

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA**

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS-TRAÇO EM
SEDIMENTOS DO LAGO DO PARÚ, MANACAPURU - AM**

ADRIANA KOUMROUYAN

**Manaus
2007**

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
CENTRO DE CIÊNCIAS DO AMBIENTE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS
DO AMBIENTE E SUSTENTABILIDADE NA AMAZÔNIA**

ADRIANA KOUMROUYAN

**DISTRIBUIÇÃO GEOQUÍMICA DE ELEMENTOS-TRAÇO EM
SEDIMENTOS DO LAGO DO PARÚ, MANACAPURU - AM**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Ciências do Ambiente, com área de concentração em Serviços Ambientais e Recursos Naturais.

Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana
Co-orientadora: Prof^a Dr^a Marle Angélica Villacorta Correa

**Manaus
2007**

Ficha Catalográfica
(Catalogação na fonte realizada pela Biblioteca Central - UFAM)

K88d

Koumrouyan, Adriana

Distribuição geoquímica de elementos-traço em sedimentos do lago do Parú, Manacapuru - AM / Adriana Koumrouyan . - Manaus: UFAM, 2007.

62 f.;

Dissertação (Mestrado em Ciências do Ambiente e Sustentabilidade na Amazônia) — Universidade Federal do Amazonas, 2007.

Orientador: Prof. Dr. Genilson Pereira Santana

Co-Orientadora: Prof^a. Dr^a. Marle Angélica Villacorta Correa

1. Geoquímica 2. Sistemas aquáticos 3. Análise química
I.Título

CDU 550.461(811.3)(043.3)

“A natureza nunca quebra suas próprias leis.”

Leonardo da Vinci

*Aos meus pais, Rosa e Gregorio,
às minhas irmãs, Alethea e Alessandra,
e ao meu amor, Rafael.*

AGRADECIMENTOS

A Deus, por me dar força e capacidade necessárias para terminar o que comecei;

À Deusa-Mãe, pela natureza desta Terra, que ainda luta para sobreviver à cobiça do homem;

À UFAM e ao CCA, por me proporcionarem a oportunidade de estudar na região amazônica e pela infra-estrutura oferecida;

Ao CNPq, pela bolsa concedida durante todo o período de mestrado e à FAPEAM, por patrocinar este projeto de pesquisa;

Ao meu orientador, Prof. Dr. Genilson Pereira Santana, pela amizade, tranquilidade, estrutura, orientação e paciência oferecidas durante todo o mestrado;

À minha co-orientadora, Prof^a Dr^a Marle Angélica Villacorta Correa, pela orientação, amizade e por prover a estrutura para as coletas no lago do Parú;

A José R. Leite, morador da comunidade Nossa S^{ta} do Livramento, no lago do Parú, que nos levou de voadeira, com muita paciência, a cada um dos pontos de coleta já marcados no GPS;

Às secretárias do CCA, Raimunda A. Nogueira e Cleide F. Costa, pela amizade, simpatia e prontidão sempre que solicitadas;

A Ercila P. Monteiro e Dorian Lesca, pela amizade e ajuda no laboratório de química quando eu não sabia onde ficava nada, além das muitas dúvidas esclarecidas e das conversas enquanto esperávamos pelo professor;

A Ana Karolina Freitas, Alex “Plank” Ramos e Marcondes Silva, pela amizade e pela ajuda, principalmente nas leituras das amostras no espectrômetro de absorção atômica;

A Edson Chaves, pela destilação do precioso ácido nítrico e ajuda com as referências.

A Flávio Salvador Damasceno, pela ajuda na primeira coleta;

A todo o pessoal do laboratório, pela descontração em momentos de espera para falar com o professor: Rebecca, Wanderléia, Marcela, Jefferson, Jonfre e a quem eu possa ter esquecido, por pura falta de memória;

À CPRH/INPA, em especial a Maria do Socorro e Luiz, pelo empréstimo da draga para as coletas de sedimento;

Ao laboratório de sensoriamento remoto do INPA, o SIGLAB, em especial ao (ex) bolsista M.Sc. Daniel Assumpção, pelas imagens de satélite mais próximas já vistas (por mim, pelo menos) do lago do Parú;

Aos Professores Doutores Cláudio Milliotti e Afonso Abinader, pela gentileza em ceder a estrutura do laboratório de sedimentologia para a conclusão do pré-tratamento das amostras;

À Prof^a Dr^a Adriana Horbe, por permitir que fossem medidos os difratogramas de raios X das amostras em seu laboratório, e ao seu aluno Marcelo, por me ensinar e auxiliar neste procedimento;

A Jair de Jesus Abreu, pelo seu bom humor e por auxiliar quando algum material do laboratório quebrava;

À amigona Adriana Kulaif Terra, pelas longas horas de conversa e pelo apoio psicológico ao longo destes dois anos;

À amiga pequena que guardo grande carinho, Francivane Fernandes da Silva, também pelas longas conversas e apoio moral durante estes dois anos;

A Luciana dos Santos, amigona que me ouve e fala tudo sem rodeios, mantendo sempre seu ótimo astral e bom humor, apesar das adversidades;

À amiga que conheci melhor ao longo do mestrado, Aldecinei B. Siqueira Schwertner, por todo o apoio e incentivo, e também às longas conversas ao longo do último ano;

A Gilberto Schwertner, pelas consultas sobre informática em momentos de lazer e pela ajuda com a manutenção do computador;

Ao casal de amigos Fabiana Souza e Fernando Frickman, pelo carinho, amizade, descontração e energia positiva em suas visitas, sempre inesperadas e bem-vindas;

À minha filhinha adotiva, Preta, por sempre estar por perto e pronta a me consolar nas horas difíceis;

A toda minha família, pelo carinho e interesse que sempre demonstrou;

Às minhas irmãs, eternas melhores amigas, Alethea e Alessandra Koumrouyan que, apesar de longe fisicamente, sei que são minha maior torcida e apoio nesta vida, depois dos meus pais;

Aos meus pais, Rosa M^a Diehl Koumrouyan e Gregorio Koumrouyan, por todo o amor, apoio, compreensão e proteção que sempre dedicaram às suas filhas e, principalmente, por sempre nos ensinarem que o importante é ser feliz à sua própria maneira, mesmo que isto ocorra a três mil quilômetros de distância deles;

Finalmente, ao meu amor e companheiro nesta vida há sete anos, Rafael Mendonça Duarte, pelo amor, amizade, auxílio, apoio, cumplicidade, orientação e paciência a mim dedicados durante estes anos.

SUMÁRIO

Lista de Figuras	ix
Lista de Tabelas	xi
Resumo	xiii
Abstract	xiv
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	4
2.1. Tipos de água e formação da várzea.....	4
2.2. As frações geoquímicas	9
2.3. Os metais estudados.....	12
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	17
3.1. Área de estudo	17
3.2. Coletas de Sedimento	20
3.2.1. <i>Delineamento amostral</i>	21
3.3. Preparo das amostras	21
3.4. Análises físicas e químicas	22
3.4.1. <i>Difração de raios X</i>	22
3.4.2. <i>Na e K</i>	22
3.4.3. <i>Fe, Mn, Co, Cu, e Zn</i>	23
3.5. Análises estatísticas	26
3.5. Análises estatísticas	26
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	27
4.1. Fração total	27
4.2. Na e K na fração trocável	32
4.3. Estudo das frações geoquímicas de Fe, Mn, Co, Cu e Zn	34
4.4. Tratamento estatístico.....	44
4.4.1. <i>Análise de Componentes Principais (PCA)</i>	44
4.4.2. <i>Análise Hierárquica de Componentes (HCA)</i>	50
5. CONCLUSÕES	53
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
7. ANEXO: GLOSSÁRIO	59

Lista de Figuras

	Pág.
Figura 1. Fotos do canal que liga o lago do Parú ao rio Solimões, durante o período de vazante/seca (2005).	6
Figura 2. Localização, imagem de satélite da visão completa do lago do Parú e desenho dos pontos amostrados no mesmo.	18
Figura 3. Método de extração sequencial proposto por Tessier <i>et al.</i> (1979), com exceção da fração residual.	25
Figura 4. Difração de raios X dos sedimentos do lago do Parú na seca (2005) e na cheia (2006).	28
Figura 5. Concentrações totais de Na, K e Fe encontradas nos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	29
Figura 6. Concentrações totais dos elementos-traço encontradas nos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	31
Figura 7. Concentração média de Na na fração trocável dos sedimentos nos dez pontos amostrados no lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	33
Figura 8. Concentração média de K na fração trocável dos sedimentos nos dez pontos amostrados no lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	34
Figura 9. Distribuição relativa de Fe entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	36
Figura 10. Distribuição relativa de Mn entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	38
Figura 11. Distribuição relativa de Co entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	40
Figura 12. Distribuição relativa de Cu entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	42
Figura 13. Distribuição relativa de Zn entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).	44

- Figura 14.** PC loading dos fatores 1 e 2 para os metais analisados na fração total dos sedimentos do lago do Parú. **48**
- Figura 15.** PC loading dos fatores 1 e 2 para os metais analisados nas frações trocável, orgânica e residual dos sedimentos do lago do Parú. **49**
- Figura 16.** Dendrogramas da concentração dos metais na fração total dos sedimentos amostrados no lago do Parú, nos períodos de seca (2005) e cheia (2006). **50**
- Figura 17.** Dendrogramas da concentração dos metais analisados nas frações trocável, orgânica e residual dos sedimentos amostrados no lago do Parú, nos períodos de seca (2005) e cheia (2006). **51**

Lista de Tabelas

	Pág.
Tabela 1. Parâmetros limnológicos do lago do Parú durante um ciclo hidrológico (setembro de 2004 a agosto de 2005).	20
Tabela 2. Posições georeferenciadas dos pontos de coleta no lago do Parú.	21
Tabela 3. Soluções utilizadas para a extração seqüencial de metais pesados das frações geoquímicas das amostras de sedimento.	24
Tabela 4. Concentrações máximas de alguns elementos-traço em sedimentos estabelecidas pela USEPA (1996).	32
Tabela 5. Concentração média de Fe nos pontos amostrados nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante o período de seca (2005).	34
Tabela 6. Concentração média de Fe nos pontos amostrados nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante o período de cheia (2006).	35
Tabela 7. Concentração média de Mn nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).	36
Tabela 8. Concentração média de Mn nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).	37
Tabela 9. Concentração média de Co nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).	39
Tabela 10. Concentração média de Co nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).	39
Tabela 11. Concentração média de Cu nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).	41
Tabela 12. Concentração média de Cu nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).	41
Tabela 13. Concentração média de Zn nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).	43
Tabela 14. Concentração média de Zn nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).	43

Tabela 15. Autovalores significativos e percentual dos PC loading 1 e 2 para as médias das concentrações dos metais analisados nas diferentes frações geoquímicas.	45
Tabela 16. Correlações entre as concentrações dos nutrientes encontradas nos sedimentos do lago do Parú no período de seca (2005).	46
Tabela 17. Correlações entre as concentrações dos nutrientes encontradas nos sedimentos do lago do Parú no período de cheia (2006).	47

Resumo

O estabelecimento de padrões nos parâmetros físico-químicos de sistemas aquáticos na região amazônica para comparações espaço-temporais que tenham a finalidade de monitorar os mesmos é de grande interesse para as gerações futuras e o desenvolvimento sustentável. As concentrações dos metais Na, K, Mn, Fe, Co, Cu e Zn foram determinadas, em seus totais e nas frações geoquímicas dos sedimentos coletados em dez pontos do lago do Parú, no município de Manacapuru – AM, com o intuito de verificar a influência dos períodos de seca e cheia sobre a distribuição desses elementos em um lago de várzea dendrítico na região. A digestão total das amostras foi feita para todos os elementos, enquanto para a determinação dos elementos Mn, Fe, Co, Cu e Zn, foi realizada ainda uma extração química seletiva para a obtenção de perfis de distribuição destes elementos nos sedimentos superficiais do lago, tanto na seca (outubro/2005), como na cheia (maio/2006). O K foi o elemento de maior concentração, seguido pelo Na e pelo Fe. Dentre os elementos-traço, o Mn se destacou por apresentar um claro decaimento em sua concentração total na direção da boca ao interior do lago (S-N). Foi também o Mn que apresentou maior concentração na fração trocável, sendo o único que não apresentou fração residual em alguns pontos, o que ocorreu no período de cheia. O Fe e o Zn demonstraram maior estabilidade entre as frações geoquímicas ao comparar os dois períodos sazonais. O Fe mostrou forte atração pela fração oxídica, ao passo que o Cu demonstrou afinidade pela fração orgânica, assim como o Co na cheia. As análises estatísticas multivariadas confirmaram uma grande movimentação dos metais nos sedimentos do lago do Parú, tanto entre as frações geoquímicas, como entre os períodos de seca e cheia. Foi concluído que K, Fe e uma parte do Na se originam nos solos das proximidades e os outros elementos vêm aos sedimentos do lago do Parú carregados pela água do rio Solimões.

Abstract

The establishment of standards in physical-chemical parameters in the Amazonian aquatic systems to promote space and temporal comparisons which intend to monitor the aquatic systems of the region is of large interest for the future generations and for a sustainable development. Concentrations of the metals Na, K, Mn, Fe, Co, Cu e Zn were measured in their totality and in geochemical fractions of the sediments collected in Paru Lake, in Manacapuru, Amazonas State, with the objective of verifying the influence of the low and high water levels over the distribution of these elements in a dendritical varzea lake in the Amazonian region. Total digestion of samples was made to all analyzed elements, while to determine the elements Mn, Fe, Co, Cu e Zn it was also made a selective chemical extraction to obtain the distribution profiles of these elements in the superficial sediments of the lake, both samples were collected in the low (October/2005) as well as in the high (May/2006) water levels periods. K presented the biggest concentration, followed by Na and Fe. Among trace elements, Mn showed a decay of total concentration from the lake mouth to the interior (S-N), primarily, in the high water level period. Mn also presented the biggest concentration of exchangeable fraction, and it was the only element that did not show residual fraction in some points, which happened in the high water level period. Fe and Zn demonstrated the best stability between the geochemical fractions in comparison to the two seasonal periods. Fe showed attraction to oxidizing fraction, while Cu demonstrated affinity with organic fraction, such as Co demonstrated at high water level period. Multivariate statistical approaches confirmed big movements of analyzed metals in the sediments of Paru Lake, both among the geochemical fractions, as well as between the low and high water level periods. It was concluded that K, Fe and a part of Na have local soils origin, and the other elements came together with Solimões River waters.

1. INTRODUÇÃO

Pela tabela periódica, verifica-se que os sete elementos estudados neste trabalho são metais, como a maior parte dos elementos químicos existentes. O sódio (Na) e o potássio (K) compõem, respectivamente, os períodos 3 e 4 da família 1, ao passo que o manganês (Mn), o ferro (Fe), o cobalto (Co), o cobre (Cu) e o zinco (Zn) são elementos de transição do período 4. Ecologicamente, alguns destes elementos (K, Mn, Fe, Cu e Zn) são considerados como nutrientes *essenciais* para as plantas, sendo que a classificação em *macro* e *micronutrientes* está relacionada à quantidade que a planta os absorve da solução do solo (TOMÉ JR, 1997).

Do ponto de vista da Química Ambiental, o termo elemento-traço se refere aos elementos que ocorrem no ambiente em níveis de parte por milhão ou abaixo disso, enquanto os outros elementos são chamados de majoritários. Entretanto, para a área, o termo mais apropriado seria substância-traço, pois envolve tanto os elementos quanto os compostos químicos (MANAHAM, 1999).

A ampliação do conhecimento acerca da mobilidade dos elementos químicos nos solos/sedimentos e da atividade fisiológica de elementos inorgânicos leva à necessidade de estudos que considerem as concentrações dos metais nas suas diferentes formas ou espécies químicas, e não somente em seu total. As extrações químicas seletivas são largamente utilizadas para investigar os efeitos de um elemento em particular no ecossistema, mesmo assim, muitas das publicações sobre especiação de metais têm focado a determinação das frações de elementos-traço em água, sendo poucos estudos publicados sobre matrizes sólidas (DAS *et al.*, 1995).

Apesar de estudos dessa natureza serem utilizados, geralmente, para verificar as alterações em ambientes impactados pela atividade antrópica, os mesmos podem elucidar a influência do pulso de inundação sobre a sedimentação de elementos químicos nos lagos amazônicos pela mudança em suas associações geoquímicas. Uma prospecção mais detalhada

dos níveis dessas substâncias em áreas ainda não impactadas da região amazônica é importante em termos de comparações temporal ou espacial, com fins de monitoramento. Contudo, existem poucos estudos publicados que determinem a concentração total de metais, como o de Föstner (1977), que estudou lagos dendríticos da região. O de Furch (1997) determina, além da concentração total, a concentração de alguns elementos na fração trocável em sedimentos de lagos amazônicos, mas de lagos de ilha, e não dendríticos. Até o presente, não se tem conhecimento na literatura de estudos mais detalhados sobre a especiação dos elementos em sedimentos de corpos de água amazônicos.

O lago do Parú se localiza na várzea, que é uma região importante por apresentar abundância de biomassa, sendo o ambiente de maior produtividade na região amazônica (FURCH, 1997). Apesar de sua localização, é um lago adjacente à terra firme, onde os moradores da comunidade Nossa Senhora do Livramento praticam a agricultura familiar. Como possui uma parte mais profunda, já foi cogitado como local de instalação de tanques-rede para o cultivo intensivo de peixes. Atualmente, os moradores tiram do lago somente poucos peixes para a própria alimentação, principalmente na cheia. Sendo assim, estudos que tratem da dinâmica de substâncias sob a influência do pulso de inundação que ocorre na Bacia Amazônica são importantes como uma prova em branco para estudos posteriores, havendo ou não a implantação do sistema de tanques-rede.

O objetivo principal deste trabalho foi avaliar como os períodos de seca e de cheia influenciam na distribuição geoquímica de alguns elementos nos sedimentos do lago do Parú. Para isso, foi necessário: (1) medir as concentrações, total e da fração trocável, dos elementos Na e K dos sedimentos do lago do Parú; (2) determinar a concentração dos elementos Fe, Mn, Co, Cu e Zn e suas distribuições geoquímicas nos mesmos sedimentos; (3) verificar as correlações existentes entre Na, K, Fe, Mn, Co, Cu e Zn nas frações geoquímicas dos

sedimentos do lago do Parú e (4) analisar a diferença entre os períodos de seca e cheia para os dados determinados.

Com estes resultados, será possível avaliar de que forma o pulso de inundação influencia na distribuição geoquímica dos elementos analisados, além de verificar se o lago do Parú está impactado, servindo também como parâmetro comparativo para estudos posteriores em sedimentos de lagos dendríticos amazônicos sob a influência do pulso de inundação.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os sedimentos são compostos por depósitos de material sólido, formados por um meio móvel – vento, gelo ou água –, na superfície da Terra. Um exemplo de sedimentos altamente compactados são as rochas sedimentares, que já passaram por processos de intemperismo, erosão, deposição e diagênese, e por isso possuem uma composição química muito variável, já que podem ter origem tanto ígnea como metamórfica (MASON, 1971). Os sedimentos de sistemas hídricos são formados por camadas de partículas minerais e orgânicas, freqüentemente finamente granuladas, que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como lagos, rios e oceanos (BAIRD, 2002).

A composição dos sedimentos irá refletir as características mineralógicas de rochas e/ou solos que estão sofrendo erosão na fonte de produção, a natureza dos precipitados orgânicos e inorgânicos suscetíveis de se formarem no sítio de deposição (LAPORTE, 1975) e a composição da formação geológica onde o corpo d'água está inserido (PICKERING, 1981; DAS *et al.*, 1995).

Em termos de classificação, os sedimentos são divididos em *minerais* e *orgânicos*; o primeiro caracteriza-se pelo baixo teor de matéria orgânica, ocorrendo em ambientes oligotróficos, enquanto o segundo é caracterizado por apresentar uma concentração de matéria orgânica superior a 10% do peso seco, sendo conhecido como *gyttja* quando de origem autóctone e *dy* quando de origem alóctone (ESTEVES, 1998).

2.1. Tipos de água e formação da várzea

A região estudada se localiza dentro da bacia sedimentar do Amazonas, onde grande parte dos sedimentos que se deposita no sistema do rio Solimões origina-se da erosão de rochas ígneas situadas nos Andes e encostas pré-andinas (SIOLI, 1985), em função da acentuada topografia e da natureza dessas rochas, de fácil fragmentação em virtude do

tectonismo local (CUNHA e GUERRA, 2006). Segundo Petri e Fúlfaro (1988), a bacia sedimentar do Amazonas é constituída de depósitos terciários e quaternários, localizados nas proximidades dos rios principais, que recobrem sedimentos silurianos, devonianos, carboníferos, permianos e cretáceos.

