

VARIABILIDADE ESPACIAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, MINERALÓGICA
E ORGÂNICA DA CARGA DE SEDIMENTO DEPOSITADA NAS PLANÍCIES
DE INUNDAÇÃO DE ALGUNS RIOS DA AMAZÔNIA

LUIZ ANTONIO MARTINELLI

Engenheiro Agrônomo

Orientador: Dr. Reynaldo Luiz Victoria

Tese apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", da Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Doutor em Agronomia. Área de Concentração: Solos e Nutrição de Plantas.

PIRACICABA

Estado de São Paulo

Agosto - 1989

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Livros da
Divisão de Biblioteca e Documentação - PCAP/USP

- M385v Martinelli, Luiz Antonio
Variabilidade espacial da composição química, mineralógica e orgânica da carga de sedimento depositada nas planícies de inundação de alguns rios da Amazônia. - Piracicaba, 1989.

106p.

Tese - ESALQ
Bibliografia.

1. Bacia Amazônica - Sedimento - Composição 2. Sedimento - Composição - Variabilidade espacial 3. Solo - Amazônia 4. Várzea - Sedimento - Composição 5. Várzea - Solo - Amazônia I. Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Piracicaba

CDD 551.483

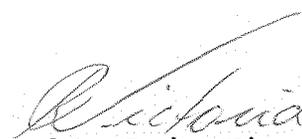
VARIABILIDADE ESPACIAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, MINERALÓGICA
E ORGÂNICA DA CARGA DE SEDIMENTO DEPOSITADA NAS PLANÍCIES
DE INUNDAÇÃO DE ALGUNS RIOS DA AMAZÔNIA

Luiz Antonio Martinelli

Aprovada em: 1/9/1989

Comissão Julgadora:

Dr. Reynaldo Luiz Victória	ESALQ/USP
Dr. Eneas Salati	ESALQ/USP
Dr. José Luiz Iuriatte Demattê	ESALQ/USP
Dr. Geraldo Victorino de França	ESALQ/USP
Dr. Kenitiro Suguio	GEOCIÊNCIAS/USP


Dr. Reynaldo Luiz Victoria

Orientador

A SANDRA MANIN FRIAS, por tudo que ela
representa para mim.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi uma continuação da minha Tese de Mestrado, portanto, meus agradecimentos continuam válidos à todas aquelas pessoas e instituições a quem agradecei anteriormente. Obviamente, nesta nova fase, várias pessoas contribuíram e gostaria de deixar aqui meus agradecimentos.

Aos seguintes colegas: Fernanda Gine Rosias, Yolanda Ruffini e sua equipe (Química Analítica - CENA); José Luiz Demattê e Maria Elisabete Guimarães (Dept. Solos, Geologia e Fertilizantes - ESALQ); Carlos Clemente Cerri e Sandra Genaro (Química de Solos - CENA) gostaria de agradecer pelas incontáveis análises e interminável paciência que tiveram comigo. A todo pessoal da minha Seção, pelas análises e pelo excelente ambiente de trabalho em que convivemos, minha gratidão.

Para minha formação, tanto profissional como pessoal, vários amigos têm contribuído. Formalmente, agradeço a Jeffrey Richey que me ensinou que com qualidade podemos sempre conseguir recursos para trabalhar. Irving Foster Brown e Antonio Aparecido Mozeto, educadores eméritos, me mostraram a importância de se transmitir um conhecimento adquirido. Com Reynaldo Victória e Eneas Salati, aprendi o conceito de ir em frente, mesmo não sabendo exatamente onde

iríamos chegar. Graças a Deus, sempre chegamos. Allan Devol e Bruce Forsberg me ensinaram a ser criterioso quando se faz ciência. Agradeço a José Roberto Ferreira e Francisco José Krug, pelos constantes e acertados conselhos.

Finalmente, gostaria de agradecer aos revisores que fizeram parte da minha banca examinadora, em muito, suas sugestões serviram para aprimorar este estudo.

Este trabalho teve o apoio financeiro da Fundação de Amparo a Pesquisa do Estado de São Paulo.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xii
RESUMO.....	xvi
SUMMARY.....	xviii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	5
2.1. Variabilidade espacial nas características químicas da carga de sedimento transportada em suspensão...	5
2.2. Características da matéria orgânica da carga de sedimento transportada em suspensão e depositada na várzea.....	6
2.3. A bacia Amazônica - Aspectos Gerais.....	9
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Coleta de Amostras.....	17
3.1.1. Sedimento depositado nas várzeas.....	17
3.1.1. Sedimento em suspensão.....	19
3.2. Métodos de Análise.....	19
3.2.1. Cátions Básicos Trocáveis.....	19
3.2.2. Elementos Totais.....	21
3.2.3. Análise Estatística.....	22
3.2.4. Análise Mineralógica.....	22
3.2.4.1. Sedimento em suspensão.....	23
3.2.4.2. Sedimento depositado nas várzeas.....	24
3.2.5. Fracionamento da Matéria Orgânica.....	24

3.2.6. Carbono Orgânico e Nitrogênio Total.....	25
3.2.7. Relação Isotópica $^{13}\text{C}/^{12}\text{C}$	25
4. RESULTADOS.....	26
4.1. Cátions Básicos Trocáveis.....	26
4.1.1. Concentração.....	26
4.1.2. Variabilidade espacial.....	28
4.2. Elementos Totais.....	34
4.2.1. Concentração.....	34
4.2.2. Variabilidade espacial.....	36
4.3. Características mineralógicas.....	43
4.3.1. Características mineralógicas das amostras de sedimento em suspensão.....	43
4.3.2. Características mineralógicas das amostras de sedimento depositado nas várzeas.....	44
4.4. Composição orgânica das amostras não fracionadas.....	52
4.4.1. Concentração de Carbono Orgânico e Nitrogênio.....	52
4.4.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$	52
4.5. Composição orgânica das frações.....	53
4.5.1. Distribuição relativa das frações.....	53
4.5.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$	59
5. DISCUSSÃO.....	64
5.1. Composição mineralógica e química das amostras de sedimento depositado nas várzeas.....	64

5.1.1. Validação da primeira hipótese.....	64
5.1.2. Possível origem dos minerais de argila encontrados nas amostras de sedimento depositado nas várzeas.....	68
5.1.3. Comparação entre a composição mineralógica e química das amostras de várzea coletadas nos tributários e no canal principal.....	71
5.1.4. Comparação entre a composição química e mineralógica dos sedimentos de várzea e dos solos de terra-firme.....	74
5.1.5. Comparação entre a composição química dos sedimentos de várzea da Amazônia e a composição química do sedimento transportados pelos grandes rios do mundo.....	78
5.1.6. Relação Cátions Básicos Totais x Cátions Básicos Trocáveis.....	79
5.2. Composição orgânica das amostras de sedimento de várzea.....	80
5.2.1. Validação da segunda hipótese.....	80
5.2.2. Origem da matéria orgânica depositada na várzea.....	81
5.2.3. Variabilidade espacial.....	87
6. CONCLUSÃO.....	89
7. BIBLIOGRAFIA.....	91

8. APÊNDICES.....100

LISTA DE TABELAS

- Tabela 1. Tabela 1. Locais de coleta de sedimento depositado na várzea ao longo do rio Solimões/Amazonas e dos tributários Içá, Juruá, Purus, Negro e Madeira. A distância (d), expressa em km, têm como referência a estação de Vargem Grande e aumenta no sentido Oeste-Leste (a jusante). No caso dos tributários, a referência adotada foi em relação a distância compreendida entre Vargem Grande e a foz do tributário.....20
- Tabela 2a. Representação da significância dos testes estatísticos (teste de correlação de Spearman), expressos em porcentagem. Valores acima de 5% foram considerados não significativos.....29
- Tabela 2b. Representação da significância dos testes estatísticos (teste Man-Whitney), expressos em porcentagem. Valores acima de 5% foram considerados não significativos.....30
- Tabela 3.3. Valores de cátions básicos trocáveis e soma de bases, expressos em ppm, em amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do canal principal e tributários.....31
- Tabela 4. Valores de alguns elementos, expressos em porcentagem, em amostras de sedimento de várzea coletadas em vários pontos ao longo do canal principal. Dados normalizados significa que os dados foram normalizados a 100% baseando-se nestes oito elementos.....37
- Tabela 5. Valores de alguns elementos, expressos em porcentagem, em amostras de sedimento de várzea coletadas em vários pontos ao longo do canal principal. Dados normalizados significa que os dados foram normalizados a 100% baseando-se nestes oito elementos.....38
- Tabela 6. Valores de nitrogênio total (%), carbono orgânico (%), relação C:N e valor de $\delta^{13}\text{C}$ (o/oo) em amostras de sedimento sob gramínea e sedimento nu, coletadas ao longo do canal principal.....54
- Tabela 7. Concentração das frações expressa em gramas e porcentagem. P.I. significa peso inicial; P.F. significa peso final e Dif. significa a diferença entre ambos em porcentagem.....56
- Tabela 8. Concentração das frações expressa em porcentagem com respectivo valor de $\delta^{13}\text{C}$ em amostras de sedimento depositado na várzea com cobertura vegetal* coletadas ao longo do canal

principal.....62

Tabela 9. Concentração total (%) de Ca, Mg, Na e K determinadas em amostras de solos coletadas em regiões de diferentes origens geológicas na bacia Amazônica.....77

LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Bacia Amazônica. Locais de coleta no canal principal e tributários: 1.Vargem Grande; 2.S.A. do Ica; 3.Bararua; 4.Xibeco; 5.Tupe; 6.Mari; 7.Ferrara; 8.Itapeua; 9.Anori; 10.Manacapuru; 11.S.J.Amatari; 12.Silves; 13.Canacari; 14.Paura; 15.Obidos; 16.Santarem; 17.Prainha; 18.Mugirum; a.R.Ica; b.R.Jutai; c.R.Jurua; d.R.Purus; e.R.Negro e f.R.Madeira.....10
- Figura 2. Variação da concentração de cálcio e magnésio em amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do canal principal.....32
- Figura 3. Variação espacial da concentração de sódio e potássio em amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do canal principal.....33
- Figura 4. Variação no sentido Oeste-Leste da concentração de Si e Al em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.....39
- Figura 5. Variação no sentido Oeste-Leste da concentração de Fe e Ti em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.....40
- Figura 6. Variação no sentido Oeste-Leste da concentração de Ca e Mg em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.....41
- Figura 7. Variação no sentido Oeste-Leste da concentração de K e Na em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.....42
- Figura 8. Difractogramas de raios-X de amostras não tratadas de sedimento em suspensão coletadas em : (a) canal principal - Santo Antonio do a; (b) canal principal - Manacapuru; (c) canal principal - Obidos; (d) rio a; (e) rio Jurua; (f) rio Purus e (g) rio Madeira. Os números sobre os picos representam o espaçamento basal, expresso em A, e as letras sobre os picos representam os minerais. Q - quartzo e Pl - plagioclásio.....45
- Figura 9. Difractograma de raios-X nas frações areia (a) e silte (b) das amostras de sedimento depositado na várzea e nas amostras não tratadas de sedimento em suspensão (c) coletadas em: (A) canal principal - Santo Antonio do a; (B) canal principal - Manacapuru e (C) canal principal - Obidos. Os números sobre os picos representam o espaçamento basal, expresso em A, e as letras sobre os picos representam os minerais. Q - quartzo e Pl - plagioclásio.....48

Figura 10. Difratoograma de raios-X com tratamentos da fração argila das amostras de sedimento depositado na várzea coletadas em: (A) canal principal - Santo Antonio do a; (B) canal principal - Manacapuru e (C) canal principal - Obidos. Tratamentos: a) 25°C; b) 350°C; c) 550°C e d) Mg-glicol. Os números ao lado dos picos representam o espaçamento basal expresso em Å. As letras ao lado dos picos representam os minerais. E - esmectitas, Mi_1 - micas (1ª ordem), Mi_2 - Micas (2ª ordem), Vt - vermiculita, C - caulinita, Gi- gibbsita e Q -quartzo.....49

Figura 11a. Difratoograma de raios-X com tratamentos da fração argila das amostras de sedimento depositado nas várzeas dos tributários: rio a; rio Juruá. Tratamentos: a) 25°C; b) 350°C; c) 550°C e d) Mg-glicol. Os números ao lado dos picos representam o espaçamento basal expresso em Å. As letras ao lado dos picos representam os minerais. E - esmectitas, Mi_1 - micas (1ª ordem), Mi_2 - Micas (2ª ordem), Vt - vermiculita, C - caulinita, Gi- gibbsita e Q -quartzo.50

Figura 11b. Difratoograma de raios-X com tratamentos da fração argila das amostras de sedimento depositado nas várzeas dos tributários: rio Purus; rio Negro e rio Madeira. Tratamentos: a) 25°C; b) 350°C; c) 550°C e d) Mg-glicol. Os números ao lado dos picos representam o espaçamento basal expresso em Å. As letras ao lado dos picos representam os minerais. E - esmectitas, Mi_1 - micas (1ª ordem), Mi_2 - Micas (2ª ordem), Vt - vermiculita, C - caulinita, Gi- gibbsita e Q - quartzo.....51

Figura 12. Variação espacial dos valores de $\delta^{13}C$ em amostras de sedimento nu (o) e sedimento sob gramínea (*).....55

Figura 13a. Variação espacial da concentração das frações F200, F200-50 e F<50, considerando-se todos os pontos de coleta.....57

Figura 13b. Variação espacial da concentração das frações F200-50 e F<50, não considerando-se os pontos Manacapuru, Canaçari e Santarém.....58

Figura 14. Variação espacial no valor de $\delta^{13}C$ das frações: (A) F>200; (B) F200-50 e (C) F<50.....63

Figura 15. Variação espacial nos valores de IQ e IQS.....66

Figura 16. Variação dos valores de IQ e IQS em relação avariação dos valores de soma de bases (S_T). As letras representam os pontos de coleta: (a) Vargem Grande e seguem-se em ordem alfabética até a última estação - Muigirum, representada pela letra (r).....67

Figura 17. Plotagem da relação C:N contra os valores de $\delta^{13}\text{C}$. (A) das possíveis fontes de matéria orgânica para o sedimento de várzea - (O) gramínea, (X) folhas de floresta de várzea, (•) sedimento em suspensão fino (F) e grosso (G). (B) das possíveis fontes: gramíneas e folhas de floresta de várzea e das amostras de sedimento depositado nas várzeas: (♦) sedimento nu (+) sedimento sob gramínea. (C) das possíveis fontes: sedimento em suspensão fino e grosso e das amostras de sedimento depositado na várzea.

.....84

Figura 18. Plotagem de nitrogênio total contra carbono orgânico. (A) das amostras de sedimento fino (F) e sedimento grosso (G) em suspensão. (B) das amostras de sedimento fino e grosso em suspensão e das amostras de sedimento nu (♦). (C) das amostras de sedimento fino e grosso em suspensão e das amostras de sedimento sob gramínea (+).....85

CURRICULUM VITAE

Nome: Luiz Antonio Martinelli

Nascimento: 23 de Janeiro de 1959, São Paulo-SP

Formação Universitária: Eng. Agrônomo - ESALQ/USP, 1982

Mestre em Agronomia - CENA/USP, 1986

Principais Publicações:

- MARTINELLI, L.A., 1986. Composição Química e Isotópica (^{13}C) de Sedimentos de Várzea e suas Interações com alguns Rios da Bacia Amazônica. Piracicaba, Universidade de São Paulo. 214p. (Tese de Mestrado).
- ARAÚJO-LIMA, C.A.; B.R.FORSBERG; R.L. VICTORIA and L.A.MARTINELLI, 1986. Energy Sources for detritivorous fishes in the Amazon. *Science* 23: 1256-1258.
- MARTINELLI, L.A.; J.R. FERREIRA; R.L. VICTORIA; J. MORTATTI; B.R. FORSBERG; J.A. BONASSI; E. OLIVEIRA A.C.TANCREDI, 1988. Fluxo de Nutrientes em Alguns Rios do Estado de Rondônia, Bacia do Rio Madeira. *Acta Limnol. Brasil.* 2: 911-930.
- MARTINELLI, L.A.; R.L. VICTORIA; E. MATSUI; B.R. FORSBERG e A.A. MOZETO, 1988. Utilização das Variações Naturais de $\delta^{13}\text{C}$ no Estudo de Cadeias Alimentares em Ambientes Aquáticos: Princípios e Perspectivas. *Acta Limnol. Brasil.* 2: 859-882.
- MARTINELLI, L.A.; J.R. FERREIRA; B.R. FORSBERG and R.L. VICTORIA, 1988. Mercury Contamination in the Amazon: A Gold Rush Consequence. *Ambio* 17: 252-254.
- FORSBERG, B.; A.H.DEVOL; L.A. MARTINELLI e U dos SANTOS, 1988. Factors controlling nutrient concentrations in Amazon floodplain lakes. *Limnol. Oceanogr.* 33: 41-56.
- MARTINELLI, L.A.; B.R. FORSBERG; R.L VICTORIA; A.H. DEVOL; J. MORTATTI; J.R. FERREIRA; J. BONASSI and E. OLIVEIRA, 1989. In: DEGENS, E.T.; S. KEMPE and D.EISMA, ed., *Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Pts. Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd* 68: 63-76.

VARIABILIDADE ESPACIAL DA COMPOSIÇÃO QUÍMICA, MINERALÓGICA
E ORGÂNICA DA CARGA DE SEDIMENTO DEPOSITADA NAS PLANÍCIES
DE INUNDAÇÃO DE ALGUNS RIOS DA AMAZÔNIA

Luiz Antonio Martinelli

Reynaldo Luiz Victoria

Orientador

RESUMO

As duas hipóteses básicas deste estudo foram:

- (1) De acordo com a sequência normal de intemperismo, a carga de sedimentos originada principalmente nos Andes, a medida que vai sendo transportada rio abaixo, vai perdendo sílica e cátions básicos e concentrando alumínio.
- (2) A baixa proporção de matéria orgânica produzida pela gramíneas observada nas amostras de sedimento de várzea é devido a incorporação desta matéria orgânica preferencialmente nas maiores frações granulométricas do sedimento.

A fim de testar estas hipóteses foram delineadas duas ações básicas:

- (1) Determinar a composição química total das amostras de sedimento coletadas nas várzeas localizadas ao longo do rio Solimões/Amazonas. No sentido de auxiliar a caracterização desse material pretende-se determinar sua composição mineralógica através de análises de difração de raios-X.
- (2) Fracionar granulometricamente a matéria orgânica das amostras de sedimento de várzea em três diferentes tamanhos e determinar a origem da matéria orgânica de cada fração através da composição isotópica do carbono.

Para tanto, foram coletadas durante o início do período de drenagem da várzea 18 amostras superficiais de sedimento depositado na várzea ao longo de 2400 Km no canal principal e próximo à foz dos seguintes tributários: Içá, Jutai, Juruá, Negro e Madeira¹.

Quanto a primeira hipótese, foi mostrado que paralelamente ao decréscimo à jusante na concentração de Ca, Mg e Na na forma trocável, houve um decréscimo na concentração total de Ca, Mg, Na, Fe e Al. Todavia, apesar deste decréscimo, não houve uma alteração significativa na

¹ Apesar de no texto estar sendo citado como sedimento de várzea, o rio Negro não forma várzeas por ser um rio de água-preta.

estrutura dos minerais de argila presentes nas amostras de sedimento.

Relativamente à segunda hipótese, de fato, a matéria orgânica produzida pelas gramíneas acumulou-se principalmente na fração granulométrica mais grossa do sedimento (areia grossa). Todavia, devido à menor proporção desta fração (0,4%) frente as frações mais finas - areia fina (25%) e silte + argila (75%), a incorporação da matéria orgânica originada pelas gramíneas foi geralmente pequena, sendo mais acentuada nas amostras de sedimento coletadas na região do Médio e do Baixo Amazonas.

SUMMARY

The principal hypotheses of this study were:

(1) The exchangeable basic cations concentration decrease observed in the varzea sediment samples is due to the progressively leaching of the Andes born sediment load via successive erosion-deposition cycles.

(2) The low contribution of the grass organic matter observed in varzea sediment samples is due to its preferential incorporation in the coarser sediment fractions.

In order to test these hypotheses two main actions were developed :

(1) Determination of the mineralogical composition of the silt and clay fractions and the chemical composition of the varzea sediment samples collected along the Amazonas river.

(2) To proceed a granulometric fractionation of organic matter contained within the varzea sediment samples into three different sizes and to determine their carbon isotopic composition.

In order to achieve these goals 18 samples of varzea sediment samples have been collected during the drainage period along 2400 km through the main channel and in the mouth of the following tributaries: Iça, Jutai, Juruá, Negro and Madeira.

In regard to the first hypothesis, it was showed that parallel to the decrease in the basic cations concentration, there was an decrease in the concentration of Fe and Al. However, there was no significative alteration in the structure of clay minerals.

In respect to the second hypothesis, the grass organic matter was concentrated within the coarsest fractions of the varzea sediment samples. Although, due to the low proportion of this fraction (0.4%) in comparison with to the finer fractions, the incorporation of the grass organic matter was low, increasing in the samples collected in the Low Amazon region.

1. INTRODUÇÃO

A várzea do rio Solimões/Amazonas, uma área estimada em cerca de 100 mil km² (MERTES, 1985), é formada principalmente pela deposição de sedimentos andinos carregados pelos rios que drenam a região (rios de águas-brancas). Reconhecidamente, a várzea é um sistema dinâmico e complexo, onde ocorrem diversos processos de natureza biogeoquímica. Os produtos desses processos irão interagir entre si e com produtos originados em outros sistemas (rios e igarapés, por exemplo). Desta interação resultarão o ritmo e as características de funcionamento da bacia hidrográfica como unidade natural.

Alguns desses processos ocorrem no sedimento depositado na várzea e outros processos são decorrentes das interações entre as interfaces sedimento/água e sedimento/vegetação. Como consequência, a caracterização desses processos e o próprio conhecimento da composição desse sedimento irão contribuir para o entendimento do sistema em escala regional.

A oferta de alimentos através de seus estoques pesqueiros e de seu solo fértil (MARTINELLI, 1986; VICTORIA et al., 1989) distinguem esta área como uma das mais habitadas da Amazônia (MEGGERS, 1986). Portanto, o conhecimento dos fatores que determinam a sua fertilidade será fundamental para o aproveitamento racional desta área.

Esta região é habitada pelos caboclos que praticam uma agricultura de subsistência semelhante à agricultura migratória praticada na terra-firme. No entanto, a maior diferença entre os dois tipos de agricultura não está na quantidade produzida, mas sim, na ausência de abandono da área como ocorre na terra-firme; pois as planícies de inundação são fertilizadas anualmente pelas enchentes. Além de milho, mandioca e arroz são também cultivados para produção de fibras malva (Malva rotundifolia) e Juta (Corchorus spp.). Em adição, próximos aos centros urbanos, como Manaus, as várzeas estão sendo utilizadas na produção de hortaliças. Nestas áreas o sucesso depende principalmente de um adequado controle de doenças e insetos (FEARNSIDE, 1986). Por outro lado, abaixo de Manaus até a foz dos rio Amazonas, as várzeas têm sido aproveitadas como pastagens. Algumas vezes esta atividade é desenvolvida em campos naturais de gramíneas (SIOLI, 1984a), enquanto outras vezes utiliza-se de pastagens implantadas (JUNK, 1985).

Apesar da importância das várzeas, a maioria

dos estudos nesses sistemas têm se concentrado ao redor de Manaus. Um dos primeiros estudos abrangendo uma maior área de amostragem foi feito por MARTINELLI (1986), que constatou um decréscimo rio abaixo na concentração de cátions básicos trocáveis em amostras de sedimento de várzea. O mesmo autor também observou que a origem da matéria orgânica encontrada nas amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do rio Solimões/Amazonas também variou no mesmo sentido. Nas amostras coletadas no terço inferior do Amazonas foi detectada maior presença de matéria orgânica produzida por gramíneas, muito embora, face à elevada produtividade destas plantas, era esperado que a contribuição das mesmas para a composição da matéria orgânica do sedimento fosse maior. A presente proposta constitui-se em uma continuidade do trabalho anteriormente conduzido (MARTINELLI, 1986). Neste estudo, procura-se conhecer as causas das variações encontradas no trabalho anterior. Para tanto foram levantadas duas hipóteses básicas:

(1) De acordo com a sequência normal de intemperismo, a carga de sedimentos originada principalmente nos Andes, a medida que vai sendo transportada rio abaixo, vai perdendo sílica e cátions básicos e concentrando alumínio.

(2) A baixa proporção de matéria orgânica produzida pelas gramíneas, encontrada nas amostras de sedimento de várzea, seria devido a incorporação desta matéria orgânica preferencialmente nas frações granulométricas mais grossas.

Para testar estas duas hipóteses pretende-se:

(1) Determinar a composição química total das amostras de sedimento coletadas nas várzeas localizadas ao longo do rio Solimões/Amazonas. No sentido de auxiliar a caracterização desse material, pretende-se determinar sua composição mineralógica através de análises de difração de raios-X.

(2) Fracionar granulometricamente a matéria orgânica das amostras de sedimento de várzea em três diferentes tamanhos e determinar a origem da matéria orgânica de cada fração através da composição isotópica do carbono.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Variabilidade espacial nas características química da carga de sedimento transportada em suspensão

Nos Andes predomina o regime de erosão denominado por STALLARD & EDMOND (1983) de "limitado pelo intemperismo". Neste regime, os produtos gerados pelo intemperismo são rapidamente retirados do perfil. Conseqüentemente, o material erodido não terá sido profundamente alterado em relação ao material que lhe deu origem. Portanto, nos rios que drenam a região, o material em suspensão será pouco intemperizado em relação a rocha-mãe (GIBBS, 1964). No entanto, alguns autores têm demonstrado que, durante o transporte e sucessivos ciclos de erosão-deposição, as características químicas e mineralógicas da carga de sedimento gerada nos Andes vai se modificando. IRION (1978) notou que a concentração de cálcio das amostras de sedimento em suspensão decresceu rio abaixo. Muito embora, o mesmo autor e também GIBBS (1964), tenham notado que a composição mineralógica desse material não tenha sido modificada. Da mesma forma, MARTINELLI (1986) notou que a concentração de cátions básicos trocáveis, em amostras de sedimento depositado na várzea, também decresceu rio abaixo.

2.2. Características da matéria orgânica da carga de sedimento transportada em suspensão e depositada na várzea

MARTINELLI (1986) observou que a contribuição das gramíneas para a matéria orgânica do sedimento de várzea foi em média de 10%, sendo as maiores contribuições observadas em amostras de sedimento coletadas à jusante de Manaus. Devido a grande produtividade destas gramíneas (JUNK, 1984), e as amostras terem sido coletadas em locais onde o crescimento destas plantas era intenso, esperava-se uma maior contribuição de carbono, oriundo destas gramíneas, para o sedimento.

