p.
- VERDADE, F.C., 1960. Composição química de alguns solos do Estado de São Paulo. Elemento K, Na, Ca e Mg. Bragantia, Campinas, 19: 547 - 565.
- VICTÓRIA, R.L.; L.A. MARTINELLI; P.C.O. TRIVELIN e P.B. CAMARGO, 1985. Destino do Nitrogênio Aplicado a Gramíneas Tropicais, utilizando-se <sup>15</sup>N, em condições de Casa-de-Vegetação: Resultados Preliminares. In: Simpósio sobre Ciclagem de Nutrientes em Ecossistemas Aquáticos e Terrestres, São Carlos, 1985. Univ. Fed. de São Carlos.

VIEIRA, L.S., 1975. Manual da Ciência do Solo. São Paulo, Editora Agronômica Ceres Ltda, 453 p.

VILLA NOVA, N.A.; E. SALATI e E. MATSUI, 1976. Estimativa da evapotranspiração na bacia Amazônica. Acta Amazônica, Manaus, 6: 215 - 228.

APÊNDICES

- APÊNDICE 1. CONCENTRAÇÃO DE Al + H, Ca, Mg, K e Na (EXPRESSO EM meq/100 g); NITROGÊNIO TOTAL - Nt E CARBONO ORGÂNICO - C org. (EXPRESSOS EM PORCENTAGEM); FÓSFORO TOTAL - Pt (EXPRESSOS EM ppm) E pH NO SEDIMENTO DE VÁRZEA AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL E TRIBUTÁRIOS COLETADOS DE FORMA INTEGRADA\*NO CRUZEIRO 6 E EM TRÊS PROFUNDIDADES\*\* DURANTE OS CRUZEIROS 7 e 8 (PARA DETALHES VER ÍTEM 2).

C R U Z E I R O 6										
LOCAL		H+Al	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Vargem Grande										
	I*	0,13	9,1	1,8	0,05	0,09	7,1	0,099	-	0,320
S.A. do Iça										
	I	0,10	11,8	2,4	0,22	0,09	6,8	0,155	-	1,600
Xibeco										
	I	0,10	10,3	1,8	0,15	0,08	7,1	0,106	-	0,640
Mari-Mari										
	I	0,10	11,8	2,5	0,10	0,09	6,8	0,120	-	1,040
Itapeua										
	I	0,17	11,7	2,3	0,17	0,11	6,2	0,148	-	0,400
Anori										
	I	0,17	9,7	1,8	0,16	0,12	6,8	0,106	-	0,560
Manacapuru										
	I	0,23	11,4	4,2	0,14	0,21	6,3	0,120	-	0,560
Paura										
	I	0,24	7,4	1,1	0,10	0,07	6,5	0,049	-	0,151
Óbidos										
	I	0,31	11,9	2,5	0,18	0,12	5,8	0,207	-	0,890
TRIBUTÁRIOS										
Içã										
	I	1,62	7,0	2,5	0,10	0,07	5,6		-	
Juruã										
	I	7,36	10,6	4,1	0,17	0,13	4,9		-	
Japurã										
	I	0,08	11,9	1,8	0,20	0,11	7,0		-	

Cont ...