A concentração média anual de sedimentos em suspensão encontrada no rio Solimões é de 358 mg L⁻¹ na região de São Paulo de Olivença, e de 175 mg L⁻¹ em Manacapuru (CUNHA e GUERRA, 2006). Deste modo, a água do sistema do rio Solimões é rica em nutrientes e materiais em suspensão, sendo conhecida como carbonatada por apresentar alta concentração de Ca e HCO₃⁻ (FURCH *et al.*, 1983). Essas características, quando comparadas com as “águas pretas”, levaram Sioli (1950, *apud* JUNK, 1997) a denominá-la de “água branca”.

As “águas claras”, como as do rio Tapajós, possuem nascentes situadas em maciços antigos de terreno mais regular das Guianas e do Brasil Central, e apresentam quantidades apreciáveis de material em suspensão no período de chuvas, mas durante a longa estiagem, principalmente na região do Brasil Central, apresentam clareza cristalina e coloração verde-clara. Já os rios de “água preta”, como o rio Negro, possuem nascentes situadas na própria bacia amazônica, revestidas pela floresta. Nesses rios, as quantidades de partículas em suspensão são mínimas, tanto durante a estiagem como no período de chuvas, devido a um relevo pouco acidentado e à baixa capacidade dos solos da região em fornecer material transportável em suspensão, apesar de fornecerem, indiretamente, altas quantidades de substâncias húmicas às águas desses rios (SIOLI, 1985).

A formação das várzeas e igapós está intimamente relacionada com as flutuações do nível do mar durante o Pleistoceno e é um resultado direto das mudanças climáticas globais. Por causa da baixa elevação da bacia Amazônica, cada flutuação no nível do mar promoveu uma incisão do médio e baixo Amazonas e seus tributários, durante períodos de nível do mar

baixo, ou um bloqueio de seus efluentes, quando o nível do mar estava alto. Durante períodos glaciais, quando o nível do mar se encontrava baixo, os rios erodiram os solos formando vales profundos nos sedimentos macios das águas do Cretáceo/Terciário da Amazônia central e nos depósitos de rios de períodos anteriores. Com a elevação do nível do mar, durante os períodos interglaciais quentes, os vales foram novamente preenchidos com sedimentos fluviais, o que influenciou o sistema hídrico até pelo menos 2.500 Km rio acima da foz do Amazonas e nas áreas ao norte e ao sul do rio principal até os limites dos Escudos das Guianas e Brasil Central (IRION *et al.*, 1997).

Os vales profundos deram origem aos lagos de várzea amazônicos, conhecidos por *lagos de ria* ou *lagos de boca*, que possuem um canal que os conecta ao rio principal durante a maior parte do ano. Estes lagos encontram-se à margem da várzea e são permanentes, possuindo solos adjacentes à terra-firme, com ramificações dendríticas, canais profundos e íngremes bancos de areia (IRION *et al.*, 1997; BEHLING *et al.*, 2001). Suas águas flutuam no mesmo nível da água do rio principal, pois geralmente os canais que os conectam aos rios principais são relativamente profundos, permanecendo em contato com os mesmos até o pico da seca, fato observado no lago do Parú, objeto deste estudo (Figura 1).



Figura 1. Fotos do canal que liga o lago do Parú ao rio Solimões, durante o período de vazante/seca (2005). a) Rio Solimões visto do lago do Parú. b) Entrada do lago do Parú vista do canal que o conecta ao rio Solimões. (Foto: Santana, 2005).

Devido à localização desses corpos d'água, seu suprimento de partículas sólidas é influenciado predominantemente pelas águas ricas do rio principal. Figueiredo (1986), ao estudar o lago Calado, que é dendrítico e vizinho ao lago do Parú, relata um gradiente de condutividade e transparência da extremidade sul a norte durante a enchente (fevereiro-junho), indicando que existe um movimento da água do rio Solimões para dentro do lago. À medida que o material se assenta, a transparência aumenta no lago. Teoricamente, a transparência ajudaria no incremento de organismos fotossintetizadores, aumentando a concentração de oxigênio. No entanto, devido à profundidade e, conseqüentemente, à estratificação térmica, uma fraca termoclina se desenvolve e isola o hipolímnio, que então se torna anóxico (TUNDISI *et al.*, 1984). Este fato foi observado por Azevedo (2006), quando estudou as variáveis limnológicas do lago do Parú durante um ciclo hidrológico, de setembro de 2004 a agosto de 2005. Este autor encontrou concentrações de oxigênio dissolvido no hipolímnio próximas de zero, principalmente no horário que vai da 1:00 h às 16:00 h, exceto nos meses de janeiro a março de 2005 (enchente).

Em se tratando de balanço metabólico, lagos de planícies inundáveis ocupam uma posição intermediária entre um sistema aberto, transportador, e um sistema fechado, cumulativo (JUNK, 1997). Na vazante/seca (setembro/dezembro), tanto o nível da água nesses corpos de água amazônicos, como sua riqueza em eletrólitos, são baixos. No entanto, os ventos constantes e fortes tempestades proporcionam maiores trocas na interface ar-água, que são a principal fonte de oxigênio dissolvido nos lagos amazônicos (MELACK e FISHER, 1983).

Além disso, esses ventos e tempestades provocam a ressuspensão dos sedimentos do fundo e a conseqüente liberação de nutrientes adsorvidos às superfícies negativamente carregadas de argilominerais e substâncias orgânicas (SCHMIDT, 1973). Durante a época de chuvas, esses lagos são mais influenciados pela bacia que drena a floresta adjacente (igarapés

de água preta), que libera para estes corpos d'água as substâncias húmicas da matéria orgânica em decomposição contidas nos solos da floresta (WALKER, 1995).

Como os sólidos suspensos do rio Solimões carregam grandes quantidades de nutrientes adsorvidos (SCHMIDT, 1973; FISHER e PARSLEY, 1979), a variação sazonal no nível da água influencia drasticamente a diluição e sedimentação destes elementos nos lagos de várzea amazônicos (SCHMIDT, 1972). O pulso de inundação que ocorre na Planície Amazônica faz com que a deposição dos sedimentos na várzea seja irregular, resultando em um complicado padrão morfológico dos elementos estruturais de origem fluvial (JUNK, 1984 e 1997). Por causa disso, existem milhares de lagos de formas e tamanhos diferentes, separados por bancos de areia naturais, periodicamente interconectados entre si e com o canal do rio (IRION, 1984).

Por ser descontínua, a sedimentação nesses lagos forma camadas estratificadas; quando o rio enche, a água entra pelos canais transportando as partículas em suspensão para dentro do lago. Durante a cheia, a velocidade da correnteza é relativamente alta e sedimentos grosseiros são transportados para dentro dos lagos, mas, quando cai o nível da água, o material em suspensão com granulação mais fina, ainda presente, é depositado (IRION *et al.*, 1997).

Ao mudar os parâmetros limnológicos de um lago, a sazonalidade do pulso de inundação influenciará também na distribuição geoquímica dos elementos químicos presentes, já que mudanças na composição iônica, no valor de pH e na concentração de oxigênio são responsáveis pela maneira com que se encontram associados às diferentes *frações geoquímicas* dos sedimentos (TESSIER *et al.*, 1979). Sendo assim, as várzeas exercem papel importante como verdadeiros reservatórios geoquímicos ativos, cuja função é reter, a longo e curto prazos, os elementos-traço (VIERS *et al.*, 2005).

2.2. As frações geoquímicas

As *fases* ou *frações geoquímicas* existem nos materiais sólidos, tanto em suspensão na água como em solos e sedimentos. Normalmente, essas frações estão ligadas e/ou associadas entre si, formando colóides, precipitados, etc., por meio de mecanismos que compreendem adsorção física e química de superfícies, oclusões dentro de estruturas, quelação, complexação e co-precipitação. Essas frações podem ser extraídas química e seletivamente pelo uso de reagentes apropriados, cujos métodos, ainda hoje, estão sendo melhorados (HALL, 1998).

Esses métodos são baseados no estabelecimento de condições químicas encontradas no ambiente. A fração trocável, por exemplo, simula as condições de pH e E_h idênticas às do ambiente, de tal forma que as formas químicas disponíveis sejam liberadas. Além desta fração, existem as frações: carbonácea, associada a óxidos de ferro e manganês, orgânica, todas feitas de tal forma a predizer a reatividade potencial de metais às mudanças geoquímicas (CLARK *et al.*, 2000).

De acordo com Das *et al.* (1995), muitos métodos de extração seletiva têm sido desenvolvidos, sendo o proposto por Tessier *et al.* (1979) o mais utilizado e aplicado não somente para solos e sedimentos, mas também à matéria particulada atmosférica. Tais métodos podem ser utilizados com a simples finalidade de se investigar os efeitos que um determinado metal possui sobre o ecossistema, ou como mudanças nas condições físico-químicas do meio influenciam na especiação dos metais.

Quando os metais estão em sua forma trocável, estes se encontram fracamente adsorvidos às superfícies das partículas de sedimento; ou seja, disponíveis para reagir com as substâncias do meio (SEKHAR *et al.*, 2003). Dessa forma, mudanças na composição iônica da água podem afetar os processos de sorção/dessorção dos sedimentos nesta fração (TESSIER *et al.*, 1979). A adsorção dos metais pelos constituintes do solo e sedimentos pode

ser *específica* ou *não-específica*. A Capacidade de Troca Catiônica (CTC) do solo e sedimentos é uma medida de sua habilidade em prover sítios de adsorção *não-específicos*, sendo a força envolvida na adsorção de espécies iônicas na superfície a eletrostática, governada pela Lei de Atração e Repulsão de Coulomb. Já a adsorção *específica* implica na troca de cátions e ânions metálicos com ligantes de superfície a formar ligações parcialmente covalentes com íons formados na superfície da rede cristalina e não simplesmente atração eletrostática. Assim, o grau em que cada metal é segurado pode ser muito maior que aquele sugerido pela CTC do solo (HALL, 1998).

Os carbonatos podem ser o depósito principal de metais nos sedimentos, dependendo do clima e das condições locais. Com baixos valores de pH, a associação desses elementos com carbonatos será menor, sendo facilmente liberados para uma forma trocável (MORILLO *et al.*, 2004).

Apesar dos solos conterem maior quantidade de oxi-hidróxidos de ferro que de óxidos de manganês, os últimos possuem maior capacidade de sorção de elementos-traço. Tal reatividade é devida às propriedades químicas do Mn, como: (1) existe em muitos estados de oxidação II, III, IV; (2) forma óxidos não-estequiométricos com diferentes valências; (3) a valência alta de seus óxidos existe em muitas formas cristalinas e pseudocristalinas; e (4) formas de co-precipitados e soluções sólidas com óxidos de ferro, devido às suas propriedades químicas similares (CHAO e THEOBALD, 1976).

O grau de fixação de metais por óxidos de ferro começa na adsorção superficial, passa pela co-precipitação, até alcançar ligações relativamente fortes dentro da estrutura do óxido. Enquanto os óxidos de manganês ocorrem nos solos em formas cristalinas, os óxidos de ferro são, majoritariamente, amorfos, que são formas quimicamente mais reativas que as formas pseudocristalina e cristalina (KABATA-PENDIAS e PENDIAS, 1992). Os óxidos de ferro e manganês funcionam como cimento entre as partículas, ou simplesmente como envoltórios

das partículas de elementos, e são termodinamicamente instáveis sob condições anóxicas (e.g. TESSIER *et al.*, 1979; DAS *et al.*, 1995; MORILLO *et al.*, 2004).

A fração orgânica, no tratamento químico seletivo, constitui a quantidade de metal complexada à matéria orgânica e sulfetos que podem ser liberados sob condições oxidantes. Os metais podem estar associados a várias formas de matéria orgânica: organismos vivos, detritos, envoltos em partículas minerais, etc. As propriedades de complexação e peptidização da matéria orgânica natural são bem conhecidas, como o fenômeno da bioacumulação, se associando aos metais por meio de mecanismos de ligação como adsorção, complexação e quelação, sendo que a maior parte da matéria orgânica na maioria dos solos e sedimentos consiste em substâncias húmicas (e.g. TESSIER *et al.*, 1979; HALL, 1998; MORILLO *et al.*, 2004).

De acordo com Rocha *et al.* (2001), cerca de 20% da matéria orgânica natural (MON) existente nos ecossistemas consiste de compostos orgânicos com estruturas químicas definidas, como os carboidratos, aminoácidos e hidrocarbonetos. Os 80% restantes correspondem à matéria orgânica detrítica, de estrutura química indefinida, com tempo de residência mais longo no ambiente por ser mais resistente à degradação, denominada de matéria orgânica refratária (MOR), sendo seus principais constituintes as substâncias húmicas (ROCHA e ROSA, 2003).

As substâncias húmicas são misturas heterogêneas de macromoléculas orgânicas originadas de biomassa morta decomposta por bactérias (STEVENSON, 1994). Possuem coloração escura, elevada massa molecular, estrutura complexa e indefinida, e são classificadas em (1) humina, que é uma substância escura e insolúvel em álcalis e ácidos; (2) ácidos húmicos, que podem ser extraídos por vários reagentes, sendo insolúveis em meio ácido ($\text{pH} < 2$); (3) ácido himatomelânico, solúvel em álcoois; e (4) ácidos fúlvicos, que se

apresentam como uma substância colorida remanescente após separação dos ácidos húmicos por precipitação em meio ácido (ROCHA e ROSA, 2003).

As substâncias húmicas possuem grande influência no comportamento de metais em ambientes aquáticos devido às suas propriedades polieletrólíticas, apresentando variadas ligações metálicas cuja estabilidade depende de uma série de fatores, como: o número de átomos que formam a ligação com o metal; a natureza e a concentração do íon metálico; concentração ou característica das substâncias húmicas; pH; e tempo de complexação. Conseqüentemente, as substâncias húmicas ficam sujeitas a complexas trocas entre solução e fase sólida. (ROCHA *et al.*, 2000; ROSA *et al.*, 2001). A alta capacidade que essas substâncias orgânicas possuem em revolver os sedimentos é normalmente atribuída aos seus grupos funcionais de ácido carboxílico (COOH), com contribuições de outros grupos como –NH₂ (amino) e –SH (tio). A quantidade máxima de qualquer metal associado é aproximadamente igual ao número de grupos carboxila (HALL, 1998).

Finalmente, a fração residual é formada por minerais primários e secundários, que podem segurar os metais dentro de sua estrutura cristalina, fazendo com que os mesmos não sejam liberados para o ambiente (e.g. TESSIER *et al.*, 1979; DAS *et al.*, 1995; MORILLO *et al.*, 2004).

2.3. Os metais estudados

Os elementos químicos do grupo 1 da tabela periódica são muito semelhantes, porém não ocorrem juntos, principalmente por causa dos diferentes tamanhos de seus íons (SALES, 2007). Alguma quantidade de metais dos grupos 1 e 2 é necessária, aos organismos vivos, principalmente para o equilíbrio das cargas elétricas associadas com macromoléculas orgânicas de carga negativa existentes na célula, e também para conservar a pressão osmótica

dentro da célula, impedindo o seu colapso ou murchamento (JUNQUEIRA e CARNEIRO, 2000).

O Fe é o quarto elemento mais abundante da crosta terrestre, depois do O, Si e Al (SIENKO, 1977; LINDSAY, 1979; HSDB, 2000b) e ocorre, em soluções aquosas, como Fe (II) ou Fe (III), ou como complexos orgânicos de Fe (II) e (III). Em condições aeróbicas, ou quando o valor de pH se aproxima da neutralidade, a forma férrica dos sais inorgânicos é a que prevalece (LIMA, 2003). No sedimento, o Fe normalmente excede de três a cinco ordens de magnitude as concentrações presentes na superfície da coluna d'água, e encontra-se associado, principalmente, às substâncias húmicas, que contêm grupos funcionais carboxílicos e fenólicos e são capazes de reduzir íons metálicos disponibilizando-os por aumentar a sua solubilidade (LU *et al.*, 1979).

O Mn é um metal abundante, compreendendo aproximadamente 0,1% da crosta terrestre (LINDSAY, 1979; ATSDR, 2000), atuando em vários processos fisiológicos, vegetais e animais. Nos vegetais, participa de processos relacionados à respiração, sendo essencial para a enzima lactase, e sua deficiência pode afetar a agricultura em escala mundial. Na fisiologia animal, é essencial em processos de formação dos ossos, função reprodutiva e metabolismo de carboidratos e lipídeos (THORNTON, 1995).

Na água, sofre oxidação, dependendo do valor de pH, do potencial de oxi-redução e da atividade microbiana. O metabolismo microbiano do Mn é função do valor de pH, da temperatura e de outros fatores. O estado de oxidação do Mn em solos e sedimentos pode ser alterado pela atividade microbiana, já que os microorganismos também podem aumentar a mobilidade deste metal (ATSDR, 2000).

A forma bivalente é transformada, pela oxidação biológica, na forma trivalente que, posteriormente, é reduzida a Mn^{2+} em solos muito ácidos. Em solos alcalinos, por outro lado, a oxidação bacteriana é considerada baixa e a forma bivalente praticamente desaparece. A

velocidade de conversão nas diferentes formas sofre influência sazonal, provavelmente por depender da ação microbiológica, pois o potencial de oxidação e de redução está diretamente relacionado com a atividade dos microorganismos que podem alterar o valor de pH (WHO, 1981 e 1999).

O transporte e a degradação do Mn na água são controlados pela solubilidade dos compostos presentes. Em valor de pH de 4,0 a 7,0, predomina a forma Mn (II), que está associada a carbonatos, que possuem solubilidade relativamente baixa. Isto pode ser controlado pela presença de óxidos de manganês, sendo normalmente o composto em que este metal é convertido a outros estados de oxidação. Em águas extremamente reduzidas, a degradação do Mn tende a ser controlada pela formação de sulfitos pobremente solúveis. Em águas mais profundas, com baixos níveis de oxigênio, o Mn (IV) pode ser reduzido quimicamente, ou pela ação bacteriana, ao estado de oxidação Mn (II). O Mn (II) é a principal forma encontrada na água, a não ser que ocorra oxidação a pH > 8-9 (BARCELOUX, 1999).

O Mn é freqüentemente transportado nos rios adsorvido aos sedimentos suspensos. A tendência dos compostos solúveis de serem adsorvidos aos solos e sedimentos pode ser altamente variável, dependendo, principalmente, da capacidade de troca iônica do cátion e da composição orgânica do solo (WHO, 1999).

O Co é um elemento que ocorre naturalmente e tem propriedades similares ao ferro e níquel. Constitui apenas 0,001% da crosta terrestre, onde se apresenta em pequenas quantidades ou associado a outros elementos (LINDSAY, 1979). Está presente também no solo e na água do mar, e faz parte de moléculas importantes para o metabolismo animal, como a vitamina B₁₂ (cianocobalamina) (SCHUMANN, 1985).

Segundo estudo realizado pela ATSDR (2005), o Co pode entrar no meio ambiente por fontes naturais ou atividades antrópicas. Na forma natural, pode ser encontrado no solo, nas rochas, no ar, na água, em plantas e animais. As fontes de contaminação em pequena

quantidade ocorrem na atmosfera quando são utilizados incineradores que usam carbono como combustível, na descarga de escape de veículos, em atividades industriais e processamento de minerais que contêm Co. De acordo com a agência, o destino específico deste elemento dependerá de muitos fatores como, por exemplo, a composição química da água e do sedimento, como também da concentração do mesmo e das características do fluxo de água. O Co que se deposita no solo geralmente está fortemente associado às partículas do solo, não penetrando muito profundamente no mesmo. A quantidade de Co móvel cresce à medida que a acidez destes meios aumenta, tanto em solos como em sedimentos.

O Cu é amplamente distribuído na natureza no estado elementar, como sulfetos, arsenitos, cloretos e carbonatos. A crosta terrestre apresenta uma abundância natural de, aproximadamente, 60 mg Kg⁻¹ (LINDSAY, 1979). Como outros metais, o Cu também é distribuído no ambiente pela precipitação e fluxo das águas que transportam as partículas. Dependendo do fluxo, as partículas se depositam e formam os sedimentos. Os organismos mortos são fonte importante de Cu nos sedimentos aquáticos oceânicos (ATSDR, 1990; HSDB, 2000a; WHO, 1998).