Em vários outros ambientes, as gramíneas desempenharam um papel relevante na composição orgânica do sedimento ou solo sobre os quais estas plantas viviam. Assim, VOLKOFF & CERRI (1987), trabalhando na região Sul/Sudeste do Brasil, com três perfis de solos naturalmente cobertos por gramíneas, encontraram elevado enriquecimento isotópico na matéria orgânica desses solos. Conseqüentemente, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ foram elevados, variando de -17 a -15 o/oo, portanto, bastante próximos ao $\delta^{13}\text{C}$ característico das gramíneas (12 a 13 o/oo). Em termos de porcentagem, esses valores indicam que cerca de 70 a 80% da matéria orgânica desses solos teve origem na sua própria cobertura vegetal. VITORELLO et al. (1989) trabalharam com solos que originalmente estavam sob florestas e atualmente encontram-se cobertos por gramíneas

(cana-de-açúcar). Cerca de 12 anos após a mudança no tipo de vegetação, 17% da matéria orgânica do solo tinha sido produzida pelas gramíneas, após 50 anos de cultivo esta proporção aumentou para 40%. Em ambientes aquáticos, MOZETO et al. (1988), trabalhando na Represa do Lobo (SP), encontraram valores de $\delta^{13}\text{C}$ tão elevados quanto -16.4 e -17.5 o/oo, evidenciando uma influência marcante das gramíneas na composição do sedimento. Por outro lado, LIMA et al. (1987) determinaram que cerca de 50% da matéria orgânica presente em amostras de sedimento coletadas no alagado de Pedra de Guaratiba (RJ), um sistema bastante dinâmico como as várzeas, teve origem na planta C4, *Spartina alterniflora*. Da mesma forma, vários autores que trabalharam em sistemas de manguezais ou estuários, encontraram uma significativa contribuição dessas plantas para a composição orgânica do sedimento (HAINES, 1976a; HAINES, 1976b; WILSON et al., 1985).

No presente estudo, observou-se no entanto, que a principal fonte de carbono para o sedimento foi o material orgânico particulado transportado pelo rio Solimões/Amazonas (MARTINELLI, 1986). HEDGES et al. (1986) também observaram que as gramíneas contribuíram com apenas 10% na composição da matéria orgânica do material transportado em suspensão pelo rio. ERTEL et al. (1986) encontraram contribuição semelhante, analisando a origem do

carbono orgânico dissolvido (DOC) do rio Amazonas e de seus tributários. QUAY et al.¹ não detectaram quantidades apreciáveis de matéria orgânica oriunda das gramíneas no carbono inorgânico dissolvido (DIC). Finalmente, Araújo-Lima et al. (1987) observaram que a contribuição das plantas C4 na alimentação de peixes adultos foi de apenas 5%. Portanto, a despeito da elevada produtividade destas plantas, o destino dessa matéria orgânica não é ainda conhecido.

No sentido de se aprimorar o conhecimento sobre a composição da matéria orgânica incorporada ao sedimento de várzea, as amostras foram fracionadas e cada fração analisada em separado. Cumpre ressaltar que VITORELLO et al. (1989), trabalhando com solos cultivados com cana-de-açúcar (gramínea C4), observaram que o carbono oriundo de gramíneas tendeu a se concentrar nas frações mais grossas da matéria orgânica do solo. Portanto, o mesmo pode estar ocorrendo nas várzeas, o que levaria a uma subestimativa da contribuição da matéria orgânica, gerada pelas gramíneas, para o sedimento.

¹ QUAY, P.D.; J.E RICHEY; D.O. WILBUR; M.STUIVER; J.I HEDGES; A.H. DEVOL and L.A. MARTINELLI. Carbon Cycling in the Amazon River: Implications from the ¹³C Compositions of Particulate and Dissolved Carbon (em preparo).

2.3. A bacia Amazônica - Aspectos Gerais

A Amazônia como unidade fisiográfica natural (bacia Amazônica e bacia do rio Tocantins) cobre uma área aproximada de 7,0 milhões de km² (Fig.1), compreendendo cinco principais zonas morfoestruturais: ao norte e ao sul os escudos Pré-Cambrianos das Guianas e Brasileiro, respectivamente; à leste encontram-se a Cordilheira dos Andes e a região Subandina e a própria depressão Amazônica.

Geologicamente, a bacia Amazônica pode ser definida como sendo uma bacia intracratônica formada entre os escudos Brasileiro e das Guianas (PUTZER, 1984). Esses escudos são bastante antigos, e foram cobertos por sedimentos de origem mais recente na depressão Amazônica. No Período Terciário da Era Cenozóica ocorreu a orogênese andina definindo o atual padrão de drenagem da área. A partir de então, seguiu-se um período de deposição de sedimentos de origem flúvio-lacustre, constituídos principalmente de silte-argila, originando a Formação Barreiras. Durante o Plioceno e parte do período Quaternário, devido a oscilações, ocasionadas pelas glaciações, que ocorreram no nível dos mares, alternaram-se períodos de deposição e períodos de erosão. Dessa forma foram formadas extensas planícies de inundação. (KLAMMER, 1984; IRION, 1984a).

Quanto às condições climáticas, caracteristicamente, a Amazônia apresenta condições

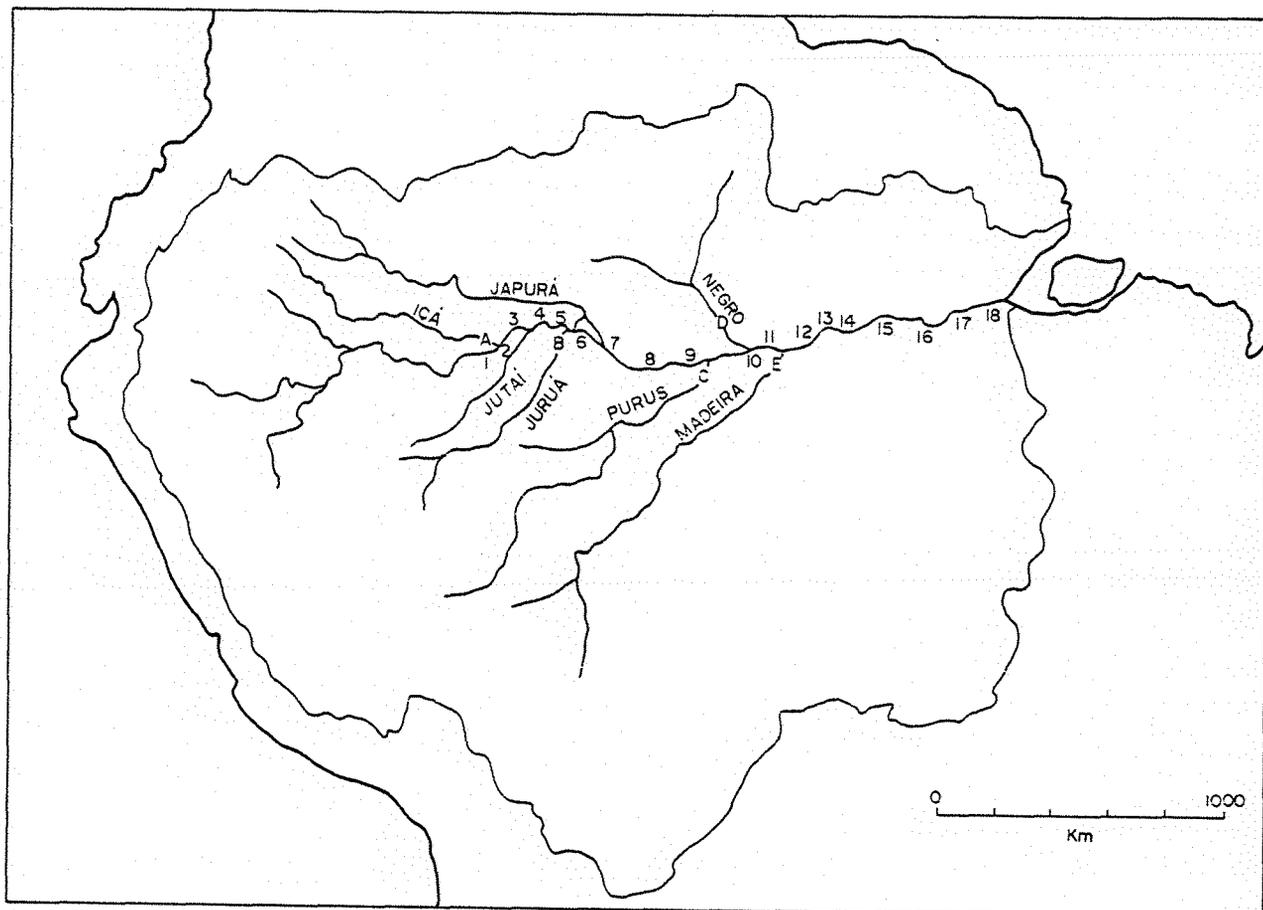


Figura 1. Bacia Amazônica. Locais de coleta no canal principal e tributários: 1.Vargem Grande; 2.S.A. do Içá; 3.Bararua; 4.Xibeco; 5.Tupe; 6.Mari; 7.Ferrara; 8.Itapeua; 9.Anori; 10.Manacapuru; 11.S.J.Amatari; 12.Silves; 13.Canaçari; 14.Paura; 15.Obidos; 16.Santarém; 17.Prainha; 18.Mugirum; a.R.Ica; b.R.Jutai; c.R.Juruá; d.R.Purus; e.R.Negro e f.R.Madeira.

isotérmicas, variando a temperatura média de 24°C a 28°C, com uma amplitude térmica em torno de 5°C (NIMER, 1977; SALATI & MARQUES, 1984). Contrariamente à temperatura, a distribuição da precipitação é sensivelmente menos uniforme, com uma média anual estimada em 2200 mm. Ao Norte os meses mais chuvosos são Junho e Julho, sendo que ao Sul esse fato ocorre cerca de seis meses antes, em Fevereiro e Março (SALATI, 1986).

Devido a imensa área de captação da bacia e à grande quantidade de chuva, os rios da região Amazônica transportam grandes volumes de água. O canal principal da bacia é o rio Solimões/Amazonas, formado pelos rios Ucayali e Marañon no Peru, percorre cerca de 6770 km no sentido oeste-leste desaguando no Oceano Atlântico. Entre 1972 e 1985, a descarga média máxima e mínima no Alto Solimões, próximo a Santo Antonio do Içá foi de 60.000 m³/s e 20.000 m³/s. No curso médio do rio, em Manacapuru (próximo a Manaus), as médias máxima e mínima foram 130.000 m³/s e 70.000 m³/s, respectivamente. Finalmente, próximo à cidade de Obidos, a descarga média máxima foi de 220.000 m³/s e a mínima de 100.000 m³/s (RICHEY et al.²). Entre os principais tributários compreendidos entre Santo Antonio do Içá e

²RICHEY, J.E.; L.AK.MERTES; R.L.VICTORIA; B.R.FORSBERG; T.DUNNE; P.D.QUAY; E.OLIVEIRA; A.C. TANCREDI. Soureces and Routing of The Amazon River Floodwave. *Global Biogeochemical Cycles* (no prelo).

Óbidos, os mais volumosos são o rio Negro (mínima de 5.000 m³/s e máxima de 50.000 m³/s) e o rio Madeira (5.000 m³/s e 55.000 m³/s). Seguem-se os rios Japurá (10.000 m³/s e 25.000 m³/s); Purus (3.000 m³/s e 20.000 m³/s); Içá (5.000 m³/s e 10.000 m³/s) e Jutai e Juruá (1.000 m³/s e 8.000 m³/s).

As características físicas e químicas dos rios da Amazônia podem ser interpretadas como sendo reflexo da posição das suas nascentes nas cinco regiões morfoestruturais (GIBBS, 1964; STALLARD & EDMOND, 1983). SIOLI (1950), citado por SIOLI (1975), classificou os rios da Amazônia com base nas características ópticas, associadas as composições químicas de suas águas. Rios de águas-brancas exibem águas turvas, com quantidade relativamente alta de eletrólitos e pH variando de 6,2 a 7,2, tendo suas origens predominantemente ligadas aos Andes e Subandes. Rios de águas-claras apresentam águas transparentes, em matizes de verde com pouca quantidade de material em suspensão e composição química variável em função do substrato geológico. Finalmente, rios de águas-pretas são rios de cor marron-oliva até marron-café devido a substâncias húmicas dissolvidas. Em geral apresentam águas bastante ácidas e empobrecidas em eletrólitos. Dos principais tributários mencionados, os rios Negro e Jutai são tributários de águas-pretas, os demais são tributários de águas-brancas. Considerando-se a carga de elementos dissolvidos e de sólidos

transportados pelos rios, nota-se que a altitude e o conseqüente regime de erosão atuante em cada região são os principais controladores desses parâmetros (STALLARD & EDMOND, 1983). Assim, caso seja considerada a taxa de exportação de sedimentos de cada subacia, nota-se que as maiores taxas são encontradas em rios com origem nos Andes, como o Amazonas e o Madeira; e as menores em rios que têm origem na depressão Amazônica ou escudos cristalinos (Negro e Jutai). Intermediariamente, encontram-se os tributários que nascem nos Andes ou na região Subandina mas que drenam áreas consideráveis da depressão Amazônica (MARTINELLI et al.³).

Durante o período de cheia os rios de águas-brancas, ricos em sedimentos, invadem as suas planícies de inundação deixando uma quantidade apreciável de sedimentos (JUNK, 1984). Devido a sua hidrodinâmica, o rio Amazonas e seus tributários transformam continuamente a paisagem das várzeas, caracterizando estas áreas pelo dinamismo. Em áreas desprotegidas, sedimento inconsolidado, recém depositado é erodido e transportado rio abaixo. Opostamente, em áreas protegidas das correntes, o sedimento é depositado e ano após ano são construídos novos terraços; a partir de uma certa época, esses terraços começam a ser colonizados pela

³MARTINELLI, L.A.; B.R. FORSBERG; R.L. VICTORIA; A.H. DEVOL and J.E. RICHEY. Carga Dissolvida do Rio Amazonas. *Geochimica Brasiliensis*. (no prelo).

vegetação característica das várzeas (JUNK, 1970; 1984). Esse dinamismo resulta num número incalculável de ilhas, diques marginais, lagos, canais, furos e paranás (SIOLI, 1975). Devido à origem andina (geologicamente recente), o sedimento depositado nas várzeas é relativamente rico em elementos químicos, refletindo estreitamente as características químicas e mineralógicas dos sedimentos transportados pelos rios (IRION, 1976). MARTINELLI (1986) mediu a concentração de cátions básicos em amostras de sedimentos depositados em vários pontos do canal principal e em seus principais tributários. A capacidade de troca catiônica (CTC) média de amostras coletadas no canal principal, em três épocas distintas, foi de $13,9 \pm 0,4$ meq/100g (n=40). Por outro lado, nos tributários, a CTC foi estatisticamente menor, sendo na várzea do rio Japurá encontrado o menor valor (6,3 meq/100g): Provavelmente, esta diferença entre rio Amazonas e tributários, no tocante à fertilidade de suas várzeas, seja devida à distintas posições geográficas das nascentes dos tributários, pois, segundo STALLARD & EDMOND (1983), cada subacia é caracterizada por diferentes substratos geológicos.

Em adição à relativa fertilidade dos sedimentos, os lagos de várzea têm uma elevada produção primária (SCHMIDT, 1973; DEVOL et al., 1984; FORSBERG, 1984). Assim sendo, a oferta de alimento na região é relativamente alta,

e aliado ao fato de que o rio é o principal meio de transporte, tornam as várzeas a região mais densamente povoada da Amazônia (MEGGERS, 1986). Em contraste com esta situação, os solos predominantes na depressão Amazônica (terra-firme) são pobres em nutrientes (DEMATTE, 1988; VIEIRA & SANTOS, 1988).

Segundo SANCHEZ et al. (1982), 75% dos solos da Amazônia são solos ácidos e inférteis, principalmente Oxisols e Ultisols, 15% da área é dominada por solos aluviais pobremente drenados, solos moderadamente férteis e bem drenados perfazem 8% da área, e finalmente 3% são cobertos por solos arenosos de baixíssima fertilidade. Segundo os mesmos autores, cerca de 90% dos solos são deficientes em fósforo, 73% apresentam toxidez de alumínio, 56% sofrem inundações periódicas e drenagem deficiente, 16% baixa capacidade de troca catiônica, 15% alta erodibilidade. Conseqüentemente, as maiores limitações dos solos da Amazônia são de origem química e não física, ressaltando-se que cerca de 6% (32 milhões de ha) não apresentam maiores limitações para a agricultura.

Dentro desse contexto, as várzeas podem ser consideradas como um elemento exótico à paisagem Amazônica, não só pelas propriedades químicas de seus solos e corpos hídricos, como também pela sua morfologia e relevo, totalmente contrastante em relação à terra-firme (SIOLI,

1975, 1984b).

Quanto aos principais tipos de vegetação, a bacia Amazônica é dominada pela Floresta Latifoliada Perene - Mata de Terra-Firme (KUHLMANN, 1977). Apesar deste predomínio, obviamente, outros tipos de vegetação ocorrem na área. Mesmo a Mata de Terra-Firme não é homogênea, existindo uma grande diversidade que parece estar ligada às diferentes bacias hidrográficas. Fitogeograficamente, alguns autores afirmam que cada rio tem sua flora própria (PIRES, 1984; PIRES & PRANCE, 1986).

PIRES & PRANCE (1986) dividiram os tipos de floresta de acordo com a posição no relevo e a condição de inundação do solo. Assim, por um lado encontram-se as Matas de Terra-Firme e, por outro, as chamadas Florestas Inundadas (Mata de Várzea). As primeiras cobrem cerca de 70% da área, a segunda cerca de 10 % e o restante está dividido entre Cerrados, Campos, Vegetações Litorâneas e outros. Porém, esta distribuição fitogeográfica está rapidamente sendo alterada por força das extensas áreas que estão sendo desmatadas. Os focos mais agressivos de desmatamento encontram-se nas regiões periféricas da Amazônia, onde concentram-se os solos de terra-firme mais férteis. A situação mais dramática pode ser encontrada no Estado de Rondônia, onde estimativas recentes dão conta de que cerca de 6% da área do Estado já havia sido desmatada no ano de 1983 (FEARNSIDE, 1986b) e

cerca de 11,4% até 1985 (MALINGREAU & TUCKER, 1988).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Coleta de Amostras

3.1.1. Sedimento depositado nas várzeas

As coletas de amostras de sedimento de várzea foram realizadas ao longo do rio Solimões/Amazonas, por uma extensão de aproximadamente 2400 km, entre a cidade de Vargem Grande (3°16'18" Latitude Sul e 67°55'12" Longitude Oeste) e Furo do Mugirum (1°00'54" Latitude Sul e 51°10'24" Longitude Oeste) (Fig.1). Neste intervalo foram definidos 18 pontos de coletas ao longo do canal principal (Tab.1). Nos tributários Içá, Jutai, Juruá, Japurá, Purus e Madeira as amostras foram coletadas em várzeas que distavam entre 30 a 50 km da foz (Tab.1). No rio Negro as amostras foram também coletadas a cerca de 30 km da foz, muito embora por ser um rio de água-preta (pobre em sedimento em suspensão), não há deposição de sedimentos em suas margens, portanto não há formação de várzea. Todavia, para simplificar, as amostras coletadas às margens do rio Negro serão daqui por diante denominadas amostras de sedimento de várzea.

A amostragem no canal principal foi realizada nos meses de Julho/Agosto de 1985, a bordo da Lancha Motor Amanai, durante o cruzeiro de número 9 do projeto Biogeoquímica do Carbono na Bacia Amazônica e Fevereiro/Março de 1987, a bordo do Iate Motor Calliope. Neste último

cruzeiro foram coletadas amostras à jusante da cidade de Óbidos - Santarém, Prainha e Furo Mugirum. No caso dos tributários, as amostras foram coletadas em Junho/Julho de 1984. Esta época do ano corresponde ao período de início da descida das águas. Dessa forma foram coletadas duas amostras em cada ponto: uma amostra em que o sedimento não apresentava ainda nenhuma cobertura vegetal (**sedimento sem cobertura vegetal**); e um segundo tipo, o qual estava sob intensa cobertura vegetal, principalmente gramíneas (**sedimento sob gramínea**). Por fim, durante o cruzeiro de Fevereiro/Março de 1987, pelo canal principal e durante o cruzeiro de Junho/Julho de 1984, pelos tributários, não foi possível coletar os dois tipos de amostras, sendo coletadas somente amostras de sedimentos que já haviam sido colonizadas pela vegetação.

As amostras de sedimento depositado nas várzeas foram coletadas com trado de caneca a uma profundidade de 10 cm, sendo secas ao ar e embaladas para transporte. Como a várzea abrange uma vasta área, incluindo uma série de diferentes biótopos (JUNK, 1970), julga-se necessário que fiquem bem caracterizados os locais em que foram coletadas as amostras. Invariavelmente, as amostras foram coletadas próximas à margem dos rios a uma distância máxima de 100 m em relação à linha da água. Localmente, esta região é denominada várzea baixa; geologicamente, estas

várzeas se caracterizam por constituírem os depósitos sedimentares mais recentes da Amazônia (IRION, 1978).

3.1.2. Sedimento em suspensão

As amostras de sedimento em suspensão foram coletadas também em Junho/Julho de 1985 ao longo do canal principal em dez locais distintos e próximas à foz de alguns tributários que se acham listados na Tabela 1. O método de coleta desses sedimentos encontra-se detalhadamente descrito em RICHEY et al. (1986). Resumidamente, o perfil transversal do rio foi dividido em 9 setores e em cada um deles foram coletadas amostras integradas com a profundidade permitindo uma amostragem proporcional ao fluxo de água. Estas nove subamostras foram filtradas, separando a fração maior que $63\mu\text{m}$ e em seguida foram colocadas em um único recipiente e passadas em centrífuga para separação do sedimento em suspensão.

3.2. Métodos de Análise

3.2.1. Cátions Básicos Trocáveis

As amostras, após serem secas ao ar, foram destorroadas e passadas em peneira de 2mm, constituindo a terra fina seca ao ar (TFSA).

A extração de Ca, Mg, K e Na foi feita com HCl 0,05N, usando-se 5g de amostras em 50 ml de solução. Após

filtragem os teores desses elementos foram determinados por espectrometria de absorção atômica (Varian-634).

Tabela 1. Locais de coleta de sedimento depositado na várzea ao longo do rio Solimões/Amazonas e dos tributários Içá, Juruá, Purus, Negro e Madeira. A distância (d), expressa em km, tem como referência a estação de Vargem Grande e aumenta no sentido Oeste-Leste (a jusante). No caso dos tributários, a referência adotada foi em relação a distância compreendida entre Vargem Grande e a foz do tributário.

Locais	d(km)	Data
Vargem Grande*	0.0	Julho-Agosto/85
Santo Antonio Içá*	60.0	Julho-Agosto/85
Bararuá	100.0	Julho-Agosto/85
Xibeço*	175.0	Julho-Agosto/85
Tupe*	270.0	Julho-Agosto/85
Mari*	300.0	Julho-Agosto/85
Ferrara*	450.0	Julho-Agosto/85
Itapeua*	680.0	Julho-Agosto/85
Anori*	874.0	Julho-Agosto/85
Manacapuru*	998.0	Julho-Agosto/85
São José Amajari*	1194.0	Julho-Agosto/85
Silves	1315.0	Julho-Agosto/85
Canaçari	1355.0	Julho-Agosto/85
Paura*	1435.0	Julho-Agosto/85
Obidos*	1696.0	Julho-Agosto/85
Santarém	1806.0	Fevereiro-Março/87
Prainha	1936.0	Fevereiro-Março/87
Mugirum	2236.0	Fevereiro-Março/87
Tributários		
Içá*	16.0	Junho-Julho/84
Juruá*	259.0	Junho-Julho/84
Purus*	884.0	Junho-Julho/84
Negro	1000.0	Junho-Julho/84
Madeira*	1222.0	Junho-Julho/84

* Nestes locais foram coletadas amostras de sedimento em suspensão.

3.2.2. Elementos Totais

A solubilização das amostras para determinação de sílica foi feita por fusão com carbonato e tetraborato de sódio e a solubilização para determinação de alumínio, ferro, cálcio, magnésio potássio e sódio foi efetuada pelo método descrito por GINE ROSIAS (1986). A fusão foi feita pesando-se 0,2g de sedimento seco ao ar (TFSA) e passados em peneira de 2mm, adicionando-se 1,2g da mistura constituída de duas partes de carbonato de sódio para uma parte de tetraborato de sódio. O material fundido foi recebido em ácido clorídrico 1+1 para sua solubilização. O segundo método foi feito pesando-se 250 mg de amostra de sedimento e transferindo-as para "bomba" de teflon. Foram adicionados 5 ml de água régia e após 1 hora mais 5 ml de ácido fluorídrico. As bombas foram aquecidas a 140°C por 2 horas; após serem resfriadas foram adicionados 1 a 2 ml de ácido perclórico, voltando a ser aquecidas a 210°C. Após quase secas, as amostras foram retomadas a 25 ml de HCl 0,5M.

A determinação da concentração dos elementos foi feita por espectrometria de chama com plasma de argônio induzido, com exceção dos elementos potássio e sódio que foram determinados por espectrometria de chama convencional.

A exatidão dos resultados foi avaliada pela análise de padrões certificados pela Agência Internacional de Energia Atômica (Soil-5). Para cada amostra foram feitas

três repetições, portanto, nos locais em que foram coletadas amostras em duplicatas foram feitas um total de seis determinações.

3.2.3. Análise Estatística

A estatística utilizada no tratamento dos dados foi não-paramétrica devido aos dados não seguirem uma distribuição normal. O teste de Spearman foi utilizado para estabelecer correlações entre duas populações e o teste dos sinais foi utilizado para estabelecer superioridade de uma população sobre a outra (CAMPOS, 1983). A representação da significância do teste foi resumida na Tabela 2. O máximo nível de significância aceito foi de 5%.

A média dos valores será apresentada conjuntamente com o desvio-padrão e com o número de dados com os quais aquela média foi calculada. A forma de apresentação adotada foi a seguinte: $Z \pm W (n = T)$, onde:

Z é a média dos valores;

W é o desvio-padrão e

T é o número de dados.

3.2.4. Análise Mineralógica

As análises por difração de raios-X foram conduzidas em dois tipos de amostras: nas amostras de sedimento em suspensão coletadas nos rios e nas amostras de

sedimento depositado nas várzeas.

3.2.4.1. Sedimento em suspensão

As amostras de sedimento em suspensão foram analisadas pelo método da lâmina planar. As mesmas foram colocadas em suportes de alumínio e irradiadas no intervalo de 3 a 62 2θ , utilizando-se um aparelho Rigaku equipado com tubo de Cu e filtro de Ni, operando a 20 mA e 40 kV.