LOCAL		H+A1	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Purus	I	0,49	7,6	2,2	0,10	0,06	5,1		-	
Madeira	I	0,25	5,7	2,0	0,13	0,04	6,1		-	
C R U Z E I R O 7										
Vargem Grande	1**	0,19	11,1	2,9	0,12	0,09	6,7	-	-	-
	2	0,22	8,4	1,5	0,11	0,07	7,4	-	-	-
	3	0,21	8,8	1,7	0,12	0,10	7,6	-	-	-
S. A. do Iça	1	0,40	12,7	3,5	0,16	0,13	6,3	0,234	-	1,714
	2	0,25	13,1	3,6	0,16	0,11	6,6	0,201	-	1,200
	3	0,10	13,1	3,6	0,13	0,10	7,0	0,163	-	0,943
Bararua	1	0,20	13,1	2,7	0,21	0,13	7,0	0,034	-	0,410
	2	0,22	7,6	1,6	0,12	0,06	7,1	0,081	-	0,392
	3	0,23	12,3	3,1	0,13	0,10	7,1	0,109	-	0,545
Xibeco	1	0,17	15,8	3,8	0,23	0,11	6,9	0,207	-	0,991
	2	0,23	15,8	4,0	0,18	0,11	6,8	0,312	-	1,000
	3	0,22	12,7	3,1	0,13	0,10	7,0	0,132	-	0,551
Inferno	1	0,22	10,7	2,2	0,13	0,07	6,9	0,107	-	0,403
	2	0,22	12,7	2,5	0,13	0,08	7,0	0,086	-	0,526
	3	0,22	14,3	3,2	0,17	0,10	6,9	0,125	-	0,586
	4	0,23	16,3	3,5	0,19	0,10	6,8		-	

Cont ...

LOCAL		H+A1	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Mari-Mari	1	0,09	16,0	3,4	0,30	0,20	7,5	0,234	-	1,001
	2	0,23	11,7	2,8	0,10	0,20	6,9	0,277	-	0,630
	3	0,28	9,7	2,6	0,10	0,10	6,9	0,163	-	0,755
	4	0,27	13,5	2,5	0,20	0,10	7,1	-	-	-
Panamim	1	0,06	14,8	3,1	0,15	0,10	7,3	0,201	-	0,792
	2	0,19	11,7	3,7	0,17	0,19	6,4	0,161	-	0,708
	3	0,18	12,9	3,9	0,17	0,13	6,3	0,209	-	0,529
Jutica	1	0,35	9,5	3,5	0,13	0,20	6,6	0,112	-	0,360
	2	0,30	9,5	4,4	0,13	0,25	7,0	0,209	-	0,324
	3	0,30	9,9	5,3	0,14	0,29	7,1	0,153	-	0,133
Itapeua	1	0,38	11,7	2,3	0,17	0,11	6,2	0,003	-	-
	2	0,26	12,3	2,9	0,13	0,13	6,6	0,201	-	-
	3	0,26	11,1	3,2	0,13	0,14	6,7	0,181	-	-
	4	0,26	11,3	3,4	0,12	0,15	6,9	-	-	-
Anori	1	0,40	9,7	1,8	0,16	0,12	6,8	0,120	-	0,703
	2	-	-	-	-	-	-	-	-	0,265
	3	0,25	9,1	2,0	0,10	0,10	6,4	0,152	-	0,474
Manacapuru	1	0,44	10,3	2,2	0,07	0,05	5,9	0,135	-	-
	2	0,41	8,6	2,1	0,17	0,05	5,9	-	-	-
	3	0,35	8,6	2,0	0,20	0,09	6,2	0,086	-	-
Amatari	1	0,30	6,9	0,9	0,12	0,04	6,5	0,063	-	0,123
	2	0,29	8,4	1,2	0,10	0,04	6,7	0,076	-	0,279
	3	0,26	8,0	1,2	0,10	0,05	6,7	-	-	0,298