As principais formas solúveis de Cu encontradas nas águas doces e salgadas são Cu²⁺, Cu(HCO₃) e Cu(OH)₂. Em valores de pH e concentrações de carbonato características de águas naturais, a maior parte do Cu (II) dissolvido é encontrada na forma de complexos e não como íon cúprico livre (WHO, 1998). Em sedimentos, o Cu liga-se, primariamente, à matéria orgânica, a menos que o sedimento seja pobre nesse tipo de material. A afinidade de ligação varia por um fator superior a 10 mil na seguinte ordem: hidratos de óxido de manganês > matéria orgânica > óxidos de ferro hidratos > aluminossilicatos > argila (ATSDR, 1990). A biodisponibilidade do Cu em sedimentos é influenciada pela presença de sulfetos, comuns nas águas doces e salgadas (WHO, 1998).

O Cu é estável em ambientes secos, pouco solúvel em água e em soluções salinas. É solúvel em soluções ácidas somente na presença de um agente oxidante, como o ácido nítrico e ácido sulfúrico concentrado. É ainda solúvel em soluções alcalinas de hidróxido de amônio, de carbonato de sódio e de cianeto na presença de oxigênio (BARCELOUX, 1999; WHO, 1998). O estado de oxidação mais importante no ambiente aquático é o bivalente. O íon cúprico liga-se preferencialmente a ligantes inorgânicos como H_2O , OH^- , CO_3 e SO_4^{2-} , via oxigênio, e a compostos orgânicos através dos grupos fenólicos e carboxílicos. Na forma bivalente pode, ainda, adsorver-se rapidamente a vários óxidos metálicos hidratados, incluindo os de ferro, alumínio e manganês (BARCELOUX, 1999; WHO, 1998).

O Zn é um dos elementos mais comuns encontrados na Terra, e se distribui pelo ar, pela água e pelo solo como resultado de processos naturais e atividades humanas. Grande parte do Zn nas águas, como em lagos e em rios, deposita-se no fundo, entretanto, uma pequena quantidade pode permanecer ou dissolvida na água ou como uma fina suspensão. À medida que a acidez da água aumenta, o nível de Zn dissolvido também aumenta, podendo ser acumulado em peixes (ATSDR, 1994).

O Zn na água é distribuído para sedimentos por adsorção sobre óxidos de ferro e manganês, argila mineral e materiais orgânicos. A eficiência destes materiais em remover o Zn de soluções varia de acordo com suas concentrações no meio, valor de pH, potencial redox, salinidade, natureza e concentração dos complexos ligantes, capacidade de troca de cátions e concentração. A precipitação de compostos solúveis de Zn é significativa, somente em condições redutoras de águas muito poluídas. Geralmente, em valores baixos de pH, o Zn permanece como um íon livre, podendo ser adsorvido e transportado por sólidos suspensos em águas não contaminadas. Em ambiente anaeróbico e na presença de íons sulfeto, a precipitação de sulfeto de Zn limita a mobilidade do metal (ATSDR, 1994).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O município de Manacapuru situa-se próximo à confluência dos rios Negro e Solimões, a 68 km de Manaus em linha reta e a 88 km por via fluvial, abrangendo uma área de 7.367,90 Km². Em 2000, possuía uma população total de 73.695 pessoas, sendo que 47.662 viviam na região urbana e 26.033 na região rural do município (IBGE, 2001). O lago do Parú (60° 32' W; 3° 17' S) (Figura 2) situa-se na margem esquerda do Baixo Solimões e compreende uma área de aproximadamente 18 Km², encontrando-se a 20 Km da sede do município de Manacapuru. No ano de 2000, habitavam no lago 43 famílias, em sua maioria de agricultores tradicionais, cuja principal atividade agrícola de subsistência e fonte de renda provinha da produção de farinha de mandioca e derivados (BROCKI, 2000).

Quanto à geomorfologia, o lago do Parú é um lago dendrítico, como o lago Calado, seu vizinho (60°35'W, 3°16'S) (BEHLING *et al.*, 2001) localizado numa área de interflúvios tabulares, com relevo de topo aplainado, separados geralmente por vales de fundo em “v” com intensidade de aprofundamento da drenagem fraca (RADAM BRASIL, 1978).

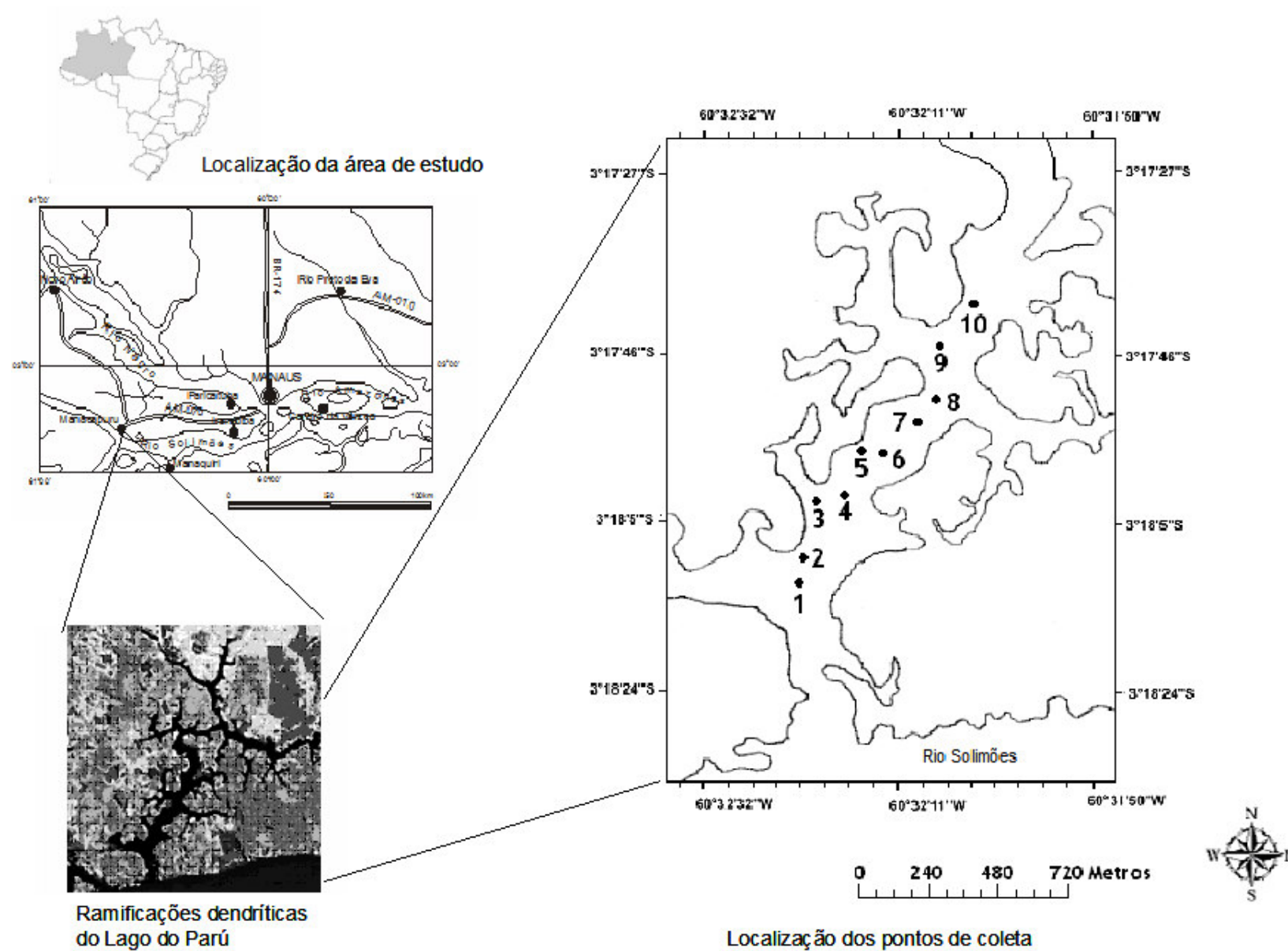


Figura 2. Localização, imagem de satélite da visão completa do lago do Parú e desenho dos pontos amostrados no mesmo. Imagem de satélite gentilmente cedida pelo SIGLAB-INPA.

De acordo com o mapa do IBGE (2005), o lago do Parú encontra-se inserido numa pequena área de Plintossolos Háplicos, cercada por Latossolos. Os Plintossolos são solos Hidromórficos e correspondem à antiga Laterita Hidromórfica e/ou Concrecionários Lateríticos (REATTO *et al.*, 2006). Segundo Cunha e Guerra (2006), os plintossolos são encontrados em ambientes onde há condições de escoamento lento ou encharcamento periódico, e se distinguem por possuir horizonte plântico caracterizado pela presença de plintita em quantidade igual ou superior a 15%, com espessura de, no mínimo, 15 cm e profundidade variada, de acordo com o tipo de horizonte sobrejacente.

O clima, segundo a classificação de Köppen, pertence ao grupo A do tipo climático Amw' (Clima Tropical Chuvoso), que apresenta umidade suficiente para sustentar a floresta do tipo tropical, mas possui uma estação seca de pequena duração. Pela classificação de Gaussen, a área é denominada Termaxérica, representada pela sub-região climática eutermaxérica, pois apresenta temperatura do mês frio superior a 20 °C, ou seja, período quente contínuo, amplitude térmica anual muito baixa e estado hidrométrico superior a 85%. A precipitação total anual é próxima a 2.250 mm (RADAMBRASIL, 1978).

A caracterização das variáveis limnológicas do lago do Parú foi feita ao longo de um ciclo hidrológico, do mês de setembro de 2004 a agosto de 2005, por Azevedo (2006), sendo apresentados alguns dados deste trabalho na Tabela 1.

Tabela 1. Variáveis limnológicas do lago do Parú durante um ciclo hidrológico (setembro de 2004 a agosto de 2005) medidos por Azevedo (2006).

<i>Mês/ano</i>	<i>pH</i>	<i>[O₂] Hipolim.</i>	<i>T (°C) Hipolim.</i>	<i>Condutiv. (μS cm⁻¹)</i>
<i>Set/2004</i>	6,2	0*	29	12
<i>Out/2004</i>	6,4	0	29,5	8
<i>Nov/2004</i>	5,9	0,5	31	5
<i>Dez/2004</i>	6,7	1	30	40
<i>Jan/2005</i>	6,7	2,5	29,5	32
<i>Fev/2005</i>	6,6	1	29	33
<i>Mar/2005</i>	6,8	1	28	38
<i>Abr/2005</i>	6,8	0,5*	28	65
<i>Mai/2005</i>	6,8	0	28	45
<i>Jun/2005</i>	6,2	0	28	34
<i>Jul/2005</i>	6,3	0	28	33
<i>Ago/2005</i>	6,2	0*	28	34

Hipolim.: valores medidos no hipolímnio do lago do Parú.

* Foram marcados com este símbolo os valores que apresentaram um pico de maior concentração no horário do fim da tarde ao início da noite.

3.2. Coletas de Sedimento

Foram realizadas duas coletas de sedimento: uma no pico da seca, em outubro de 2005, e outra no pico da cheia, em junho de 2006, em um trecho localizado relativamente próximo à conexão do lago com o rio Solimões. As amostras de sedimento foram coletadas com a ajuda de uma draga de Birge-Ekman (MUDROCK e MACKNIGHT, 1994).

3.2.1. Delineamento amostral

Os pontos de coleta se localizaram numa região próxima à desembocadura do lago do Parú, sendo escolhidos de maneira a se localizarem em partes de sedimentação, como na parte mais funda, central, do lago, e nas “pontas” ou bancos de areia (Figura 2). Estes foram identificados de forma numerada, em ordem crescente a partir da boca, e georeferenciados com a ajuda de um GPS (Tabela 2). Durante as coletas, foi retirada a camada superficial dos sedimentos, que foram então armazenados em sacos plásticos até a Universidade Federal do Amazonas.

Tabela 2. Posições georeferenciadas dos pontos de coleta no lago do Parú.

<i>Pontos</i>	<i>S</i>	<i>W</i>
P1	03° 18.204'	60° 32.465'
P2	03° 18.157'	60° 32.454'
P3	03° 18.053'	60° 32.431'
P4	03° 18.039'	60° 32.380'
P5	03° 17. 939'	60° 32.357'
P6	03° 17.965'	60° 32.310'
P7	03° 17.901'	60° 32.243'
P8	03° 17.862'	60° 32.212'
P9	03° 17.762'	60° 32.203'
P10	03° 17.683'	60° 32.148'

3.3. Preparo das amostras

As amostras de sedimento foram submetidas a um processo de secagem ao ar (sedimento seco ao ar - SSA) durante, no mínimo, duas semanas, sendo revolvidas periodicamente para acelerar o processo, e para evitar o ataque de fungos e a secagem de forma inteiriça.

Depois de secas, todas as amostras passaram por um processo de trituração, com o uso de almofariz e pistilo, e posteriormente foram peneiradas a seco em malhas Granutest de 53

μm (270 *mesh*), com o auxílio de um agitador mecânico da marca Produtest, sendo então homogeneizadas. As amostras de SSA peneiradas em malhas com abertura de $53\mu\text{m}$ foram utilizadas em todas as análises físicas e químicas deste trabalho.

As malhas foram limpas, entre uma amostra e outra, com a ajuda de uma escova de cerdas duras e secas, para posterior retirada das partículas mais finas do sedimento, no aparelho de ultrassom UltraSonic Cleaner da marca Thorton, modelo USC 5000, por 10 minutos. Feito isto, as malhas receberam um banho de água corrente de torneira e seguidas rinsadas de água deionizada, sendo então secas na estufa por 20 minutos a uma temperatura de 60°C .

3.4. Análises físicas e químicas

3.4.1. Difração de raios X

Uma pequena parcela de cada amostra de SSA, do período de seca, foi colocada em cadinho de porcelana para homogeneização. Após a homogeneização, a amostra foi cuidadosamente colocada em placa metálica, para leitura no aparelho da marca Shimadzu, por difração de raios X. O mesmo procedimento foi feito para as amostras de sedimento do período de cheia. A medida foi realizada usando uma radiação $K_\alpha\text{Cu}$, com constante de tempo de 5 s, nos ângulos de 3 a $60^\circ 2\theta$.

3.4.2. Na e K

Para a determinação das concentrações na fração trocável, foram lidas por fotometria de chama (Tecnow - Pegassus II) as amostras obtidas pelo método de Tessier *et al.* (1979) (descrito no item 2.4.2.), com solução de MgCl_2 a 1 mol L^{-1} , o mesmo extrator utilizado para a determinação dos metais Fe, Mn, Co, Cu e Zn na fração trocável.

A determinação das concentrações totais foi possível após a digestão ácida das amostras de SSA. Para tal, foi utilizado 0,1 g de amostra, em triplicatas, em cadinho de

Teflon[®] (PFA) com tampa do mesmo material, no qual foram adicionados 10 mL de solução de HClO₄ e HNO₃ (1:1) + 10 mL de HF 48% (solução E do método de Tessier *et al.*, 1979, descrito na figura 4). Não foram adicionados os 40 mL de solução utilizados por Tessier *et al.*, 1979, pois os cadinhos não possuíam capacidade para tal volume. Feito isto, os cadinhos foram bem fechados com suas respectivas tampas e colocados em chapa pré-aquecida (Tecnal, TE-015) a uma temperatura de 150 °C, por duas horas.

Após algum resfriamento das amostras, os cadinhos foram abertos e as amostras resfriaram totalmente. Somente depois foram adicionados, vagarosamente, os 10 mL de H₂O₂ a 30%. As amostras sofreram digestão por mais 13 horas, em temperatura ambiente, e com os cadinhos abertos. A abertura de cada amostra foi feita com 10 mL da mesma diluída em balão volumétrico de 100 mL. As amostras abertas foram armazenadas em recipientes de PVC e armazenadas a uma temperatura inferior a 5 °C.

3.4.3. Fe, Mn, Co, Cu, e Zn

A digestão total das amostras de SSA foi a mesma que a utilizada para a fração total de Na e K, descrita no item anterior (3.4.2). Para a obtenção da fração residual, foi subtraída, do total, a soma das frações geoquímicas trocável, carbonácea, oxídica e orgânica, extraídas por meio do método de extração seletiva proposto por Tessier *et al.* (1979), descrito na Figura 3, e no qual são utilizadas soluções extratoras salinas, ácidas complexantes e oxidantes/redutoras (Tabela 3).

Tabela 3. Soluções utilizadas para a extração sequencial de metais pesados das frações geoquímicas das amostras de sedimento, para extração pelo método de Tessier *et al.* (1979), descrito na figura 4.

Fração Geoquímica	Soluções extratoras	pH	Legenda
<i>Trocável</i>	MgCl ₂ a 1,00 mol L ⁻¹	7,0	A
<i>Carbonácea</i>	NaOAc a 1,00 mol L ⁻¹	5,0	B
<i>Oxídica</i>	NH ₂ OH.HCl 0,04 mol L ⁻¹ em ácido acético a 25%	1,8	C
<i>Orgânica</i>	H ₂ O ₂ 30% + HNO ₃ 0,02 mol L ⁻¹ na proporção de 5:3	2,0	D1
	H ₂ O ₂ 30%	2,0	D2
	NH ₄ OAc 3,2 mol L ⁻¹ em HNO ₃ a 20%		D3

Uma adaptação foi feita ao método de Tessier *et al.* (1979): antes da extração, as amostras de SSA foram secas na estufa a uma temperatura de 40 °C, ao invés de 75 °C, para garantir a integridade das propriedades físico-químicas dos metais estudados (KAHN e SOLTANPOUR, 1978; SHUMAN, 1980). Assim, o tempo de secagem também foi aumentado, de uma hora para 48 horas. Feito isto, 1 g de cada amostra de SSA (em triplicatas) foi então transferido para tubos de centrífuga de polietileno de 50 mL para a realização da extração seletiva.

A partir dos extratos obtidos, 5 mL de cada amostra foram acidificados com 5 mL de HNO₃ concentrado e destilado, sendo o volume ajustado para 25 mL com água deionizada. Entre a extração de uma fração e outra, todas as amostras foram lavadas com 8 mL de água deionizada. Em cada amostra foram determinadas as concentrações de Fe, Mn, Co, Cu e Zn por espectrometria de absorção atômica (GBC, AAS 932), utilizando-se o método direto e chama de ar-acetileno. Todos os materiais utilizados durante o procedimento para análises químicas foram esterilizados em banho de HNO₃ a 10%.

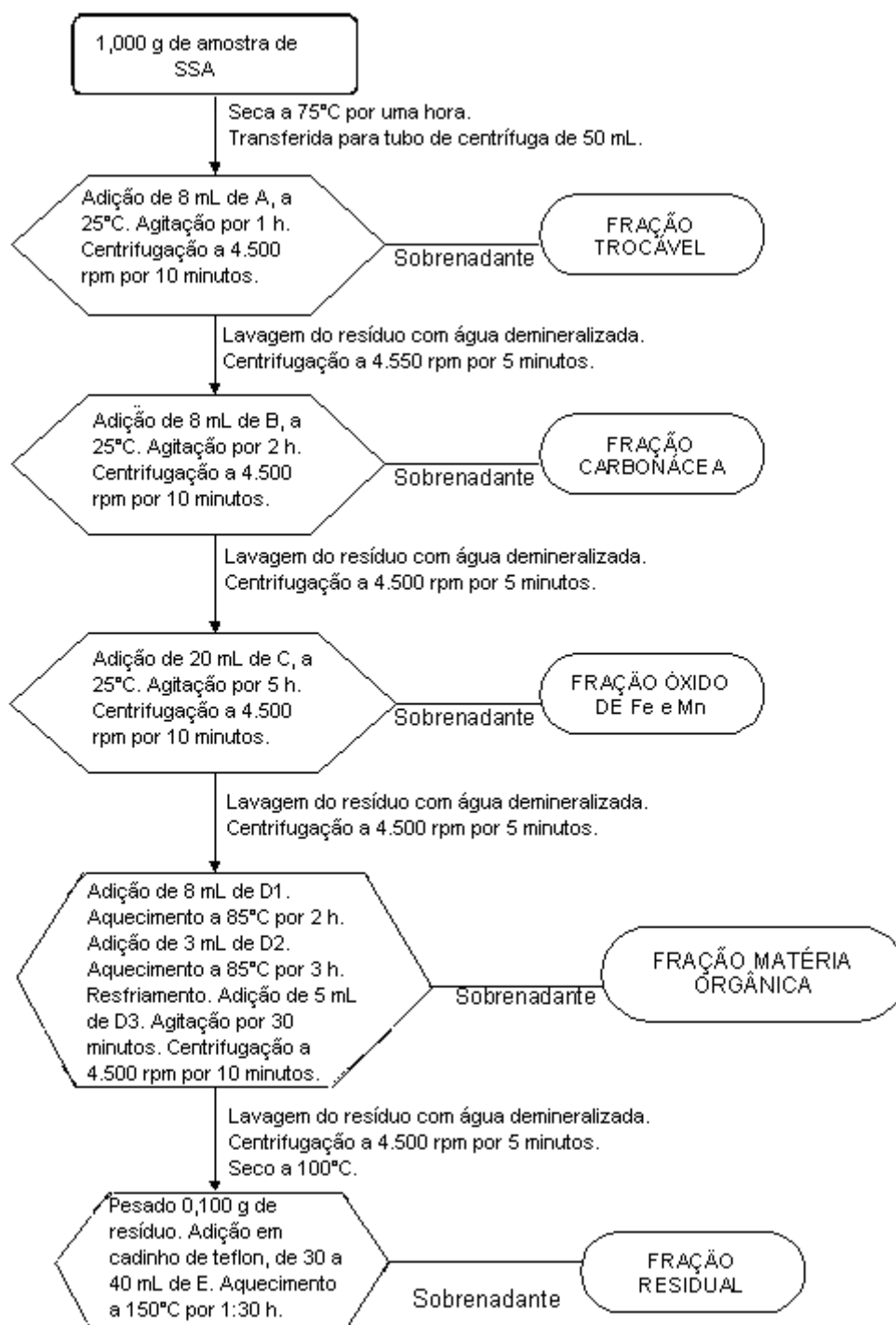


Figura 3. Método de extração sequencial proposto por Tessier et al. (1979), com exceção da fração residual.