3.2.4.2. Sedimento depositado na várzea

Para as amostras coletadas na várzea o preparo foi distinto e constou inicialmente de uma separação física com peneira de 2mm de diâmetro e em seguida foram tomadas subamostras pesando 10 g. A matéria orgânica contida nestas amostras foi eliminada por oxidação com peróxido de hidrogênio (30% ; 1 ml/g de amostra), segundo o procedimento descrito por JACKSON (1969). A seguir foi retirado o ferro pelo método denominado CDB; citrato-ditionito-bicarbonato (JACKSON, 1969). Após esses dois pré-tratamentos, foi feita a separação da fração areia (200 - 50 μ m) por peneiramento úmido. A separação da fração silte (50 - 2 μ m) e argila (<2 μ m) foi feita por centrifugação a 750 rpm por 4 minutos até que o líquido sobrenadante tornou-se límpido. Obviamente a fração silte permaneceu depositada no fundo do tubo de ensaio levado à centrífuga. A separação da fração argila do

líquido sobrenadante foi também feita por centrifugação, porém a 2000 rpm durante 10 minutos. As frações areia e silte foram secas em estufa a 110°C e acondicionadas para análise.

Uma alíquota da fração argila foi ainda saturada com potássio (cloreto de potássio) e outra alíquota saturada com magnésio (cloreto de magnésio). Em ambos os casos, a saturação foi feita centrifugando-se uma alíquota da fração argila com cerca de 50 ml de cloreto de potássio ou magnésio, por 4 vezes a 2000 rpm, durante 10 minutos. Após a saturação, para eliminação do cloreto, as amostras foram centrifugadas com cerca de 50 ml de etanol, e 3 vezes repetidamente com cerca de 50 ml de acetona, nas mesmas condições empregadas durante a saturação. Com as amostras da fração argila saturada foram feitas as lâminas para serem levadas ao aparelho de RX. Ressalta-se que com as amostras da fração argila saturadas com magnésio foram feitas dois tipos de lâmina, um somente com a argila saturada e outro onde foi adicionado glicol, quando da transferência das amostras para lâmina (JACKSON, 1969).

3.2.5. Fracionamento da Matéria Orgânica

Consiste na divisão da matéria orgânica do solo em três frações distintas: 200 - 2000 μm (areia grossa); 50 - 200 μm (areia média + fina) e < 50 μm (silte + argila). O método baseia-se na separação das frações por peneiramentos sucessivos, detalhadamente descrito por FELLER (1979).

3.2.6. Carbono Orgânico e Nitrogênio Total

O teor de carbono orgânico nas amostras foi determinado por combustão seca e dosagem de CO₂ em um aparelho Wostmoff mod. 12-A. A concentração de nitrogênio total (formas orgânicas + formas inorgânicas) foi determinado pelo clássico método de Kjeldahl.

3.2.7. Relação Isotópica ¹³C/¹²C

As amostras de TFSA foram passadas por peneiras de 50 μm. Aproximadamente 1mg de carbono, que corresponde a uma quantidade variável de sedimento, dependendo do teor de carbono da amostra, foi transformada em CO₂ por combustão com óxido de cobre em tubos de vidro pirex selados sob vácuo. A relação ¹³C/¹²C foi determinada por espectrometria de massa em um aparelho Micromass 602 E. A relação ¹³C/¹²C da amostra foi expressa na forma δ por mil, em relação ao padrão internacional PDB, que é definida como:

$$\delta^{13}\text{C} = (R_{\text{amostra}} - R_{\text{padrão}}) / R_{\text{padrão}}$$

onde:

R_{amostra} é a relação ¹³C/¹²C da amostra

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

4. RESULTADOS

A representação da significância dos testes estatísticos está resumida na Tabela 2. No texto toda tendência descrita foi estatisticamente significativa; a máxima significância aceita foi ao nível de 5%.

4.1. Cátions Básicos Trocáveis

4.1.1. Concentração

Os resultados médios a serem apresentados a seguir, encontram-se resumidos na Tabela 3. No Apêndice 1 estão listados os valores das repetições das análises químicas realizadas nas amostras. Como não houve diferença significativa entre as amostras de sedimento sob gramínea e sedimento sem cobertura vegetal, as amostras foram consideradas como repetições.

A concentração média de cálcio nas amostras de sedimento coletadas nas várzeas do canal principal foi de 2200 ± 616 ppm (n=22). A segunda maior concentração média foi de magnésio, de aproximadamente 310 ± 98 ppm (n=22). As concentrações médias de potássio e sódio foram significativamente menores, cerca de 81 ± 23 ppm (n=22) e 26 ± 6 ppm (n=22), respectivamente. A soma desses quatro elementos define o parâmetro S_t (soma de bases dos trocáveis). O valor médio deste parâmetro foi de

aproximadamente 2616 ± 723 ppm ($n=22$). Desse total, cálcio está presente em maior proporção, cerca de $84 \pm 2\%$ ($n=22$); seguem-se magnésio com $12 \pm 1,5\%$ ($n=22$), potássio com $3 \pm 1\%$ ($n=22$) e sódio com apenas $1 \pm 0,3\%$ ($n=22$).

A concentração dos cátions básicos trocáveis na amostra coletada na várzea do rio Juruá foi a maior dentre os tributários amostrados, isto é, de 2271 ppm de Ca, 292 ppm de Mg, 105 ppm de K e 40 ppm de Na. Por outro lado, como era esperado, a menor concentração foi encontrada nas amostras coletadas na margem do rio Negro, onde a concentração de Ca foi de 24 ppm, Mg e Na tiveram concentrações semelhantes, em torno de 15 ppm e, finalmente, a concentração de K foi de 3,2 ppm. No rio Içá a concentração de cálcio foi de 1039 ppm, seguiram-se magnésio com 185 ppm e potássio e sódio com 53 ppm e 31 ppm, respectivamente. Nas amostras coletadas nas várzeas dos rios Madeira e Purus as concentrações de Ca e Na foram semelhantes, da ordem de 720 ppm e 27 ppm, respectivamente. A concentração de Mg foi maior no rio Madeira (158 ppm) do que no rio Purus (107 ppm); inversamente, a concentração de K foi mais elevada no rio Purus (28 ppm) do que no rio Madeira (11 ppm).

Quanto à proporção relativa dos elementos em relação à soma de bases, a participação do cálcio variou de 79% a 84%; magnésio de 11% a 17%; potássio variou entre 3% a 4% e sódio de 1% a 3%. A exceção a esse comportamento

similar foi observada no rio Negro, onde a proporção relativa dos elementos foi distinta em relação aos outros tributários. O Ca contribuiu com 62%, Mg com 15%, K com 8% e sódio com 15%.

4.1.2 Variabilidade espacial

Como já foi mencionado, no intuito de verificar possíveis variações espaciais na concentração de cátions básicos trocáveis, foram coletadas no sentido de oeste para leste, amostras de sedimento em vários pontos na várzea do canal principal (Figs.2 e 3). Pode ser observado que as concentrações de cálcio e magnésio decresceram significativamente no sentido da amostragem. Por outro lado, as concentrações de sódio e potássio permaneceram constantes ao longo da amostragem. As proporções relativas de Ca em relação à soma de bases também decresceu rio abaixo; entretanto, a proporção relativa de magnésio permaneceu constante. As proporções relativas de K e de Na aumentaram no sentido de oeste para leste compensando desta maneira o decréscimo observado na relação Ca/S_t .

Tabela 2a. Representação da significância dos testes estatísticos (teste de correlação de Spearman), expressos em porcentagem. Valores acima de 5% foram considerados não significativos.

	Ca	Mg	Na	K	Ca/S _t	Mg/S _t	Na/S _t	K _t
km	0,01	0,04	4,40	72,00	2,50	2,50	5,00	0,10
	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
km	0,10	0,10	0,20	7,00	72,00	0,40	1,30	
	IQ	IQS	CaO/S _T	MgO/S _T	Na ₂ O/S _T	K ₂ O/S _T		
km	0,70	0,20	0,10	0,10	3,50	4,00		
Dados Normalizados								
	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	
km	0,10	0,10	0,20	79,00	0,20	0,90	47,00	
	Peso				δ ¹³ C			
	F>200	F200-50	F<50	F>200	F200-50	F<50		
km	62,00	1,80	1,30	2,60	1,80	1,80		
Sedimento sem cobertura vegetal				Sedimento sob gramínea				
	C	N	C:N	δ ¹³ C	C	N	C:N	δ ¹³ C
km		51		89	52	38	26	1,5
	Ca	CaO	MgO	Na ₂ O	K ₂ O			
		0,10						
	Mg		0,10					
	Na			42,00				
	K				67,00			

Tabela 2b. Representação da significância dos testes estatísticos (teste Man-Withney), expressos em porcentagem. Valores acima de 5% foram considerados não significativos.

Sedimento sem cobertura vegetal					
		N	C	CN	$\delta^{13}\text{C}$
Sedimento	N	9,0			
sob gramínea	C		7,0		
	CN			77,0	
	$\delta^{13}\text{C}$				4,0

Tabela 3. Valores de cátions básicos trocáveis e soma de bases (S_T), expressos em ppm, em amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do canal principal e tributários.

km	Ca	Mg	Na	K	S_T
0.00	3549,00	534,75	31,95	85,50	4201,00
60.00	2363,00	357,75	26,48	72,00	2819,00
100.00	3149,25	458,50	30,05	89,50	3727,00
175.00	3429,25	502,50	31,90	143,00	4107,00
270.00	2197,75	325,00	26,58	80,35	2630,00
300.00	2373,75	313,00	31,20	95,50	2814,00
450.00	2517,50	382,50	33,70	86,40	3020,00
680.00	2664,75	357,00	34,13	102,20	3158,00
874.00	2209,75	318,00	28,25	89,48	2646,00
998.00	2215,25	262,75	29,28	90,23	2598,00
1194.00	1937,50	204,00	19,90	64,50	2226,00
1315.00	2277,25	273,00	28,10	79,43	2658,00
1355.00	1423,50	243,50	22,38	43,30	1733,00
1435.00	1599,75	308,00	22,20	83,55	2014,00
1696.00	1950,00	314,50	22,13	110,63	2397,00
1806.00	1488,00	220,00	14,28	90,50	1812,00
1936.00	1302,50	168,50	27,60	95,00	1593,00
2236.00	1552,00	219,50	30,10	62,70	1864,00
Média	2199,00	319,00	81,00	25,80	2625,00
r. Içá	1039,00	185,00	53,00	31,00	1308,00
r. Juruá	2271,00	292,00	105,00	40,00	2708,00
r. Purus	721,00	107,00	26,00	28,00	882,00
r. Negro	24,00	15,00	15,00	3,20	57,20
r. Madeira	714,00	158,00	28,00	11,00	911,00

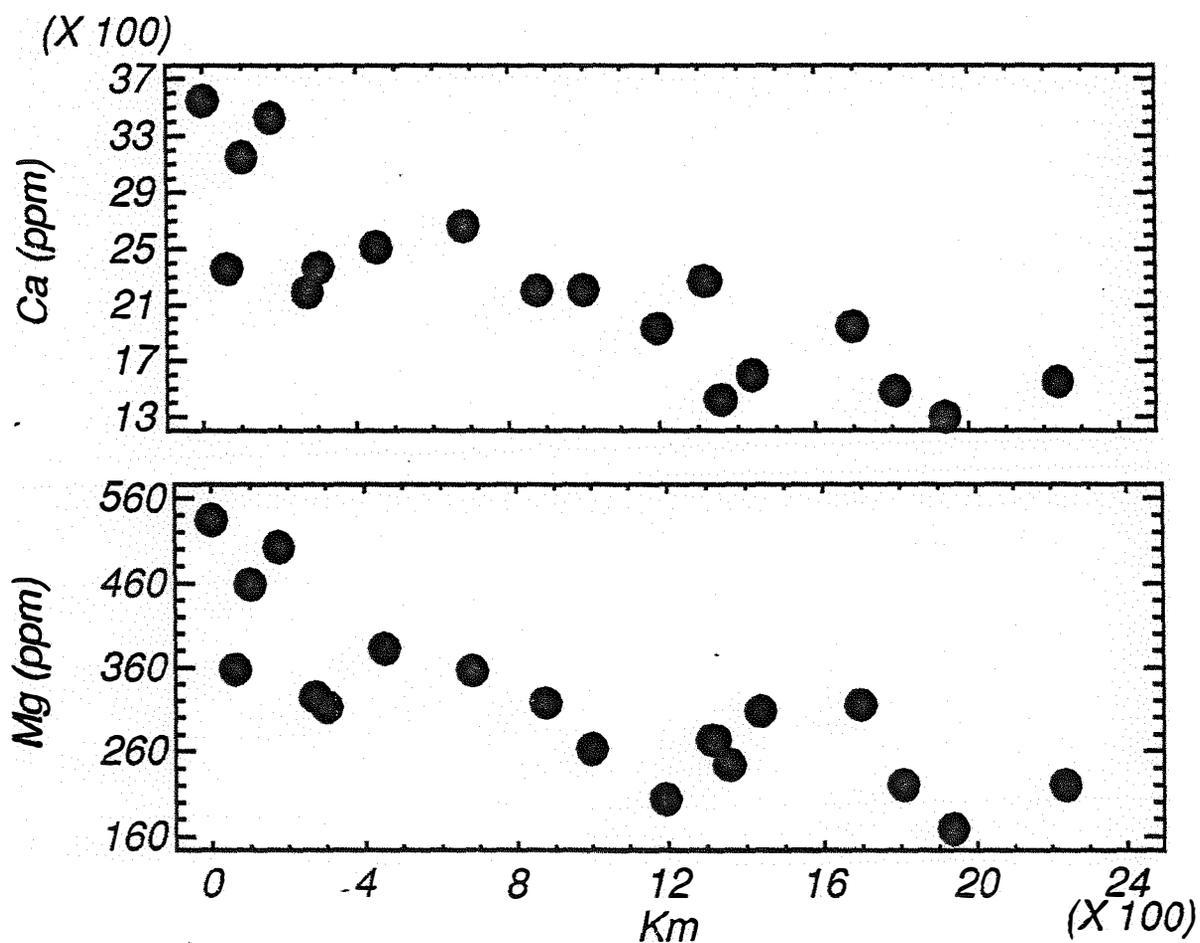


Figura 2. Variação espacial da concentração de cálcio e magnésio em amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do canal principal.

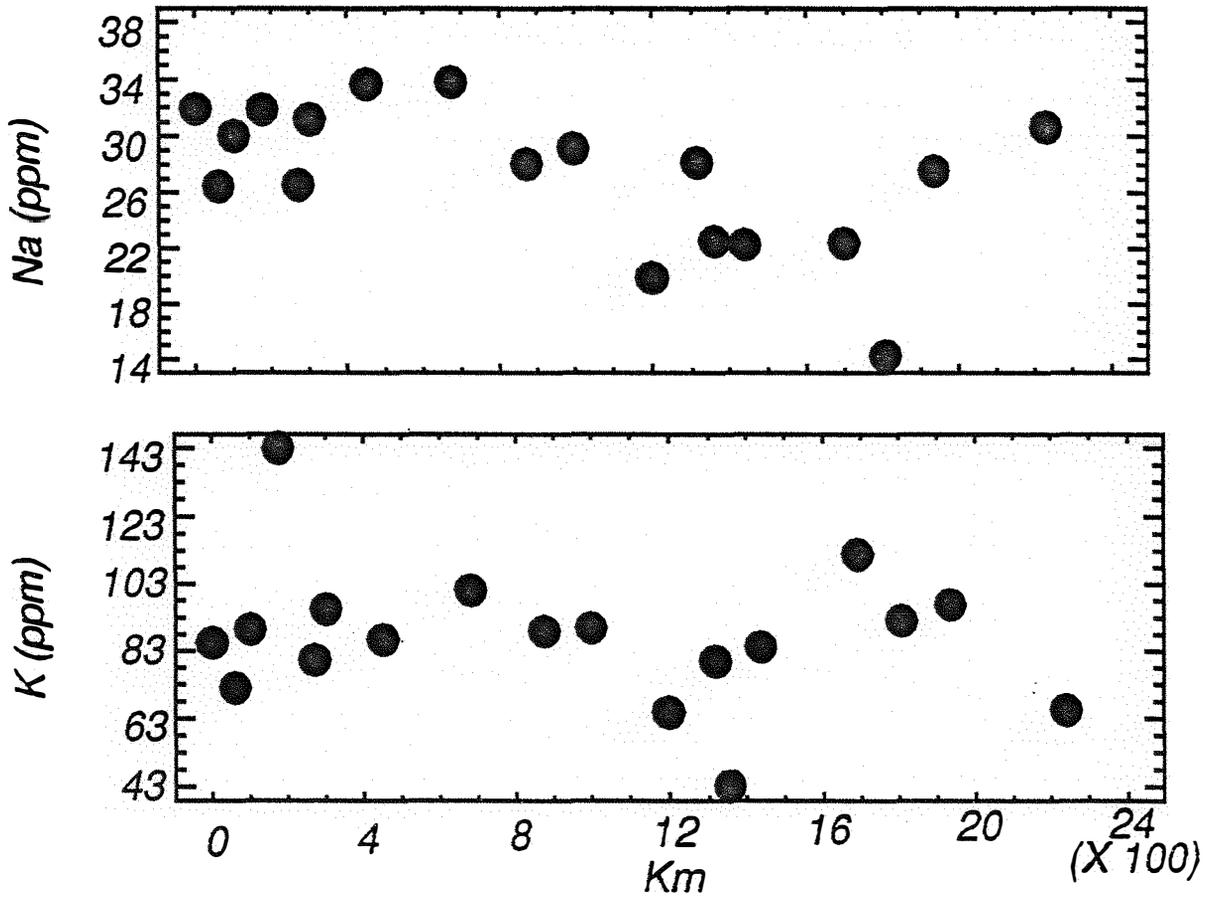


Figura 3. Variação espacial da concentração de sódio e potássio em amostras de sedimento de várzea coletadas ao longo do canal principal.

4.2. Elementos Totais

4.2.1. Concentração

No Apêndice 2 encontram-se os valores das repetições das análises químicas. Notar que no apêndice os valores estão expressos em ppm e na forma elementar. Como não houve diferença significativa entre as amostras de sedimentos com e sem cobertura vegetal, as mesmas foram consideradas como repetições. Os valores médios na forma de óxidos, expressos em porcentagem, encontram-se resumidos na Tabela 4. Como era esperado, a soma de todos os elementos analisados não fez 100%. Normalmente, alguns autores consideram os oito principais elementos - Ca, Mg, Na, K, Si, Al, Fe e Ti - como perfazendo 100% e normalizam os resultados baseando-se nesse valor. Neste estudo os resultados foram normalizados somente quando comparados a outros resultados. Assim, os resultados foram normalizados quando foram comparadas as concentrações de elementos presentes nas amostras coletadas nas várzeas do canal principal e com a dos tributários, ou quando estes resultados foram comparados a valores encontrados em outros rios da Terra. De qualquer forma, as diferenças entre os dois tipos de tratamento, não foram significativas.

O elemento em maior concentração nas amostras coletadas na várzea do canal principal foi Si, com uma concentração média de $61,04 \pm 3,33 \%$ (n=18). A segunda maior

concentração foi de Al ($13,64 \pm 2,36$ % $n=18$) e a terceira de Fe ($4,99 \pm 0,48$ % $n=18$).

Dentre os cátions básicos, a maior concentração média nas amostras coletadas na várzea do rio Solimões/Amazonas foi de Na com $3,00 \pm 0,91$ % ($n=18$); seguindo-se em ordem decrescente os elementos Ca ($2,30 \pm 0,80$ % $n=18$); K ($2,14 \pm 0,15$ % $n=18$) e Mg ($1,41 \pm 0,35$ % $n=18$). Em relação à soma de bases dos totais (S_T), o Na corresponde a 34 ± 3 % do total e está presente em maior proporção. O Mg, por sua vez, é o elemento que menos contribui para o S_T com 15 ± 1 %; intermediariamente estão os elementos Ca (26 ± 7 %) e K (25 ± 4 %).

Nas amostras coletadas nas várzeas dos tributários a concentração de sílica também foi a mais elevada, variando entre 56,6% até 75,6% (Tab.5). Alumínio foi o segundo elemento em concentração, muito embora a variação entre as amostras tenha sido acentuada. Os rios Purus e Negro tiveram concentrações menores que as encontradas nos demais tributários. Enquanto que nos rios Içá, Juruá e Madeira a concentrações de alumínio foram respectivamente de 16,6%, 15,0% e 11,3%. Nos dois outros tributários foram de 7,7% no rio Purus e de 1,3% no rio Negro (Tab.5). A mesma tendência de distribuição foi observada para a concentração de Fe, as menores concentrações sendo nos rios Purus (2,7%) e Negro (0,3%) e as mais elevadas nos demais tributários. O maior valor de soma de bases (S_T) foi

observado no rio Juruá (9,84%), os demais tributários, com exceção do rio Negro, tiveram um S_T semelhante variando de 4,35% a 5,14%. No rio Negro esse valor decresceu para 0,25% (Tab.5). As proporções dos cátions básicos em relação à soma de bases, com exceção do rio Negro, tiveram algumas tendências em comum. Assim, a contribuição relativa do Mg esteve sempre entre 15 e 20%, a do Ca entre 20 e 30%. No rio Içá a proporção relativa de K foi de 20%, e nos demais tributários a proporção aumentou, variando de 34% a 42%. Quanto ao Na, as proporções foram menores nos rios Içá (19%) e Madeira (21%); nos rios Juruá e Purus esses valores aumentaram para cerca de 35%. No Rio Negro as maiores proporções foram de Na e K (40%) e seguiram-se Ca (12%) e Mg (8%).

5.2.2. Variabilidade espacial

A concentração de alguns elementos decresceu significativamente de oeste para leste nas amostras coletadas ao longo do rio Solimões/Amazonas. Assim, Ca, Mg, Na, Fe e Al apresentaram esta tendência; enquanto que as concentrações de K e Si permaneceram constantes (Figs. 4 a 7). Em relação a soma de bases S_T , a proporção de potássio aumentou significativamente rio abaixo, enquanto a proporção dos outros cátions básicos decresceu no mesmo sentido. Quando os dados foram normalizados a 100% as tendências não foram alteradas, com exceção da concentração

Tabela 4. Valores de alguns elementos e soma de bases (S_T), expressos em porcentagem, em amostras de sedimento de várzea coletadas em vários pontos ao longo do canal principal. Dados normalizados significam que os dados foram normalizados a 100% baseando-se nesses oito elementos.

km	Ca	Mg	K	Na	S_T	Si	Al	Fe	Ti
0,00	3,10	1,68	2,28	3,94	11,00	61,15	15,37	5,42	0,92
60,00	3,10	1,58	2,28	4,31	11,27	58,20	14,77	5,05	0,85
100,00	2,90	1,66	2,13	3,55	10,24	59,52	15,50	5,47	0,91
175,00	2,90	1,56	2,25	3,40	10,11	59,22	14,34	5,36	0,92
270,00	2,58	1,41	2,13	3,53	9,65	64,50	14,18	4,74	0,87
300,00	2,43	1,41	2,15	3,05	9,04	59,87	14,17	5,18	0,93
450,00	2,64	1,49	2,22	3,13	9,48	59,90	14,61	5,19	0,92
680,00	2,97	1,61	2,13	3,85	10,56	57,50	15,64	5,51	0,93
874,00	2,32	1,42	2,21	2,80	8,75	59,80	14,30	5,09	0,91
998,00	2,76	1,49	2,02	3,27	9,54	62,90	14,44	5,02	0,87
1194,00	2,93	1,41	2,27	3,80	10,41	63,13	14,85	5,07	0,93
1315,00	2,48	1,46	2,33	3,20	9,47	57,58	15,16	5,41	0,96
1355,00	1,26	0,94	1,95	2,01	6,61	68,00	12,31	4,79	0,89
1435,00	1,79	1,22	2,26	2,49	7,76	62,45	14,11	4,49	0,91
1696,00	2,53	1,44	2,26	3,47	9,70	63,26	14,02	4,94	0,87
1806,00	0,73	0,62	1,83	1,48	4,66	67,40	7,33	3,54	0,73
1936,00	0,86	0,84	1,96	1,30	4,96	56,70	12,59	5,08	0,97
2236,00	1,05	0,52	1,44	1,94	4,95	57,60	7,86	4,45	0,76
Dados Normalizados									
0,00	3,73	2,02	2,74	4,74	13,23	73,54	18,48	6,52	1,11
60,00	3,84	1,96	2,82	5,34	13,96	72,08	18,29	6,25	1,05
100,00	3,63	2,08	2,66	4,44	12,80	74,40	18,38	6,84	1,14
175,00	3,65	1,96	2,83	4,28	12,73	74,55	18,05	6,75	1,16
270,00	3,08	1,68	2,54	4,21	11,52	76,97	18,92	5,66	1,04
300,00	3,12	1,81	2,76	3,91	11,60	76,81	18,18	6,65	1,19
450,00	3,35	1,89	2,82	3,97	12,02	75,96	18,53	6,58	1,17
680,00	3,78	2,05	2,71	4,90	13,43	73,14	19,89	7,01	1,18
874,00	3,00	1,84	2,86	3,62	11,32	77,36	18,50	6,58	1,18
998,00	3,37	1,82	2,46	3,99	11,64	76,73	17,61	6,12	1,06
1194,00	3,49	1,68	2,70	4,53	12,40	75,20	17,69	6,04	1,11
1315,00	3,24	1,91	3,04	4,18	12,38	75,25	19,81	7,07	1,25
1355,00	1,57	1,17	2,43	2,50	7,67	84,66	15,33	5,96	1,11
1435,00	2,30	1,56	2,90	3,19	9,95	80,09	18,10	5,76	1,17
1696,00	3,06	1,74	2,73	4,20	11,73	76,53	16,96	5,98	1,05
1806,00	0,95	0,81	2,39	1,93	6,07	87,85	9,55	4,61	0,95
1936,00	1,29	1,26	2,94	1,95	7,45	85,11	18,90	7,63	1,46
2236,00	1,56	0,77	2,87	2,13	7,33	85,33	11,64	6,59	1,13

Tabela 5. Valores de alguns elementos e soma de bases (S_T), expressos em porcentagem, em amostras de sedimento de várzea coletadas em alguns tributários. Dados normalizados significa que os dados foram normalizados a 100% baseando-se nesses oito elementos.

