



DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE ELEMENTOS-TRAÇO EM SEDIMENTOS DO LAGO PARANOÁ – DF, BRASIL

Maia, P.D.^{1,*}, G.R. Boaventura², A.C.B. Pires^{2,**}

¹Université Paul Sabatier, Laboratoire des Mécanismes et Transferts en Géologie (LMTG),
14, Avenue Edouard Belin, 31400 Toulouse France

²Universidade de Brasília, Campus Universitário Darcy Ribeiro, Instituto de Geociências, Depto. de Geoquímica
e Recursos Minerais, 70910-900 Brasília-DF – Brasil, acbpires@unb.br
e-mail: *dutra@lmtg.obs-mip.fr, **acbpires@unb.br

Recebido em dezembro de 2004; aprovado para publicação em janeiro de 2006

ABSTRACT

Studies of bottom sediments of the Paranoá Lake (D.F., Brazil) are very important to the knowledge of local environmental conditions because this lake is used for recreation and as preservation area. Besides, it is of great importance to evaluate the potential risk this compartment represents for the aquatic food chain. Modifications of the local environment can induce remobilisation of pollutants present in sediments. This work investigated the distribution of the trace (Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba, Zn, Hg) and major elements (Ca, Mg, Fe e Al) in bottom sediments of the Paranoá Lake and discuss their potential sources, from natural origin or coming from human activities. During the rainy season, 41 sediments samples were collected in the lake and 13 in its tributaries, close to their mouth. All elements were analysed in the fine fraction (<45mm). The determination of Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba, Zn, Ca, Mg, Fe and Al was carried by ICP/OES and Hg was determined by CVAAS. The results showed that Sr, V, Cr, Ba, Mg, Fe and Al are mainly associated to the geology and are due to erosion and weathering processes mainly of the slates, the most commonly observed rock in the Paranoá formation. In few points, anthropogenic influence was observed. In seven points (17%) sampled within the lake, elevated “Geoaccumulation Index” (>2) for the Cr, Zn, Ba, Hg and Cu were observed, which indicate a moderate contamination risk, and in two samples, an important contamination risk compared to the natural sources was found.

RESUMO

O estudo dos sedimentos no Lago Paranoá (DF - Brasil) é importante tanto para o conhecimento das condições do ambiente local, em função da utilização como área de lazer e preservação ambiental, quanto para manter informações atualizadas sobre o risco potencial que o mesmo pode representar para os organismos aquáticos, uma vez que poluentes incorporados aos sedimentos podem ser remobilizados por alterações do meio circundante. Neste trabalho estudou-se a distribuição dos elementos-traço (Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba, Zn, Hg,) e dos elementos maiores (Ca, Mg, Fe, Al) em sedimentos do Lago Paranoá para identificar as prováveis fontes naturais e de origem antrópica de cada elemento. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas durante a época chuvosa totalizando 41 pontos de amostragem no Lago Paranoá e 13 nos tributários. Os elementos foram determinados na fração fina (<45 mm). Para a determinação do Ca, Mg, Fe, Al, Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba e Zn utilizou-se o ICP/AES, e para o Hg o AAS com geração de vapor frio. Os resultados mostraram que os

elementos Sr, Fe, Al, Ba, V, Cr e Mg estão associados principalmente à geologia e são provenientes dos processos de erosão e/ou intemperismo, sobretudo da ardósia que constitui a Unidade principal do Grupo Paranoá, na área geográfica do lago. No entanto, em alguns pontos existem contribuições antrópicas. Em 7 pontos (17%) dos 41 estudados no lago, os elementos Cr, Zn, Ba, Hg e Cu apresentaram maior Índice de Geoacumulação (>2) caracterizando amostras moderadamente poluídas em comparação com as fontes naturais e, em dois pontos, observou-se amostras fortemente poluídas em comparação com as fontes naturais.

INTRODUÇÃO

O estudo geoquímico dos sedimentos de lago é de grande importância para manter informações regulares quanto ao risco potencial que o mesmo pode representar para os organismos aquáticos, uma vez que poluentes incorporados ao sedimento podem ser remobilizados por alterações do meio circundante Burnett *et al.*, (2001). Desta forma, o sedimento tem sido investigado para esclarecer a poluição ambiental atribuída aos elementos-traço e/ou a substâncias tóxicas orgânicas. Além disso, essa matriz armazena informações por um período maior de tempo quando comparado com a disponibilidade de compostos na coluna d'água (Esteves, 1988; Licht 1998).