3.5. Análises estatísticas

A concentração dos elementos em cada ponto e em cada período de coleta foi expressa como Média $\pm$ SD. Como os resultados obtidos contêm um grande número de variáveis, as médias obtidas foram submetidas a dois métodos de análise exploratória, multivariadas: análise de componentes principais (sigla PCA – de *Principal Component Analysis*, em inglês), e análise hierárquica de agrupamentos (sigla HCA – de *Hierarchical Cluster Analysis*, em inglês). O PCA tenta reduzir o número de variáveis, que muitas vezes são subjetivas, em critérios objetivos que permitam a construção de gráficos bidimensionais contendo a maior informação estatística possível. O HCA utiliza todas as variáveis disponíveis para construir agrupamentos entre as amostras de acordo com suas similaridades, e as representa, também, de maneira bidimensional, mas através de um dendrograma. A análise de componentes principais e de agrupamento hierárquico são técnicas de estatística multivariada complementares e possuem grande aceitação na análise de dados químicos (MOITA NETO e MOITA, 1998).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Fração total

As análises químicas da fração total mostraram que as concentrações de Na, K e Fe foram as maiores dentre os metais estudados, sendo separados então como metais ou elementos majoritários ou principais (Figura 5). No período de seca, as médias de Na e K foram similares (57 ± 34 e 59 ± 9 g kg⁻¹, respectivamente), apesar dos altos valores de desvio padrão do Na. Durante a cheia, as concentrações totais médias desses dois metais foram bem diferentes, apresentando valores de 22 ± 15 e 46 ± 15 g kg⁻¹, para o Na e o K, respectivamente. Furch (1997) encontrou concentração de K de 19,0 g kg⁻¹ na fração total de sedimentos de lagos não-dendríticos da Ilha da Marchantaria, valor semelhante à concentração encontrada no período de seca do presente trabalho.

As concentrações totais médias de Fe praticamente não variaram durante os períodos de seca (45 ± 2 g kg⁻¹) e cheia (43 ± 5 g kg⁻¹). Esses valores são semelhantes aos encontrados por Föstner (1977), que estudando sedimentos de lagos dendríticos amazônicos, localizados próximos à junção dos rios Solimões e Negro, encontrou concentração deste elemento na fração total de 42 g kg⁻¹.

Quanto à constituição mineralógica do sedimento, a difração de raios X (Figura 4) mostrou uma marcada presença de montmorilonita, que é um mineral 2:1, cuja principal característica é a liberação de, entre outros elementos, K⁺ durante o seu intemperismo, pois seus íons ficam adsorvidos entre as camadas tetraédricas que compõem o octaedro (LAGUNA, 2006). A difração de raios X ainda mostra que na composição mineralógica do sedimento do lago do Parú há também quartzo, anortita (que contém até 10% de Na), clinocloro (que contém Fe), e caulinita. Tudo isso indica que o K e o Fe sejam pertencentes à constituição da rocha-mãe em que se encontra o lago.

Como a anortita contém Na em sua constituição, é provável que o mesmo também faça parte da constituição da rocha-mãe que deu origem aos sedimentos do lago do Parú. Todavia, sua concentração total variou muito entre um e outro ponto de coleta nos dois períodos amostrados, indicando que talvez uma parte deste Na venha carregada para o lago pela água do rio Solimões.

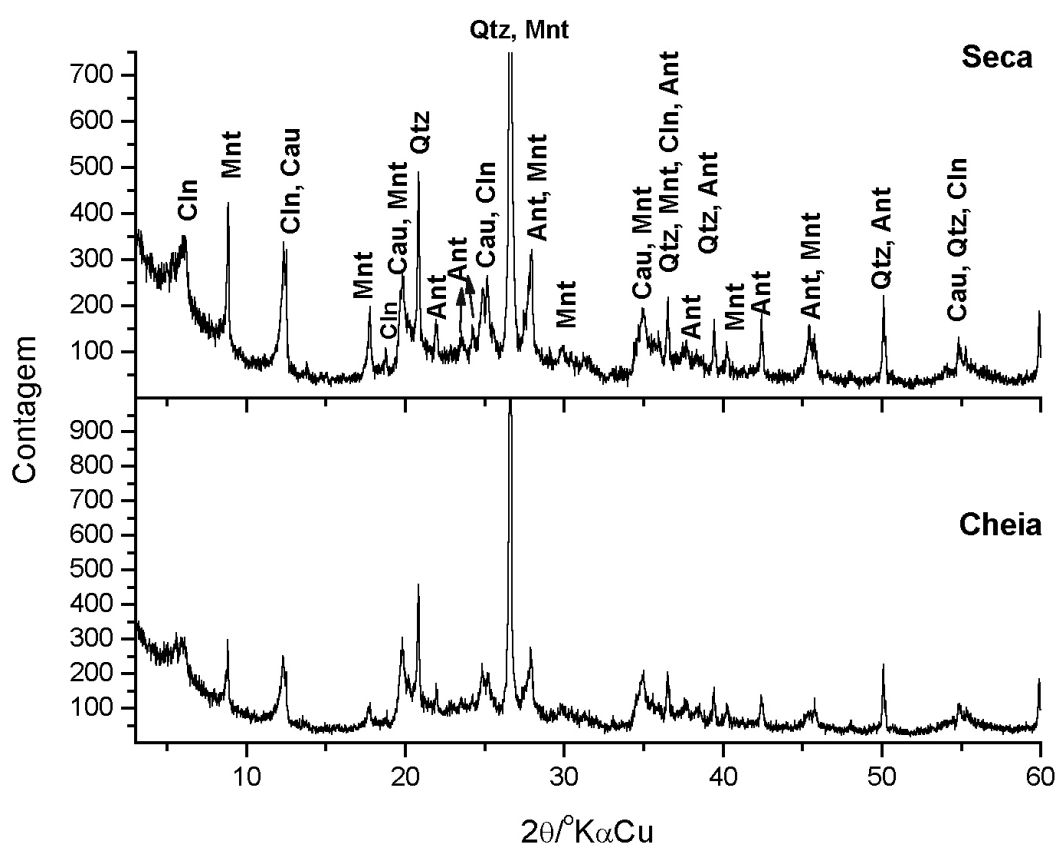


Figura 4. Difração de raios X dos sedimentos do lago do Parú na seca (2005) e na cheia (2006). Cln: clinocloro; Mnt: montmorilonita; Cau: caulinita; Qtz: quartzo; Ant: anortita.

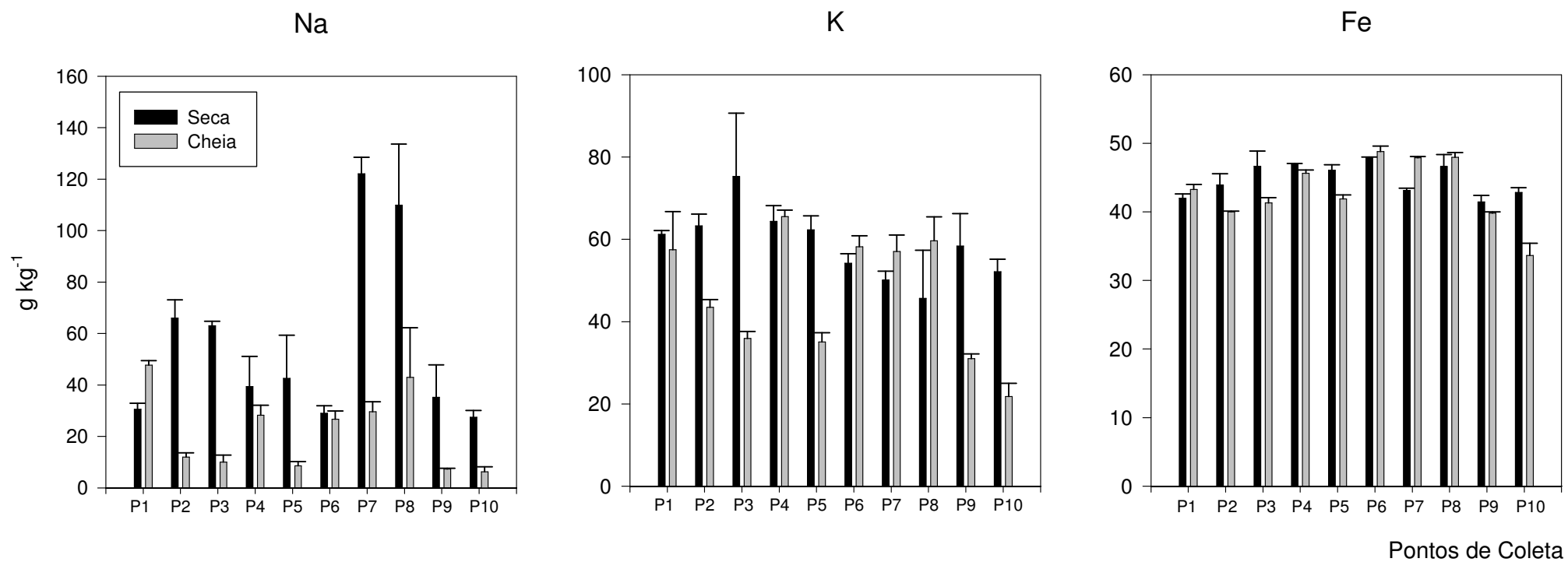


Figura 5. Concentrações totais de Na, K e Fe encontradas nos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

Quanto aos elementos-traço ou oligoelementos estudados, foram observadas concentrações médias de Zn na fração total de 294 ± 43 e $253 \pm 16 \mu\text{g g}^{-1}$ na seca e na cheia, respectivamente. Nessa mesma ordem, o Mn apresentou concentrações totais médias de 176 ± 30 e $208 \pm 40 \mu\text{g g}^{-1}$, o Co de 154 ± 25 e $186 \pm 36 \mu\text{g g}^{-1}$ e o Cu 85 ± 13 e $86 \pm 26 \mu\text{g g}^{-1}$. Para sedimentos de lagos dendríticos amazônicos próximos à confluência dos rios Solimões e Negro, a literatura mostra apenas um estudo de Föstner (1977), que encontrou concentrações de Mn ($448 \mu\text{g g}^{-1}$), Co ($58 \mu\text{g g}^{-1}$) e Zn ($156 \mu\text{g g}^{-1}$). Sekhar *et al.* (2003) acharam, em um lago impactado na Índia, uma concentração média de Zn de $502 \pm 97 \mu\text{g g}^{-1}$.

Além de possuir concentração maior na cheia, o Mn chamou atenção por apresentar sua concentração reduzida gradativamente, no sentido do canal do rio (P1) para dentro do lago (P10), principalmente na cheia (Figura 6), sendo esta uma forte evidência de que este elemento seja carregado pela água do rio Solimões para dentro do lago do Parú.

Quanto ao Co, foi observada uma variação de concentração praticamente constante em todos os pontos de coletas, chamando a atenção para o P1, que obteve valores elevados na cheia em relação aos outros locais de amostragem. De modo geral, as concentrações deste elemento foram maiores na cheia, com uma inversão desta tendência em alguns pontos de coleta (P2 e P10).

As concentrações médias de Cu encontradas nos sedimentos do lago do Parú foram baixas, menores até mesmo que as de Co, ficando abaixo de $100 \mu\text{g g}^{-1}$ (Tabelas 8 e 9). O Zn obteve concentração praticamente constante nos dois períodos amostrados, exceto pelos pontos P4 e P6, sendo estas mais altas que as de Co e Cu, porém não tão altas quanto às de Mn.

Em resumo, os valores totais encontrados nos sedimentos do lago do Parú ficaram dentro dos limites estabelecidos pelo guia de valores da USEPA (1996) para concentração de elementos-traço, exceto pelos elementos K, Na (na seca) e Co (Tabela 4). O fato destes

elementos não serem considerados tóxicos aos organismos, adicionado ao fato desta agência propor padrões para sedimentos de clima temperado, não pode ser esquecido ao se analisar este estudo.

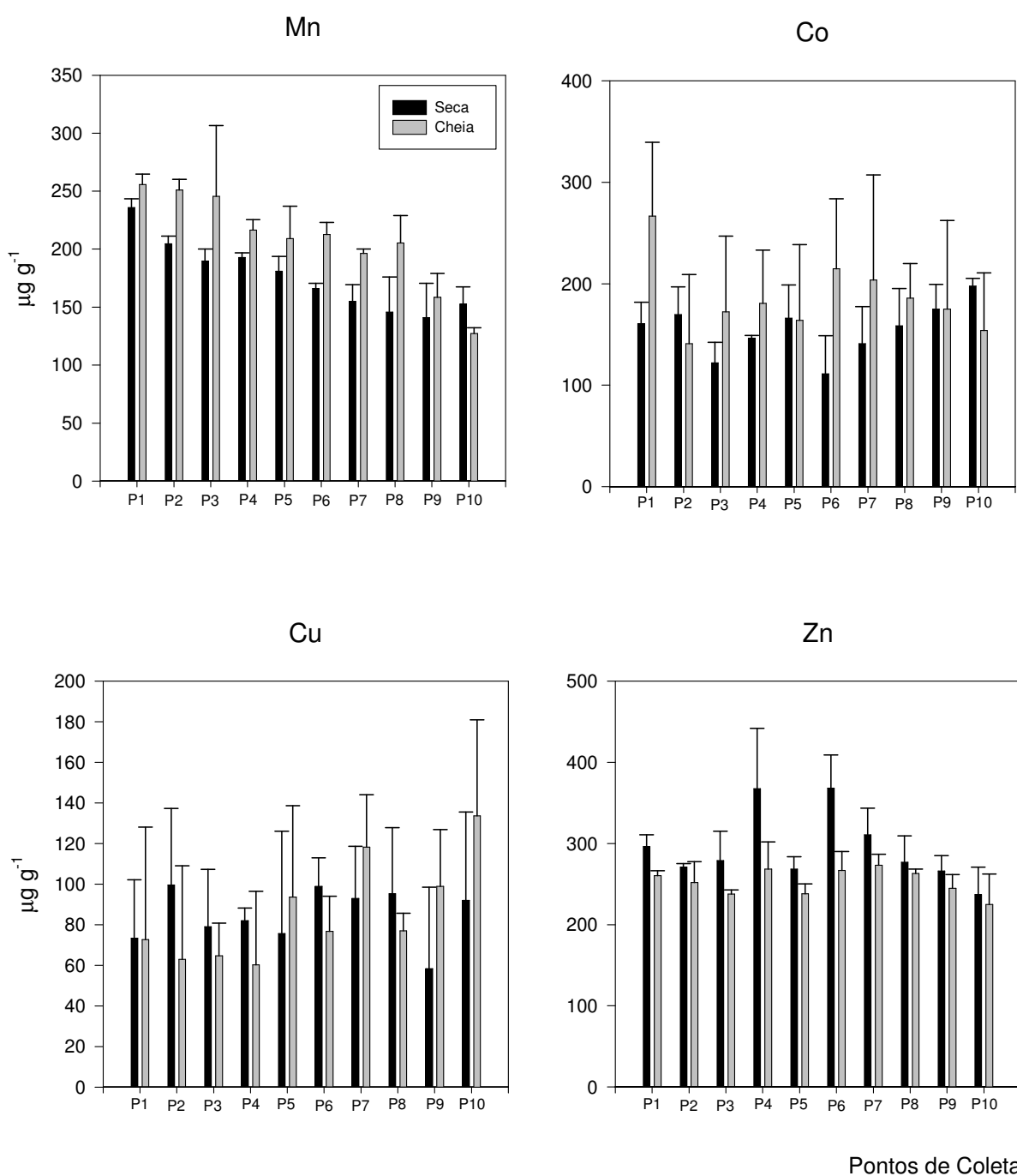


Figura 6. Concentrações totais dos elementos-traço encontradas nos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

Tabela 4. Concentrações máximas de alguns elementos-traço em sedimentos, estabelecidas pela USEPA (1996).

<i>Elemento</i>	<i>Nível de alerta</i>
Co	120 $\mu\text{g g}^{-1}$
Cu	270 $\mu\text{g g}^{-1}$
Fe	100 g kg^{-1}
K	40 g kg^{-1}
Na	50 g kg^{-1}
Zn	410 $\mu\text{g g}^{-1}$

4.2. Na e K na fração trocável

Infelizmente, a solução extratora utilizada na fração carbonácea contém Na em sua composição e, a partir da sua utilização, no segundo passo da extração sequencial de Tessier *et al.* (1979), as amostras ficaram contaminadas quanto a este elemento, não podendo ser medidas a partir desta fração.

Diferentemente da fração total (Figura 5), o Na trocável apresentou maiores concentrações na cheia, com uma média de $0,075 \pm 0,004 \text{ g kg}^{-1}$ do que na seca, quando obteve média de $0,034 \pm 0,009 \text{ g kg}^{-1}$ (Figura 7), evidenciando uma maior mobilidade deste elemento durante este período. Estas características indicam que os fenômenos físico-químicos envolvidos na fração total incluem a *diluição* do Na durante a cheia, pela água do rio Solimões, e a *deposição* do Na que não foi carregado na vazante, no período de seca. Furch (1997), ao estudar a ilha da Marchantaria, observou concentrações de Na de $7,1 \text{ g kg}^{-1}$ na fração total, e de $0,131 \text{ g kg}^{-1}$ na fração trocável, valores não muito próximos dos valores encontrados no lago do Parí.

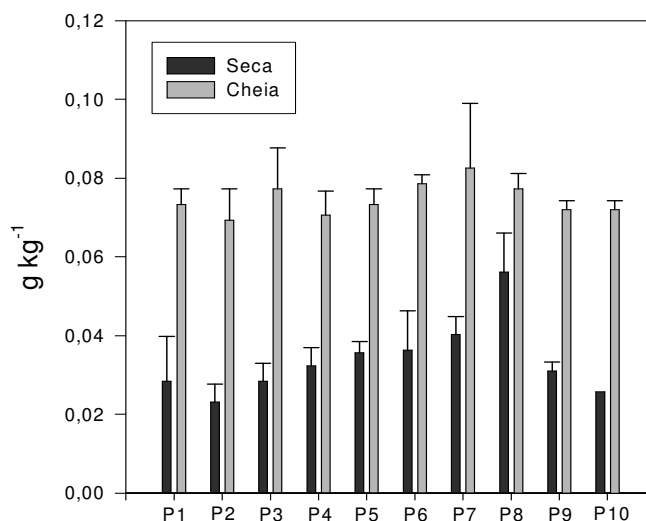


Figura 7. Concentração média de Na (em g kg^{-1}) na fração trocável dos sedimentos nos dez pontos amostrados no lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

Os solos amazônicos são classificados em não-salinos por apresentarem saturação, isto é, Na em forma trocável (Na^+), inferior a 1% (MALAVOLTA, 1976) e, certamente, essa característica dos solos reflete na composição dos corpos d'água amazônicos e dos seus sedimentos, como encontrado no lago do Parú.

O K trocável, assim como o Na, também se mostrou ligeiramente maior na cheia ($0,100 \pm 0,007 \text{ g kg}^{-1}$) do que na seca ($0,092 \pm 0,013 \text{ g kg}^{-1}$) (Figura 8), com exceção dos pontos P9 e P10, certamente, por encontrar maior quantidade de água, sendo, portanto, diluído neste período. De acordo com Mason (1971), a maior concentração de K em relação ao Na é um aspecto típico da composição química das rochas sedimentares. Furch (1997) encontrou valores duas vezes maiores ($0,234 \text{ g kg}^{-1}$) na mesma fração.