Rios	Ca	Mg	K	Na	S_T	Si	Al	Fe	Ti
Içá	1,08	1,04	2,02	0,99	5,13	57,40	15,01	5,47	1,00
Juruá	2,97	1,43	1,84	3,60	9,84	56,60	16,57	5,32	0,96
Purus	0,96	0,52	1,52	1,56	4,56	74,30	7,71	2,71	0,74
Negro	0,03	0,02	0,10	0,10	0,25	69,00	1,27	0,25	0,26
Madeira	0,92	0,69	1,81	0,93	4,35	75,63	11,33	4,38	0,76
Dados Normalizados									
Içá	1,31	1,25	2,43	1,19	6,16	68,02	18,04	6,57	1,20
Juruá	3,33	1,60	2,06	4,03	11,02	63,40	18,56	5,96	1,08
Purus	1,07	0,58	1,69	1,73	5,07	82,20	8,56	3,01	0,82
Negro	0,04	0,03	0,14	0,14	0,35	97,14	1,79	0,35	0,37
Madeira	0,95	0,72	1,88	0,96	4,51	78,43	11,75	4,86	0,79

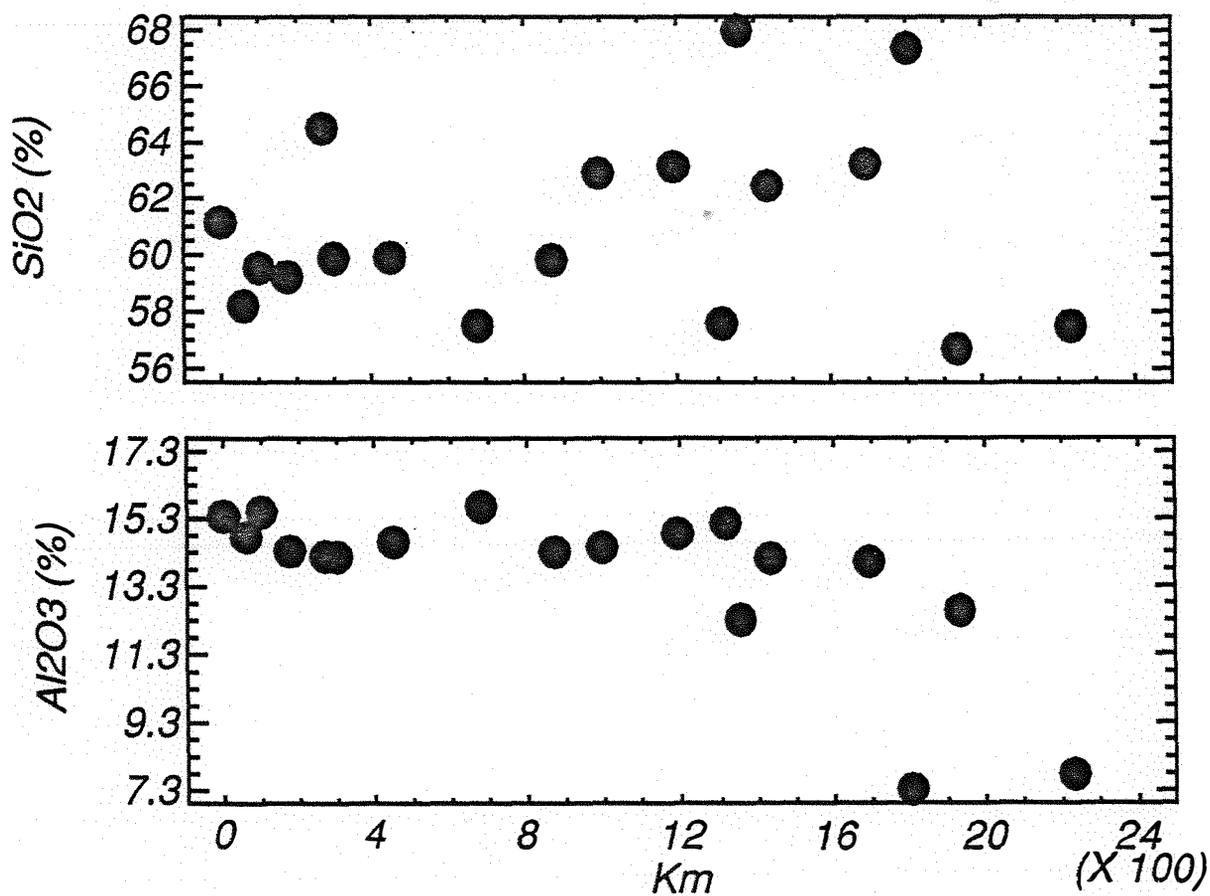


Figura 4. Variação espacial da concentração total de Si e Al em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.

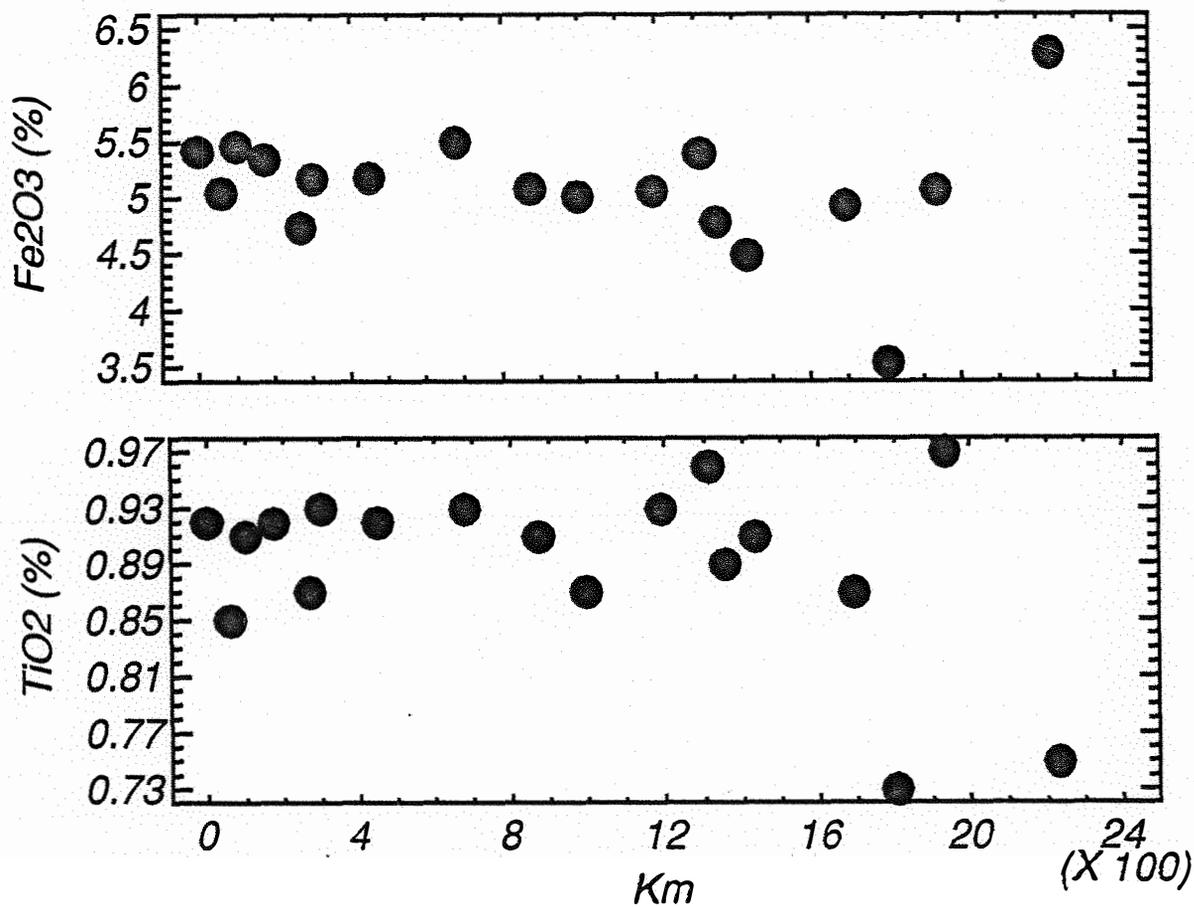


Figura 5. Variação espacial da concentração total de Fe e Ti em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.

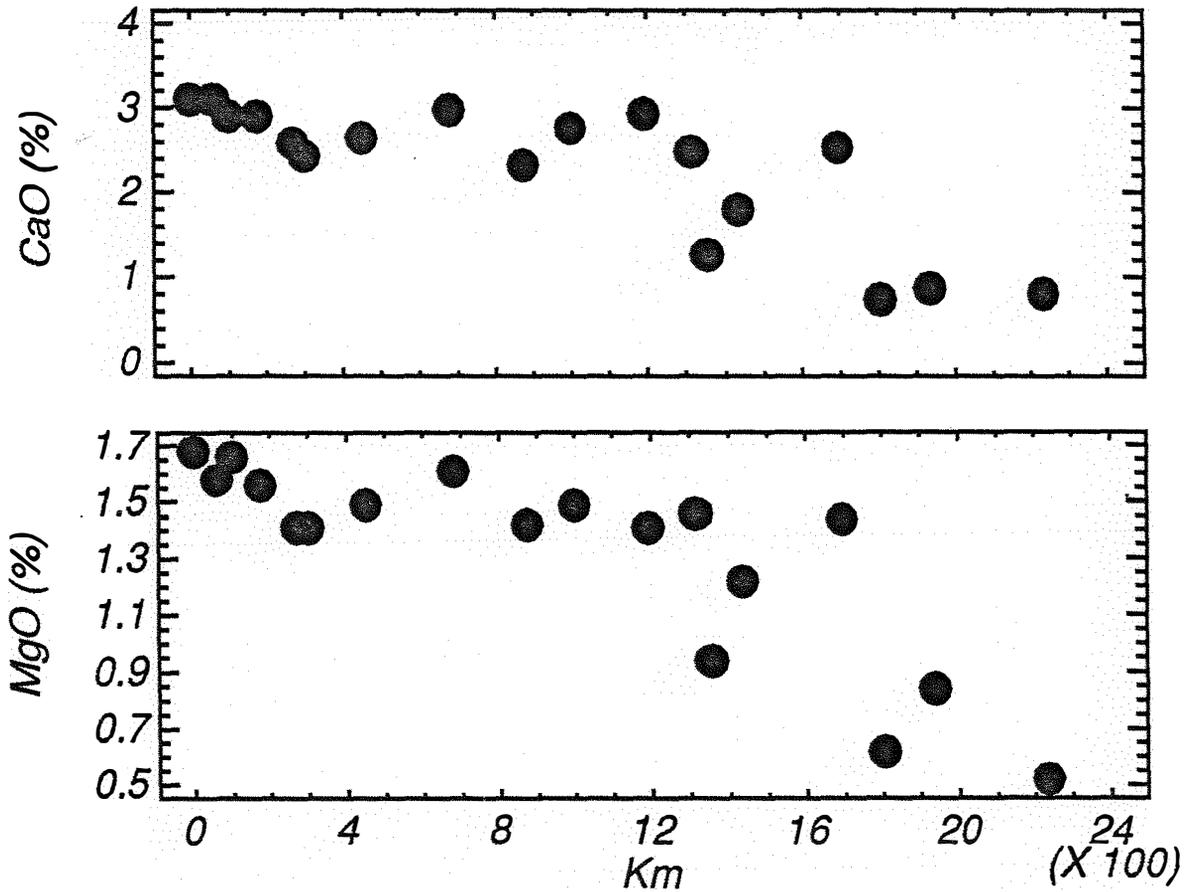


Figura 6. Variação espacial da concentração total de Ca e Mg em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.

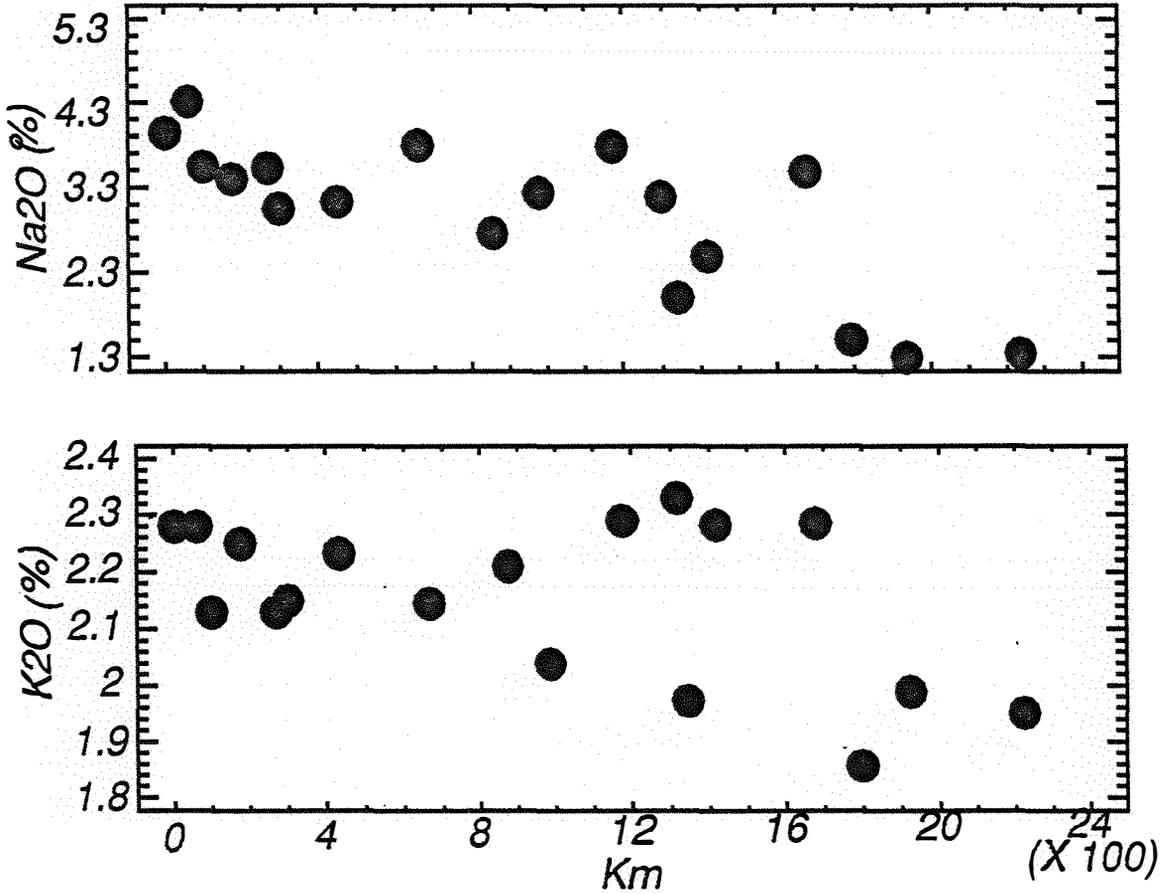


Figura 7. Variação espacial da concentração total de K e Na em amostras de sedimento de várzea coletadas em diversos pontos ao longo do rio Solimões/Amazonas.

de sílica, que aumentou significativamente rio abaixo.

4.3. Características mineralógicas

4.3.1. Características mineralógicas das amostras de sedimento em suspensão

Os principais constituintes minerais das amostras de sedimento em suspensão foram: quartzo, plagioclásios e minerais de argila (1:1 e 2:1). Como as amostras coletadas ao longo do canal principal (Tab.1) não apresentaram diferenças significativas na sua composição mineralógica, na Figura 8 estão mostrados os difratogramas de somente três amostras: Alto Amazonas (Santo Antonio do Içá); Médio Amazonas (Manacapuru) e Baixo Amazonas (Obidos). Nestas amostras, o quartzo foi identificado pelo seu pico característico de espaçamento $3,36 \text{ \AA}$ e uma série de picos secundários (1,55; 1,68; 1,79; 1,82; 1,98; 2,13; 2,25; 2,28; 2,46; $4,25 \text{ \AA}$). A presença de plagioclásios foi identificada pelo espaçamento característico de $3,19 \text{ \AA}$ e por uma série de picos secundários (2,88; 2,97; 3,13; 3,71; 3,87; 4,04; $6,32 \text{ \AA}$). A identificação de minerais de argila em amostras não tratadas torna-se difícil, entretanto, a presença de picos de espaçamento $7,31 \text{ \AA}$ (principal) e $3,55 \text{ \AA}$ (secundário) sugere a presença de caulinita. Por outro lado, também foi observada a presença de um pico de espaçamento $9,82 \text{ \AA}$ (primeira ordem) e de espaçamento $4,98 \text{ \AA}$ (segunda ordem),

indicando a presença de um mineral de argila tipo 2:1 - provavelmente do grupo das micas. Um terceiro pico menos nítido, de espaçamento $14,7 \text{ \AA}$, também sugeriu a presença de minerais de argila do tipo 2:1 (vermiculita, esmectitas ou clorita) (Fig.8).

Os difratogramas de raios-X das amostras coletadas nos rios Içá e Madeira foram semelhantes a aqueles originados das amostras coletadas no canal principal. Nas amostras coletadas nos rios Juruá e Purus, a principal diferença foi observada na região que vai de 3 a $20 2\theta$, onde estão os picos característicos dos minerais de argila. Nas amostras coletadas em ambos os rios, os picos de espaçamento $7,31 \text{ \AA}$ e $9,82 \text{ \AA}$ foram observados com menor intensidade e mau definidos (Fig.8).

4.3.2. Características mineralógicas das amostras de sedimento depositado nas várzeas

Analisando-se os difratogramas de raio-X das frações areia e silte das amostras de várzea, coletadas em três pontos distintos do canal principal, observou-se que não houve diferença entre os difratogramas das duas frações e mesmo entre estes difratogramas, e aqueles produzidos pelas amostras de sedimento em suspensão (Fig.9). Esse fato sugere que o sedimento depositado nas várzeas, praticamente, não têm suas características mineralógicas modificadas após a deposição. Como foi discutido

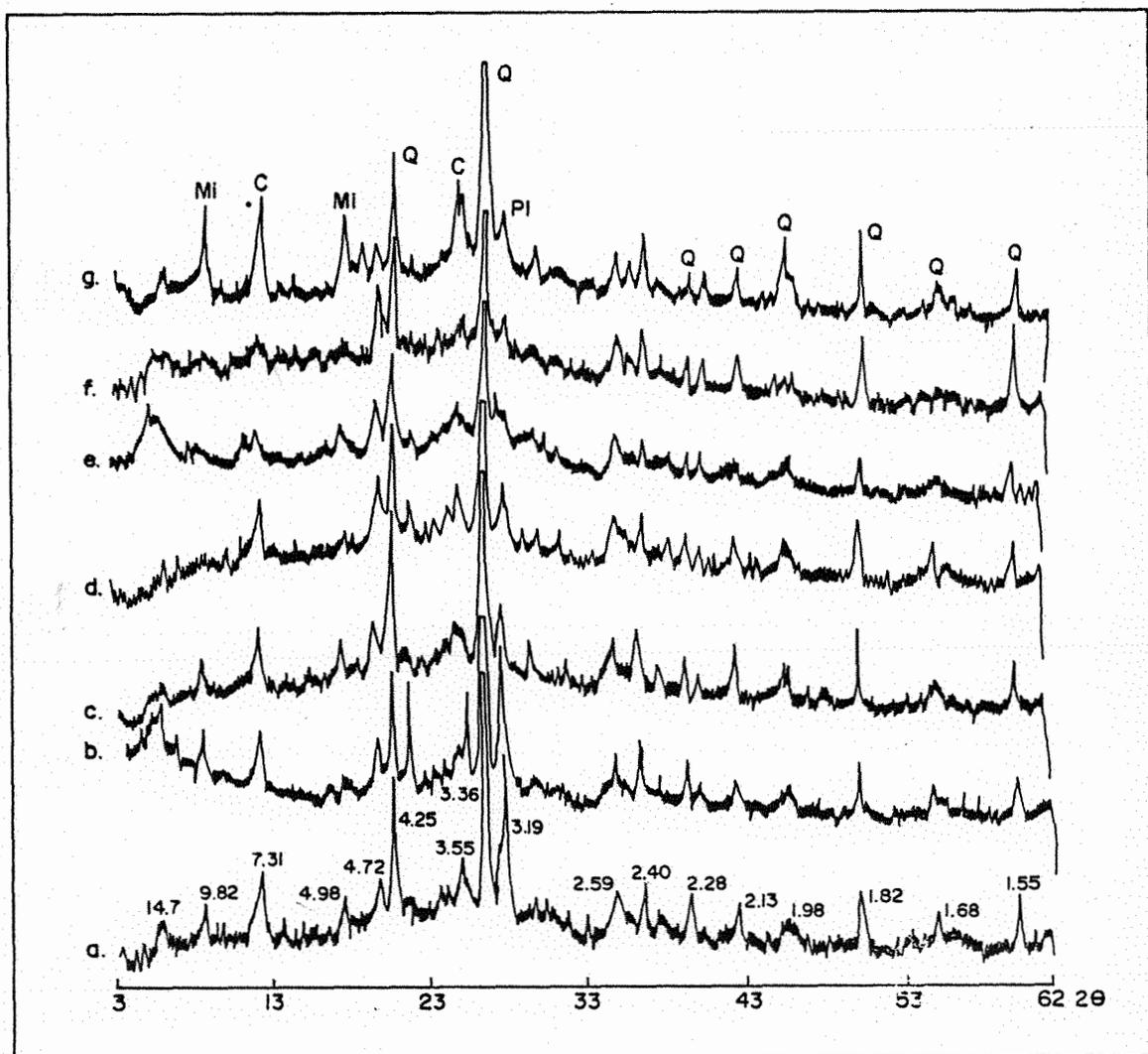


Figura 8. Difratoigramas de raios-X de amostras não tratadas de sedimento em suspensão coletadas em : (a) canal principal - Santo Antonio do Içá; (b) canal principal - Manacapuru; (c) canal principal - Obidos; (d) rio Içá; (e) rio Juruá; (f) rio Purus e (g) rio Madeira. Os números sobre os picos representam o espaçamento basal, expresso em Å, e as letras sobre os picos representam os minerais. Q - quartzo, Pl - plagioclásio, C - caulinita e Mi - micas.

anteriormente, predominam nestes difratogramas os picos característicos de quartzo e plagioclásios. No intervalo de 3 a 20 2θ encontram-se os picos menores que identificam minerais de argila, tanto do tipo 1:1 como 2:1 (Fig.9).

Na fração argila destas amostras, também não foi observada nenhuma mudança significativa, entre as amostras coletadas nas várzeas localizadas rio acima (Santo Antonio do a); curso médio (Manacapuru) e rio abaixo (Obidos). Nestas amostras foram identificados gibbsita e minerais de argila tipo 1:1 e 2:1. A gibbsita foi identificada pelo pico de espaçamento 4,80 Å, que desapareceu quando a amostra foi aquecida a 550 °C. Da mesma forma, a presença de caulinita foi observada pelo pico característico de 7,2 Å que desapareceu quando a amostra foi aquecida a 550 °C. A presença de esmectitas foi identificada pelo pico 14,5 Å, que passou a 10 Å a 550 °C e se expandiu a 17,7 Å quando a amostra foi saturada com magnésio e glicolada. A mica foi detectada por seu pico característico a 10 Å, que não se alterou mediante tratamento térmico ou saturação com Mg e glicolação. Finalmente, a vermiculita foi identificada pela presença de um pico de 14,5 Å a 25 °C, que passou a 10 Å quando a amostra foi aquecida a 550°C e se expandiu a 14,7 Å quando a amostra foi saturada com Mg e glicolada (Fig.10). Portanto, nota-se que nessas amostras, foram encontrados desde minerais de argila do tipo 2:1 até gibbsita. Este fato não seria comum em uma sequência normal de intemperismo, pois

não existem, ao mesmo tempo, condições termodinâmicas para que todos estes minerais sejam formados. A presença de toda essa assembléia de minerais é devida a propriedade integradora dos rios. Assim, drenando diferentes terrenos, os rios carregam em suas composições química e mineralógica características de cada sub-bacia, onde diferentes condições geraram uma gama variada de compostos.

Em relação as amostras do canal principal, as composições mineralógicas das frações argila das amostras de sedimento de várzea coletadas nos tributários, tiveram em comum a presença de quartzo, gibbsita e caulinita (Figs 11a e 11b). Na fração argila das amostras coletadas nos rios Içá e Madeira não foi observada a presença de esmectitas, mas sim, a presença de vermiculita, que pôde ser comprovada devido a não expansão do pico a 14-15 Å quando a amostra foi saturada como Mg-glicol. Por outro lado, nas amostras coletadas no rio Juruá e Purus, ocorreu o oposto, sendo constatada a presença de esmectitas e a ausência de vermiculita. A expansão do pico 14-15 Å para 17-18 Å quando a amostra foi saturada com Mg-glicol, comprovou este fato (Fig. 11a e 11b). Finalmente, na amostra coletada nas margens do rio Negro foi observada a presença de minerais de argila do tipo 2:1 de espaçamento 10 Å, que não foi modificado mediante tratamento térmico ou mediante.