Os metais de fontes naturais (*background*) e de origem antrópica acumulam juntos no sedimento sendo indispensável o conhecimento dessas contribuições para estimar o grau de contaminação ambiental. As principais variáveis que interferem na concentração de metais nessa matriz são: o tamanho dos grãos, as ligações existentes entre metais e os sólidos finos através dos óxidos e hidróxidos de Fe, Al e Mn, matéria orgânica a qual pode formar compostos organometálicos e os argilominerais que podem formar complexos argila-poluentes, os quais se mobilizam por erosão sendo transportados e depositados no hidrosistema (Groot *et al.*, 1982; Loring & Rantala, 1992; Kralik 1999).

Boaventura *et al.*, (1998) estudaram a bacia do rio São Bartolomeu-DF. Os resultados da caracterização geoquímica indicaram que a região está sob a influência da ocupação urbana, atividades agrícolas e uma parte ainda encontra-se preservada.

Carvalho Júnior *et al.*, (1998) observaram no Ribeirão do Gama, um tributário do Lago Paranoá – DF, anomalia de Fe e Mn próximas às nascentes (0,284 mg/L e 0,009mg/L, respectivamente) provenientes da represa, valores elevados de Si próximos à área agrícola e variação significativa de Zn e Cu em áreas urbanas e de cascalheiras.

Carvalho Júnior *et al.*, (1998) caracterizaram o conteúdo natural em águas superficiais da Bacia do córrego Taquara, localizada na sub-bacia do Gama, onde observaram baixa solubilidade dos seguintes metais: Ni, Zn e Fe, Ti e Al em pH neutro, o P na forma de ortofosfato (PO_4^{3-}). O Ca, Mg e Si apresentaram maiores concentrações (0,446mg/L, 0,88mg/L e 2,243mg/L, respectivamente) uma vez que foram lixiviados para as drenagens.

Do Carmo *et al.*, (2003) estudaram aspectos geoquímicos das águas e sedimentos de corrente da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto – DF, tanto na época seca quanto na época chuvosa. Verificaram que a correlação do Al, como elemento de referência, com os elementos Y, V, Cr e Fe indicou que esses estão associados à geologia da área; os elementos Mg, Al, Ti, K, Sr, Ni, Cu, Cr, Co e Zn foram fortemente correlacionados com o Fe e o Mn, indicando que os seus óxidos/hidróxidos podem ser um dos mecanismos de adsorção desses elementos e que os elementos P, Hg, Ca, K, Na e Ba são oriundos de ações antrópicas (urbana e agrícola). Além disso, concluíram que a ausência de mata ciliar é um fator importante no enriquecimento dos elementos em rios e mananciais da área, já que atua como uma barreira no escoamento superficial da água.

Moreira & Boaventura (2003) verificaram que as sub-bacias do Lago Santa Maria e Ribeirão Cabeça do Veado, as quais se inserem na Bacia do Lago Paranoá – DF, são áreas de *background* para a interpretação das concentrações de elementos químicos em sedimentos da Bacia do Lago Paranoá. Certificaram ainda que o braço do Lago Paranoá que recebe o tributário Riacho Fundo é uma área enriquecida de Zn, Ni, Cr, Be, Cu, Ba, V, Sr, P, Ti, Na, K, Al e Ca, com valores anômalos de Ba na fração <45mm (334,21 e 463,45mg/kg). Além disso, verificaram que esse lago encontra-se moderadamente poluído por P com base no índice geoquímico igual a 2, e que próximo a Estação de Tratamento de Esgoto ocorrem valores significativos desse elemento provenientes dos lançamentos de efluentes.