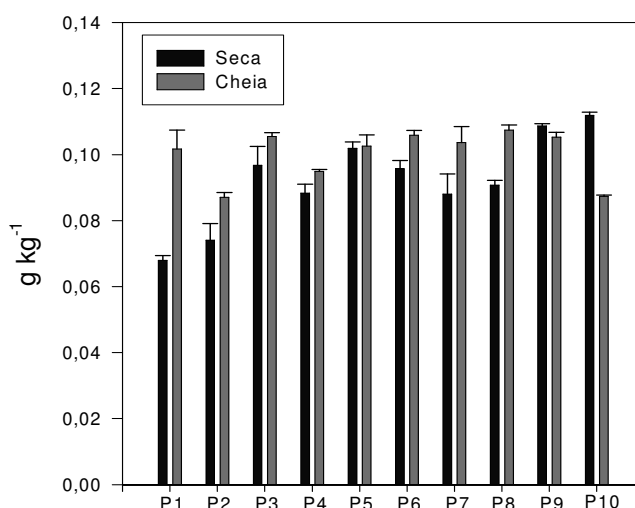


Figura 8. Concentração média de K na fração trocável dos sedimentos nos dez pontos amostrados no lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

4.3. Estudo das frações geoquímicas de Fe, Mn, Co, Cu e Zn

Para todos os elementos, foi possível observar uma mudança de comportamento entre o período de seca e cheia. O perfil de distribuição do Fe mostra que sua concentração permaneceu praticamente constante entre seca e cheia nas frações residual, oxidica e orgânica (Tabelas 5 e 6). Na segunda fração, todos os valores de concentração ficaram abaixo do limite de detecção ($<0,05 \text{ mg L}^{-1}$) na seca. Como o Fe forma óxidos estáveis com a matéria orgânica, a concentração deste elemento se manteve constante, independentemente dos períodos de seca e de cheia.

Tabela 5. Concentração média de Fe nos pontos amostrados nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante o período de seca (2005).

Pontos de Coleta	Trocável	Carbonácea	Oxidica	Orgânica	Residual
	$\mu\text{g g}^{-1}$		g kg^{-1}		
P1	$68 \pm 1,5$	ND	$4,3 \pm 1,2$	$0,8 \pm 0,1$	$37 \pm 0,04$
P2	113 ± 17	ND	$3,8 \pm 0,2$	$0,9 \pm 0,2$	$39 \pm 0,05$
P3	187 ± 12	ND	$4,1 \pm 0,1$	$0,8 \pm 0,1$	$42 \pm 0,05$
P4	183 ± 8	ND	$4,9 \pm 0,2$	$0,7 \pm 0,1$	$41 \pm 0,02$
P5	215 ± 10	ND	$5,0 \pm 0,4$	$0,7 \pm 0,1$	$40 \pm 0,04$
P6	222 ± 5	ND	$4,4 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,1$	$42 \pm 0,02$
P7	189 ± 21	ND	$3,9 \pm 0,3$	$3,3 \pm 0,6$	$36 \pm 0,03$
P8	216 ± 18	ND	$6,8 \pm 4,3$	$2,3 \pm 0,4$	$37 \pm 0,08$
P9	206 ± 7	ND	$3,5 \pm 0,2$	$1,5 \pm 0,7$	$36 \pm 0,04$
P10	222 ± 14	ND	$3,5 \pm 0,0$	$0,7 \pm 0,1$	$38 \pm 0,03$

ND: não detectado

Tabela 6. Concentração média de Fe nos pontos amostrados nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante o período de cheia (2006).

Pontos de Coleta	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
	$\mu\text{g g}^{-1}$		g kg^{-1}		
P1	243 $\pm$ 22	71 $\pm$ 2,1	3,5 $\pm$ 0,1	0,6 $\pm$ 0,01	39 $\pm$ 0,03
P2	316 $\pm$ 3	68 $\pm$ 3,3	4,7 $\pm$ 0,1	0,8 $\pm$ 0,07	34 $\pm$ 0,02
P3	334 $\pm$ 9	60 $\pm$ 6,0	6,2 $\pm$ 0,2	1,5 $\pm$ 0,06	33 $\pm$ 0,03
P4	265 $\pm$ 9	78 $\pm$ 2,6	4,9 $\pm$ 0,1	1,0 $\pm$ 0,05	39 $\pm$ 0,03
P5	347 $\pm$ 20	71 $\pm$ 1,3	6,5 $\pm$ 0,2	1,2 $\pm$ 0,08	34 $\pm$ 0,03
P6	396 $\pm$ 4	77 $\pm$ 4,4	6,2 $\pm$ 0,1	1,7 $\pm$ 0,10	40 $\pm$ 0,03
P7	390 $\pm$ 8	79 $\pm$ 3,4	4,7 $\pm$ 1,3	2,2 $\pm$ 0,01	40 $\pm$ 0,04
P8	407 $\pm$ 8	79 $\pm$ 7,2	5,8 $\pm$ 0,1	2,0 $\pm$ 0,01	40 $\pm$ 0,03
P9	402 $\pm$ 9	71 $\pm$ 2,8	6,0 $\pm$ 0,3	1,1 $\pm$ 0,08	32 $\pm$ 0,02
P10	314 $\pm$ 13	72 $\pm$ 1,1	4,9 $\pm$ 0,4	1,1 $\pm$ 0,03	27 $\pm$ 0,05

Com relação à distribuição relativa percentual de Fe, foi observada a seguinte afinidade pelas frações geoquímicas em ordem decrescente, tanto na seca como na cheia: Residual > Oxídica > Orgânica > Trocável > Carbonácea. A fração residual representou cerca de 80 a 90% do total deste elemento, enquanto a fração oxídica variou entre 7 e 17%. O Fe associado à fração orgânica variou entre 2 e 8%, enquanto o Fe na forma trocável representou menos de 1% do total determinado (Figura 9).

Segundo Morillo *et al.* (2004), quando a concentração de Fe é maior na fração residual em relação às outras frações geoquímicas, é porque este elemento tem sua origem nos processos geológicos da região em que o sistema hídrico está inserido, sendo neste caso, o lago do Parú.

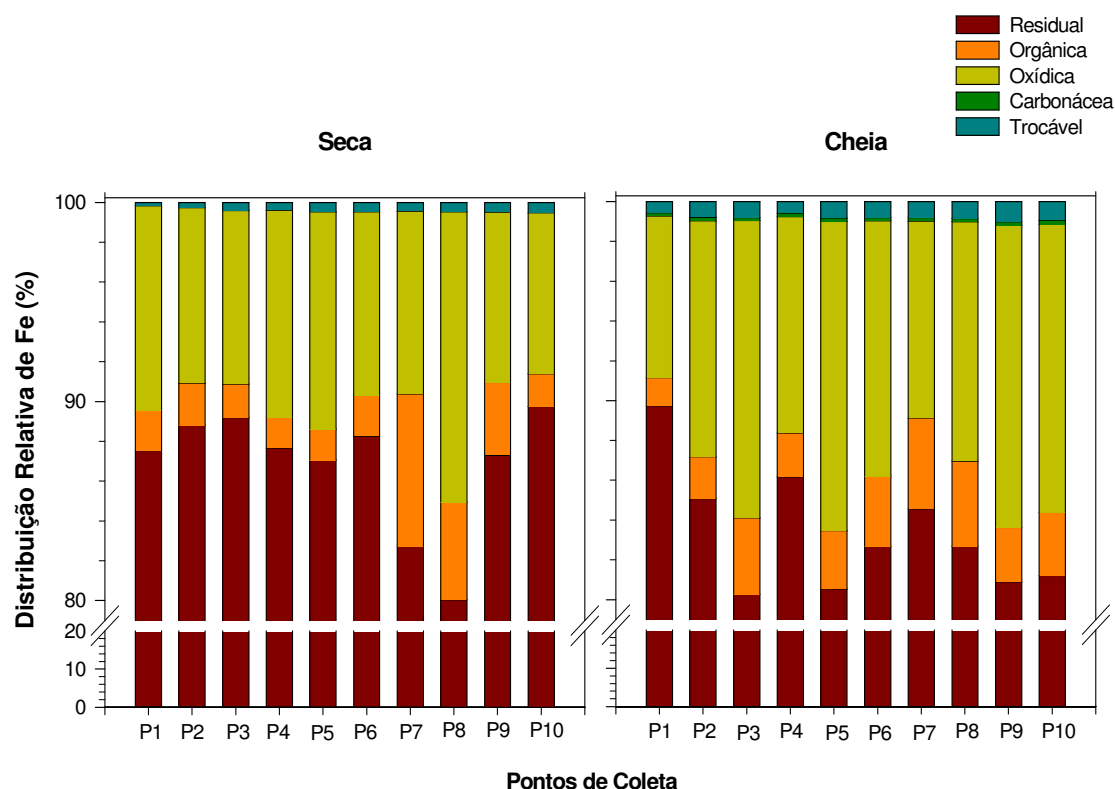


Figura 9. Distribuição relativa de Fe entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

A concentração de Mn na fração trocável apresentou valores comparáveis aos do Fe na mesma fração, mas se mostrou ausente em relação às outras frações geoquímicas na seca (Tabela 7). Na cheia (Tabela 8), este elemento não foi detectado ($<0,02 \text{ mg L}^{-1}$) na fração residual, em seis dos dez pontos de coleta, ou seja, o Mn passou por um processo de *redissolução* no período de cheia, não fazendo parte, portanto, da formação geológica onde o lago está inserido.

Tabela 7. Concentração média de Mn (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	102 ± 3	ND	ND	$10 \pm 1,5$	123 ± 3
P2	96 ± 10	ND	ND	$10 \pm 1,0$	98 ± 3
P3	94 ± 5	ND	ND	$4 \pm 0,3$	92 ± 3
P4	96 ± 2	ND	ND	$7 \pm 0,1$	90 ± 2
P5	99 ± 1	ND	ND	$3 \pm 0,3$	79 ± 4
P6	78 ± 2	ND	ND	$1 \pm 0,5$	87 ± 2
P7	58 ± 7	ND	ND	$3 \pm 0,9$	94 ± 4
P8	69 ± 6	ND	ND	$2 \pm 1,1$	75 ± 6
P9	76 ± 1	ND	ND	$0,5 \pm 0,2$	64 ± 5
P10	77 ± 1	ND	ND	ND	76 ± 4

ND: não detectado.

Tabela 8. Concentração média de Mn (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	120 $\pm$ 7	22 $\pm$ 1,7	58 $\pm$ 1,5	33 $\pm$ 0,3	23 $\pm$ 3,7
P2	126 $\pm$ 1	22 $\pm$ 0,4	59 $\pm$ 0,6	34 $\pm$ 0,5	10 $\pm$ 3,3
P3	98 $\pm$ 1	21 $\pm$ 0,4	56 $\pm$ 2,1	27 $\pm$ 1,0	44 $\pm$ 8,1
P4	123 $\pm$ 1	21 $\pm$ 0,3	56 $\pm$ 1,2	29 $\pm$ 0,3	ND
P5	98 $\pm$ 2,5	21 $\pm$ 0,6	54 $\pm$ 1,6	28 $\pm$ 0,6	8 $\pm$ 5,6
P6	111 $\pm$ 1	21 $\pm$ 0,5	54 $\pm$ 0,9	27 $\pm$ 0,7	ND
P7	102 $\pm$ 1	20 $\pm$ 0,6	55 $\pm$ 0,6	26 $\pm$ 0,8	ND
P8	103 $\pm$ 5	21 $\pm$ 0,4	55 $\pm$ 0,3	28 $\pm$ 0,8	ND
P9	88 $\pm$ 2	21 $\pm$ 1,0	55 $\pm$ 0,9	23 $\pm$ 1,7	ND
P10	75 $\pm$ 1	21 $\pm$ 0,7	55 $\pm$ 0,5	20 $\pm$ 0,4	ND

ND: não detectado.

A fração carbonácea apresentou aumento na cheia, corroborando com a evidência de que o Mn venha carregado pela água do rio Solimões, pois a mesma é carbonatada. Quanto ao aumento da concentração de Mn associado à fração orgânica na cheia, este provavelmente se deu porque a concentração total de Mn foi menor neste período, e não porque na seca não existia matéria orgânica no lago. A fração oxídica, apesar de possuir forte ligação com o Mn, não foi detectada no período de seca, talvez devido ao valor de pH mais ácido da água do lago do Parú neste período, que fica sob maior influência da água preta dos igarapés que drenam os solos adjacentes neste período, destruindo os óxidos.

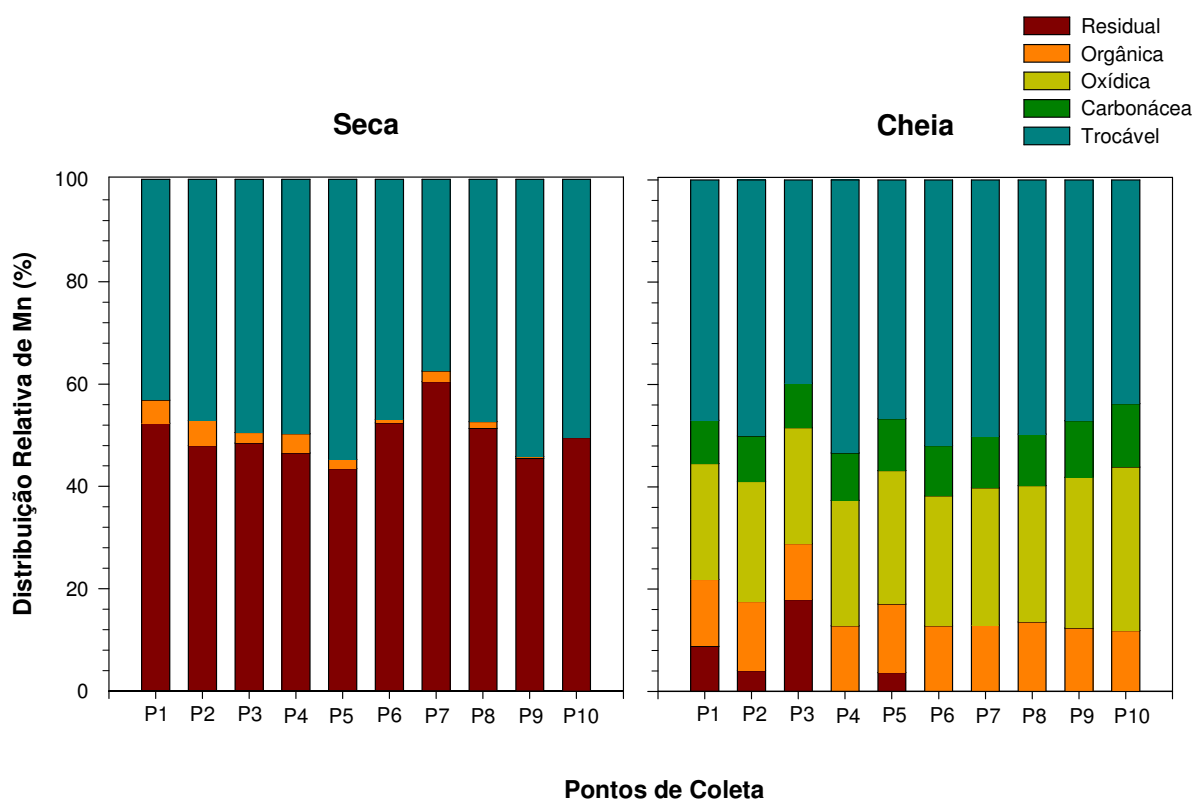


Figura 10. Distribuição relativa de Mn entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

No presente estudo, foi encontrada uma média de 60% do Mn na fração residual e 40% na trocável durante a seca. Morillo *et al.* (2004), estudando sedimentos marinhos na costa sul da Espanha, obtiveram 57% do Mn na fração residual e 25% na trocável. Por outro lado, durante a cheia, a quantidade média na fração trocável manteve-se estável, enquanto que a fração residual praticamente desapareceu, dando lugar às outras fases coloidais (Figura 10).

Em resumo, o Mn demonstrou boa mobilidade, devido à forte tendência em permanecer na fração trocável, tanto na seca como na cheia. Sua ordem de afinidades pelas diferentes frações geoquímicas na seca foi: Residual > Trocável > Orgânica, sendo que nas outras a concentração de Mn foi muito baixa ou inexistente. Na cheia, a seguinte ordem de afinidades foi observada: Trocável > Oxídica > Orgânica > Carbonácea > Residual. Dessa forma, o Mn apresentou grande variação nas frações geoquímicas entre os períodos de seca e

cheia. Este comportamento mostra que o Mn é altamente influenciado pela entrada e saída sazonal de água no lago do Parú.

As concentrações de Co foram baixas quando comparadas às de Fe e Mn, principalmente em se tratando da fração trocável (Tabelas 9 e 10). Os resultados revelam que a concentração de Co na fração residual diminuiu na cheia em relação à seca, exceto por P1, indicando boa mobilidade deste metal no lago do Parú. A distribuição relativa do Co demonstrou que a fração trocável permaneceu constante entre os pontos de coleta, aumentando sua concentração durante a na cheia.

Tabela 9. Concentração média de Co (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	3,6 $\pm$ 0,92	ND	3,55 $\pm$ 2,33	1,61 $\pm$ 0,68	152 $\pm$ 5
P2	4,36 $\pm$ 1,19	ND	ND	2,25 $\pm$ 0,37	158 $\pm$ 5
P3	4,28 $\pm$ 0,86	ND	ND	1,97 $\pm$ 0,63	111 $\pm$ 5
P4	2,54 $\pm$ 0,20	1,12 $\pm$ 0,06	1,85 $\pm$ 0,07	1,82 $\pm$ 1,83	139 $\pm$ 2
P5	4,95 $\pm$ 0,36	18,43 $\pm$ 0,45	4,35 $\pm$ 3,89	1,57 $\pm$ 1,8	154 $\pm$ 6
P6	4,69 $\pm$ 2,65	ND	ND	2,8 $\pm$ 1,45	102 $\pm$ 6
P7	2,75 $\pm$ 1,41	0,76 $\pm$ 0,17	ND	1,69 $\pm$ 0,92	136 $\pm$ 6
P8	4,33 $\pm$ 1,07	0,64 $\pm$ 0,28	ND	2,49 $\pm$ 0,98	151 $\pm$ 6
P9	4,72 $\pm$ 2,55	ND	ND	ND	168 $\pm$ 5
P10	2,75 $\pm$ 1,30	ND	ND	ND	192 $\pm$ 3

ND: não detectado.

Tabela 10. Concentração média de Co (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	14,7 $\pm$ 1,3	17,7 $\pm$ 3,7	48,1 $\pm$ 4,5	17,2 $\pm$ 2,2	169 $\pm$ 9
P2	18,2 $\pm$ 2,1	20,6 $\pm$ 2,3	45,2 $\pm$ 6,0	15,3 $\pm$ 3,0	42 $\pm$ 9
P3	17,8 $\pm$ 2,7	18,2 $\pm$ 1,5	54,3 $\pm$ 2,6	15,3 $\pm$ 0,5	67 $\pm$ 9
P4	16,6 $\pm$ 4,0	18,8 $\pm$ 0,9	46,9 $\pm$ 11,5	16,7 $\pm$ 0,8	82 $\pm$ 8
P5	19,8 $\pm$ 3,1	20,1 $\pm$ 1,1	47,7 $\pm$ 3,3	16,2 $\pm$ 1,7	60 $\pm$ 9
P6	13,6 $\pm$ 0,8	17,9 $\pm$ 1,1	42,5 $\pm$ 12,1	15,0 $\pm$ 3,6	126 $\pm$ 9
P7	12,6 $\pm$ 1,6	18,2 $\pm$ 1,7	41,9 $\pm$ 2,1	14,8 $\pm$ 0,5	116 $\pm$ 10
P8	12,2 $\pm$ 0,8	15,7 $\pm$ 0,7	46,8 $\pm$ 3,9	15,7 $\pm$ 0,8	95 $\pm$ 6
P9	17,7 $\pm$ 1,0	20,1 $\pm$ 0,2	43,4 $\pm$ 3,0	14,8 $\pm$ 1,2	79 $\pm$ 10
P10	17,5 $\pm$ 2,0	20,0 $\pm$ 2,7	45 $\pm$ 3,6	15,4 $\pm$ 2,4	56 $\pm$ 8

A ordem de afinidades nas diferentes frações, para o Co, foi: Residual > Trocável > Oxídica > Orgânica > Carbonácea, na seca, e Residual > Oxídica > Carbonácea > Trocável $\approx$ Orgânica, no período de cheia (Figura 11). Nas frações carbonácea, oxídica e orgânica foram

observadas variações significativas entre os períodos de seca e cheia. Durante a seca, somente nos pontos P4, P5, P7 e P8 o Co foi detectado em associação à fração carbonácea, e na fração oxídica o mesmo fato só foi observado detectado nos pontos de coleta P1, P4 e P5. Na fração orgânica, os pontos de coleta P9 e P10 tiveram concentração abaixo do limite de detecção ($<0,05 \text{ mg L}^{-1}$).