Cont

LOCAL		H+Al	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Itacoatiara	1	0,73	8,2	2,6	0,12	0,12	5,7	0,220	-	-
	2	0,75	8,0	2,3	0,12	0,15	5,8	0,180	-	-
	3	0,39	7,4	2,6	0,20	0,13	6,2	0,135	-	-
Santa Luzia	1	0,29	9,1	2,0	0,16	0,08	6,4	0,128	-	0,580
	2	0,28	9,1	2,1	0,09	0,13	6,1	0,118	-	0,454
	3	0,31	6,5	1,6	0,07	0,10	6,5	0,054	-	0,201
Careiro	1	0,26	9,5	1,6	0,13	0,07	6,1	0,110	-	-
	2	0,41	9,6	1,7	0,14	0,08	5,7	0,110	-	-
	3	0,40	9,7	1,8	0,10	0,08	6,0	0,120	-	-
TRIBUTÁRIOS										
Iça	1	3,89	4,8	1,5	0,14	0,08	5,0	0,237	-	1,714
	2	7,96	2,9	1,6	0,12	0,11	4,7	0,280	-	1,200
	3	8,93	2,3	2,1	0,11	0,15	4,8	0,240	-	0,943
Jutai	1	1,36	8,0	1,4	0,11	0,10	5,4	0,176	-	-
	2	1,24	8,1	1,9	0,13	0,12	5,7	0,148	-	-
	3	0,96	9,3	2,5	0,15	0,13	5,8	0,153	-	-
Jurua	1	1,76	11,9	2,6	0,35	0,09	5,2	0,199	-	1,353
	2	2,18	9,5	2,2	0,17	0,16	5,5	0,217	-	0,517
	3	1,56	9,5	2,2	0,19	0,15	5,8	0,171	-	0,263
Japura	1	0,31	5,4	0,7	0,09	0,03	6,5	0,109	-	0,250
	2	0,25	5,4	0,8	0,09	0,05	6,7	0,042	-	0,273
	3	0,22	15,8	3,5	0,26	0,10	7,0	0,140	-	0,877

Cont ...

LOCAL		H+Al	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Purus	1	2,04	3,7	1,3	0,11	0,08	5,5	0,089	-	0,414
	2	1,86	4,6	1,3	0,09	0,11	5,6	0,102	-	0,288
	3	3,83	4,2	1,3	0,10	0,13	5,5	-	-	0,331
Madeira	1	1,34	3,7	2,1	0,11	0,08	5,5	0,160	-	-
	2	0,70	3,1	1,9	0,09	0,07	5,8	0,118	-	-
	3	0,93	3,9	2,3	0,10	0,11	5,7	0,160	-	-
C R U Z E I R O					8					
Vargem Grande	1	0,26	15,5	3,9	0,20	0,10	7,2	0,160	738	0,879
	2	-	15,9	3,6	0,16	0,08	7,3	0,132	738	0,852
	3	0,24	10,5	2,2	0,14	0,07	7,3	0,153	733	0,837
	4	0,23	10,2	4,6	0,19	0,10	7,1	-	-	-
S.A. do Iça	1	0,33	14,0	3,5	0,26	0,11	5,7	0,248	856	1,307
	2	0,31	14,4	3,9	0,17	0,11	6,6	0,220	811	0,849
	3	0,31	18,8	4,0	0,18	0,10	7,1	0,176	816	0,826
Bararua	1	0,23	13,8	3,0	0,15	0,08	7,1	0,097	755	0,849
	2	0,24	12,4	2,6	0,16	0,07	7,2	0,090	671	0,444
	3	0,25	12,6	2,6	0,15	0,08	7,3	0,994	679	0,491
Xibeco	1	0,35	13,8	3,3	0,26	0,07	6,7	0,202	744	0,944
	2	0,27	15,0	3,7	0,23	0,09	7,2	0,182	749	1,001
	3	0,24	16,7	4,2	0,23	0,10	6,9	0,151	693	0,946

Cont ...