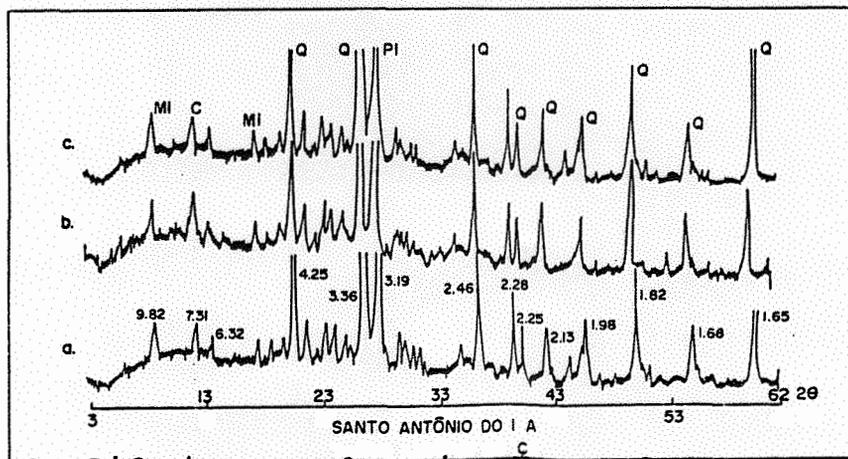
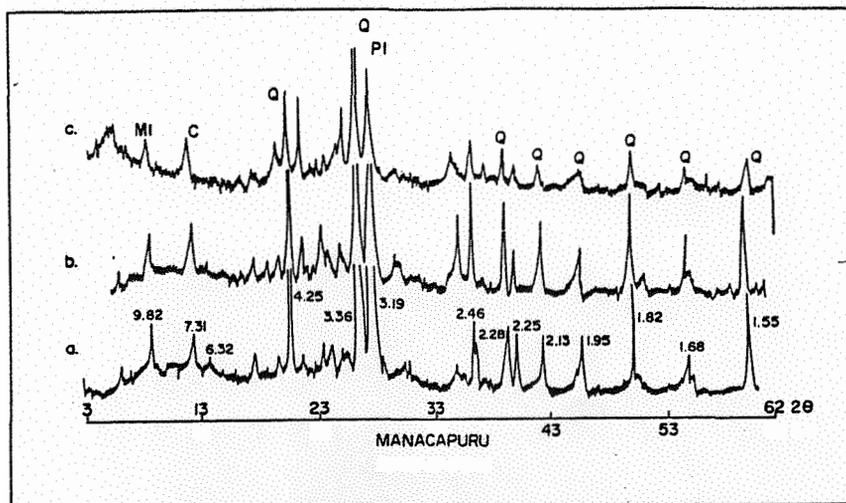
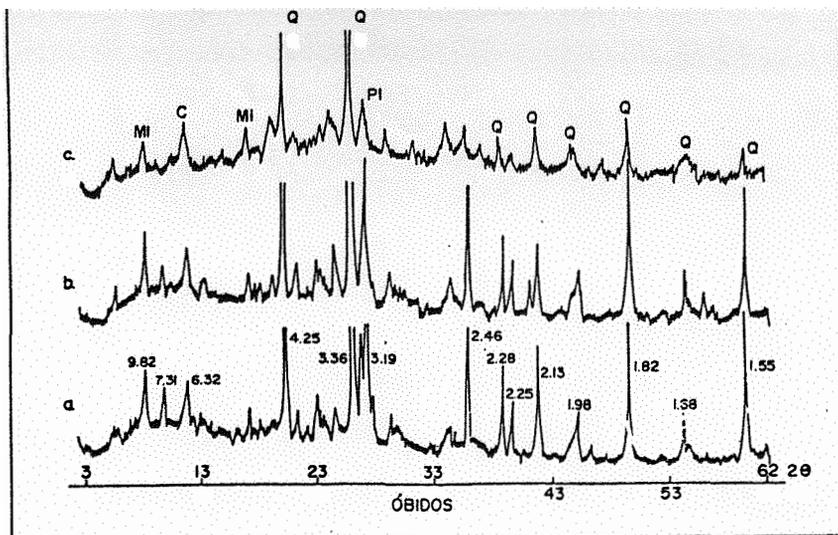


Figura 9. Difratoograma de raios-X nas frações areia (a) e silte (b) das amostras de sedimento depositado na várzea e nas amostras não tratadas de sedimento em suspensão (c) coletadas em: (A) canal principal - Santo Antonio do Içá; (B) canal principal - Manacapuru e (C) canal principal - Obidos. Os números sobre os picos representam o espaçamento basal, expresso em Å, e as letras sobre os picos representam os minerais. Q - quartzo, Pl - plagioclásio, C - caulinita e Mi - micas

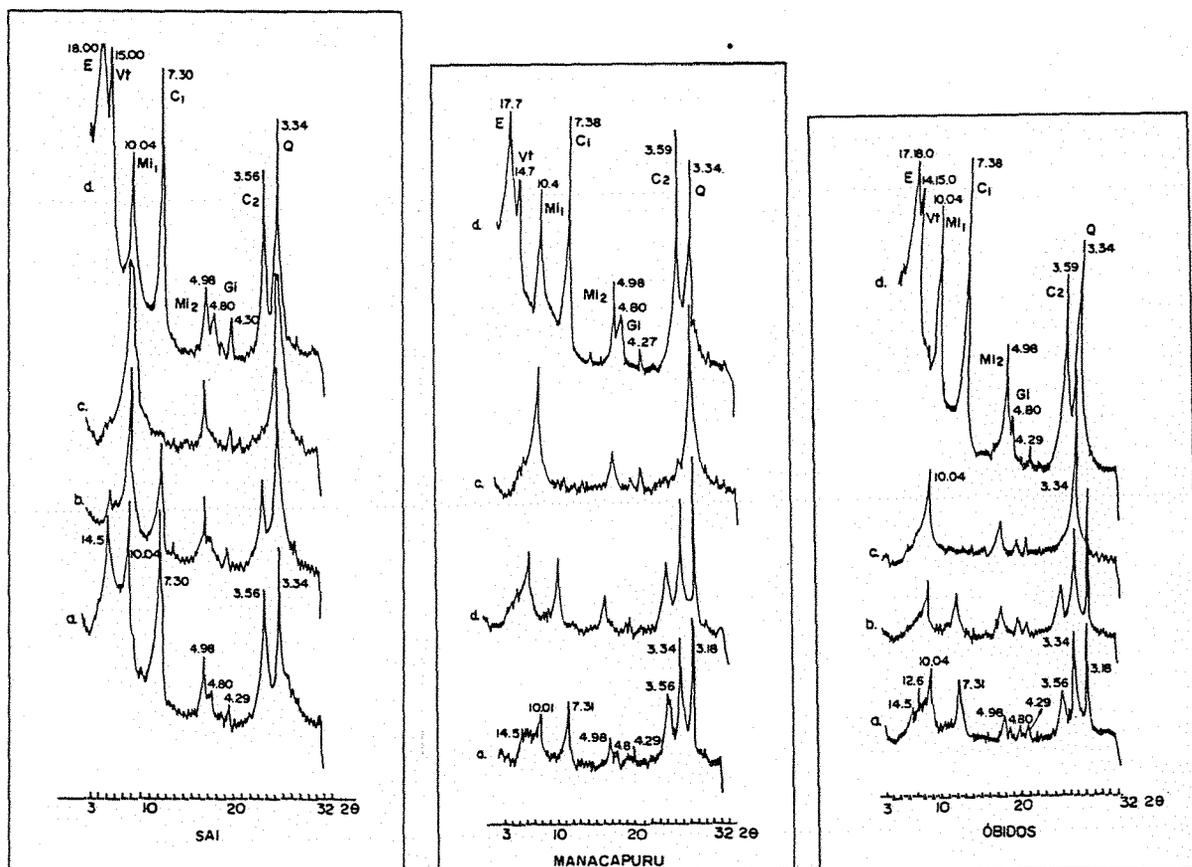


Figura 10. Difratoograma de raios-X com tratamentos da fração argila das amostras de sedimento depositado na várzea coletadas em: (A) canal principal - Santo Antonio do Içá; (B) canal principal - Manacapuru e (C) canal principal - Obidos. Tratamentos: a) 25°C; b) 350°C; c) 550°C e d) Mg-glicol. Os números ao lado dos picos representam o espaçamento basal expresso em Å. As letras ao lado dos picos representam os minerais. E - esmectitas, Mi_1 - micas (1ª ordem), Mi_2 - Micas (2ª ordem), Vt - vermiculita, C - caulinita, Gi - gibbsita e Q - quartzo.

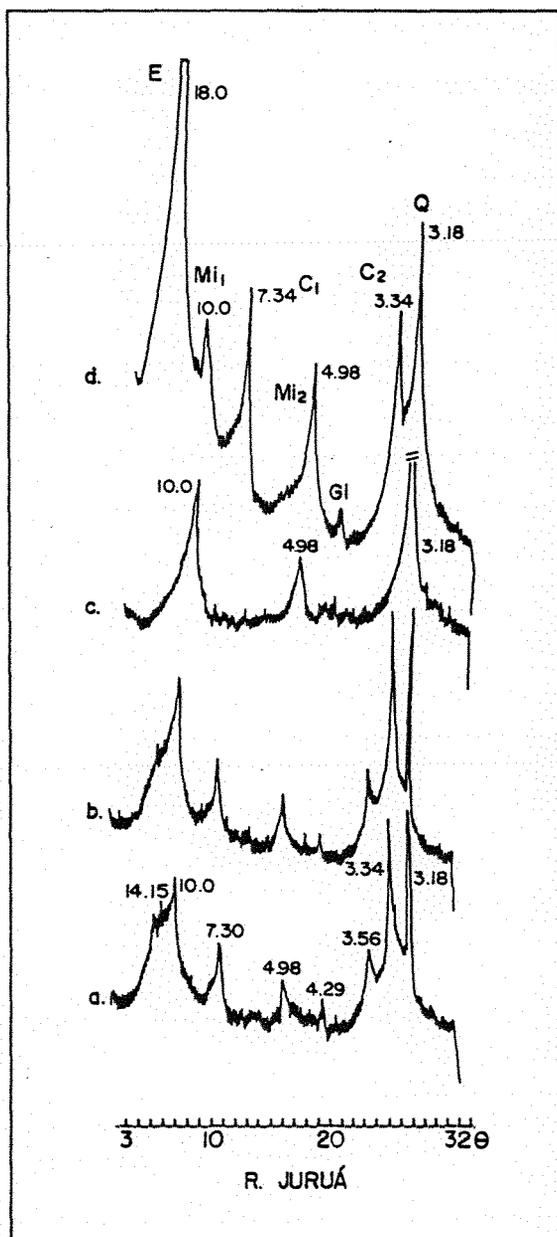
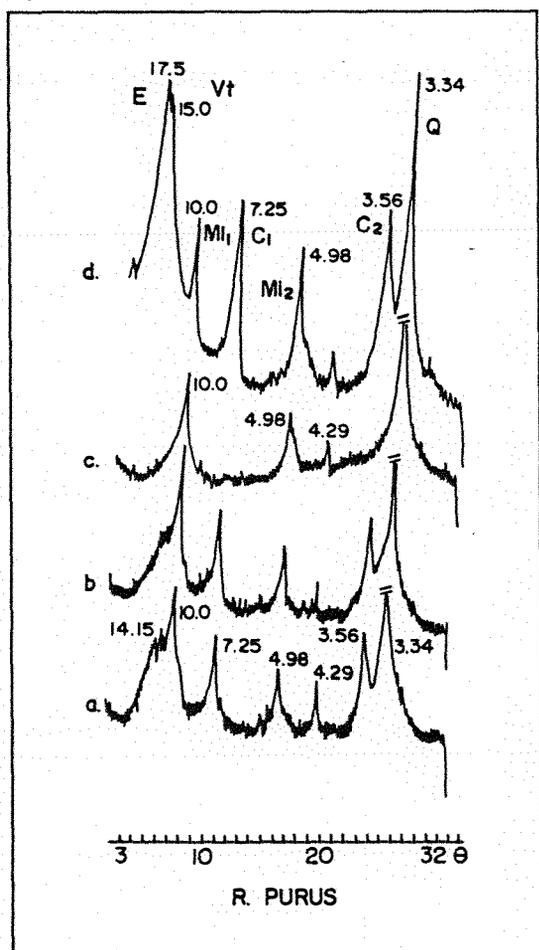


Figura 11a. Difratoograma de raios-X com tratamentos da fração argila das amostras de sedimento depositado nas várzeas dos tributários: rio Purus; rio Juruá. Tratamentos: a) 25°C; b) 350°C; c) 550°C e d) Mg-glicol. Os números ao lado dos picos representam o espaçamento basal expresso em Å. As letras ao lado dos picos representam os minerais. E - esmectitas, Mi_1 - micas (1ª ordem), Mi_2 - Micas (2ª ordem), Vt - vermiculita, C - caulinita, Gi- gibbsita e Q -quartzo.

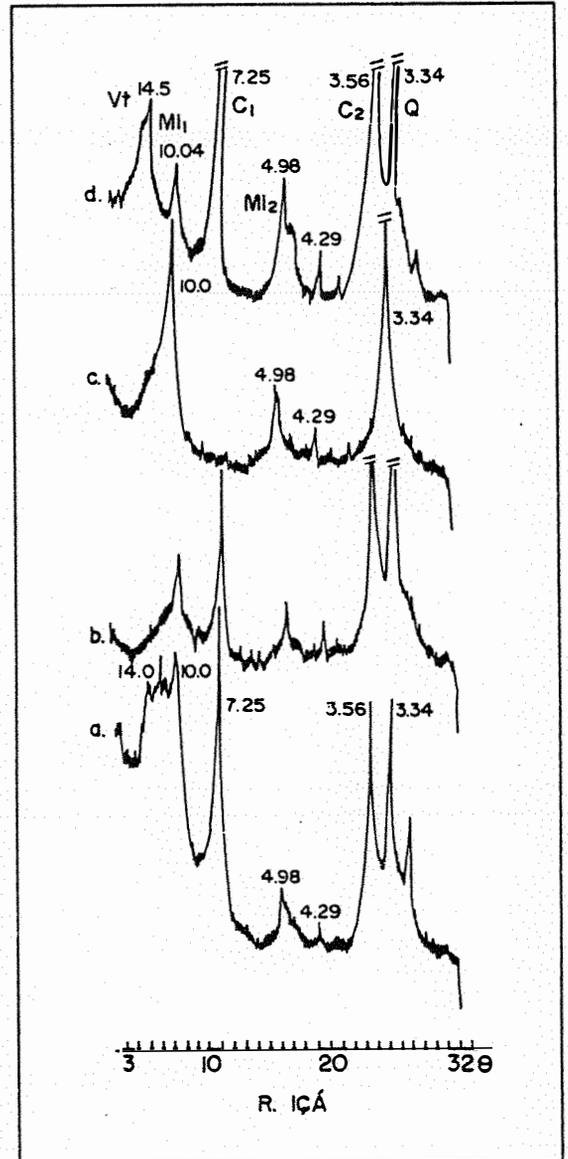
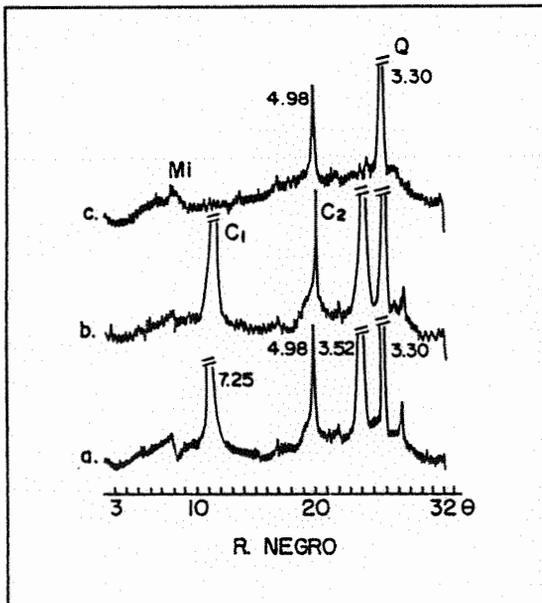
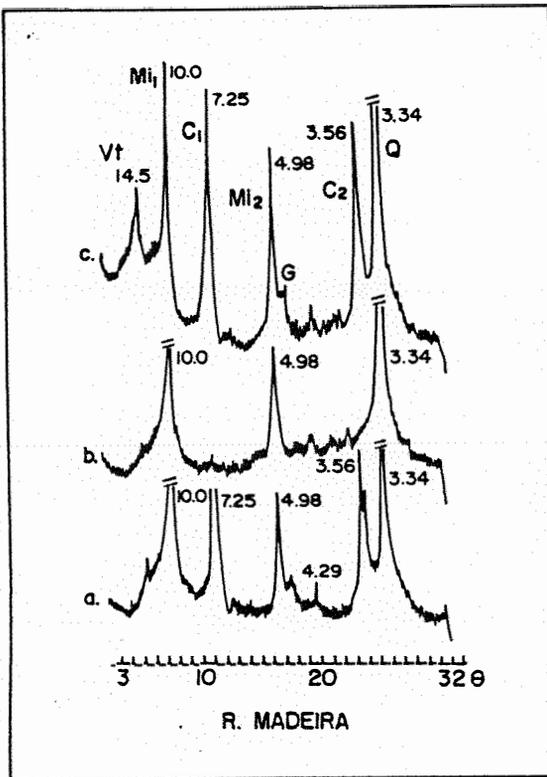


Figura 11b. Difratoograma de raios-X com tratamentos da fração argila das amostras de sedimento depositado nas várzeas dos municípios: rio Içá; rio Negro e rio Madeira. Tratamentos: a) 25°C; b) 350°C; c) 550°C e d) Mg-glicol. Os números ao lado dos picos representam o espaçamento basal expresso em Å. As letras ao lado dos picos representam os minerais. Vt - vermiculita, Mi_1 - micas (1ª ordem), Mi_2 - micas (2ª ordem), C₁ - caulinita, C₂ - caulinita, G - gibbsita e Q - quartzita.

a glicolação, sugerindo a presença de minerais do grupo das micas (Fig.11a e 11b).

4.4. Composição orgânica das amostras não fracionadas

4.4.1. Concentração de Carbono Orgânico e Nitrogênio

A concentração média de carbono orgânico nas amostras de sedimento com cobertura vegetal foi de $0,95 \pm 0,49\%$ (n=17) (Tab.6). A porcentagem média de nitrogênio total foi de $0,10 \pm 0,04\%$ (n=18) e, conseqüentemente, a relação C:N média deste material foi de $9,8 \pm 3,6$ (n=17). Por outro lado, nas amostras de sedimento sem cobertura vegetal, a concentração média de C orgânico foi de $0,69 \pm 0,13\%$ (n=13). A concentração média de N total foi de $0,08 \pm 0,02\%$ (n=13) e a relação C:N teve um valor médio igual a $9,8 \pm 2,7$ (n=13). Em ambos os tipos de amostras não foi observada nenhuma tendência rio abaixo, como ocorreu na concentração de alguns elementos químicos. Da mesma forma, também não houve diferença estatisticamente significativa entre os valores de C orgânico, N total e relação C:N observados nas amostras de sedimento sem cobertura vegetal e sedimento sob gramínea.

4.4.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$

Nas amostras de sedimento sem cobertura vegetal

o valor médio de $\delta^{13}\text{C}$ foi de $-27,3 \pm 1,0$ ‰, enquanto que nas amostras de sedimento sob gramínea a média dos valores foi de $-24,8 \pm 2,6$ ‰ (Tab.6). Este dois valores diferem estatisticamente. Quanto à variabilidade espacial, o valor de $\delta^{13}\text{C}$ nas amostras de sedimento sem cobertura vegetal foi constante ao longo do canal principal. Por outro lado, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ aumentaram à jusante nas amostras de sedimento com cobertura vegetal (Fig. 12).

4.5. Composição orgânica das frações

4.5.1. Distribuição relativa das frações

Como foi visto no item 3.2.4, para fracionamento das amostras de sedimento com cobertura vegetal, foram tomadas alíquotas iniciais de 50 g, portanto a soma das três frações $F<200$; $F200-50$ e $F<50$ deve totalizar 50g, salvo perdas durante o fracionamento. A maior perda de material durante o fracionamento foi de 9,5g ou uma diferença de 20% em relação ao total (50g). No entanto, esse foi um caso isolado, na grande maioria as perdas foram menores que 10% (Tab.7).

A matéria orgânica concentrou-se preferencialmente na fração mais fina ($F<50$) que, em média, perfizer $72 \pm 16\%$ ($n=15$) do total. Aproximadamente $28 \pm 16\%$ ($n=15$) da matéria orgânica concentrou-se na fração intermediária ($F50-200$) e apenas $0,4 \pm 0,4\%$ ($n=15$) na

Tabela 6. Valores de nitrogênio total (%), carbono orgânico (%), relação C:N e valor de $\delta^{13}\text{C}$ (o/oo) em amostras de sedimento sob gramínea e sedimento sem cobertura vegetal, coletadas ao longo do canal principal.

d (km)	Sedimento sob gramínea				Sedimento sem cobertura vegetal			
	N (%)	C (%)	C:N	$\delta^{13}\text{C}$	N(%)	C(%)	C:N	$\delta^{13}\text{C}$
0,00	0,09	0,96	10,66	-26,90	0,07	0,73	10,36	-26,40
60,00	0,06	0,64	11,54	-27,70	0,06	0,58	8,93	-27,30
100,00	0,09	1,90	21,86	-27,30	0,13	0,73	5,58	-28,20
175,00	0,09	0,94	10,82	-25,90	0,04	0,81	22,24	-26,10
270,00	0,22	2,20	10,10	-27,60	0,06	0,50	7,79	-27,70
300,00	0,15	0,87	5,98	-26,40	0,09	0,79	9,17	-26,10
450,00	0,10	0,88	9,13	-22,50	0,09	0,92	10,41	-27,10
680,00	0,11	1,19	10,97	-24,50	0,06	0,57	9,53	-28,20
874,00	0,09	0,79	8,72	-24,80	0,06	0,49	8,09	-27,40
998,00	0,08	0,69	8,67	-24,80	0,07	0,76	10,62	-26,20
1194,00	0,05	0,40	8,00					-27,10
1315,00	0,08	0,82	10,30	-27,90	0,01	0,82	7,48	-28,30
1355,00	0,03	0,16	4,88					
1435,00	0,10				0,09	0,67	7,71	-28,60
1696,00	0,08	0,73	9,09	-23,90	0,07	0,63	9,09	-27,30
1806,00	0,09	0,81	9,24	-20,50				
1936,00	0,14	1,13	7,89	-19,60				
2236,00					0,10	0,98	9,80	-28,90

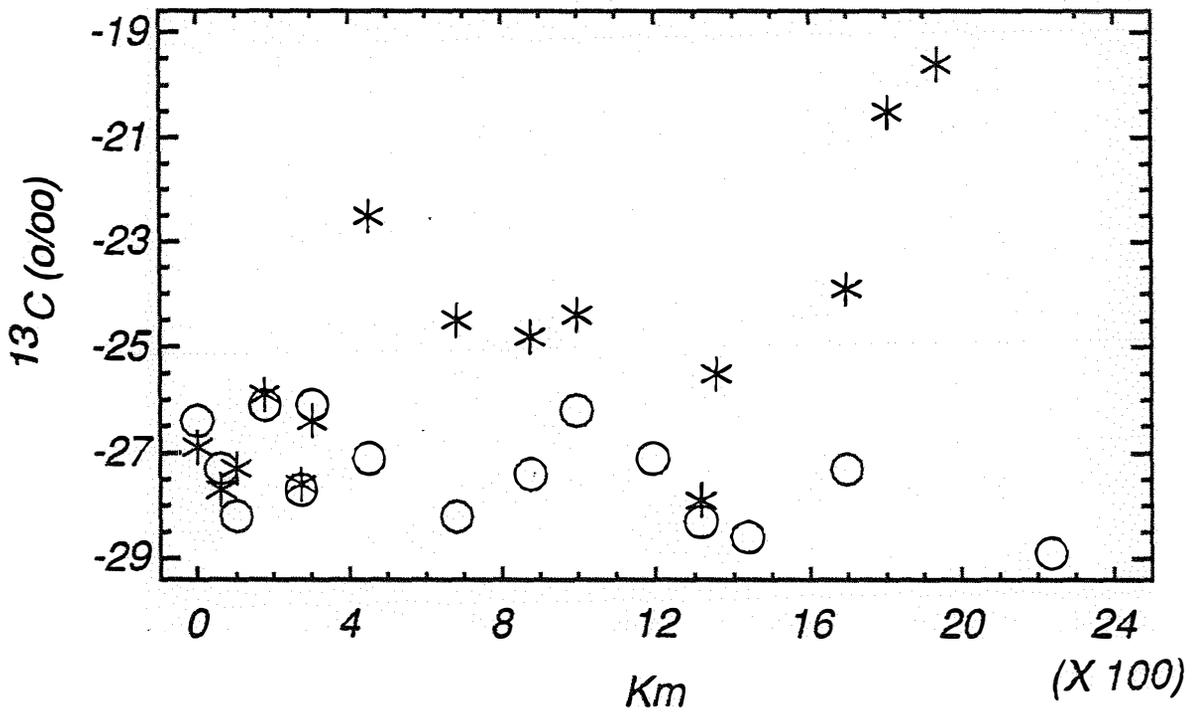


Figura 12. Variação espacial dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ em amostras de sedimento sem cobertura vegetal (o) e sedimento sob gramínea (*).

Tabela 7. Concentração das frações expressa em gramas e porcentagem. P.I. significa peso inicial; P.F. significa peso final e Dif. significa a diferença entre ambos em porcentagem.

Estações	P.I.	F<200		F200-50		F<50		P.F.	Dif.
	g	g	%	g	%	g	%	g	%
S.A. Ica	50,00	0,02	0,04	18,71	39,60	28,52	60,36	47,25	5,50
Bararua	50,00	0,72	1,48	13,48	27,72	34,43	70,80	48,63	2,74
Xibeco	50,00	0,09	0,20	8,25	18,24	36,90	81,56	45,24	9,52
Tupe	50,00	0,15	0,30	12,52	26,03	37,33	73,66	48,10	3,80
Mari	50,00	0,19	0,40	13,43	28,08	35,43	71,52	47,82	4,36
Ferrara	50,00	0,22	0,47	10,32	21,85	36,69	77,68	47,23	5,54
Itapeua	50,00	0,06	0,13	5,70	11,92	42,06	87,95	47,82	4,36
Anori	50,00	0,14	0,29	12,90	26,64	35,39	73,07	48,43	3,14
Manacapur	50,00	0,07	0,14	29,38	59,90	19,60	39,96	49,05	1,90
Silves	50,00	0,04	0,08	11,68	24,35	36,25	75,57	47,97	4,06
Çanacari	50,00	0,07	0,14	29,64	61,23	18,70	38,63	48,41	3,18
Óbidos	50,00	0,06	0,12	9,69	20,06	38,56	79,82	48,31	3,38
Santarem	50,00	0,23	0,47	21,24	43,18	27,72	56,35	49,19	1,62
Prainha	50,00	0,44	0,90	1,23	2,52	47,07	96,57	48,74	2,52
Mugirum	50,00	0,24	0,50	4,77	10,00	42,70	89,50	47,71	4,58

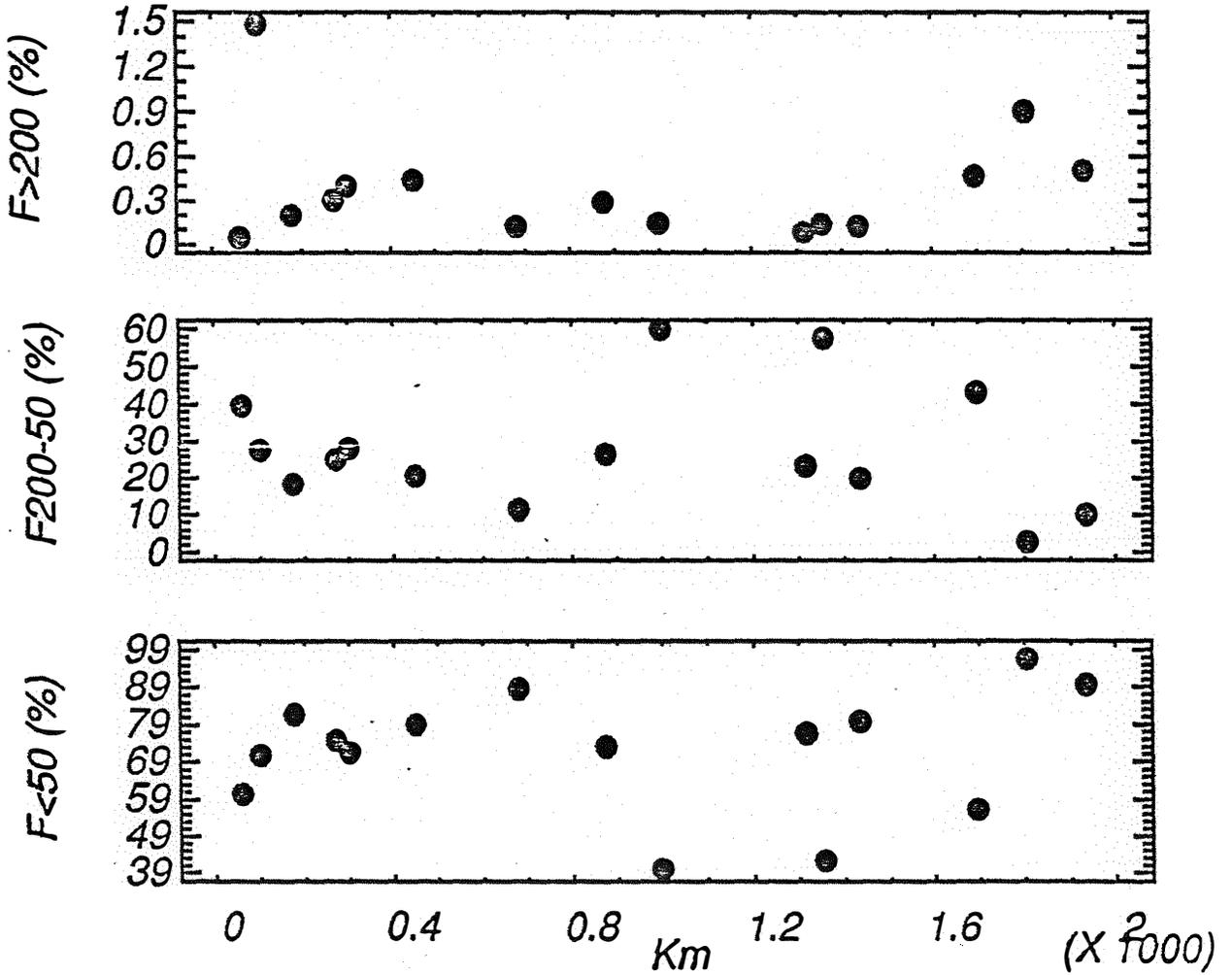


Figura 13a. Variação espacial da concentração das frações F_{200} , F_{200-50} e $F_{<50}$, considerando-se todos os pontos de coleta.