A distribuição do Co entre as frações geoquímicas na cheia demonstra que a fração residual passa por um processo de dissolução neste período, fazendo com que haja uma melhor distribuição deste metal presente nos sedimentos. Isso indica que este elemento é carregado pela água do rio Solimões que entra no lago do Parú, durante a enchente, sendo depois depositado nos sedimentos, associado a outros elementos.

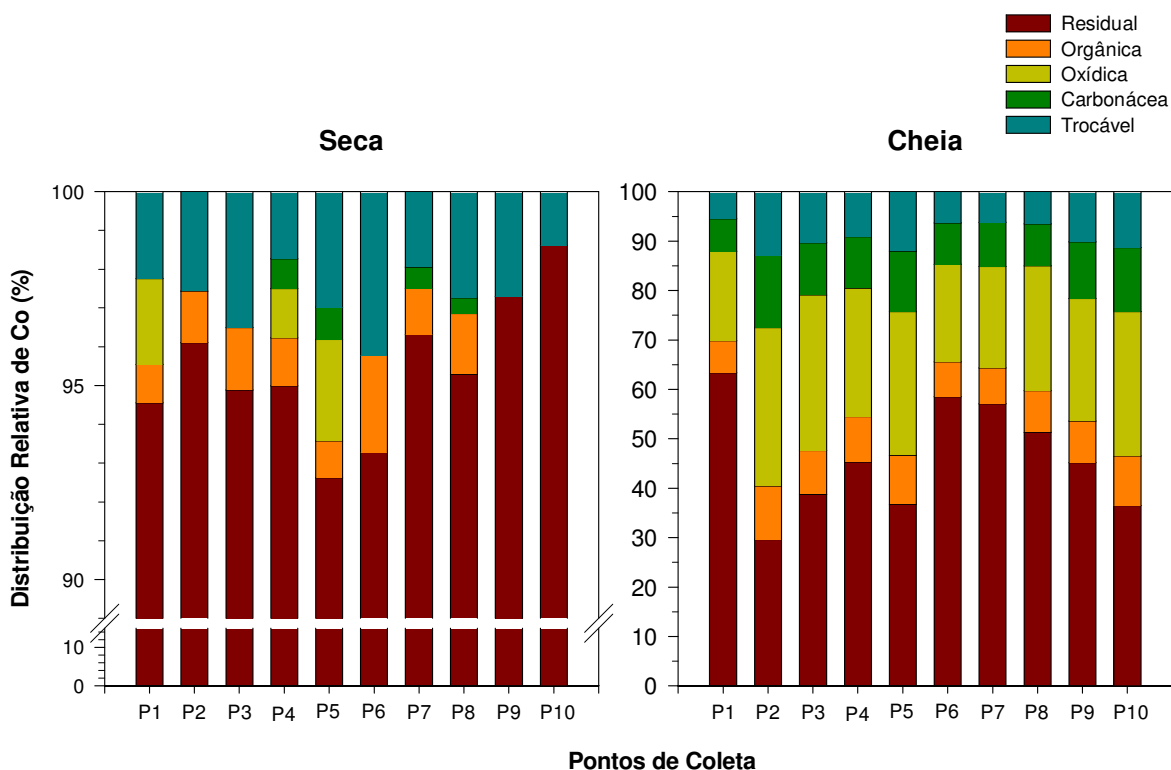


Figura 11. Distribuição relativa de Co entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

Quanto ao Cu, a fração residual se manteve constante entre os períodos de seca e cheia (Tabelas 11 e 12), demonstrando que o mesmo pode ter origem nas proximidades do lago do Parú. Os valores similares entre os mesmos períodos para a fração orgânica comprovaram a grande afinidade que esse metal possui por esta fração, composta principalmente pelas substâncias húmicas e pelos rejeitos domésticos que se encontram no lago. As frações carbonácea e oxídica mostraram maiores concentrações na cheia, provavelmente devido à entrada da água rica em carbonatos do rio Solimões no lago. Além disso, as águas ácidas do lago na seca dissolvem os oxi-hidróxidos que contêm Cu em sua estrutura. A fração trocável, em média, dobrou no período de cheia.

Tabela 11. Concentração média de Cu (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	1,7 $\pm$ 0,4	ND	ND	5,9 $\pm$ 0,4	66 $\pm$ 5
P2	3,1 $\pm$ 1,1	ND	ND	5,4 $\pm$ 0,2	91 $\pm$ 6
P3	3,3 $\pm$ 1,1	ND	ND	5,3 $\pm$ 0,8	70 $\pm$ 5
P4	2,0 $\pm$ 0,4	ND	ND	4,0 $\pm$ 0,7	76 $\pm$ 3
P5	2,2 $\pm$ 0,5	ND	ND	5,8 $\pm$ 0,2	67 $\pm$ 7
P6	3,1 $\pm$ 1,1	ND	ND	5,4 $\pm$ 0,2	89 $\pm$ 6
P7	1,4 $\pm$ 0,9	ND	ND	17,3 $\pm$ 2,7	74 $\pm$ 5
P8	1,9 $\pm$ 0,4	ND	ND	15,6 $\pm$ 0,2	78 $\pm$ 6
P9	1,1 $\pm$ 0,3	ND	ND	9,2 $\pm$ 0,4	48 $\pm$ 6
P10	1,2 $\pm$ 0,5	ND	ND	10,4 $\pm$ 0,6	80 $\pm$ 7

ND: não detectado.

Tabela 12. Concentração média de Cu (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	4,6 $\pm$ 0,7	1,2 $\pm$ 0,2	5,8 $\pm$ 3,9	6,2 $\pm$ 0,2	55 $\pm$ 8
P2	4,0 $\pm$ 0,1	1,8 $\pm$ 0,4	4,4 $\pm$ 2,1	5,4 $\pm$ 1,0	47 $\pm$ 7
P3	3,6 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,7	6,6 $\pm$ 1,2	9,3 $\pm$ 0,3	44 $\pm$ 4
P4	3,5 $\pm$ 0,3	1,7 $\pm$ 0,3	5,4 $\pm$ 0,6	8,3 $\pm$ 0,8	41 $\pm$ 6
P5	3,1 $\pm$ 0,1	1,5 $\pm$ 0,8	3,7 $\pm$ 1,6	7,2 $\pm$ 0,4	78 $\pm$ 7
P6	2,6 $\pm$ 0,3	1,0 $\pm$ 0,2	4,8 $\pm$ 1,2	7,63 $\pm$ 0,3	61 $\pm$ 4
P7	7,3 $\pm$ 0,8	1,0 $\pm$ 0,4	12,2 $\pm$ 1,5	25,0 $\pm$ 1,5	73 $\pm$ 5
P8	4,9 $\pm$ 0,5	1,4 $\pm$ 1,2	5,9 $\pm$ 2,5	12,1 $\pm$ 0,5	53 $\pm$ 4
P9	2,3 $\pm$ 0,7	1,4 $\pm$ 0,7	3,9 $\pm$ 2,9	7,0 $\pm$ 1,6	84 $\pm$ 6
P10	2,2 $\pm$ 0,5	1,2 $\pm$ 0,7	3,0 $\pm$ 1,5	6,5 $\pm$ 0,2	121 $\pm$ 7

Dessa forma, a ordem de afinidades pelas frações geoquímicas, estabelecida para o Cu, na seca, foi: Residual > Orgânica > Trocável. Na cheia, a ordem observada foi: Residual > Orgânica > Oxídica > Trocável > Carbonácea. Na seca, o Cu não apresentou fração

carbonácea nem oxídica nos sedimentos do lago do Parú, já durante o período de cheia, a fração residual cedeu lugar às frações oxídica e carbonácea, nesta ordem. Nos dois períodos de coleta foi verificada uma forte afinidade deste elemento pela fração orgânica dos sedimentos (Figura 12). Em termos de concentração, P7 apresentou a maior porcentagem de Cu ligado à matéria orgânica na seca, seguido por P8. O ponto P7 ainda se destaca por apresentar alta concentração de Cu também nas frações orgânica, oxídica e trocável, durante o período de cheia, seguido pelo P8.

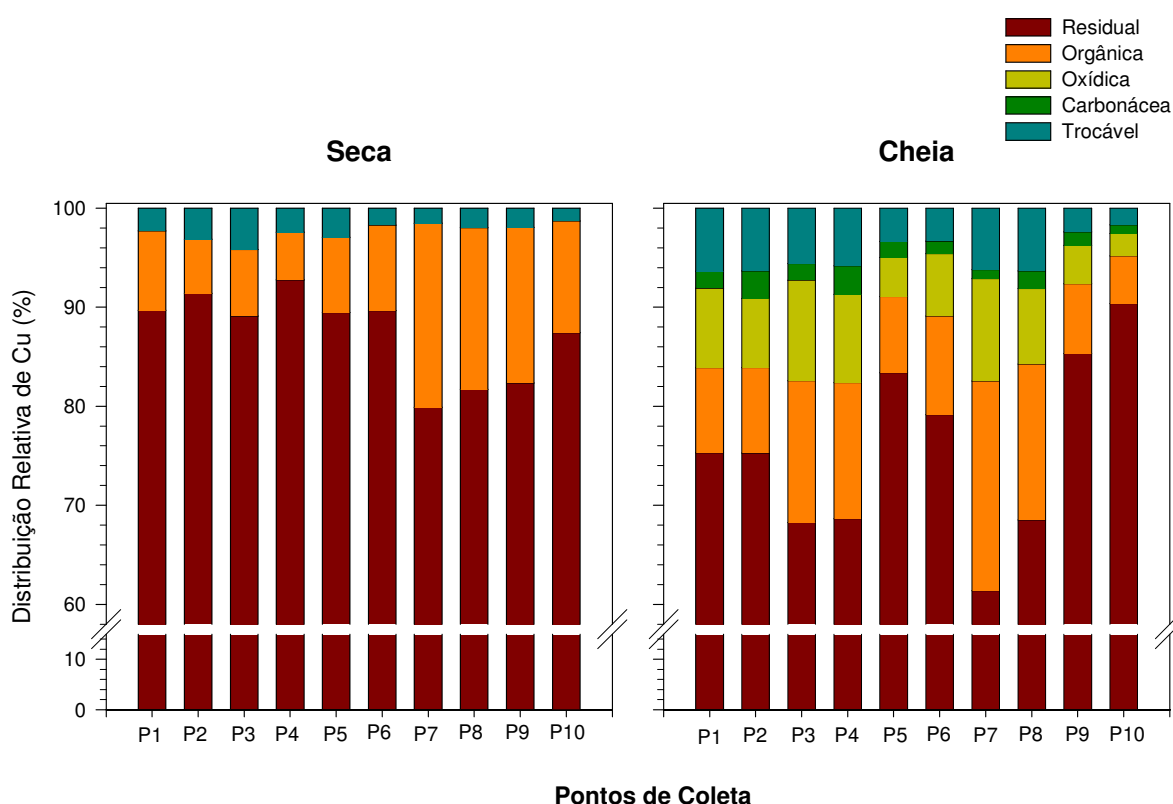


Figura 12. Distribuição relativa de Cu entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

As Tabelas 13 e 14 revelam que, na cheia, houve redução nas concentrações de Zn nas frações residual e carbonácea, ao passo que nas outras frações permaneceram constantes. Esse comportamento indica a diluição do Zn devido à entrada de grande quantidade de água no lago, durante a cheia, ocasionando uma maior mobilidade deste elemento neste período.

Tabela 13. Concentração média de Zn (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a seca (2005).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	12 $\pm$ 0,2	2,9 $\pm$ 0,3	2,1 $\pm$ 0,3	11 $\pm$ 1	268 $\pm$ 4,0
P2	18 $\pm$ 1,5	3,0 $\pm$ 0,2	2,6 $\pm$ 0,8	12 $\pm$ 2,6	240 $\pm$ 2,5
P3	17 $\pm$ 0,7	3,2 $\pm$ 0,2	2,9 $\pm$ 1,2	10 $\pm$ 0,2	246 $\pm$ 6,1
P4	14 $\pm$ 0,2	3,4 $\pm$ 0,9	2,5 $\pm$ 0,5	10 $\pm$ 0,1	337 $\pm$ 8,7
P5	17 $\pm$ 0,1	ND	2,4 $\pm$ 0,3	9 $\pm$ 0,4	234 $\pm$ 4,1
P6	18 $\pm$ 0,4	4,4 $\pm$ 1,4	1,7 $\pm$ 0,4	8 $\pm$ 1,2	335 $\pm$ 6,6
P7	18 $\pm$ 1,4	3,0 $\pm$ 0,2	2,6 $\pm$ 0,7	12 $\pm$ 2,6	274 $\pm$ 6,0
P8	19 $\pm$ 1,0	3,2 $\pm$ 0,2	1,4 $\pm$ 0,3	10 $\pm$ 0,6	243 $\pm$ 5,8
P9	18 $\pm$ 0,2	3,4 $\pm$ 0,06	1,4 $\pm$ 0,8	10 $\pm$ 0,2	232 $\pm$ 4,5
P10	16 $\pm$ 1,8	3,6 $\pm$ 0,1	3,6 $\pm$ 2,4	10 $\pm$ 0,7	203 $\pm$ 6,1

ND: não detectado.

Tabela 14. Concentração média de Zn (em $\mu\text{g g}^{-1}$) nas diferentes frações geoquímicas dos sedimentos amostrados em dez pontos do lago do Parú durante a cheia (2006).

	Trocável	Carbonácea	Oxídica	Orgânica	Residual
P1	14,1 $\pm$ 0,2	0,64 $\pm$ 0,46	1,0 $\pm$ 0,75	8,5 $\pm$ 0,2	90 $\pm$ 2,8
P2	11,6 $\pm$ 0,6	0,69 $\pm$ 0,72	0,87 $\pm$ 1,17	7,7 $\pm$ 0,4	89 $\pm$ 5,3
P3	15,9 $\pm$ 1,1	0,83 $\pm$ 0,51	0,37 $\pm$ 0,47	7,7 $\pm$ 0,2	88 $\pm$ 2,6
P4	15,4 $\pm$ 0,5	0,92 $\pm$ 0,50	0,17 $\pm$ 0,21	7,6 $\pm$ 0,3	92 $\pm$ 5,9
P5	13,7 $\pm$ 1,0	0,73 $\pm$ 0,64	0,57 $\pm$ 0,31	6,5 $\pm$ 0,7	87 $\pm$ 3,7
P6	14,8 $\pm$ 0,5	0,67 $\pm$ 0,45	0,23 $\pm$ 0,40	6,8 $\pm$ 0,4	91 $\pm$ 5,0
P7	24,4 $\pm$ 0,5	1,03 $\pm$ 0,02	2,97 $\pm$ 0,29	9,5 $\pm$ 0,7	88 $\pm$ 3,8
P8	18,0 $\pm$ 1,2	0,99 $\pm$ 0,42	0,83 $\pm$ 0,80	7,8 $\pm$ 0,5	88 $\pm$ 2,7
P9	15,3 $\pm$ 0,5	0,85 $\pm$ 0,06	0,47 $\pm$ 0,40	3,8 $\pm$ 0,4	87 $\pm$ 4,2
P10	17,4 $\pm$ 0,4	0,32 $\pm$ 0,42	0,13 $\pm$ 0,23	3,6 $\pm$ 0,3	86 $\pm$ 6,2

Morillo *et al.* (2004), estudando sedimentos marinhos ao sul da costa espanhola, encontraram que o Zn foi o elemento de maior mobilidade; ou seja, aquele com maior percentual na fração trocável dos sedimentos. No presente trabalho, o Zn teve boa representação na fração trocável, mas não melhor que o Mn. Em sua distribuição relativa, o Zn apresentou a seguinte ordem de afinidades pelas frações geoquímicas durante a seca: Residual > Trocável > Orgânica > Carbonácea > Oxídica. Durante a cheia, a ordem mudou um pouco: Residual > Trocável > Orgânica > Oxídica $\approx$ Carbonácea. Apesar da mudança de um período para o outro quanto à sua afinidade pelas diferentes frações geoquímicas, o Zn se distribuiu de forma muito semelhante nos dois períodos de coleta (Figura 13).

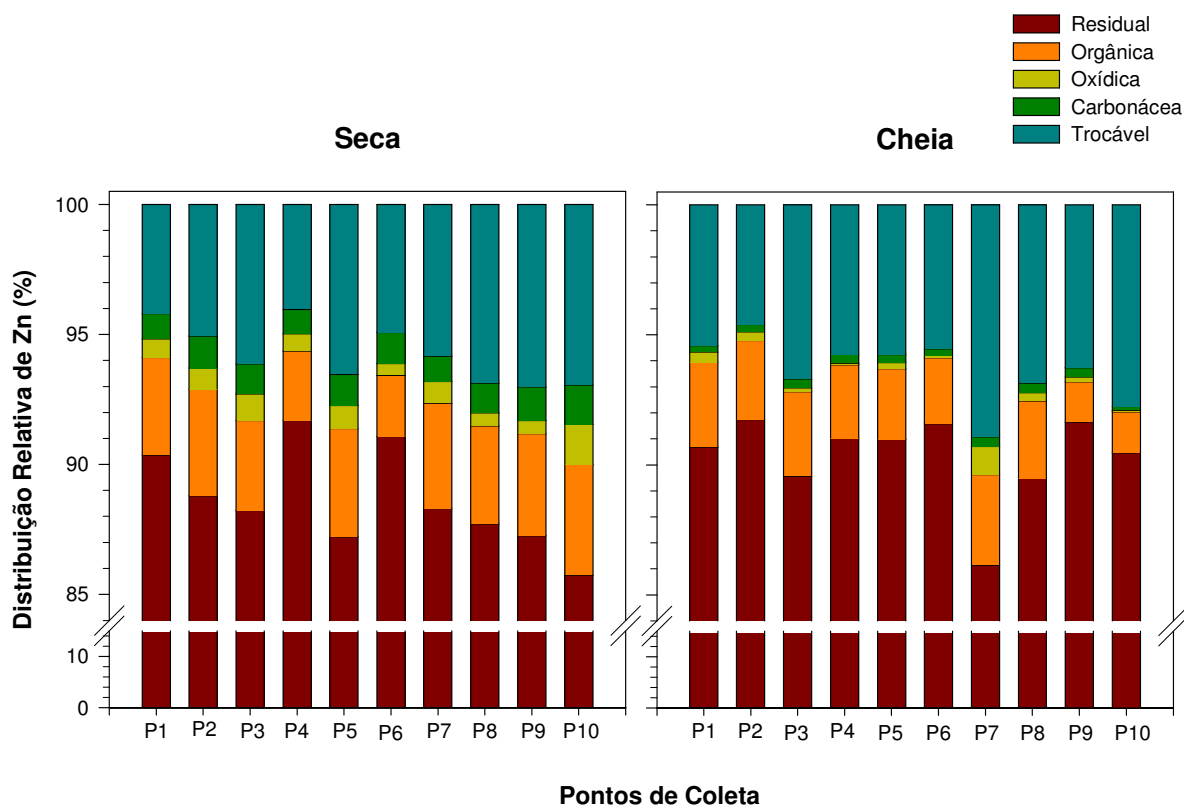


Figura 13. Distribuição relativa de Zn entre as frações geoquímicas dos sedimentos do lago do Parú durante os períodos de seca (2005) e cheia (2006).

4.4. Tratamento estatístico

Neste trabalho foram utilizadas análises estatísticas multivariadas (PCA e HCA), segundo a recomendação de Bini (2004), para:

- Descrever a similaridade entre as amostras considerando o conjunto total de variáveis; e
- Verificar as correlações entre essas variáveis, encontrando conjuntos de variáveis que possam ser consideradas redundantes.

4.4.1. Análise de Componentes Principais (PCA)

A Tabela 15 mostra os autovalores significativos para as concentrações de metais no total e nas diferentes frações geoquímicas, e a representatividade dos PC *loadings* 1 e 2 somados, em relação aos resultados obtidos referentes às concentrações médias de todos os

elementos analisados, nas frações total e trocável, e em relação às concentrações de Fe, Mn, Co, Cu e Zn, nas frações carbonácea, oxídica, orgânica e residual. A melhor representatividade ocorreu na fração orgânica durante a cheia (86,88%).