LOCAL		H+A1	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Tupe	1	0,46	11,7	2,9	0,15	0,09	7,2	0,094	671	0,539
	2	0,45	8,2	3,1	0,14	0,19	6,1	-	548	0,295
	3	0,39	7,4	2,9	0,13	0,13	6,3	0,182	447	0,449
Mari-Mari	1	0,34	7,8	1,7	0,26	0,05	6,3	0,211	721	1,255
	2	0,45	8,6	2,4	0,20	0,09	6,1	0,113	716	0,499
	3	0,44	9,4	2,4	0,16	0,10	5,9	0,153	777	0,710
Panamim	1	0,24	12,1	3,4	0,46	0,08	6,8	0,263	755	0,931
	2	0,28	10,2	3,2	0,14	0,10	6,4	0,144	844	1,728
	3	0,29	10,2	3,3	0,15	0,11	6,6	0,106	671	0,352
Jutica	1	0,54	11,1	3,1	0,23	0,14	5,2	0,285	716	1,683
	2	-	11,3	3,9	0,23	0,14	6,3	0,159	626	0,453
	3	0,39	10,5	4,1	0,16	0,17	6,4	0,187	699	0,416
Itapeua	1	0,31	8,8	2,5	0,23	0,06	6,5	0,153	649	0,567
	2	0,23	11,7	3,0	0,17	0,11	6,6	0,146	716	0,560
	3	0,28	10,5	2,9	0,17	0,12	6,6	0,129	716	0,469
Anori	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	0,35	12,1	2,9	0,15	0,11	6,5	0,159	766	0,839
	3	0,34	11,7	2,7	0,15	0,07	6,5	0,129	688	0,515
Manacapuru	1	0,57	7,2	2,2	0,17	0,06	5,7	0,108	677	0,264
	2	0,40	8,6	2,0	0,13	0,07	6,1	0,087	654	0,360
	3	0,30	9,0	2,3	0,12	0,09	6,5	0,087	665	0,702
Amatari	1	0,48	8,6	2,8	0,43	0,08	5,8	0,185	660	0,305
	2	0,32	9,6	2,9	0,27	0,07	6,6	0,120	660	0,257
	3	0,33	9,8	3,1	0,16	0,12	6,8	0,092	649	0,924

Cont

LOCAL		H+A1	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt	C org.
Paura	1	0,44	7,8	1,8	0,19	0,05	5,7	0,144	604	0,643
	2	0,26	8,6	2,0	0,16	0,05	6,0	0,148	632	0,593
	3	0,44	9,4	2,1	0,18	0,07	5,3	0,179	621	0,886
Santa Luzia	1	0,33	7,4	1,5	0,21	0,03	6,3	0,100	548	0,345
	2	0,32	8,2	2,3	0,12	0,09	6,5	0,120	615	0,352
	3	0,25	8,6	2,3	0,12	0,08	6,3	0,099	559	0,321
Caldeirão	1	0,36	10,0	2,5	0,22	0,06	5,3	0,204	-	0,942
	2	0,53	8,7	2,5	0,17	0,07	5,8	0,210	-	0,515
	3	0,58	9,0	2,9	0,20	0,08	5,6	0,169	-	0,329
Óbidos	1	2,26	6,3	2,0	0,30	0,10	4,6	0,237	677	1,279
	2	1,74	6,7	1,3	0,10	0,00	4,9	0,173	593	0,549
	3	0,64	6,6	3,3	0,20	0,30	5,7	0,165	649	0,352
TRIBUTÁRIOS										
Iça	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-
	2	4,38	3,4	1,6	0,13	0,09	5,0	0,182	-	0,762
	3	8,44	3,2	1,8	0,13	0,10	4,6	0,287	-	1,200
Jutaí	1	1,02	12,8	2,4	0,24	0,12	5,0	0,312	-	2,294
	2	1,14	8,0	2,5	0,29	0,13	5,1	0,185	-	1,007
	3	1,11	10,9	2,2	0,23	0,11	5,5	0,116	-	0,319
Japura	1	1,01	3,7	0,9	0,06	0,06	5,5	0,109	-	0,232
	2	1,75	3,7	0,9	0,07	0,07	5,3	0,141	-	0,256
	3	1,42	4,1	1,1	0,09	0,06	5,2	0,106	-	0,677

Cont

LOCAL	H+A1	Ca	Mg	K	Na	pH	Nt	Pt.	C org.
Purus									
1	1,45	3,2	1,1	0,11	0,05	5,1	0,050	-	0,837
2	2,88	3,8	1,2	0,11	0,07	5,2	0,057	-	0,674
3	2,24	4,2	1,3	0,10	0,06	5,1	0,094	-	0,539
Madeira									
1	1,11	4,6	2,0	0,23	0,05	5,0	0,173	-	0,318
2	0,93	3,5	1,7	0,15	0,07	5,1	0,124	-	0,447
3	0,57	4,2	1,9	0,13	0,05	5,3	0,115	-	0,500