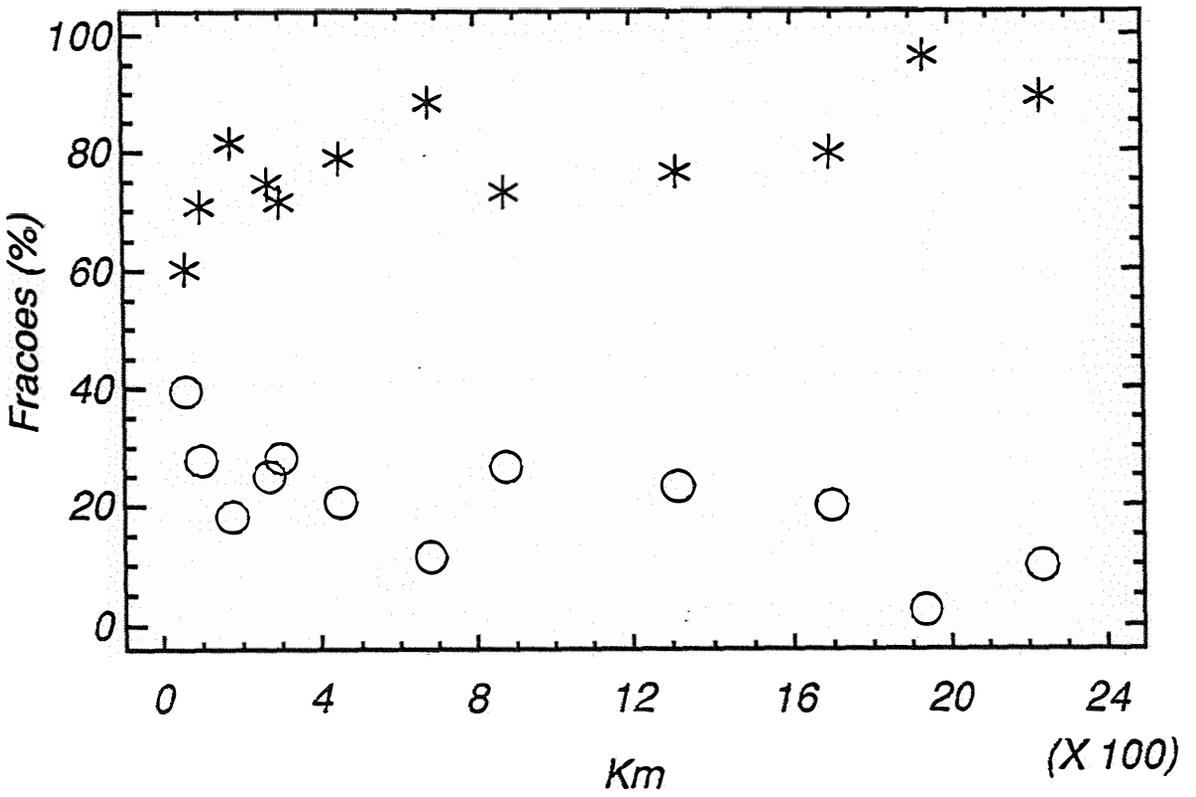


Figura 13b. Variação espacial da concentração das frações F200-50 e F<50, não considerando-se os pontos Manacapuru, Canaçari e Santarém.

fração mais grossa ($F > 200$) (Tab.7). Nota-se que houve uma tendência de aumento da fração mais fina à jusante em detrimento da fração intermediária (Fig.13). No entanto, estatisticamente esta tendência não foi significativa. Notadamente, três pontos fogem a esta tendência de decréscimo - Manacapuru, Canaçari e Santarém. Caso esses três pontos não sejam considerados (Fig.13), a tendência observada passa a ser significativa. Finalmente, não houve variação espacial na concentração da fração $F > 200$.

4.5.2. Valores de $\delta^{13}\text{C}$

Como foi visto anteriormente, o fracionamento foi feito em amostras de sedimento recobertos por gramíneas, portanto o valor de $\delta^{13}\text{C}$ das frações deve refletir a contribuição destas plantas para o sedimento. Todavia, para efeito de comparação foi também determinada a composição isotópica das três frações das amostras de sedimento sem cobertura vegetal coletadas em Anori e no furo Mugirum, último ponto de coleta à jusante. A fim de verificar possíveis fracionamentos isotópicos durante a divisão das amostras em três frações de tamanho distintos, foi comparado o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da amostra sem fracionamento, com o valor de $\delta^{13}\text{C}$ obtido pela normalização pelo peso de cada fração dos valores isotópicos. Observando-se a diferença porcentual entre os dois valores, nota-se que não houve fracionamento acentuado durante o processo. Um único valor foi elevado, em torno de 15% (Prainha); no entanto, neste caso, as amostras

foram analisadas por mais duas vezes e a precisão da análise foi mantida (Tab.8). Excetuando-se este valor, a diferença média foi de $1,4 \pm 1,0\%$

Quanto à composição isotópica de cada fração, a mais grossa ($F > 200$) teve os valores de $\delta^{13}\text{C}$ mais elevados (Tab.8), a média foi igual a $-22,8 \pm 4,6$ o/oo ($n=15$). A fração mais fina ($F < 50$), por sua vez, teve os menores valores, sendo a média geral igual a $-25,3 \pm 2,7$ o/oo ($n=15$). A fração intermediária ($F 200-50$) teve também um valor intermediário entre os dois extremos, média igual a $-24,8 \pm 3,6$ o/oo ($n=15$). Como houve uma maior concentração de material na fração mais fina (Tab.8), a média dos valores de $\delta^{13}\text{C}$ das amostras sem fracionamento foi próximo ao valor encontrado nesta fração. Esses valores médios não levaram em conta os valores encontrados nas amostras coletadas em Anori e no furo Mugirum. Nesse ponto o sedimento não estava sob gramínea. Portanto, a determinação de $\delta^{13}\text{C}$ neste ponto foi feita com o intuito de verificar se em amostras de sedimento sem cobertura vegetal, não estaria havendo uma concentração preferencial de carbono oriundo das gramíneas em qualquer uma das frações. Os resultados mostram que não, invariavelmente as três frações tiveram valores de $\delta^{13}\text{C}$ próximos aos valores encontrados nas amostras totais.

Quanto à variabilidade geográfica, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ das três frações decresceram de oeste para leste, ou seja, rio abaixo (Fig.14).

Tabela 8. Concentração das frações expressa em porcentagem com respectivo valor de $\delta^{13}\text{C}$ em amostras de sedimento depositado na várzea com cobertura vegetal* coletadas ao longo do canal principal.

	F>200	$\delta^{13}\text{C}$	F20-50	$\delta^{13}\text{C}$	F<50	$\delta^{13}\text{C}$	T $\delta^{13}\text{C}$	F $\delta^{13}\text{C}$	Dif.
	%	‰	%	‰	%	‰	‰	‰	%
S.A.Ica	0,04	-27,4	39,6	-27,1	60,4	-26,7	-27,7	-26,9	3,0
Bararua	1,48	-28,6	27,7	-28,2	70,8	-27,6	-27,3	-27,8	1,8
Xibeco	0,20	-19,7	18,2	-25,3	81,6	-26,5	-25,9	-26,3	1,4
Tupe	0,30	-27,2	25,0	-27,9	74,7	-27,3	-27,6	-27,4	0,6
Mari	0,40	-24,3	28,1	-26,0	71,5	-26,7	-26,4	-26,5	0,4
Ferrara	0,44	-23,0	20,6	-21,8	78,9	-21,8	-22,5	-21,8	3,2
Itapeua	0,12	-17,7	11,4	-22,1	88,5	-25,1	-24,5	-24,7	0,9
Anori*	0,29	-28,8	26,6	-27,7	73,1	-27,1	-27,4	-27,3	0,0
Manaca.	0,14	-20,3	59,9	-24,6	40,0	-24,0	-24,4	-24,4	0,2
Silves	0,08	-24,9	23,4	-28,0	76,6	-27,0	-27,9	-27,2	2,4
Canacar.	0,14	-23,1	57,5	-25,2	42,3	-25,9	-25,5	-25,5	0,0
Obidos	0,12	-20,5	20,1	-24,0	79,8	-23,5	-23,9	-23,6	1,3
Santar.	0,47	-18,9	43,2	-20,9	56,4	-20,6	-20,9	-20,7	0,9
Prainha	0,90	-14,1	2,5	-16,2	96,6	-22,6	-19,6	-22,4	14,1
Mugir.*	0,50	-28,1	10,0	-28,4	89,5	-28,5	-28,9	-28,5	1,4

* Amostra de sedimento sem cobertura vegetal.

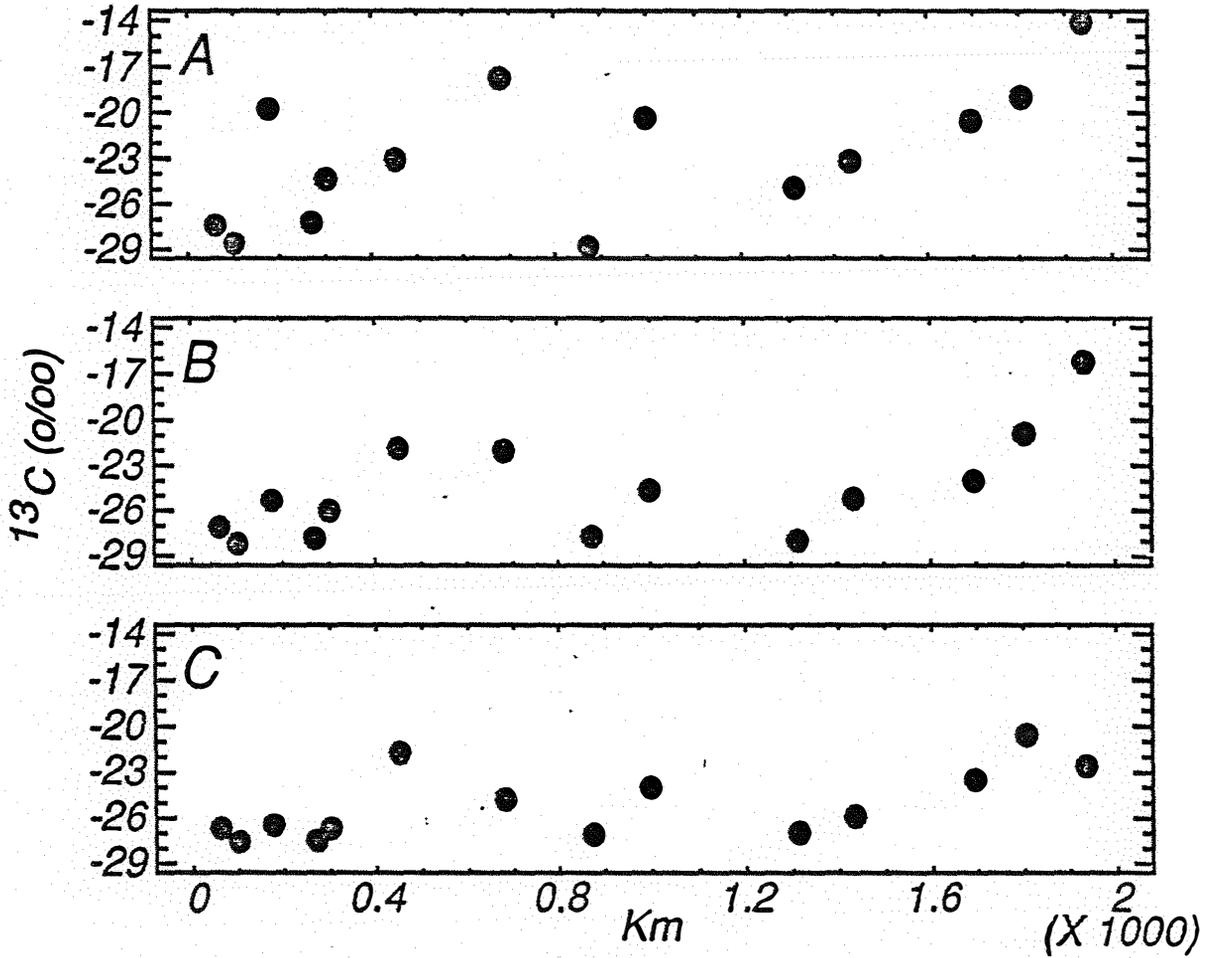


Figura 14. Variação espacial no valor de $\delta^{13}\text{C}$ das frações:

(A) $F > 200$; (B) $F 200-50$ e (C) $F < 50$.

5. DISCUSSÃO

5.1. Composição mineralógica e química das amostras de sedimento depositado na várzea.

5.1.1. Validação da primeira hipótese.

A primeira hipótese descrita no item Introdução foi a seguinte: De acordo com a sequência normal de intemperismo, a carga de sedimentos originada principalmente nos Andes, a medida que vai sendo transportada rio abaixo, vai perdendo sílica e cátions básicos e concentrando alumínio.

Para testar esta hipótese foram determinadas a composição química de amostras de sedimento depositado na várzea, coletadas ao longo do rio Solimões/Amazonas.

As concentrações de alguns elementos e de alguns cátions básicos trocáveis decresceram de oeste para leste. Na forma trocável, as concentrações de Ca e de Mg decresceram; enquanto as concentrações de K e de Na permaneceram constantes. Dos elementos totais, somente as concentrações de Si e K não foram alteradas, as concentrações dos demais elementos também decresceram (Figs. 4 a 7).

Do exposto acima, depreende-se que a primeira hipótese de trabalho estava parcialmente correta: progressivamente o sedimento vai sendo lixiviado e perdendo Ca, Mg e Na. No entanto, não foram observados, decréscimos

nas concentrações de Si e K, nem, tão pouco, um aumento na concentração de alumínio.

O fato de a concentração de K ter permanecido constante sugere que existe alguma fonte desse elemento ao longo do rio. O rio Madeira apresenta na sua composição química elevada concentração de K (STALLARD & EDMOND, 1983) e pode ser o fornecedor desse elemento para o rio Amazonas. Entretanto, a concentração desse elemento no sedimento de várzea coletado no rio Madeira foi de apenas 1,81% (Tab.5), não refletindo a eventual riqueza de suas águas em relação a este elemento.

O decréscimo observado na soma de cátions básicos totais foi compensado por um aumento relativo nas concentrações de Si e de Al. Esta tendência pode ser visualizada plotando-se a relação Si/Soma de Bases (IQS) ou Al/Soma de Bases (IQ) contra a distância de oeste para leste (Fig.15). Em ambas as figuras nota-se que os índices aumentaram naquele sentido. Outra maneira de se visualizar esta tendência pode ser vista plotando-se os valores de soma de bases (S_T), contra os índices IQS e IQ (Fig.16). A medida que a S_T diminui os índices IQ e IQS aumentam.

Quanto à mineralogia, não foi notada nenhuma mudança apreciável na composição mineralógica dos sedimentos das várzeas. GIBBS (1964) e IRION (1982) encontraram a mesma tendência analisando o sedimento

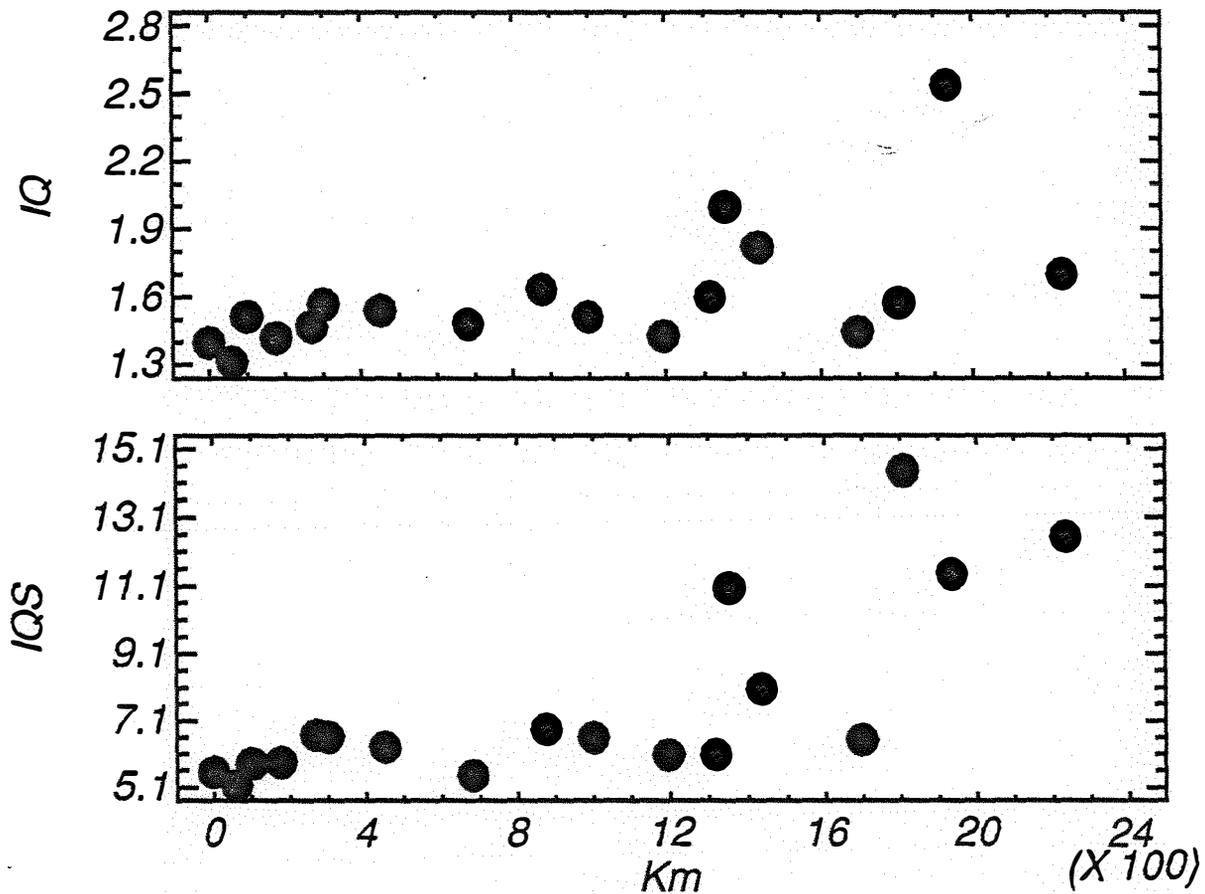


Figura 15. Variação espacial nos valores de IQ e IQS.

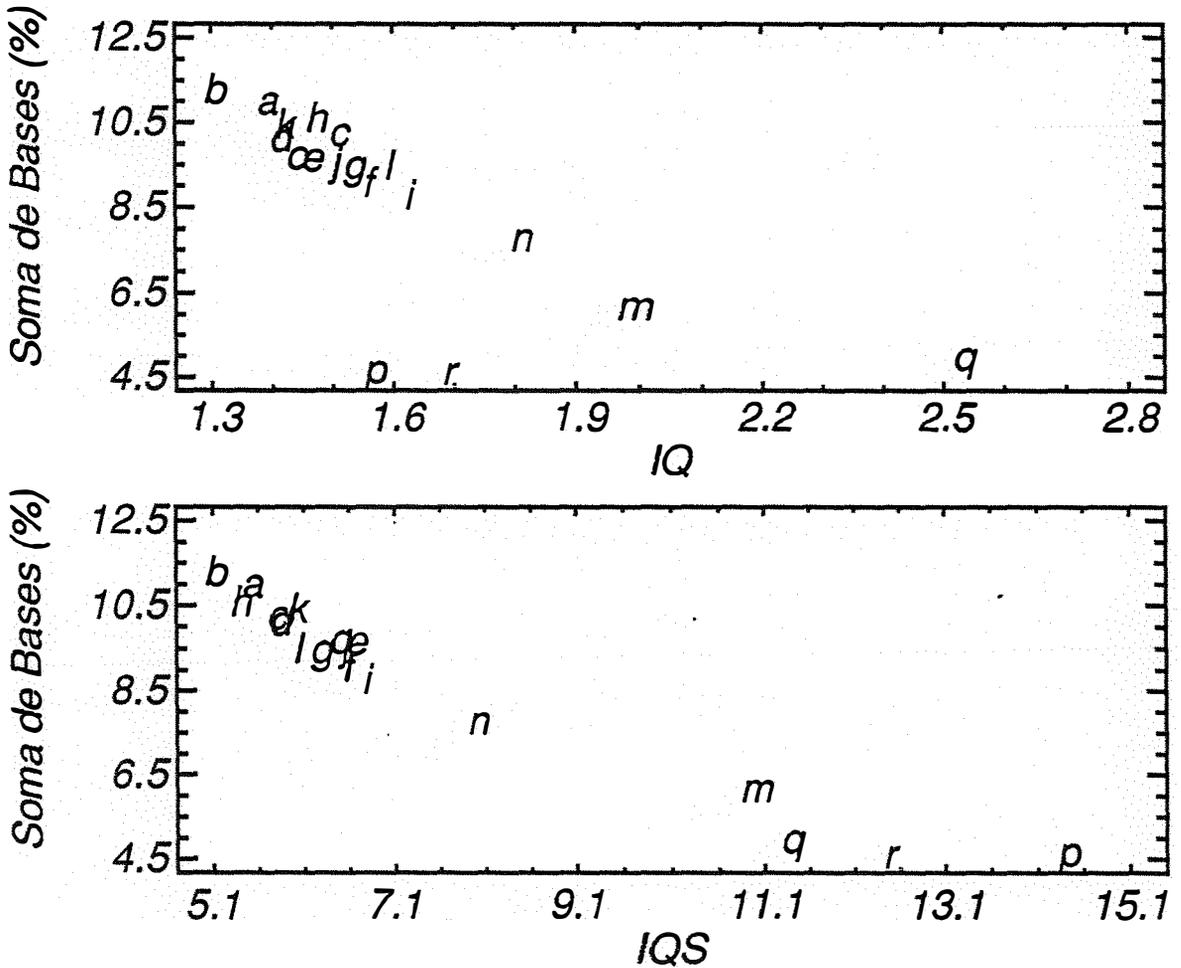


Figura 16. Variação dos valores de IQ e IQS em relação à variação dos valores de soma de bases (S_T). As letras representam os pontos de coleta: (a) Vargem Grande e seguem-se em ordem alfabética até a última estação - Mugirum, representada pela letra (r).

transportado em suspensão pelo rio Solimões/Amazonas. No entanto, a análise mineralógica por difração de raios-X é qualitativa. Pode ocorrer que, apesar de não haver mudança na estrutura do mineral, a quantidade de um determinado mineral está aumentando ou diminuindo. STALLARD & EDMOND (1987), analisando a composição química de elementos dissolvidos em vários rios da bacia Amazônica, observaram que à medida que as proporções de Si/Na ou Si/K aumentam, a mineralogia resultante da decomposição de feldspatos passa de esmectitas para caulinita e, em condições extremas, para gibbsita. A análise feita por esses autores demonstra que no canal principal existem condições para formação de qualquer um dos três grupos de minerais.

5.1.2. Possível origem dos minerais de argila encontrados nas amostras de sedimento depositado nas várzeas

Os minerais de argila encontrados nas amostras de sedimento depositado nas várzeas e, mesmo em amostras de sedimento em suspensão, podem ter sido originados em diferentes locais, sob diferentes processos. As fontes potenciais desses minerais podem estar na: (1) **região andina**, onde predominam principalmente nos rios da região minerais primários e minerais de argila derivados diretamente da rocha-mãe (GIBBS, 1964; STALLARD, 1988). (2) **região Subandina**, que é uma zona de deposição dos produtos derivados

da região andina e, ao mesmo tempo, uma região de alteração. Portanto, nesta região coexistem minerais de argila do tipo 2:1, derivados diretamente da rocha-mãe ou transformados na zona de deposição, com minerais de argila mais intemperizados, como caulinita, oriundos de minerais primários ou produto de transformação de minerais de argila ali depositados (IRION, 1976). (3) a **depressão Amazônica**, onde principalmente são formados minerais de argila do tipo 1:1, como caulinita e também hidróxidos de alumínio como a gibbsita e de ferro, como a hematita.

Em termos de área, a depressão Amazônica ocupa cerca de 80% da bacia; entretanto, cerca de 90% da carga de sedimento que passa em Obidos tem origem nos Andes (MEADE et al., 1985). Portanto, os rios que carregam predominantemente caulinita-quartzo-gibbsita, são rios originados na depressão Amazônica ou nos Escudos Cristalinos, os quais caracteristicamente são pobres em sedimentos. Assim sendo, possivelmente, a mineralogia do sedimento transportado em suspensão pelo canal principal reflete a composição mineralógica de sua origem - os Andes. Como foi visto, a caulinita detectada nas amostras de sedimento de várzea tem um pico bem definido, sugerindo que esse mineral seja bem cristalizado. Por outro lado, como mostrado por IRION (1984a), a caulinita produzida nos solos da depressão Amazônica, na sua maioria, produziram picos mau definidos, sugerindo a presença de caulinita pobremente cristalizada.

Quanto às esmectitas, possivelmente, seu local de origem seja principalmente a região Subandina. IRION (1984b) observou que em rios de origem andina não foi detectada a presença de esmectitas, somente a partir da região Subandina começou a aparecer esse mineral. Sua gênese estaria ligada ao intemperismo de minerais de argila como micas e Mg-cloritas (BESSOAIN, 1985); ou por outro lado, poderia ser formada diretamente de feldspatos sódicos e moscovita (STALLARD & EDMOND, 1987). Ainda que a principal fonte de esmectitas para os rios seja a região Subandina, é preciso salientar que os solos da região sudoeste da Amazônia (aproximadamente no Estado do Acre) têm esmectitas de origem vulcânica na sua composição mineralógica (IRION, 1984a) e rios como Purus e Juruá drenam aquela região. Portanto, as esmectitas encontradas nos sedimentos desses rios tem uma origem distinta daquelas detectadas no canal principal.

Por sua vez, a origem das ilitas e vermiculitas parece estar ligada à decomposição de micas primárias (STALLARD & EDMOND, 1987).