Tabela 15. Autovalores significativos e percentual dos PC *loading* 1 e 2 para as médias das concentrações dos metais analisados nas diferentes frações geoquímicas.

Fração	Período	Autovalor				PC1 + PC2 (%)
		1	2	3	4	
<i>Total</i>	S	2,495	2,124	0,807		65,98
	C	4,543	1,334	0,669		83,96
<i>Trocável</i>	S	3,472	1,440	1,144	0,596	70,19
	C	3,562	1,611	0,920		73,90
<i>Carbonácea</i>	S	1,226	1,015	0,759		74,71
	C	2,374	1,189	0,747		71,28
<i>Oxídica</i>	S	1,725	1,232	0,666		73,93
	C	2,295	1,609	0,783		78,08
<i>Orgânica</i>	S	2,470	1,664	0,798		82,68
	C	2,355	1,989	0,426		86,88
<i>Residual</i>	S	2,488	1,016	0,848		70,09
	C	2,797	1,248	0,672		80,91

S: seca; C: cheia.

A Tabela 16 mostra as correlações significativas de Pearson encontradas para os valores de concentração dos metais analisados durante o período de seca no lago do Parú. Em suas frações totais, os metais que apresentaram correlações positivas foram Mn-K e Fe-Zn. As negativas foram Co-Zn e Co-Fe.

Tabela 16. Correlações ($\geq |0,500|$) entre as concentrações dos nutrientes encontradas nos sedimentos do lago do Parú no período de seca (2005).

Fração Geoquímica	Nutriente	Positivo	Negativo
<i>Total</i>	Fe	Zn (0,531)	Co (0,655)
	Mn	K (0,611)	
	Zn		Co (0,730)
<i>Trocável</i>	Fe	Zn(0,876), K (0,869)	Mn (0,542)
	Mn		Zn (0,712), Na (0,568)
	Zn	K (0,710), Na (0,625)	Mn (0,712)
<i>Oxídica</i>	Co	Cu (0,501)	
<i>Orgânica</i>	Co		
	Cu	Fe (0,897), Zn (0,505)	Mn (0,513)
	Fe	Zn (0,682)	
	Mn		Cu (0,513)
<i>Residual</i>	Zn	Fe (0,682), Cu (0,505)	
	Co		Zn (0,695), Fe (0,569)
	Zn		Co (0,695)

Na fração trocável, apresentaram correlação positiva Fe-Zn, Fe-K, Zn-K e Zn-Na. As correlações negativas foram obtidas entre Mn-Zn, Na-Fe. A fração carbonácea não apresentou correlação, provavelmente devido ao fato da baixíssima concentração de metais a ela ligados. A única correlação da fração oxídica foi fracamente positiva (Cu-Co). Na fração orgânica dos sedimentos, as correlações positivas só foram observadas para Fe-Cu e Fe-Zn. Na fração residual, foram encontradas somente correlações negativas para Co-Zn e Co-Fe.

Tabela 17. Correlações ($> |0,500|$) entre as concentrações dos nutrientes encontradas nos sedimentos do lago do Parú no período de cheia (2006).

Fração Geoquímica	Metal	Positiva	Negativa
<i>Total</i>	Co	Na (0,787), K (0,581), Zn (0,548), Fe (0,511)	
	Cu		Mn (0,833), K (0,507)
	Fe	Zn (0,891), K (0,880), Na (0,694)	
	Mn	K (0,514)	
	Zn	K (0,947), Na (0,757)	
	Na	K (0,845)	
<i>Trocável</i>	Co		Na (0,695), Zn (0,603), Cu (0,602)
	Cu	Zn (0,664), Na (0,589)	
	Fe	Na (0,569), K (0,548)	
	Na	K (0,663)	
	Zn	Na (0,750)	
<i>Carbonácea</i>	Fe		Mn (0,573)
	Zn		Mn (0,525)
<i>Oxídica</i>	Cu	Zn (0,879)	
	Fe		Mn (0,687)
<i>Orgânica</i>	Cu	Fe (0,760), Zn (0,527)	
	Fe		Co (0,546)
	Mn	Zn (0,711), Co (0,533)	
<i>Residual</i>	Fe	Zn (0,734), Co (0,682)	Cu (0,648)
	Zn	Co (0,526)	Cu (0,714)

As correlações no período de cheia (Tabela 16) foram mais numerosas que na seca, provavelmente devido à movimentação que a entrada de água causa nos nutrientes dos sedimentos que já se encontravam no lago. A correlação mais forte encontrada foi Zn-K. O Cu chamou a atenção por ser o único da fração total a não apresentar nenhuma correlação positiva, ao contrário, só apresentou correlações negativas (Cu-Mn e Cu-K). Além disso, nas frações trocável, oxídica e orgânica, apresentou correlações positivas com o Zn. No entanto, na fração residual, voltou a obter correlações negativas (Cu-Zn e Cu-Fe).

O Co apresentou numerosas correlações positivas (Co-Na, Co-K, Co-Zn e Co-Fe) na fração total. Na fração residual, as correlações positivas Co-Zn e Co-Fe se mantiveram. Quanto às correlações Co-Na e Co-K, não foi possível saber se elas se mantiveram na fração residual, já que o Na e o K não foram analisados nesta fração devido à contaminação das

amostras na extração da fração trocável pelo procedimento de extração seletiva, como já explicado no item 4.2. Na fração trocável apresentou correlações negativas (Co-Na, Co-Zn e Co-Cu). Na fração orgânica, o Co apresentou somente uma correlação negativa (Co-Cu). Nas frações restantes, não apresentou correlação.

Quanto ao Mn, a fração total apresentou uma correlação negativa (Mn-Cu), assim como a fração oxídica (Mn-Fe). A fração orgânica apresentou duas correlações positivas (Mn-Zn e Mn-Co). Nas outras frações, o Mn não apresentou correlação significativa ($> 10,500$).

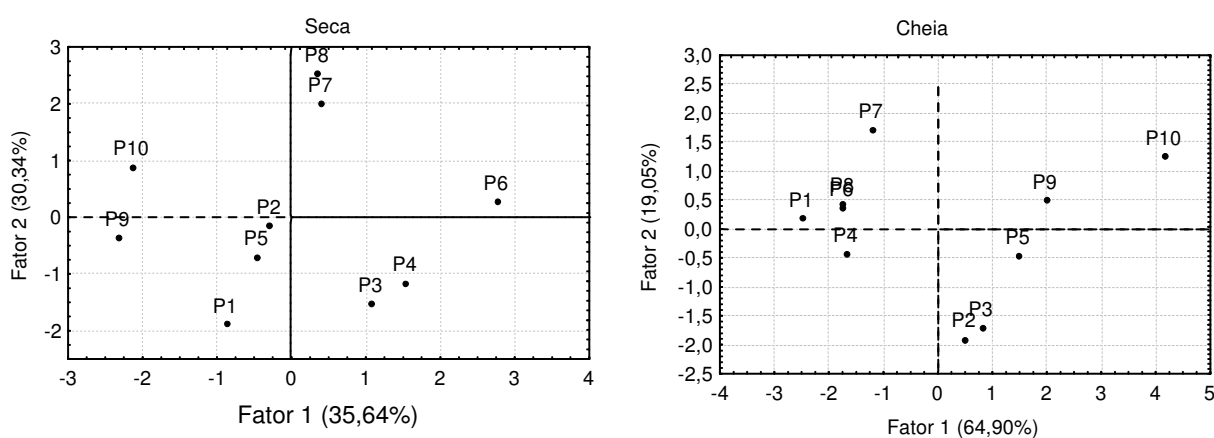
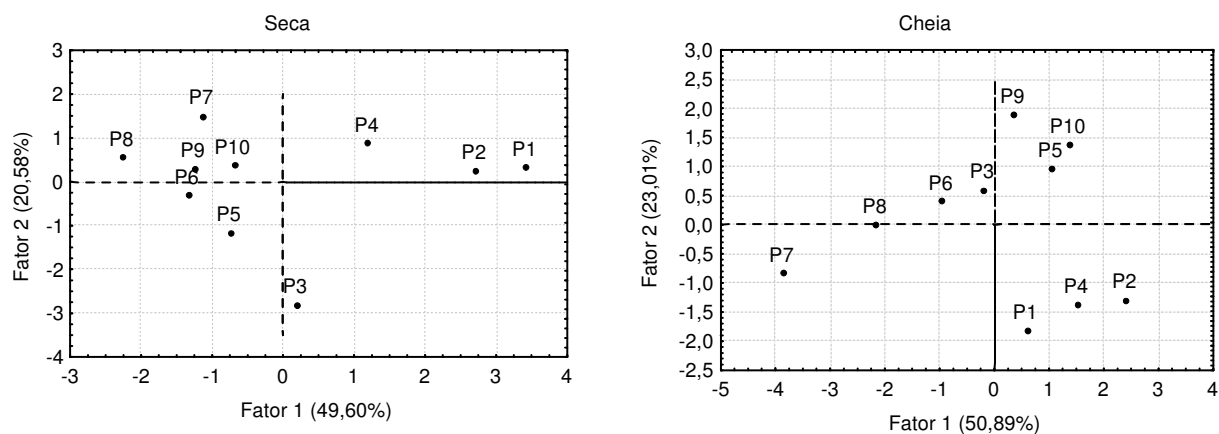


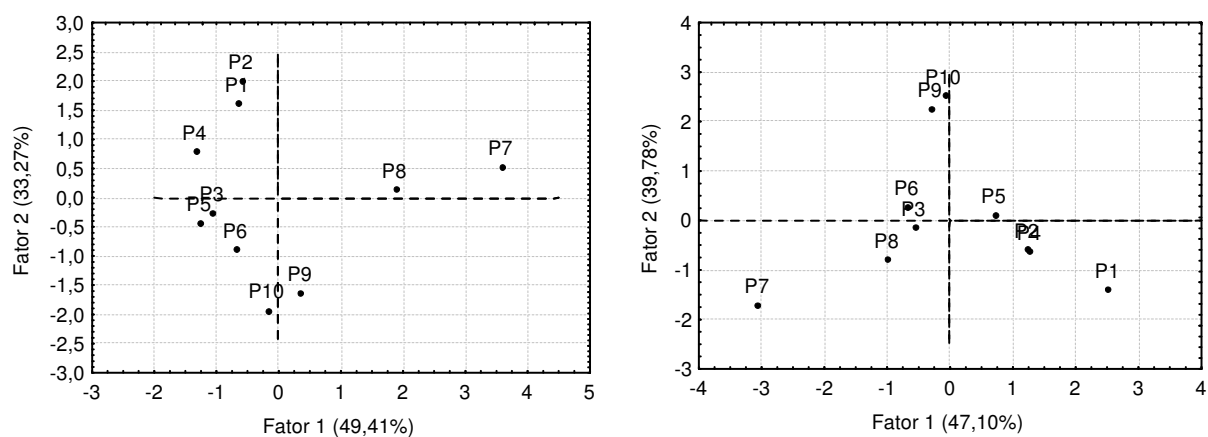
Figura 14. PC loading dos fatores 1 e 2 para os metais analisados na fração total dos sedimentos do lago do Parí.

As Figuras 14 e 15 mostram os gráficos do PC1 versus o PC2, cuja principal característica foi, tanto entre os períodos de coleta, como entre as frações amostradas, não apresentar a mesma distribuição, revelando uma movimentação intensa das partículas sólidas que entram com a água do rio Solimões. Especificamente na Figura 15, é possível notar que os pontos P6 e P8 se encontram sobrepostos, indicando que estes locais de amostragem foram similares em suas frações totais na cheia de 2006 quanto aos elementos analisados. Na Figura 16, foi notado também que os pontos de coleta P2 e P4 da fração orgânica na cheia ficaram sobrepostos, indicando que estes locais foram similares nessa fração e período para os elementos analisados nesta fração (Fe, Mn, Co, Cu e Zn).

Trocável



Orgânica



Residual

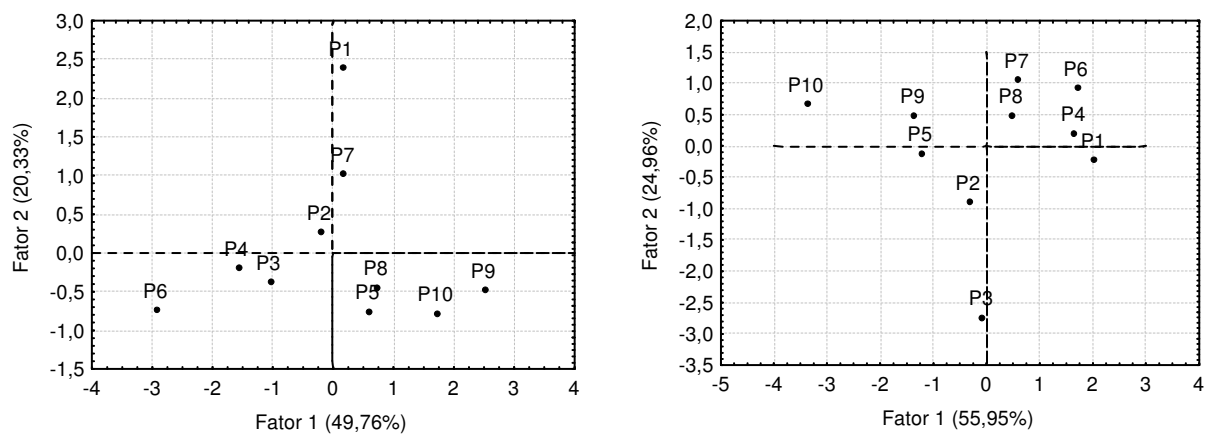


Figura 15. PC loading dos fatores 1 e 2 para os metais analisados nas frações trocável, orgânica e residual dos sedimentos do lago do Parú.

4.4.2. Análise Hierárquica de Componentes (HCA)

Os dendrogramas referentes à fração total nos dois períodos sazonais amostrados apresentaram a formação de dois grupos diferentes entre si (A e B), dos quais fizeram parte os pontos de coleta reunidos por similaridade (Figura 16). Na seca, o Grupo A foi formado por P1, P2, P3, P4, P5, P6, P9 e P10, e o Grupo B somente por P7 e P8. Particularmente, no Grupo A, observam-se dois subgrupos: A' e A'' na distância Euclidiana abaixo de 20. O A' é formado pelos pontos de coleta P1, P4, P5, P6, P9 e P10, e o A'' apenas por P2 e P3.

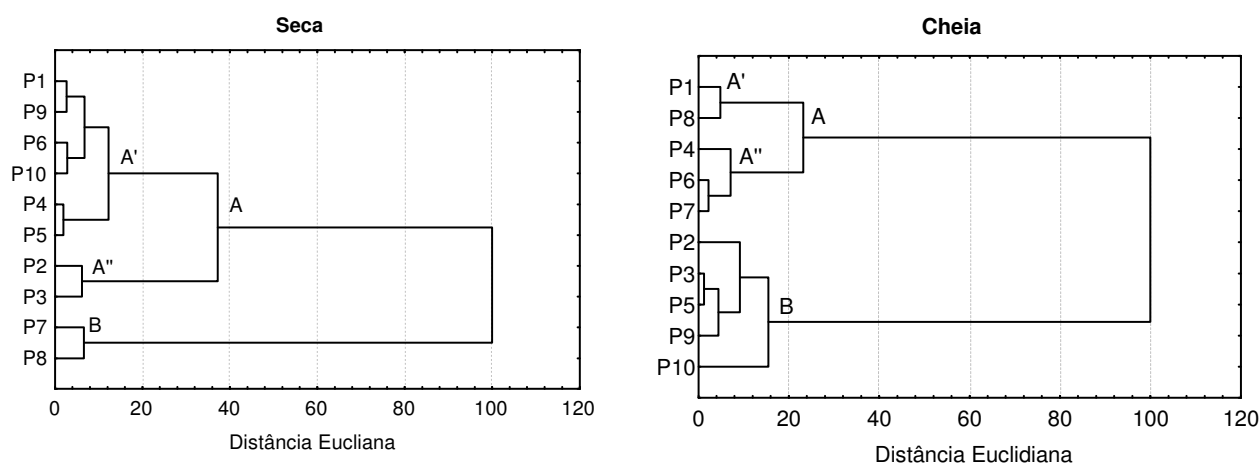


Figura 16. Dendrogramas da concentração dos metais na fração total dos sedimentos amostrados no lago do Parú, nos períodos de seca (2005) e cheia (2006).

Na cheia, o Grupo A apresentou os pontos P1, P4, P6, P7 e P8, e continuou sendo aquele que apresentou formação de subgrupos mais significativa, na distância Euclidiana de 25. O Subgrupo A' foi formado pelos pontos P1 e P8, ao passo que A'' foi composto por P4, P6 e P7. O Grupo B foi formado por P2, P3, P5, P9 e P10, não apresentando formação de subgrupos na mesma distância Euclidiana.

Observando os dendrogramas a uma distância Euclidiana de 40, é possível verificar uma mudança entre os dois períodos sazonais. Na cheia, os pontos se distribuíram equitativamente entre os Grupos A e B, ao contrário da seca, indicando que ocorreu uma

grande movimentação dos metais analisados no lago do Parú entre os diferentes períodos sazonais.

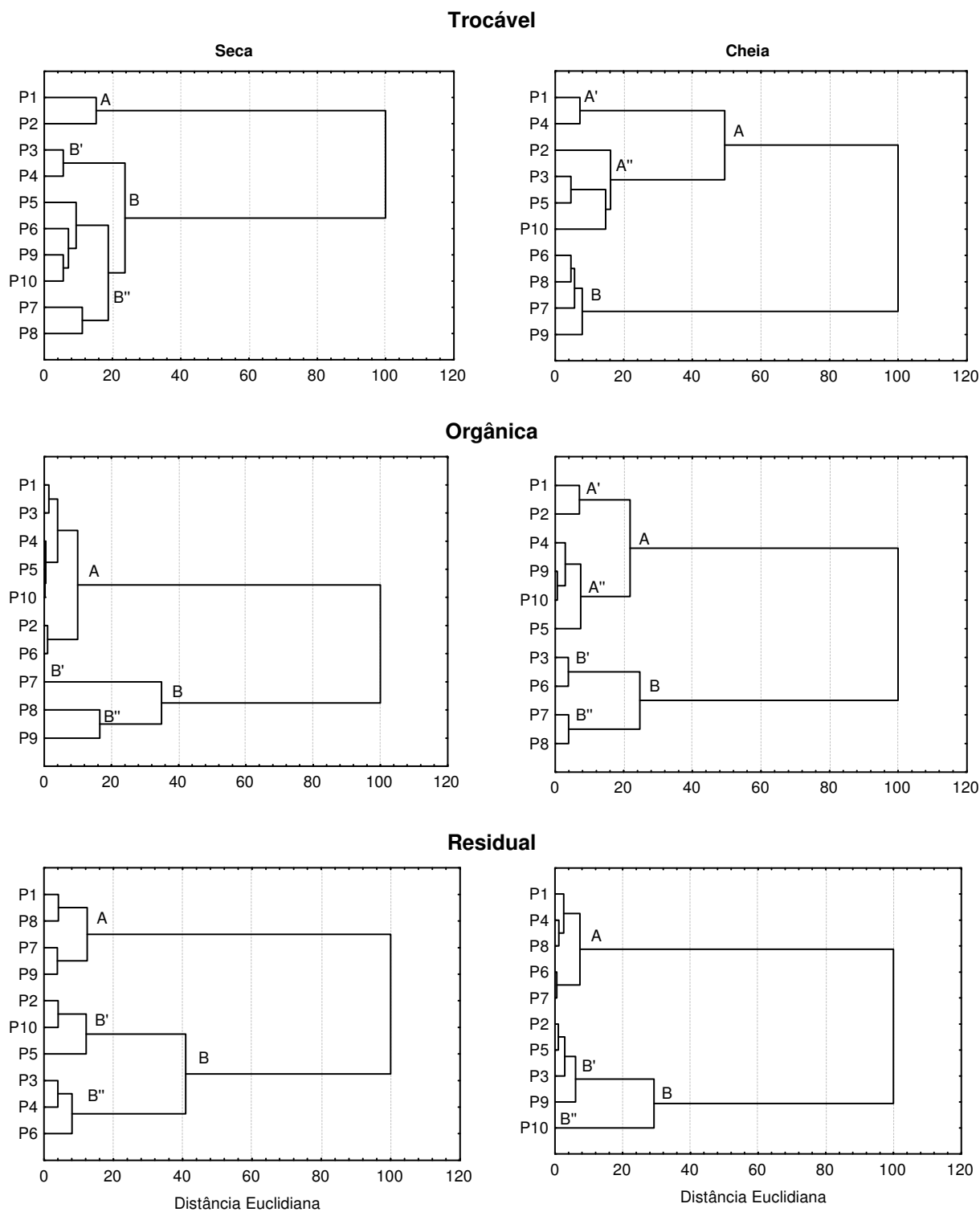


Figura 17. Dendrogramas da concentração dos metais analisados nas frações trocável, orgânica e residual dos sedimentos amostrados no lago do Parú, nos períodos de seca (2005) e cheia (2006).