Santos (2003) estudou sedimentos de fundo do Lago Descoberto - DF. A normalização dos metais estudados com o Al indicou que os elementos Fe, Ti, V e Cr apresentaram como fonte principal o substrato geológico. Já os elementos Mg, Ba, Sr, Ni, Cu, Zn e Ca são de contribuições antrópicas provenientes de áreas agrícolas e urbanas. A ocorrência de Hg nessa área está diretamente relacionada à contribuição antrópica oriunda de esgotos domésticos. O Mn não apresentou uma assinatura específica, sendo proveniente tanto do substrato geológico quanto das atividades antrópicas (áreas agrícolas).

O objetivo desse trabalho foi estudar a distribuição espacial dos elementos-traço (Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba, Zn e Hg) e dos elementos maiores (Ca, Mg, Fe, Al) em sedimentos de fundo do Lago Paranoá, tecendo considerações sobre as influências das fontes naturais e de origem antrópica.

ÁREA DE ESTUDO

O Lago Paranoá localiza-se na região central do Distrito Federal entre as latitudes 15°35' e 15°59' Sul e longitudes 47°47' e 48°05' Oeste, numa área de aproximadamente 1.034 Km², correspondendo a cerca de 18% do DF (Ferrante *et al.*, 2001). Esse lago pertence à Bacia do Lago Paranoá a qual se

insere na Bacia Hidrográfica do Rio São Bartolomeu, que por sua vez pertence à região hidrográfica do Rio Paraná. É um lago artificial destinado para área de lazer e de preservação ambiental, construído em 1959, pelo represamento das águas dos ribeirões Riacho Fundo, Gama, Torto, Cabeça de Veado e Bananal; além de outros pequenos tributários ainda recebe drenagens pluviais urbanas e efluentes de duas Estações de Tratamento de Esgotos, ETE Sul e Norte (Figura 1 Ferrante *et al.*, 2001).

Desde a década de 70, esse lago apresentou problemas de eutrofização, originada por diversos fatores: enchimento do reservatório sem a retirada da cobertura vegetal; o adensamento da sua bacia hidrográfica; lançamento de esgotos brutos e tratados; o carreamento de nutrientes decorrentes de áreas fertilizadas pelos tributários; além dos detritos de naturezas diversas (lixo, organismos patogênicos, restos de óleos) provenientes de áreas urbanas e rurais; via galeria de águas pluviais ou diretamente pelo escoamento superficial. Para contornar esse problema aplicaram-se elevadas quantidades de algicida e sulfato de cobre, durante toda a década de 80. Em 1993 finalizaram-se as obras de adaptação e ampliação da ETE Sul e Norte através do tratamento terciário de efluentes, e esse lago apresentou melhoria de suas características físicas, químicas e biológicas Burnett *et al.*, (2001).

Litotipos

O clima no Distrito Federal é denominado tropical de savana com presença de dois períodos: seco (junho a setembro) e chuvoso (novembro a fevereiro) (CODEPLAN, 1984). As principais classes de solos são Latossolos Vermelho-Escuro, Latossolos Vermelho-Amarelo e Cambissolo, os quais ocupam 85,5% do DF (EMBRAPA, 1978).

A Bacia do Lago Paranoá insere-se em rochas pertencentes ao Grupo Paranoá atribuídas às seguintes unidades: S (siltitos), que apresenta níveis de quartzitos em direção ao topo da seqüência; A (ardósia), que constitui a maior