Finalmente, resta discutir a origem da gibbsita, que representa o estágio mais avançado do processo de intemperismo. A presença desse mineral foi detectada já na amostra coletada em Vargem Grande e, como a formação desse mineral está associada a uma perda acentuada de sílica e bases, é de se estranhar a sua presença naquele local. Pode ser argumentado que este mineral tenha sido trazido pelos

rios que drenam a terra-firme, onde ele é formado (SOMBROEK, 1984). No entanto, como foi anteriormente citado, esses rios carregam poucos sedimentos, não podendo fornecer uma quantidade suficiente de gibbsita que viesse alterar a composição mineralógica do canal principal. Portanto, acredita-se que a origem desse mineral também esteja nas regiões Andina e Subandina; não como produto de intemperização da caulinita, que exigiria condições de extrema perda de Si dos perfis, condição que não ocorre naquelas regiões (STALLARD & EDMOND, 1987), mas como produto de degradação da parte orgânica dos complexos orgânicos de alumínio ou alumínio-silício que são formados nas primeiras etapas de alteração de cinzas vulcânicas (BESSOAIN, 1985). São conhecidos casos de formação desse mineral a partir de cinzas vulcânicas na Colômbia e no Equador, próximas aos Andes (BESSOAIN, 1985).

5.1.3. Comparação entre as composições mineralógica e química das amostras de várzea coletadas nos tributários e no canal principal

Uma dificuldade em se proceder a este tipo de comparação é que as amostras dos tributários foram coletadas somente próximo a suas desembocaduras, enquanto que as amostras no canal principal foram coletadas por quase toda sua extensão e, como foi visto, existe uma variação geográfica na composição química desses sedimentos. Caso esta variação também ocorra nos tributários, a composição química

do sedimento de várzea desses afluentes irá refletir seu estado mais intemperizado. Portanto, a comparação será feita primeiramente considerando a média dos valores normalizados encontrados no canal principal e, posteriormente com os valores normalizados encontrados nas amostras coletadas próximas à foz do rio Amazonas - Prainha e Mugirum.

Em relação à média dos valores, os rios Içá, Juruá e Madeira tiveram concentrações semelhantes de Si, Al e Fe. Por outro lado, os rios Purus e Negro tiveram concentrações mais elevadas de Si e menores de Al e Fe, destacando que nas amostras coletadas no rio Negro a proporção de Si chegou a 97%. Quanto à soma de bases, os rios Içá, Purus, Negro e Madeira tiveram valores menores em comparação ao canal principal; nas amostras coletadas no rio Negro a soma de bases fez somente 0,27% em relação ao total. A soma de bases na amostra coletada no rio Juruá teve um valor semelhante ao encontrado no canal principal. Considerando-se a proporção dos cátions em relação à soma de bases, as maiores diferenças foram observadas em relação aos elementos K e Na. Quanto ao primeiro, com exceção do rio Juruá, todos os outros tributários apresentaram uma maior proporção desse elemento. Quanto ao segundo, os rios Juruá, Purus e Negro tiveram maiores proporções que o canal principal e os rios Içá e Madeira, menores.

Em relação aos valores médios das amostras coletadas em Prainha e Mugirum, próximo à foz do rio

Amazonas, os valores de Si, Al e Fe são semelhantes ao dos tributários. Em relação às bases, o rio Juruá teve maior e o rio Negro menor concentração desses elementos em relação ao canal principal. Os demais tributários tiveram valores similares.

O rio Solimões/Amazonas percorre uma distância maior entre sua cabeceira e sua foz que qualquer outro tributário e, nesse percurso, vai sendo progressivamente diluído (GIBBS, 1964; MEADE et al., 1985). Portanto, pelo fato de junto à foz, as amostras de sedimento do rio Amazonas terem composição semelhante à das amostras coletadas nos tributários; atesta que o sedimento depositado nas várzeas do canal principal é enriquecido em relação aos tributários. Provavelmente as diferenças encontradas entre tributários e o canal principal são devidas à distinta composição geológica entre ambos e ao distinto regime de erosão dominante nas diversas subacias (STALLARD & EDMOND, 1983); como já destacado por MARTINELLI (1986).

5.1.4. Comparação entre a composição química e mineralógica dos sedimentos de várzea e a dos solos de terra-firme

IRION (1984a) determinou a composição química total de amostras de solo coletadas em regiões de diferentes origens geológicas na bacia Amazônica (Tab.9). Esses valores foram comparados com os valores médios

determinados nas amostras de sedimento de várzea. Os resultados da Tabela 9 evidenciam que os solos originados de substratos mais antigos estão empobrecidos em cátions básicos. Assim, os solos formados sobre o Escudo das Guianas e Formação Barreiras tiveram uma S_7 cerca de uma ordem de grandeza menor que os solos sobre formações geológicas mais recentes. A concentração de cátions básicos nos solos formados sobre as várzeas pleistocênicas teve um pequeno acréscimo à medida que as amostras foram sendo coletadas a altitudes menos elevadas em relação ao nível dos rios. Este "enriquecimento" na concentração de cátions foi observado em sua plenitude nas amostras analisadas nesse trabalho (várzeas recentes), sendo que estas amostras mostraram-se mais enriquecidas, mesmo em relação à amostra de solo coletada na região andina.

Portanto, esses resultados evidenciam que as várzeas holocênicas constituem-se em um material enriquecido frente ao material empobrecido que predomina na depressão Amazônica, principalmente em relação aos solos formados sobre a Formação Barreiras que, em termos de área, ocupam a maior parte desta depressão.

Quanto às características mineralógicas, os solos da Formação Barreiras e Escudo das Guianas contém caulinita pobremente cristalizada e gibbsita (KITAKAWA E MULLER, 1977). Os solos das várzeas pleistocênica mais antigas (20 m acima do nível médio dos rio) apresentam

caulinita com um pico bem definido e Al-clorita e, em maiores profundidades (a partir de 1,5 m), surgem picos característicos de illita (IRION, 1984a). Nas amostras de solo coletadas nas várzeas próximas ao rio (mais jovens) foi observada a presença de caulinita, illita e esmectitas e, em amostras coletadas a profundidades mais elevadas (a partir de 4 m), foi observada a presença de clorita. Invariavelmente, em todas as amostras, foi detectada a presença de quartzo (IRION, 1984a). Considerando-se a extensão da área ocupada por solos sobre a Formação Barreiras, pode-se dizer que o mineral de argila predominante é a caulinita. Nos solos formados sobre formações mais jovens ou em profundidades mais elevadas em solos mais intemperizados, passam a existir minerais de argila do tipo 2:1, como illita e esmectitas.

Portanto, em comparação ao sedimento depositados nas várzeas, nesses últimos coexistem na mesma amostra caulinita (bem ordenada), quartzo, gibbsita, esmectitas, micas e vermiculita. Devido à maior concentração de cátions básicos nesses sedimentos supõe-se que dominem minerais de argila do tipo 2:1; enquanto que nos solos de terra-firme deve predominar a caulinita. Ressaltando-se que este mineral apresenta-se pobremente ordenado nesses solos (IRION, 1984a); enquanto que nas várzeas esse mesmo mineral apresenta-se bem ordenado; denotando uma menor intemperização do sedimento depositado nas várzeas.

Tabela 9. Concentração total (%) de Ca, Mg, Na e K

determinadas em amostras de solos coletadas em regiões de diferentes origens geológicas na bacia Amazônica.

Origem	Ca	Mg	Na	K	S [†]
Esc. Guianas ¹	0,08	0,07	0,04	0,07	0,21
Form. Barreiras ²	0,08	0,02	0,09	0,05	0,24
Varz. Pleist. ³	0,05	0,31	0,13	1,98	2,47
Varz. Pleist. ⁴	0,27	0,85	0,17	1,77	3,06
Varz. Pleist. ⁵	0,33	0,88	0,29	1,68	3,18
Solo Andino ⁶	0,74	3,01	0,27	1,91	5,93
Varz. recente ⁷	2,30	1,41	3,00	2,14	8,85

[†] Escudo Pre-Cambriano das Guianas, 150 km ao norte da cidade de Manaus (média de valores obtidos em 8 níveis entre 0 a 8m)

² Formação Barreiras, Rodovia Manaus-Itacoatiara km 88 (média de valores obtidos em 5 níveis entre 0 a 9 m)

³ Várzea Pleistocênica, Próximo ao lago Surara, Rio Purus a cerca de 20 m acima do nível médio daquele rio (média de valores obtidos em 6 níveis entre 0 a 13 m).

⁴ Várzea Pleistocênica, Próximo ao lago Aiupuíá, Rio Purus a cerca de 10 m acima do nível médio daquele rio (média de valores obtidos em 8 níveis entre 0 a 10 m).

⁵ Várzea Pleistocênica, Barranco do rio Solimões em Santa Rita do Weil, poucos centímetros acima da cota máxima do rio (média de valores obtidos em 5 níveis entre 0 a 12 m).

⁶ Solo coletado na região Andina - não especificado o local de coleta pelo autor (IRION, 1976).

⁷ Para detalhes ver o trabalho de IRION (1984a) e IRION (1976). ⁷ Várzea recente, amostras analisadas nesse estudo (valores médios). 5.1.5. Comparação entre a composição química dos sedimentos de várzea da Amazônia e a composição química do sedimento transportado pelos grandes rios do mundo

5.1.5. Comparação entre a composição química dos sedimentos de várzea da Amazônia e a composição química do sedimento transportado pelos grandes rios do mundo

A composição mineralógica das amostras de sedimentos transportados em suspensão pelo canal principal não diferiu da encontrada nas amostras coletadas nas várzeas. No entanto, não é possível afirmar, somente se baseando nesse fato, que a composição química do material transportado em suspensão não seja alterada após ser depositado nas várzeas. Por outro lado, MARTIN & MEYBECK (1979) determinaram a composição química de uma amostra de sedimento em suspensão coletada próximo a Manaus. Os resultados encontrados por esses autores diferiram dos encontrados neste estudo. Basicamente, a concentração de Si e Na encontrada neste estudo foi mais elevada do que a encontrada por MARTIN & MEYBECK (1979). Esses autores não detalharam qual o tratamento analítico utilizado, não possibilitando concluir se as diferenças observadas foram reais ou devido ao método de análise.

Feita esta ressalva, comparou-se a composição média dos materiais transportados em suspensão por 24 maiores rios do mundo (KONTA, 1988), com a composição do material depositado nas várzeas determinada nesse estudo, assumindo-se que esse material seja similar ao material transportado em suspensão. Alumínio e titânio tiveram concentrações semelhantes, enquanto que Ca, Mg, K e Fe tiveram

concentrações menores no rio Solimões/Amazonas, compensadas por uma maior concentração de sílica e sódio. O índice IQ foi semelhante, no entanto o índice IQS foi mais elevado nas amostras coletadas nas várzeas do rio Solimões/Amazonas; evidenciando a maior riqueza de sílica nesse rio em comparação a outros rios do mundo.

5.1.6. Relação Cátions Básicos Totais x Cátions Básicos Trocáveis

As proporções relativas dos cátions básicos em relação à soma de bases foi distinta para a concentração total e trocável desses elementos. Quanto a concentração total, a distribuição foi aproximadamente equânime, com Na dominando com 34%, Mg com 15% e Ca e K entre 25 a 27%. Na fração trocável, a proporção de Na, que foi a mais elevada no total, foi a menor com cerca de 1%. A proporção de Mg não se alterou, a participação do K decresceu para 3% e a do Ca aumentou para 84%. A razão para a alteração na proporção de cátions básicos observada é devido à relação raio do íon e sua carga. Assim, o Ca que tem um raio relativamente pequeno e carga +2 é mais fortemente adsorvido pelas argilas do solo que o Na que tem carga +1 e um raio significativamente maior que o Ca (VAN RAIJ, 1983).

A fração trocável de cálcio e magnésio mostrou-se correlacionada com o total destes elementos nas amostras. Portanto, esse fato sugere que a concentração total de Ca e Mg determina a concentração destas bases na forma

trocável. Por outro lado, as concentrações de sódio e potássio na forma trocável não variaram ao longo do canal, porém a concentração total de Na decresceu à jusante e a de K permaneceu constante. Dessa forma, a variação espacial nas concentrações desses elementos parece variar independentemente e estatisticamente não houve correlação entre o total e o trocável. Provavelmente este fato seja devido ao acentuado decréscimo na proporção relativa destes dois íons em relação à soma de bases. Assim, conforme estes íons vão sendo intemperizados e passam à forma trocável, vão rapidamente sendo retirados do perfil. Obviamente, o mesmo ocorre com Ca e Mg, mas como observado anteriormente, os mesmos são mais adsorvidos pela fração argila do sedimento.

5.2. Composição orgânica das amostras de sedimento de várzea

5.2.1. Validação da segunda hipótese

Como pode ser visto na Tabela 8, a fração mais fina ($F > 200$) foi a menos abundante e isotopicamente a mais enriquecida. De acordo com a segunda hipótese feita neste trabalho, a incorporação da matéria orgânica produzida pelas gramíneas deveria ocorrer preferencialmente nesta fração. Conseqüentemente, a mesma deveria ser isotopicamente a mais pesada. Portanto, conclui-se que pelo menos em parte, a segunda hipótese foi validada. Todavia, a maior presença

de matéria orgânica produzida pelas gramíneas nesta fração não justifica a menor presença desta matéria orgânica no sedimento depositado nas várzeas. Pois, a concentração desta fração é extremamente baixa em relação às duas outras frações. Assim, apesar de a segunda hipótese estar correta quanto à concentração preferencial de matéria orgânica C4 na fração mais grossa; a mesma falha ao não justificar a pequena contribuição de matéria orgânica C4 para o sedimento depositado na várzea.

5.2.2. Origem da matéria orgânica depositada na várzea

As fontes potenciais de matéria orgânica para o sedimento depositado na várzea foram enumeradas por MARTINELLI (1986). A composição isotópica média das fontes mais leves - floresta de várzea, macrófitas C3 e sedimento transportado pelo rio - foi igual a -29 o/oo. No outro extremo, foi determinado o valor $\delta^{13}\text{C}$ das fonte mais pesada, as gramíneas, que foi em média igual a -12,7 o/oo. A contribuição relativa de cada fonte pode ser determinada através de uma equação baseada no princípio da diluição isotópica (para detalhes ver MARTINELLI, 1986). Para o sedimento sob gramínea a contribuição da matéria orgânica C4 foi em média de 25%; enquanto que para o sedimento sem cobertura vegetal a contribuição média desse material decresceu para 10%. Ressalta-se que amostras de sedimento

coletadas sob floresta de várzea tiveram uma composição isotópica similar ($-27,5 \pm 0,4$ o/oo, $n=3$) à das amostras de sedimento sem cobertura vegetal (MARTINELLI, 1986).

Portanto, as florestas de várzea, macrófitas C3 e sedimento em suspensão contribuíram em maior proporção para a composição orgânica do sedimento de várzea, tanto para o sedimento sob gramínea, como para o sedimento sem cobertura vegetal. Devido à similaridade isotópica que existe entre elas, com o uso de um só isótopo não foi possível distinguir qual a importância de cada uma delas isoladamente. Contudo, pela própria condição genética das várzeas, o sedimento em suspensão deve ser a fonte mais importante.

Como visto anteriormente, mineralogicamente não houve diferença significativa entre o sedimento depositado na várzea e o transportado em suspensão. Quanto a composição orgânica também existem similaridades entre ambos. Por exemplo, HEDGES et al. (1986) observaram que a carga de sedimento em suspensão é composta predominantemente de matéria orgânica refratária, de origem pedológica e de composição constante ao longo do rio. Esta similaridade pode ser vista plotando-se os valores de $\delta^{13}\text{C}$ contra a relação C:N das possíveis fontes de matéria orgânica para os sedimentos (Fig.17). Como pode ser visto, as quatro fontes consideradas plotam em campos distintos. Os pontos correspondentes às amostras de sedimento de várzea localizam-se próximos aos de sedimento fino em suspensão ($<63\mu\text{m}$). As amostras de sedimento

sem cobertura vegetal e as amostras de sedimento sob gramínea coletadas no Alto Amazonas localizam-se exatamente no mesmo campo ocupado pelo sedimento fino. Por outro lado, as amostras de sedimento sob gramínea coletadas no Baixo Amazonas conservam a mesma relação C:N das amostras de sedimento em suspensão, entretanto, devido a maior incorporação das gramíneas, os valores de $\delta^{13}\text{C}$ tornaram-se maiores (Fig.17).

Da mesma forma a plotagem da concentração de carbono orgânico versus nitrogênio total mostra a similaridade entre os dois tipos de sedimentos (Fig.18). Como pode ser visto, as amostras de sedimento fino em suspensão ($<63\mu\text{m}$) localizam-se em campos distintos em relação às amostras de sedimento grosso (63 a $1000\mu\text{m}$). Tanto as amostras de sedimento sem cobertura vegetal, como de sedimento sob gramínea, situaram-se em campos próximos as amostras de sedimento fino em suspensão. Muito embora, apesar da mesma gênese, ambos os tipos de amostra de sedimento de várzea tiveram, em geral, uma menor concentração de carbono orgânico e nitrogênio total em relação as amostras de sedimento fino em suspensão (Fig.18). Este fato sugere que, após a deposição

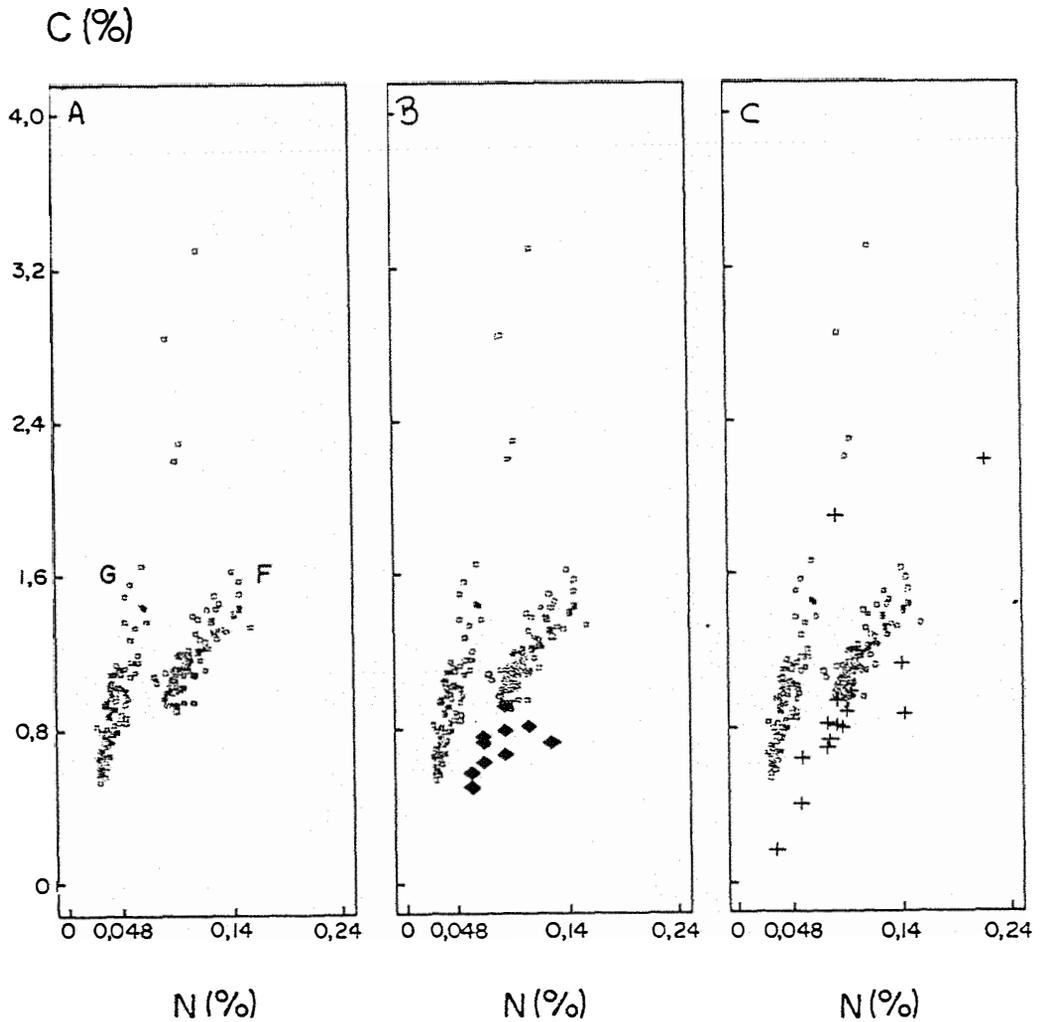


Figura 18. Plotagem nitrogênio total contra carbono orgânico. (A) das amostras de sedimento fino (F) e sedimento grosso (G) em suspensão. (B) das amostras de sedimento fino e grosso em suspensão e das amostras de sedimento sem cobertura vegetal (\blacklozenge). (C) das amostras de sedimento fino e grosso em suspensão e das amostras de sedimento sob gramínea (+).

várzeas, ocorrem mudanças diagenéticas na carga de sedimentos vinda dos Andes. Como o decréscimo observado na concentração de carbono e nitrogênio ocorreu tanto em amostras de sedimento sem cobertura vegetal como sedimento sob gramínea, este fato exclui as gramíneas como responsáveis por essas mudanças.

Assim, na várzea existem três tipos de sedimento quanto à cobertura vegetal: sedimento sem cobertura vegetal, sedimento sob floresta e sedimento sob gramínea.

O sedimento sem cobertura vegetal, recentemente drenado, rapidamente é colonizado pela comunidade vegetal característica da várzea (JUNK, 1984). A partir de então passa a haver, ainda que pequena, incorporação da matéria orgânica C4. Fechando o ciclo, na próxima enchente estas áreas são inundadas e quando expostas novamente, o sedimento terá perdido seu sinal isotópico mais pesado. Portanto, durante um ciclo hidrológico, certas áreas menos estáveis das várzeas apresentam acentuado dinamismo em relação às fontes de matéria orgânica. Por outro lado, as áreas florestadas são mais estáveis que as outras duas, assumindo assim características menos variáveis durante o ciclo hidrológico.

Como já observado, a contribuição das plantas C4 foi maior na fração menos mineralizada ($F > 200$), onde ainda predominam pedaços de raízes. Os valores isotópicos menores encontrados nas frações mais finas sugerem que, devido ao rápido processo de decomposição desse material (JUNK, 1984),

uma menor quantidade vai sendo incorporada ao sedimento. É interessante observar que, geralmente, a fração $F > 200$ somente foi enriquecida quando a amostra total também o foi. Assim, as amostras coletadas em Vargem Grande, Santo Antonio do Içá, Bararuá, Anori (sedimento sob gramínea) e Mugirum (sedimento sem cobertura vegetal) tiveram valores de $\delta^{13}\text{C}$ semelhantes nas três frações. A exceção a esse comportamento foi observada na amostra coletada em Xibeco, onde o valor de $\delta^{13}\text{C}$ da amostra não fracionada foi de $-26,3$ o/oo e o valor da fração mais grossa foi de $-19,7$ o/oo (Tab.8). Esses resultados sugerem que, uma vez presente na fração mais grossa, o material C4 é efetivamente incorporado à matéria orgânica do sedimento, ainda que em menores proporções.

5.2.3. Variabilidade espacial

Rio abaixo o sedimento depositado na várzea vai progressivamente sendo enriquecido com matéria orgânica C4. A mesma tendência foi observada em diferentes fases da hidrógrafa. MARTINELLI (1986), coletando amostras durante a cheia e o início da subida das águas, em locais próximos aos descritos neste trabalho, encontrou resultados semelhantes aos encontrados no presente estudo. As causas para esta variação ainda são pouco conhecidas. MARTINELLI (1986) ressaltou que, o aumento observado rio abaixo na incorporação de matéria orgânica produzido pelas gramíneas, poderia ser devido a uma maior produção destas plantas nas

várzeas do Baixo Amazonas. Reforçando esta hipótese, PIRES & PRANCE (1986) reconheceram que as florestas de várzea localizadas após a formação do rio Amazonas apresentam significativa quantidade de gramíneas; maior que a quantidade encontrada nas florestas localizadas rio acima. Da mesma forma, JUNK (1985) observou que a área coberta com pastagens tem aumentado efetivamente nos últimos anos, sendo as pastagens implantadas em locais que haviam florestas naturais. Por outro lado, MARTINELLI (1986) também argumentou que o enriquecimento em ^{13}C observado rio abaixo poderia ter sido devido à deposição das ilhas de capim que são comumente vistas viajando rio abaixo. Esta massa de gramínea seria produzida rio acima e iria sendo progressivamente depositada rio abaixo. Caso esta hipótese seja verdadeira, o transporte desse material deve ocorrer predominantemente em forma de detritos, pois HEDGES et al. (1986) não identificaram em amostras de sedimento em suspensão menor que 1 mm quantidade apreciável de matéria orgânica de origem C4.

6. CONCLUSÕES

Química e mineralogicamente a carga de sedimentos depositados nas várzeas, sendo coberto por vegetação ou não, reflete a composição da carga de sedimento transportada em suspensão. A carga de sedimento originária principalmente dos Andes, à medida que viaja através de sucessivos ciclos de erosão/deposição, vai perdendo Ca, Mg, Na, Fe e Al; no entanto, sua estrutura mineralógica não é alterada. Assim sendo, foge aos padrões de intemperismo normalmente observados, onde ocorre uma progressiva perda de sílica e de cátions básicos, contrabalançado por um enriquecimento em alumínio.

Pelo contrário, quanto as características orgânicas, coexistem três tipos distintos de sedimento na várzea: (1) **sedimento sob gramínea**. Nesse tipo de sedimento a influência destas plantas é maior, sendo seu valor $\delta^{13}\text{C}$ maior que o dos outros tipos de sedimento. Em relação ao sedimento fino em suspensão difere não só na característica isotópica, como também na menor concentração de carbono e nitrogênio. (2) **Sedimento sem cobertura vegetal**. Este tipo de sedimento tem uma curta duração durante o ciclo hidrológico. Geralmente, em cerca de duas semanas é colonizado pela vegetação típica de várzea. Difere do sedimento sob gramínea unicamente quanto a composição isotópica. Dessa forma, em relação ao sedimento fino em suspensão também apresenta uma menor concentração de carbono

e nitrogênio. (3) **Sedimento sob floresta.** Ocupa as áreas geomorfologicamente mais estáveis. Isotopicamente assemelha-se ao sedimento sem cobertura vegetal e, conseqüentemente, ao sedimento fino em suspensão. Ainda não foi determinada sua concentração de carbono e nitrogênio.

Nas amostras de sedimento sob gramíneas foi observada uma crescente contribuição, rio abaixo, em termos de matéria orgânica por parte destas plantas. Por outro lado, a composição orgânica do sedimento que foi depositado na várzea, mas ainda não foi vegetado (sedimento sem cobertura vegetal) ou que está sob floresta, mostrou ter uma menor influência das gramíneas e não teve nenhuma tendência especial rio abaixo. Por sua vez, a carga de sedimento transportada em suspensão é transportada numa forma refratária em termos de matéria orgânica e também não apresenta nenhum tipo de tendência rio abaixo. Esse fato sugere que a massa de sedimento sob gramíneas não é grande o suficiente para imprimir suas características na carga de sedimento transportada em suspensão.