\* Amostras coletadas de forma integrada até 50 cm

\*\* Amostras coletadas em intervalos

1 - 0 - 20 cm  
 2 - 20 - 40 cm  
 3 - 40 - 60 cm

APÊNDICE 2. VALORES DE  $\delta^{13}\text{C}$  (‰) EM SEDIMENTO DE VÁRZEA COLETADOS A DIFERENTES PROFUNDIDADES AO LONGO DO CANAL PRINCIPAL, EM DOIS PERÍODOS DISTINTOS (CRUZEIRO 7, INÍCIO DA SUBIDA DAS ÁGUAS E CRUZEIRO 8 INÍCIO DA DESCIDA DAS ÁGUAS).

LOCAL DE COLETA	PROF.*	CRUZEIRO 7	CRUZEIRO 8
Vargem Grande	1	-27,1	-27,5
	2	-25,6	-27,8
	3	-25,5	-27,0
	4	-	-27,2
S. A. do Içã	1	-26,4	-24,9
	2	-27,7	-
	3	-27,5	-26,3
	4	-	-25,3
Bararuã	1	-26,4	-27,1
	2	-26,5	-26,9
	3	-27,3	-26,2
	4	-	-27,5
Xibeco	1	-27,2	-
	2	-27,5	-
	3	-28,4	-
	4	-	-
Inferno	1	-27,0	-
	2	-27,4	-
	3	-27,3	-
	4	-	-

Cont ...

LOCAL DE COLETA	PROF.*	CRUZEIRO 7	CRUZEIRO 8
Tupe	1	-	-26,7
	2	-	-26,1
	3	-	-25,2
	4	-	-25,6
Mari-Mari	1	-26,5	-25,5
	2	-25,7	-25,1
	3	-26,2	-25,2
	4	-	-25,1
Ferrara	1	-26,8	-22,5
	2	-26,7	-25,2
	3	-26,4	-25,5
	4	-	-26,4
Jutica	1	-18,4	-22,4
	2	-21,1	-23,6
	3	-23,5	-22,8
	4	-	-23,6
Itapeua	1	-25,3	-
	2	-25,3	-25,8
	3	-26,0	-25,7
	4	-	-25,4
Anori	1	-25,1	-24,6
	2	-24,1	-25,0
	3	-26,4	-24,4
	4	-	-24,1

LOCAL DE COLETA	PROF.*	CRUZEIRO 7	CRUZEIRO 8
Manacapuru	1	-23,0	-24,0
	2	-23,6	-21,0
	3	-24,7	-23,0
	4	-	-27,0
Careiro	1	-26,1	-
	2	-24,8	-
	3	-26,0	-
	4	-	-
S.J. do Amatari	1	-26,3	-20,7
	2	-26,6	-23,1
	3	-26,8	-20,7
	4	-	-
Itacoatiara	1	-23,1	-
	2	-24,3	-
	3	-24,2	-
	4	-	-
Paura	1	-	-
	2	-	-27,7
	3	-	-26,9
	4	-	-
Santa Luzia	1	-24,1	-23,1
	2	-25,0	-23,3
	3	-26,0	-
	4	-	-24,4

Cont ...

LOCAL DE COLETA	PROF.*	CRUZEIRO 7	CRUZEIRO 8
Obidos	1	-	-21,7
	2	-	-23,7
	3	-	-23,6
	4	-	-23,5

\* Cruzeiro 7 - profundidade 1 = 0 - 20 cm  
 2 = 20 - 40 cm  
 3 = 40 - 60 cm

Cruzeiro 8 - profundidade 1 = 0 - 5 cm  
 2 = 5 - 10 cm  
 3 = 10 - 15 cm  
 4 = 15 - 20 cm