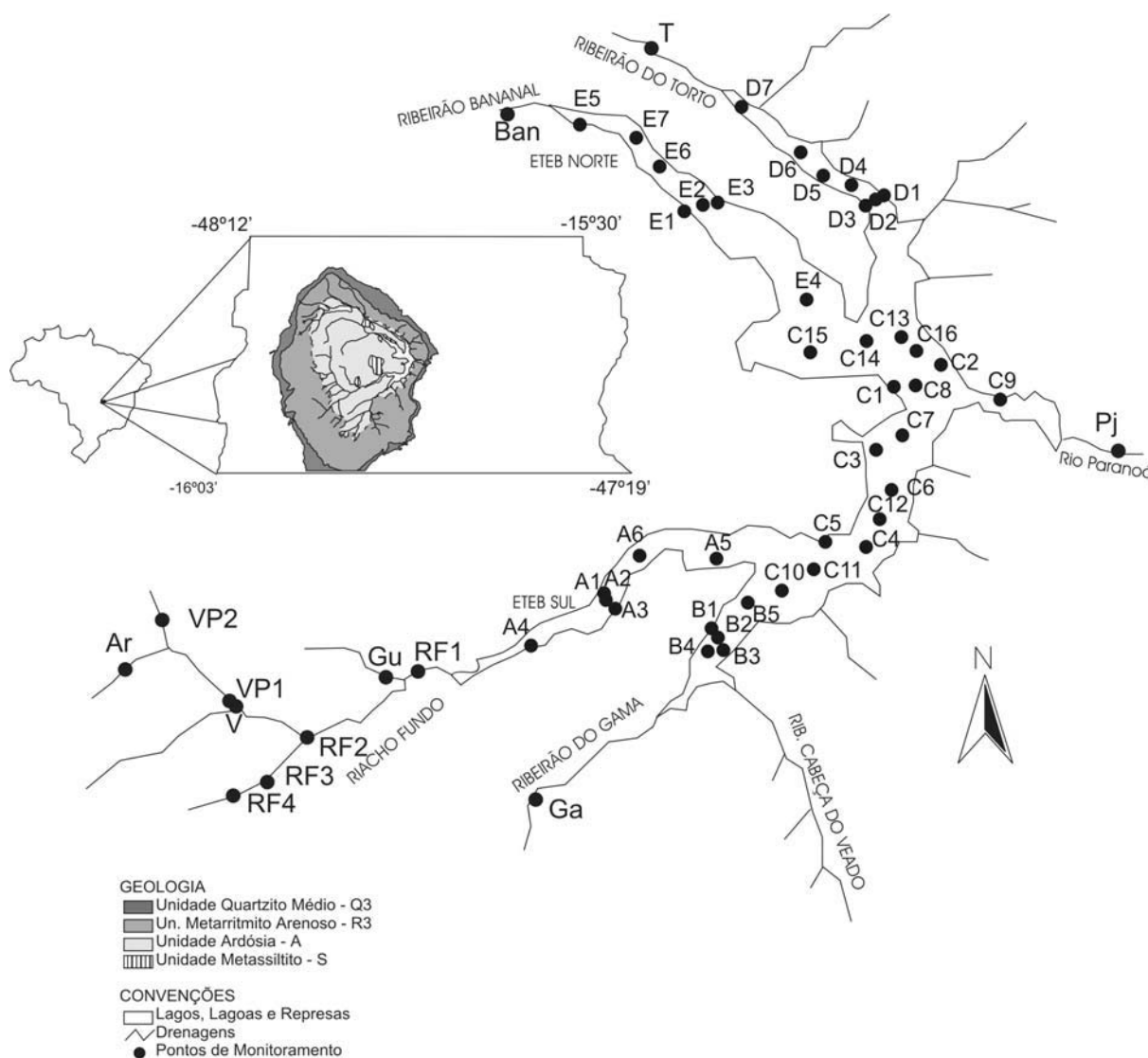


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Lago Paranoá. Modificado da SEMARH/DF (sistema de coordenadas UTM, zona 23).

parte do substrato da porção central da bacia e das bordas do lago, bem como da área de drenagem dos tributários que estão encaixadas, é composta por ardósias roxas com forte clivagem ardosiana e em alguns locais ocorrem pequenas lentes irregulares de quartzitos, sendo comum os veios de quartzo leitoso que preenchem fraturas; R₃ (metarritmitos), caracterizada pela alternância de estratos centimétricos a métricos de quartzitos, com camadas de metassiltitos argilosos, metargilitos sílticos e metargilitos. O contato inferior é gradacional com as ardósias, passando a um aumento progressivo de intercalações de metassiltitos e delgadas camadas de quartzitos. Um nível de quartzito (cerca de 8m) ocorre na

porção média desta unidade. O topo desse conjunto é constituído por ritmito que grada para a unidade acima Q3 (quartzitos) que aflora próximo da quebra do relevo e é representada por quartzitos brancos ou amarelados, silicificados e intensamente fraturados (Faria, 1997; Campos & Freitas, 1998).