Os diferentes dendrogramas das frações geoquímicas trocável, orgânica e residual (Figura 17) revelaram que os metais estudados apresentaram uma ampla variação de acordo com os pontos amostrados e período de coleta, sempre com uma tendência dos pontos de coleta em se distribuírem mais equivalentemente no período de cheia. Isso somente comprova os resultados observados anteriormente, de que a maior quantidade de água leva a uma melhor distribuição dos elementos entre as frações geoquímicas. As frações carbonácea e oxídica não foram aqui representadas graficamente por apresentarem baixas concentrações dos metais analisados associados a elas, quando comparadas às outras frações geoquímicas.

5. CONCLUSÕES

Os sedimentos do Lago do Parú apresentaram maior concentração de Na e K na cheia do que na seca, sendo maior a concentração deste último. As concentrações de Cu e Zn na fração total não sofreram variações nos dois períodos amostrados. Ao contrário de Fe, Mn e Co, cujas concentrações no Lago do Parú dependem do processo de inundação do Rio Solimões. Os cinco metais estudados em frações apresentaram diferenças nas associações geoquímicas conforme a época amostrada, sendo que o carbonato dissolvido nas águas do Rio Solimões exerce papel importante no processo de formação dos sedimentos do Lago do Parú. As análises estatísticas exploratórias mostraram mudanças nas correlações existentes entre os metais estudados, sendo para alguns casos, altas e, em outros, baixas ou inexistentes. Há mudanças de similaridades entre os pontos de coleta de acordo com o período amostrado, mostrando que a composição do sedimento superficial é heterogênea ao longo do Lago do Parú.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for copper. Syracuse: US Department of Commerce, 1990.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for zinc. Atlanta: ATSDR, 1994. 243 p.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological profile for manganese. Atlanta: ATSDR, 2000. 504 p.

ATSDR – AGENCY FOR TOXIC SUBSTANCES AND DISEASE REGISTRY. Toxicological profile for cobalt. Atlanta: ATSDR, 2005.

AZEVEDO, I. S. Características limnológicas do lago Parú, município de Manacapuru –AM. Monografia de graduação. UFAM, 2006.

BAIRD, C. Química Ambiental. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 622 p.

BARCELOUX, D. G. Manganese Clin. *Toxicol. New York*, v. 37, n. 2, p. 293-307, 1999.

BEHLING, H.; KEIM, G.; IRION, G.; JUNK, W.; MELLO, J. N. Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil). *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. 173: 87-101. 2001.

BINI, L.M. 2004. Análises Multivariadas e Limnologia: Exploração, síntese e inferência de um mundo aquático complexo. In: Bicudo, C.E.M.; Bicudo, D.C. *Amostragem em Limnologia*. Rima, São Carlos. p.73-107.

BROCKI, E. Sistemas agroflorestais de cultivo e pousio: etnoconhecimento de agricultores familiares do Lago do Parú (Manacapuru-AM). INPA-UA, Tese de Doutorado. 2001. p. 5-12.

CHAO, T. T.; THEOBALD, P. K. Jr. The significance of secondary iron and manganese oxides in geochemical exploration. *Econ. Geol.* 71: 1560-1569. 1976.

CLARK, M. W.; DAVIES-McCONCHIE, F.; McCONCHIE, D.; BIRCH, G. F. Selective chemical extraction and grain size normalisation for environmental assessment of anoxic sediments: validation of an integrated procedure. *The Science of the Total Environment*, 258: 149-170. 2000.

CUNHA, S. B.; GUERRA, A. J. T. (organizadores). Geomorfologia do Brasil. 4 ed. Rio de Janeiro: Bertrand do Brasil, 2006. 392 p.

DAS, A. K.; CHAKRABORTY, M.; CERVERA, M. L.; GUARDIA, M. Metal speciation in solid matrices. *Talanta*, 42: 1007-1030. 1995.

ESTEVEZ, F. de A. Fundamentos de Limnologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 300-315.

FIGUEIREDO, A.C. 1986. O papel dos sedimentos em dois lagos da Amazônia (Lago Calado e Lago Cristalino). Dissertação de mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/Fundação Universidade do Amazonas, Manaus, Amazonas, 176 pp.

FISHER, T. R.; PARSLEY, P. E. Amazon lakes: water storage and nutrient stripping by algae. *Limnol. Oceanogr.* 24: 547-553. 1979.

FÖSTNER, U. Metal concentrations in Recent lacustrine sediments. *Arch. Hydrobiol.* 60: 172-191. 1977.

FURCH, K. JUNK, W. J.; DIETERICH, J.; KOCHERT, N. Seasonal variation in the major cation (Na, K, Mg and Ca) content of the water of Lago Camaleão, an Amazonian floodplain-lake near Manaus, Brazil. *Amazoniana*. VIII (1): 75-89. 1983.

----- Chemistry of Várzea and Igapó Soils and Nutrient Inventory of Their Floodplain Forests. In: JUNK, W. J. (ed.) The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System. Verlag-Berlin Heidelberg: Springer. Ecological Studies, 126: 47-67. 1997.

HALL, G. E. M. Analytical perspective on trace element species of interest in exploration. *Journal of Geochemical Exploration*, 61: 1-19. 1998.

HSDB – HAZARDOUS SUBSTANCE DATA BANK. Copper. In: TOMES CPS™ SYSTEM. Toxicology, occupational medicine and environmental series. Englewood: Micromedex, 2000a. CD-ROM.

HSDB – HAZARDOUS SUBSTANCE DATA BANK. Iron. In: TOMES CPS™ SYSTEM. Toxicology, occupational medicine and environmental series. Englewood: Micromedex, 2000b. CD-ROM.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, 2001.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Mapa disponível em: <<http://mapas.ibge.gov.br/website/solos/viewer.htm>> Acesso em: 11 de abril de 2007.

IPAAM – INSTITUTO DE PROTEÇÃO AMBIENTAL DO AMAZONAS. Disponível em: <<http://servidor.ipaam.br/amazonas/municipios.htm>> Acesso em: 22 de outubro de 2005.

IRION, G. Sedimentation and sediments of Amazonian rivers and evolution of the Amazonian landscape since Pliocene times. In: SIOLI, H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Netherlands: Junk Publishers, 1984. p. 201-213.

-----; JUNK, W.; MELLO, J. A. S. N. The large central Amazonian river floodplains near Manaus: geological, climatological, hydrological and geomorphological aspects. In: JUNK, W. J. (ed.) The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System. Verlag-Berlin Heidelberg: Springer. Ecological Studies, 126: 23-46. 1997.

JUNK, W. J. Ecology of the várzea, floodplain of Amazonian white-waters rivers. In: SIOLI, H. The Amazon: Limnology and landscape ecology of a mighty tropical river and its basin. Netherlands: Junk Publishers, 1984. p. 215-238.

----- General aspects of floodplain ecology with special reference to Amazonian floodplains. In: JUNK, W.J. (ed.) *The Central Amazon Floodplain: Ecology of a Pulsing System*. Verlag-Berlin Heidelberg: Springer. Ecological Studies, 126. 1997. p. 3-20.

JUNQUEIRA L. C.; CARNEIRO J. *Biologia Celular e Molecular*. 7 ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2000.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. *Trace elements in soil and plants*. Boca Raton, Florida. CRC, 1992. 315 p.

KAHN, A.; SOLTANPOUR, P. N. Effect of wetting and drying on DTPA-extractable Fe, Zn, Mn and Cu in soils. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.*, 9: 193-202. 1978.

LAGUNA, A. H.; ROA, E. E.; TIMÓN, V.; DOVE, M. T.; DÍAZ, C. I. S. DFT study of the cation arrangements in the octahedral and tetrahedral sheets of dioctahedral 2:1 phyllosilicates. *Phys. Chem. Minerals*, 33: 655-666. 2006.

LAPORTE, L. F. *Ambientes Antigos de Sedimentação*. São Paulo: Blucherlivro, 1975. p. 21-44.

LIMA, I. V. Fe. In: AZEVEDO, F. A.; CHASIN, A. M. (Eds.) *Metais: Gerenciamento da toxicidade*. São Paulo, Editora Atheneu, 2003. p. 99-122.

LINDSAY, W. L. *Chemical equilibrium in soils*. New York: John-Wiley & Sons, 1979. 449 p.

LU, C. C.; MATSUMOTO, N.; IJIMA, S. Teratogenic effects of nickel chloride on embryonic mice and its transfer to embryonic mice. *Teratology*, v. 19, (2), p. 137-142, 1979.

MALAVOLTA, E. *Manual de Química Agrícola: Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo*. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976. pp. 304, 489-490.

MANAHAM, S. E. *Environmental Chemistry*. 7 ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999.

MASON, B. *Princípios de Geoquímica*. São Paulo: Polígono, EDUSP, 1971. p. 187-236.

MELACK, J. M.; FISHER, T. R. Diel variation and their ecological implications in Amazon floodplain lakes. *Arch. Hidrobiol.*, 98 (4): 422-442. 1983.

MORILLO, J.; USERO, J.; GRACIA, I. Heavy metal distribution in marine sediments from the southwest coast of Spain. *Chemosphere* 55: 431-442, 2004.

MOITA NETO, J. M.; MOITA, G. C. Uma introdução à análise exploratória de dados multivariados. *Química Nova*, 21 (4): 467-469, 1998.

MUDROCK, A.; MACKNIGHT, S. C. Bottom sediment sampling. In: MUDROCK, A.; MACKNIGHT, S.D. (Eds.). *Handbook of techniques for aquatic sediment sampling*. Boca Raton: Lewis Publishers, 1994. p. 29-95.

PETRI, S.; FÚLFARO, V. J. *Geologia do Brasil (Fanerozóico)*. São Paulo: EDUSP, 1988. 631 p.

PICKERING, W. F. Selective chemical extraction of soil components and bound metal species. *Crit. Rev. Anal. Chem.*, 12: 233-266. 1981.

RADAMBRASIL. Programa de Integração Nacional. Levantamento de recursos Naturais. Vol. 18. Rio de Janeiro. 1978. 626 p.

REATTO, A.; MARTINS, E. S.; FARIAS, M. F. R.; SILVA, A. V. SEMARH - Secretaria De Meio Ambiente E Recursos Hídricos Do Distrito Federal. Disponível em: <http://www.semarh.df.gov.br/semarh/site/cafuringa/Sec02/Sec_02_06.htm> Acesso em: 11 de abril de 2007.

ROCHA, J. C.; ZARA, L. F.; ROSA, A. H.; SANTOS, A.; BURBA, P. *Talanta*, 2000. 53: 551.

ROCHA, J. C.; ROSA, A. H. Substâncias húmicas aquáticas: interação com espécies metálicas. São Paulo: UNESP (FEU), 2003. 120 p.

ROSA, A. H.; ROCHA, J. C. SARGENTINI JR.; E. In: Understanding and managing organic matter in soils, sediments and waters. SWIFT, R. S.; SPARK, K. M. eds. New York, 2001. p. 41-46.

SALES, A. Metais alcalinos. Disponível em : www.cienciaquimica.hpg.ig.com.br/elementos/metaisalcalinos.htm. Acesso em: 05 de junho de 2007.

SCHMIDT, G. W. Seasonal changes in water chemistry of a tropical lake (Lago do Castanho, Amazonia, South América). *Verh. Internat. Verein. Limnol*, 18: 613-621. 1972.

----- Primary production of phytoplankton in 3 types of Amazonian waters. III. Primary productivity of phytoplakton in a tropical floodplain lake in Central Amazon (Lago Cristalino). *Amazoniana*, (4) 4: 379-404. 1973.

SEKHAR, K. C.; CHARY, N. S.; KAMALA, C. T.; RAJ, D. S. S.; RAO, A. S. Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru lake by edible fish. *Environment International*, 29: 1001-1008. 2003.

SHUMAN, L. M. Effects on soil temperature, moisture, and air-drying on extractable manganese, iron, copper, and zinc. *Soil Sci.*, 130: 336-343. 1980.

SCHUMANN, W. Rochas e Minerais. Livro Técnico S/A - Indústria e Comércio, 1985, Brasil.

SIENKO, M. J.; PLANE, R. A. Elementos de transição II. In: SIENKO, M.J.; PLANE, R.A. (Eds.) Química. 5 ed. São Paulo: Nacional, cap.21, p. 436-454, 1977.

SIOLI, H. Amazônia: Fundamentos da ecologia da maior região de florestas tropicais. Rio de Janeiro: Vozes, 1985. 72 p.

STEVENSON, F. J. Humus Chemistry, vol. 2. New York: Wiley & Sons, 1994.

TESSIER, A., CAMPBELL, P. G. C.; M.BISSON. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. *Anal. Chem*, 51: 844-850. 1979.

THORNTON, I. Metals in the global environment. Ottawa: Inf. *Council on Metal and the Environment*, 1995.

TOMÉ JR., J. B. Manual para interpretação de análise de solo. Guaíba: Agropecuária, 1997. 247 p.

TUNDISI, J. G.; FORSBERG, B. R.; DEVOL, A. H.; ZARET, T. M.; TUNDISI, T. M.; SANTOS, A.; RIBEIRO, J. S.; HARDY, E. Mixing patterns in Amazon lakes. *Hidrobiologia*, 108 (1): 3-15. 1984.

USEPA – UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. Recommendations for screening values for tributyltin in sediments at Superfund sites in Puget Sound, Washington. DCN 4000-09-013-AADS, 13-01-AADK, and 33-01-AAAV. Prepared for U.S. Environmental Protection Agency Superfund Program, Region 10, Seattle, Washington, by Roy F. Weston, Inc., Seattle, Washington. 1996.

WALKER, I. Amazonian streams and small rivers. *In*: Limnology in Brazil (Tundisi, J.G.; Matsumura-Tundisi, T.; Bicudo, C.E. (eds). Rio de Janeiro: Academia Brasileira de Ciências. 1995. pp. 167-193.

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Manganese. Geneva: WHO, 1981. (Environmental Health Criteria 17).

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Copper. Geneva: WHO, 1998. (Environmental Health Criteria 200).

WHO – WORLD HEALTH ORGANIZATION. Concise International Chemical Assessment Document no. 12, Manganese and its compounds. Geneva, 1999.

7. ANEXO: GLOSSÁRIO

Alóctone – (1) Quem e o que veio de fora, o que não é originário da região. Muitos solos são transportados e depositados em outros locais sem relação direta com a rocha subjacente. Rios cujo fluxo de cargas provém de outra área climática e geológica. (2) Restos de vegetação introduzidos em lagos ^[1].

Autóctone – (1) Formado *in situ*; originário do próprio local onde ocorre atualmente. (2) Solo desenvolvido a partir da rocha imediatamente subjacente ^[1].

Bioacumulação – Absorção e concentração de elementos químicos tóxicos nos organismos vivos. Metais pesados e pesticidas, como o DDT, são armazenados nos tecidos gordurosos dos animais e transmitidos a seus predadores. O resultado são concentrações cada vez mais elevadas do pesticida no tecido gorduroso, levando finalmente a níveis prejudiciais nos predadores no alto da cadeia alimentar, como as águias. Também chamada bioampliação ^[2].

Colóide – Substância finamente dividida que apresenta propriedades peculiares pela sua superfície específica extremamente alta. O colóide mais comum na natureza é composto por argilominerais com propriedades incomuns como a plasticidade e a tixotropia ^[6].

Dendrítico – (1) Termo descritivo referindo-se ao aspecto semelhante aos ramos de uma árvore. (2) Padrão de drenagem caracterizado por tributários que fluem para o rio principal em várias direções ^[6].

Densidade de drenagem – Medida da diversidade espacial média de um sistema de corrente, expressa pela fórmula $D = L \div A$, em que D = densidade de drenagem, L = comprimento total das correntes, e A = área da terra ^[2].

Diagênese – Compreende uma série de transformações físicas, físico-químicas e químicas que ocorrem logo após a deposição dos sedimentos e que conduzem à transformação em rocha sedimentar (litificação). Alguns exemplos são a compactação, cimentação, autogênese, dissolução, recristalização, silificação, etc. Excluem-se os processos provocados por mudanças radicais de temperatura e pressão, que são conhecidos como processos metamórficos ^[6].

Hipolímnio – Camada mais profunda da coluna d'água de um lago, geralmente anóxica, que fica em contato com os sedimentos de fundo ^[3].

Interflúvios – Área terrestre entre dois rios ou corpos d'água que correm paralelos ^[2].

Lago oligotrófico – Lago, geralmente com margens e fundo rochoso, pouca vegetação em regiões rasas, oxigênio abundante, mas com poucos nutrientes e, portanto, de baixa produtividade primária. É geralmente o primeiro estágio da evolução de um lago ^[2].

Minerais primários – São aqueles presentes no magma e cuja composição química permanece constante. Em geral, são limitados às frações mais grosseiras do solo, com diâmetro maior que $2 \mu\text{m}$ ^[4].

Minerais secundários – São aqueles com composição de estrutura química diferente daquela dos primários de que se originaram por ação dos fatores do meio e usualmente aparecem nas frações menores que 2 μm ^[4].

Solos Hidromórficos – São aqueles que ocupam as depressões da paisagem, geralmente sujeitas a inundações e, freqüentemente, apresentam uma espessa camada escura de matéria orgânica mal decomposta sobre uma camada acinzentada (gleizada), resultante de ambiente de oxirredução ^[5].

Termoclina – Camada de descontinuidade entre duas massas de água, onde a temperatura sofre uma variação abrupta ^[1].

Tixotropia – Propriedade exibida por alguns geles (precipitados gelatinosos) de tornarem-se líquidos quando agitados. Essa propriedade é reversível e, quando deixados em repouso, os solos transformam-se em geles. Essa propriedade verificada em substâncias com granulação entre um e dez microns como a argila bentonítica é influenciada não somente pelo tamanho, mas também pela forma e força de atração entre as partículas. Em planícies aluviais, acredita-se que as intensidades dos terremotos sejam magnificadas pelas propriedades tixotrópicas das camadas argilosas. Por outro lado, algumas estruturas sedimentares de aspecto fluidal, em materiais de granulação fina, podem ser atribuídas a esta propriedade ^[6].

Varve – Lâmina ou camada delgada (em geral milimétrica até poucos centímetros) de sedimento ou sedimentito de granulação fina (siltico-argilosa), com estrutura diadática mais ou menos marcada por uma porção inferior mais grossa (areia fina e silte grosso) de cor mais clara e superior mais fina (silte fino e argila) de cor mais escura. As varves representam o

resultado de sedimentação rítmica, freqüentemente depositadas por correntes de turbidez, sendo comum em lagos periglaciais, onde cada par de lâmina de verão (clara) e de inverno (escura) representa um ano. Existem também varves marinhas, mas desconhece-se neste caso, a duração ou a periodicidade ^[6].

Varvito – Rocha sedimentar de origem periglacial lacustre, caracterizada pela presença de varves. Ex Varvito de Itú (SP) do Permocarbonífero da Bacia do Paraná ^[6].

Referências do Glossário:

1. ACIESP - Academia de Ciências do Estado de São Paulo. Glossário de Ecologia. 2 ed. ACIESP, São Paulo, 1997.
2. ART, W.H. (Ed. Geral); BARROS, M.A.L. (Trad.) Dicionário de Ecologia e Ciências Ambientais. Companhia Melhoramentos, 1998. 581 p.
3. ESTEVES, F. de A. Fundamentos de Limnologia. 2 ed. Rio de Janeiro: Interciência, 1998. p. 300-315.
4. MALAVOLTA, E. Manual de Química Agrícola: Nutrição de Plantas e Fertilidade do Solo. São Paulo: Agronômica Ceres, 1976.
5. SEMARH - SECRETARIA DE MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS DO DISTRITO FEDERAL. Disponível em: <http://www.semarh.df.gov.br/semarh/site/cafuringa/Sec02/Sec_02_06.htm> Acesso em: 11 de abril de 2007.
6. SUGUIO, K. Dicionário de Geologia Sedimentar e Áreas Afins. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998. 1222 p.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)