7. BIBLIOGRAFIA

- BESSOAIN, E., 1985. In: **Mineralogia de Arcillas de Suelos**. San José, Costa Rica. Instituto Interamericano de Cooperacion para La Agricultura. 1205p.
- CAMPOS, H., 1983. In: **Estatística Experimental não Paramétrica**. 4a. ed. Piracicaba, 349p.
- DEMATTE, J.L.I., 1988. **Manejo de Solos Acidos dos Trópicos Umidos - Região Amazônica**. Campinas, Fundação Cargill, 215p.
- 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. **Vehr.Internat.Verein.Limnol.**, Stuttgart, 22:1299-1304.
- ERTEL, J.R.; J.I. HEDGES; A.H.DEVOL; J.E. RICHEY, 1986. Dissolved humic substances of the Amazon River system. **Limnol.Oceanogr.** 31: 739-754.
- FEARNSIDE, P.M., 1986a. Agriculture in the Amazonia. In: PRANCE, G.T.and T.M. LOVEJOY, eds., **Amazonia**. Oxford, Pergamon Press, p.
- FEARNSIDE, P.M., 1986b. Spatial Concentration of Deforestation in the Brazilian Amazon. **Ambio**, Stockholm, 15: 74-81.
- FELLER, C., 1979. Une méthode de fractionnement granulométrique de la matère organique des sols. Application aux sols tropicaux, a textures grossieres,

trés paudres en humus. *Cah.Orstom*, sér. Pédol, 17: 339-346.

FORSBERG, B.R., 1984. Nutrient Processing in Amazon Floodplain Lakes. *Verh.Internat.Verein.Limnol.*, Stuttgart, 22:1294-1298.

GIBBS, J.R., 1964. The Geochemistry of the Amazon Basin. San Diego, Univ. of California. 95p (PhD Thesis).

GINE ROSIAS, M.F.G., 1986. Análises de Rochas por Espctrometria de Emissão Atômica com Plasma Induzido Empregando Sistema de Injeção em Fluxo e Método Generalizado das Adições Padrão. Piracicaba, Universidade de São Paulo. 94p. (Tese de Doutorado).

HAINES, E.B., 1976a. Relation between the stable carbon isotope composition of fiddler crabs, plants, and soils in a salt marsh. *Limnol.Oceanogr.*21:880-883.

HAINES, E.B., 1976b. Stable Carbon Isotope Ratios in the Biota, Soils and Tidal Water of a Georgia Salt Marsh. *Estuarine and Coastal Marine Science* 4: 609-616.

HEDGES, J.I.; W.A. CLARK; P.D. QUAY; J.E. RICHEY; A.H. DEVOL; U.M SANTOS, 1986. Compositions and fluxes of particulate organic material in the Amazon River. *Limnol Oceanogr.* 31: 717-738.

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

IRION, G., 1984a. Sedimentation and sediments of Amazon rivers and evolution of the Amazon landscape since

- Pliocene time. In: SIOLI, H. ed. **The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical River and its Basin.** Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 201-214.
- IRION, G., 1976. Mineralogisch - geochemische Untersuchungen and der pilitischen fractions Amaonischer Oberbodens und Sedimente. **Biogeographica**, Hague, 7: 7-25.
- IRION, G., 1984b. Clays Minerals of Amazon 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.537-581.
- IRION, G., 1983. Clay Mineralogy of The Suspended Load of the Amazon and of Rivers in the Papua New Guinea Mainland.
In: DEGENS, E.T.; S. KEMPE & H. SOLIMAN, ed., **Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Pt2.** Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd 55: 482-504.
- JACKSON, M.L., 1969. In: **Soil Chemical Analysis. Advanced Course.** 2nd ed., 7th printing. Madison, Publ. Univ. of Wiscosin, 895p.
- JUNK, W.J., 1970. Investigations on teh Ecology and Production - Biology of the "Folating Meadows" (**Paspalum-Echinochoetun**) on the middle Amazon. Part I: The folating vegetations and its ecology. **Amazoniana**, Kiel, 2: 449-496.
- JUNK, W.J., 1984. Ecology of the várzea floodplains of Amazon

- white-water rivers. In: SIOLI, H., ed., **The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a might Tropical Rivver and its Basin**. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 271-293.
- JUNK, W.J., 1985. The Amazon Floodplain - a Sink or Source for Organic Carbon? In: DEGENS, E.T.; S. KEMPE & R. HERRERA, ed., **Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Pt3**. Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd 58: 267-283.
- KITAKAWA, Y. & M.R.F. MULLER, 1979. Clay mineralogy of some tropical soil in the Brazilian Amazon region. **Pesq. Agrop. Bras. 14**: 201-228.
- 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 Rivver and its Basin**. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 271-293.
- KONTA, J., 1988. Minerals in Rivers. In: DEGENS, E.T.; S. KEMPE & A. SATHY NAIDU, ed., **Transport of Carbon and Minerals in Major World Rivers, Pt5**. Mitt. Geol.-Palaont. Inst. Univ. Hamburg, SCOPE/UNEP Sonderbd 66: 341-365.
- KUHLMANN, E. 1977. Vegetação. In: **Geografia do Brasil Região Norte**, Rio de Janeiro, IBGE, p. 59-90.
- LIMA, N.R.W.; L.A. MARTINELLI; R.L. VICTORIA e A.A.MOZETO, 1987. Contribuição de Matéria Orgânica de *Spartina alterniflora* para o Sedimentado Alagado de Pedra de

- Guaratiba (RJ): Uso de ^{13}C como Traçador. **Rev. Brasil. Biol.** 47: 487-491.
- MALINGREAU, J.P.; C.J.TUCKER., 1988. Large-Scale Deforestation in the Southeastern Amazon Basin of Brazil. **Ambio**, Stockholm, 17: 49-55.
- MARTIN, J.M. & M. MEYBECK, 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers. **Mar. Chem.**, 7:173-206.
- MARTINELLI, L.A., 1986. Composição Química e Isotópica (^{13}C) de Sedimentos de Várzea e suas Interações com alguns Rios da Bacia Amazônica. Piracicaba, Univ. de São Paulo. 214p. (Tese de Mestrado).
- MEADE, R.H.; T. DUNNE; J.E.RICHEY; U.SANTOS and E. SALATI, 1985. Storage and Remobilization of Suspended Sediment in the Lower Amazon River of Brazil. **Science**, 228: 488-490.
- MEGGERS, B.J., 1986. Aboriginal adaptation to Amazonia. In: PRANCE, G.T. and T.M. LOVEJOY, eds., **Amazonia**. Oxford, Pergamon Press, p. 307 - 327.
- MERTES, L.A.K., 1985. Floodplain development and sediment transport in the Solimões-Amazon river, Brazil. Seattle, Univ. of Washington. 108p. (Master Thesis).
- MOZETO, A.A.; F.M.B. NOGUEIRA e F.A. ESTEVES. Caracterização das Fontes de Matéria Orgânica dos Sedimentos da Represa do Lobo (SP) Através do Uso da Composição de Carbono-13. **Acta Limnol. Brasil.** 2:943-963.

- NIMER, E., 1977. Clima. In: **Geografia do Brasil - Região Norte.**, Rio de Janeiro, IBGE, p. 39-58.
- PIRES, J.M., 1984. The Amazon Forest. In: SIOLI, H., ed., **The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a night Tropical Rivver and its Basin.** Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p: 581 - 602.
- PIRES, J.M. and G.T.PRANCE.,1986. The vegetation types of the Brazilian Amazon. In: PRANCE, G.T.and T.M. LOVEJOY, eds., **Amazonia.** Oxford, Pergamon Press, p. 109-145.
- 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 night Tropical Rivver and its Basin.** Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 15-45
- RICHEY, J.E.; R.H. MEADE; E. SALATI; A.H.DEVOL; C.F.NORDIN; U. SANTOS., 1986. Water Discharge and Suspended Sediment Concentration in the Amazon River. 1982 - 1984. **Wat. Res. Resour.**, Washington, 22: 756-764
- SALATI, E.; J. MARQUES, 1984. Climatology of the Amazon Region. In: SIOLI, H., ed., **The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a night Tropical Rivver and its Basin.** Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 85-126.
- SALATI, E., 1986. Climatology and Hydrology of Amazonia. In: PRANCE, G.T.and T.M. LOVEJOY, eds., **Amazonia.** Oxford, Pergamon Press, p. 267-276.
- SANCHEZ,P.A.; D.E. BANDY; J.H.VILLACHICA; J.J. NICHOLAIDES,

1982. Amazon Basin Soils: Management for Continuous Crop Productions. *Science*, Washington, **216**: 821-827.
- SCHMIDT, G.W., 1973. Primary Production of Phytoplankton in the three types of Amazon Waters. II. Primary Productivity of Phytoplankton in a Tropical Floodplain Lake of a Central Amazonia. Lago do Castanho, Amazonas, Brasil. *Amazoniana*, Kiel, **4**: 379-404.
- SIOLI, H., 1975. Tropical River: The Amazon. In: B.A. WHITTON, ed. *River Ecology*. Berkeley, U.C. Press. p. 461-487.
- SIOLI, H., 1984a. Former and recent utilizations of Amazonia and their impact on the environment. In: SIOLI, H., ed., *The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a mighty Tropical River and its Basin*. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 675-706.
- SIOLI, H., 1984b. 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 mighty Tropical River and its Basin*. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 127-165.
- SOEMBROEK, W.G., 1984. Soil of the Amazon region. In: SIOLI, H., ed., *The Amazon Limnology and Landscape Ecology of a mighty Tropical River and its Basin*. Dordrecht, Dr. W. Junk Publishers, p. 523-535.
- STALLARD, R.F. and 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.
- STALLARD, R.F. and J.M. EDMOND, 1987. Geochemistry of The Amazon 3. Weathering Chemistry and Limits to Dissolved Inputs. **J. of Geoph. Res.** Washington, **92**: 8293-8302.
- STALLARD, R.F., 1988. Weathering and Erosion in the Humid Tropics. In: Lerman, A and M. Meybeck, eds., **Physical and Chemical Weathering in Geochemical Cycles**. Dordrecht, Kluwer Academic Publishers, p. 225-246.
- VAN RAIJ, B., 1983. **Avaliação da Fertilidade do Solo**. 2a. ed. Piracicaba, Instituto de Potassa & Fosfato, 142p.
- VIEIRA, L.S. e P.C.T.C. DOS SANTOS, 1987. **Amazônia Seus Solos e Outros Recursos Naturais**. São Paulo, Ed. Agronômica Ceres, 416p.
- VICTORIA, R.L.; L.A. MARTINELLI; B.R. FORSBERG; J.E. RICHEY; A.H. DEVOL, 1989. Spatial and Temporal Variations in the Chemistry of Varzea Sediments of The Amazon Basin. **GeoJournal** Helmstedt, **19.1**: 45-52.
- VITORELLO, V., C.C. CERRI, F.ANDREAU, C. FELLER and R.L. VICTORIA, 1989. Organic Matter and Natural Carbon-13 Distribution in Forested and Cultivated Oxisols. **Soil Science American Society Journal**. **53**:773-779.
- VOLKOFF, B. e C.C.CERRI, 1987. Carbon Isotopic fractionation in subtropical Brazilian grassland soils. Comparasion with tropical forest soils. **Plant and Soil** Dordrecht, **102**: 27-31.

WILSON, J.O.; I.VALIELA and T.SWAIN, 1985. Sources and concentrations of vascular plant material in sediments of Buzzards Bay, Massachusetts, USA. *Mar.Biol.*90: 129-137.

APÊNDICES

Apêndice 1. Valores de cátions básicos trocáveis (ppm) em amostras de sedimento de várzea com respectivas repetições.

d (Km)	Cálcio				Magnésio			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
0,0	3682,0	3682,0	3605,0	3227,0	533,0	511,0	568,0	527,0
60,0	2732,0	2556,0	2082,0		406,0	423,0	301,0	
100,0	3177,0	2556,0	3637,0	3227,0	456,0	383,0	509,0	486,0
175,0	3703,0	3350,0	3518,0	3146,0	543,0	479,0	525,0	463,0
270,0	2412,0	2251,0	2079,0	2049,0	288,0	272,0	377,0	363,0
300,0	2149,0	2220,0	2563,0		355,0	329,0	284,0	
450,0	2609,0	2481,0	2553,0	2427,0	328,0	362,0	417,0	423,0
680,0	2975,0	2787,0	2584,0	2313,0	356,0	395,0	348,0	329,0
874,0	2213,0	2034,0	2467,0	2125,0	315,0	359,0	263,0	335,0
998,0	2509,0	2266,0	2043,0		270,0	263,0	259,0	
1194,0	2066,0	1809,0			219,0	189,0		
1315,0	2467,0	1880,0	2604,0	2158,0	290,0	210,0	316,0	276,0
1355,0	1458,0	1389,0			246,0	241,0		
1435,0	1741,0	1635,0	1601,0	1422,0	317,0	299,0	222,0	202,0
1696,0	2133,0	2003,0	1832,0		326,0	303,0	286,0	
1806,0	1525,0	1451,0			227,0	213,0		
1936,0	1368,0	1237,0			177,0	160,0		
2236,0	1623,0	1481,0			226,0	213,0		

d (Km)	Sódio				Potássio			
	1ª	2ª	3ª	4ª	1ª	2ª	3ª	4ª
0,0	38,8	28,3	34,4	26,3	83,7	85,0	87,1	86,2
60,0	34,4	24,1	23,7		74,6	73,6	69,9	
100,0	27,3	22,0	38,2	32,7	109,0	81,1	84,9	83,0
175,0	43,4	26,7	31,0	26,5	114,0	81,5	217,0	159,5
270,0	29,2	32,2	25,4	19,5	75,7	70,8	87,1	87,8
300,0	28,6	24,4	35,9		114,0	118,0	75,0	
450,0	53,6	25,6	30,4	25,2	89,7	76,5	95,2	84,2
680,0	43,9	32,5	34,5	25,6	80,3	77,5	128,0	123,0
874,0	29,8	26,3	32,3	24,6	86,9	66,4	109,0	95,6
998,0	30,5	25,8	30,4		82,6	78,3	100,0	
1194,0	20,7	19,1			67,8	61,2		
1315,0	34,2	28,6		24,8	86,9	70,4	89,6	70,8
1355,0	25,6	19,1			44,0	42,6		
1435,0	29,8	27,0	17,2	14,8	95,1	75,9	89,6	73,6
1696,0	24,1	22,0	21,2		67,7	66,8	154,0	
1806,0	16,2	12,3			95,0	86,0		
1936,0	31,7	23,5			97,8	92,2		
2236,0	31,0	29,2			64,8	60,6		

Apêndice 2. Valores de alguns elementos, expressos em ppm, em amostras de sedimento de várzea. Números de 1 a 6 representam números de repetição; \bar{x} representa média das repetições e s desvio-padrão.

Amostra	Ca	Mg	Al	Fe	Ti	K	Na	Si
V. Grande								
1	24,17	8,68	54,55	30,89	5,11	15,73	31,06	61,1
2	18,27	10,29	81,24	38,35	5,59	19,72	25,97	
3	25,87	10,82	81,82	38,56	5,58	20,40	33,66	
4	22,95	10,56	80,80	39,27	5,50	19,04	29,42	61,2
5	22,82	9,69	78,10	37,17	5,78	19,72	21,50	
6	18,85	10,77	84,74	41,26	5,68	19,04	33,66	
\bar{x}	22,16	10,14	81,34	37,92	5,54	18,94	29,20	61,15
s	3,00	0,82	2,38	3,59	0,23	1,65	4,74	
S.A. Ica								
1	13,00	4,41	35,54	16,10	2,51	9,37	19,60	56,5
2	18,14	9,12	81,05	34,94	5,15	18,37	23,84	59,9
3	25,86	10,61	88,66	38,47	5,64	20,40	35,50	58,2
4	24,39	10,16	71,31	37,10	5,37	18,37	32,77	
5	24,41	9,16	76,17	32,81	4,68	17,70	32,16	
6	17,88	8,65	73,77	33,23	4,64	19,72	35,03	
\bar{x}	22,14	9,54	78,19	35,31	5,10	18,91	31,95	58,2
s	3,81	0,81	6,87	2,44	0,43	1,11	4,72	1,7
Bararua								
1	19,26	10,16	80,94	38,94	5,58	13,24	28,62	56,5
2	21,55	10,03	88,31	41,30	5,80	17,91	32,71	59,9
3	23,01	8,89	69,43	30,81	5,23	18,59	22,26	58,2
4	18,76	10,50	86,65	41,04	5,46	19,28	25,65	62,9
5	21,09	10,55	84,84	39,17	5,29	19,28	22,59	60,1
\bar{x}	20,73	10,03	82,03	38,25	5,47	17,66	26,37	59,5
s	1,74	0,67	7,56	4,29	0,23	2,54	4,39	2,39
Xibeco								
1	18,34	10,38	82,96	39,44	5,57	17,91	30,61	60,8
2	22,70	8,10	60,42	33,23	5,22	20,68	19,15	59,3
3	22,40	10,15	77,10	38,30	5,46	19,98	28,23	60,8
4	19,42	10,69	85,33	41,59	5,87	19,98	28,23	60,1
5	19,54	7,11	76,20	34,12	5,49	12,59	24,60	55,0
6	22,08	10,00	73,52	38,23	5,64	20,68	20,37	59,3
\bar{x}	20,75	9,41	75,92	37,49	5,54	18,64	25,20	59,2
s	1,86	1,45	8,78	3,20	0,21	3,13	4,65	2,17

Tupe

1	26,39	9,01	74,02	32,59	4,95	17,70	22,82	74,0
2	16,47	7,64	65,66	34,08	5,30	18,37	24,19	62,9
3	17,24	8,50	76,57	31,93	4,83	18,37	37,92	64,3
4	15,68	7,53	73,54	30,07	5,37	16,38	21,50	64,3
5	14,96	7,65	75,98	30,94	5,48	16,38		58,6
6	20,01	10,58	84,47	39,40	5,34	19,04	24,54	63,1
s	18,46	8,49	75,04	33,17	5,21	17,71	26,19	64,5
x	4,26	1,18	6,06	3,35	2,69	1,11	6,66	5,1

Mari

1	12,25	7,56	62,34	31,39	5,17	18,59	23,92	61,7
2	24,15	9,53	68,42	37,61	5,53	18,59	32,71	59,3
3	17,40	8,63	78,06	37,80	5,59	14,55	11,73	62,5
4	20,77	8,40	76,98	37,61	5,76	17,91	20,37	61,7
5	14,17	8,74	82,43	36,95	5,82	17,91	16,51	58,2
6	15,48	8,20	81,90	36,06	5,60	19,28	31,02	55,8
x	17,37	8,51	75,02	36,24	5,58	17,81	22,62	59,8
s	4,42	0,65	8,00	2,46	0,23	1,67	8,17	2,58

Ferrara

1	1,53	0,01	5,93	1,50	2,12			
2	16,34	8,87	75,85	35,53	5,41	18,59	17,38	62,0
3	21,12	9,13	72,70	35,41	5,41	18,59	27,11	61,0
4	21,73	7,42	65,49	32,32	5,69	18,59	17,59	58,2
5	17,47	9,95	86,09	39,15	5,55	17,23	30,40	59,0
6	17,86	9,44	86,56	39,11	5,57	19,28	23,45	59,3
x	18,90	8,96	77,33	36,30	5,53	18,46	23,19	59,9
s	2,38	0,95	9,01	2,88	0,12	0,75	5,76	1,56

Itapeua

1	27,02	9,23	71,40	36,06	5,51	17,70	39,96	58,0
2	17,08	9,46	87,37	39,46	5,39	18,37	22,02	
3	24,50	11,12	92,70	41,45	5,75	18,37	28,62	
4	21,70	10,23	92,54	42,24	5,90	16,38	31,90	56,9
5	8,92	3,72	35,29	14,73	2,66	19,72	12,53	
6	15,91	8,63	69,95	33,46	5,21		20,22	
x	21,24	9,73	82,79	38,53	5,55	17,71	28,54	57,5
s	4,74	0,96	11,27	3,71	0,28	0,94	7,96	

Anori

1	18,45	8,90	77,03	33,51	5,22	19,28	21,94	59,8
2	13,45	8,03	73,00	34,34	5,41	17,23	12,84	59,3
3	16,61	8,19	73,22	34,35	5,39	17,91	23,58	61,8
4	20,38	7,95	64,61	35,01	5,25	17,91	29,80	59,6
5	13,87	9,03	82,38	37,67	5,66	18,59	14,52	58,6
6	17,09	9,12	84,02	38,56	5,67	19,28	21,94	59,7
x	16,59	8,54	75,71	35,57	5,43	18,37	20,77	59,8
s	2,73	0,54	7,10	2,04	0,19	0,83	6,23	1,07

Manacapuru

	1	16,59	8,85	79,03	35,06	5,22	17,04	26,34	62,9
	2	19,80	8,69	76,48	36,04	5,37	18,37	23,84	
	3	18,86	9,33	79,03	35,06	5,22	18,37	21,18	
	4	13,07	6,16	42,50	20,18	3,86	12,52	16,29	
	5	22,94	9,33	72,99	33,94	5,11	12,52	28,62	
	6	20,40	8,72	74,77	35,36	5,26	17,70	29,42	
x		19,71	8,98	76,46	35,09	5,24	16,80	24,28	62,9
s		2,32	0,32	2,65	0,76	0,09	2,46	4,96	

S.J.Amatari

	1	19,40	8,48	77,67	33,86	5,24	18,59	21,19	62,3
	2	20,43	8,32	73,41	34,21	5,39	19,98	35,61	62,3
	3	23,04	8,79	84,81	38,20	6,04	17,91	27,67	64,8
x		20,96	8,53	78,63	35,42	5,56	18,83	28,16	63,1
s		1,88	0,24	5,76	2,41	0,43	1,06	7,22	1,44

Silves

	1	24,89	9,07	78,73	36,79	5,65	17,91	32,71	57,5
	2	12,00	8,84	88,72	39,36	5,82	20,68	15,09	56,1
	3	14,92	8,55	88,87	39,33	5,85	21,38	24,26	57,8
	4	13,15	8,33	69,06	35,08	5,68	19,28	31,02	59,4
	5	24,42	9,73	72,27	37,42	5,61	16,55	14,24	56,1
	6	16,84	8,43	84,01	38,90	5,81	19,98	24,95	58,6
x		17,70	8,83	80,28	37,81	5,74	19,30	23,71	57,5
s		5,63	0,52	8,38	1,71	0,10	1,80	7,75	1,33

Canaçari

	1	8,59	5,32	63,70	34,38	5,66	15,88	17,59	68
	2	9,39	5,97	66,67	32,66	5,01	16,55	12,26	
x		8,99	5,65	65,19	33,52	5,34	16,22	14,93	68

Paura

	1	14,34	8,54	92,19	35,55	6,09	21,38	24,00	61,4
	2	12,31	8,54	95,41	35,81	6,10	20,68		58,8
	3	16,04	8,52	89,95	34,73	5,98	21,38		58,2
	4	14,63	6,14	58,04	26,89	4,63	16,55	22,92	66,5
	5	10,09	6,47	59,56	29,81	5,16	17,23	16,22	63,3
	6	9,14	5,88	52,99	25,49	4,83	15,22	10,61	66,5
x		12,76	7,35	74,67	31,38	5,47	18,74	18,44	62,4
s		2,73	1,31	19,71	4,59	0,67	2,73	6,25	3,63

Obidos

1	9,08	6,87	58,60	28,50	4,82	15,08	11,73	65,2
2	25,34	10,31	76,88	37,56	5,54	17,70	21,83	
3	14,86	7,50	67,91	33,27	5,10	18,37	32,77	
4	12,21	7,61	77,81	35,40	5,46	18,37	31,90	61,3
5	15,72	8,88	77,22	34,42	5,31	20,40	24,89	
6	22,49	9,07	71,21	32,14	4,65	19,04	17,47	
x	18,12	8,67	74,22	34,56	5,21	18,78	25,77	63,2
s	5,53	1,16	4,39	2,08	0,36	1,02	6,55	

Santarem

1	5,75	3,37	32,84	24,56	4,46	15,22	10,31	67,4
2	4,62	4,07	44,75	25,02	4,24	15,22	11,70	
x	5,19	3,72	38,80	24,79	4,35	15,22	11,01	67,4

Prainha

1	4,19	3,79	46,44	31,89	5,44	13,90	9,47	56,7
2	8,12	6,31	86,82	39,12	6,19	18,59	9,75	
x	6,16	5,05	66,63	35,50	5,82	16,25	9,61	56,7

Mugirum

1	8,23	3,13	36,40	28,24	4,38	16,55	12,26	57,6
2	5,04	2,48	39,04	33,88	4,80	16,55	10,31	
3	9,25	3,82	49,38	31,26	4,51	15,22	9,47	
x	7,51	3,14	41,61	31,13	4,56	16,11	10,68	57,6
s	2,20	0,67	6,86	2,82	0,22	0,77	1,43	

Içá

1	23,88	9,48	83,39	38,55	5,78	19,28	32,48	56,2
2	19,32	8,70	90,22	36,89	5,83	13,24	24,80	55,8
3	20,54	8,29	89,05	36,06	5,74	13,24	22,79	57,8
x	21,25	8,65	87,73	37,17	5,78	15,25	26,69	56,6
s	2,36	0,72	3,35	1,27	0,05	3,49	5,11	1,06

Jurua

1	6,81	2,08	25,31	21,30	4,72	16,55	6,87	57,7
2	7,79	5,96	81,40	40,29	5,98	17,01	11,15	57,3
3	7,59	6,58	77,52	36,19	6,06	14,55	7,75	60,1
x	7,69	6,27	79,46	38,24	6,02	16,78	7,31	57,4

Purus

1	8,96	3,30	42,39	18,90	4,48	12,59	16,45	73,8
2	5,67	2,97	38,37	18,07	4,30	12,59	7,46	72,1
3	5,93	3,17	41,71	19,81	4,60	12,59	10,59	77,0
x	6,85	3,15	40,82	18,93	4,46	12,59	11,60	74,3
s	1,82	0,17	2,15	0,87	0,16	0,00	4,56	2,49

Negro

1	0,39	0,15	6,25	1,62	1,38	17,23	0,86	68,5
2	0,11	0,15	7,21	1,92	2,00		0,17	68,5
x	0,25	0,15	6,73	1,77	1,69	17,23	0,52	69,0

Madeira

1	4,42	1,92	22,60	17,11	3,96	17,23	6,87	71,2
2	12,07	5,98	66,32	33,36	5,13	13,24	13,37	81,9
3	3,15	4,67	53,66	27,92	4,65	14,55	6,87	73,8
x	6,55	4,19	59,99	30,64	4,57	15,01	6,87	75,6
s	4,83	2,07			0,61	2,03		5,58