Nas coberturas detrito-lateríticas e aluviões dessa bacia predominam os seguintes solos: neossolos quartzarênicos constituídos principalmente de quartzo; latossolo, o qual é produto de alterações das ardósias e ritmitos nas áreas mais planas, apresentando como minerais principais o quartzo, caolinita e gibbsita e como minerais menores a goethita, hematita e

anatóis e o cambissolo, o qual é resultado da alteração dos ritmitos e ardósias nas áreas de encosta e vales dos ribeirões Bananal, Torto e Riacho Fundo apresentando como minerais principais a illita e caolinita (EMBRAPA, 1999).

O Ribeirão Riacho Fundo nasce na Unidade Q3 e corta as unidades R3 e A, passando pelos depósitos aluvionares. Essa sub-bacia apresenta a maior densidade e diversidade de ocupação, compreendendo áreas residenciais, comerciais e áreas de atividade agrícola (Ferrante *et al.*, 2001; CODEPLAN, 1994).

O Ribeirão do Gama nasce no contato entre as unidades R3 e Q3, e drena a Unidade A e depósitos aluvionares. Apresenta áreas preservadas, de atividade agrícola e residencial (Ferrante *et al.*, 2001; CODEPLAN, 1994).

O Ribeirão do Torto nasce na Unidade Q3 e corta as unidades R3 e A. Não possui mais um regime hídrico natural, devido à presença das barragens de Santa Maria/Torto. A área é rural constituída pelo Lago Oeste e a Granja do Torto, cruzando áreas urbanas como o Varjão (Ferrante *et al.*, 2001; CODEPLAN, 1994).

O Ribeirão Bananal situa-se no Parque Nacional de Brasília, nasce na Unidade R3 passando pelas ardósias (Ferrante *et al.*, 2001).

MATERIAL E MÉTODOS

A seleção dos locais de amostragem no Lago Paranoá baseou-se nos pontos do mapa de Balneabilidade da Companhia de Saneamento do Distrito Federal (CAESB). Coletou-se amostras de sedimentos, 41 pontos no lago e 13 nos tributários, entre os meses de fevereiro e abril e no mês de dezembro de 2002, durante a época chuvosa (Figura 1).

Após a coleta as amostras foram secadas à temperatura ambiente, desagregadas e separadas para diferentes análises: granulométrica, identificação de minerais, determinação da matéria orgânica, sólidos voláteis e análises químicas.

Nesse trabalho utilizou-se a subdivisão definida pela CAESB em cinco zonas conforme as áreas de captação: A – localizada no braço do Riacho Fundo, presença da ETE Sul; B – localizada no braço dos ribeirões do Gama e Cabeça do Veado; C – abrange a Região Central do lago onde ocorre a confluência dos diversos braços e a barragem do Paranoá; D – compreende o braço do Ribeirão do Torto; E – localizada no braço do Ribeirão Bananal, presença da ETE Norte.

Na análise de matéria orgânica, sólidos voláteis e determinação dos elementos químicos as amostras foram peneiradas para fração <45mm de acordo com Moreira & Boaventura (2003), que verificou maior concentração de metais nessa fração fina.

Granulometria e Difractometria de Raios-X (DRX)

A determinação granulométrica dos sedimentos baseou-se na distribuição correspondente às frações areia média (>63mm) e fina (>0,4mm), silte (<0,4mm) e argila (<0,2mm). Utilizou-se o granulômetro a laser, modelo *Mastersizer S Standard Bench*, de fabricação da *MALVERN INSTRUMENTS LTD* do Departamento de Engenharia Civil/UnB. Esse método foi aplicado para as amostras: A1, A2, A3, A6, B5, C5 a C15, D6 a D8, E6, E7. As demais amostras, por apresentarem menores quantidades, foram submetidas à análise granulométrica pelo método de pipetagem (EMBRAPA, 1997).

A análise por DRX, realizada no Laboratório de Raios-X IG/UnB, consistiu em quatro varreduras distintas: uma da amostra total (AT) e três da fração argila: orientada e seca ao ar (FF), glicolada (FG) e aquecida (FA). Utilizou-se o aparelho *Rigaku D-MAXB* com radiação de CuK α , com velocidade de varredura de 2 $^{\circ}$ /min e intervalo de medida de 0,05 $^{\circ}$. A preparação das amostras seguiu as técnicas de rotina do laboratório (modificado de Alves, 1987). Utilizou-se o *software JADE 3.0* para *Windows*, *XRD Pattern Processing for the PC*, 1991-1995 *Materials Data, Inc.*, para interpretação dos resultados. A intensidade do pico de quartzo

em $d \sim 4,26\text{\AA}$ na amostra total (AT) foi comparada com as intensidades das reflexões maiores $d \sim 10,0$, $d \sim 7,0$, $d \sim 4,85\text{\AA}$ correspondentes aos picos de illita, caolinita e gibbsita, respectivamente. Essa comparação forneceu parâmetros qualitativos da proporção de cada mineral como constituinte maior, menor e traço.

Procedimentos e Determinações Analíticas

A decomposição total dos sedimentos consistiu na abertura ácida com HF/HNO₃/HClO₄/HCl (Boaventura, 1991). Na determinação do mercúrio utilizou-se uma abertura ácida parcial com HNO₃/HCl modificado de Roulet *et al.*, (1998). Pesou-se $1,00000 \pm 0,00001$ g de amostra em *Erlemeyer* de 125mL, adicionou-se 15ml de HNO₃ 12M e 5ml de HCl 6M. Montou-se um sistema de refluxo com condensadores e as amostras foram deixadas reagindo durante 12 horas. Em seguida, as amostras foram aquecidas com temperatura controlada (70-80°C) durante 3h30min. Depois de encerrada a digestão, filtrou-se as amostras e completou-se o volume com água bidestilada para balão volumétrico de 50mL para serem analisadas. O HNO₃ (65% m/v) e HCl (37% m/v) utilizados foram da Merck com máximo de Hg = $\pm 0,000005\%$.

Determinou-se os metais Ca, Mg, Fe, Al, Sr, V, Cu, Cr, Mn, Ba e Zn no Laboratório de Geoquímica/UnB (LAGEQ), usando Espectrofotometria de Emissão Ótica com fonte de Plasma (ICP/OES) modelo *FVM03*. Os parâmetros operacionais utilizados foram: nebulizador *meinhard*, pressão 38 psi, fluxo de argônio 1L/min, potência 1,0 KW, fluxo de argônio para resfriamento 14L/min e fluxo de gás auxiliar 0,6L/min.

A determinação do Hg ocorreu no Laboratório de Química Analítica e Ambiental/UnB pela redução do extrato ácido com SnCl₂ 5%, usando Espectrofotômetro de Absorção Atômica com Gerador de Vapor Frio (CV-EAA) *Mercury Monitor* 3200 *Elemental Mercury Detector*. Os parâmetros operacionais utilizados para esse equipamento foram: gás utilizado N₂, pressão 50 psi e fluxo do gás 0,4L/min.

TRATAMENTO DOS DADOS

Matriz de Correlação

Realizou-se o cálculo da correlação de *Pearson* para verificar o grau de “proporcionalidade” entre duas variáveis calculadas sobre os dados observados. Nesse estudo considerou-se como correlação significativa os valores $\geq 50\%$. Decidiu-se o melhor normalizador para as amostras investigadas de acordo com os coeficientes de *Pearson* obtidos para cada razão entre os elementos, desses com a fração granulométrica e/ou matéria orgânica.

Classificação hierárquica (análise de Cluster)

Utilizou-se essa classificação para verificar a formação de grupos entre amostras. Dentre os métodos de classificação disponíveis optou-se pelo método de *Ward*, o qual parte de uma análise de variância para avaliar as distâncias entre os grupos (Landim, 1998).

Análise das principais componentes

Utilizou-se esse método para verificar a existência de associações entre as variáveis selecionadas. O método permitiu eliminar a redundância entre as variáveis e determinar o grau de relevância de cada variável em cada fator gerado e comparou as unidades amostrais ao longo do tempo e do espaço, de modo a detectar a existência de tendências (Landim, 1998).

Fator de enriquecimento

Os níveis de enriquecimento para um determinado elemento em relação aos valores de *background* foram avaliados. Esse fator foi calculado apenas para os elementos químicos que apresentaram correlação de *Pearson* significativa com a matéria orgânica e/ou sólidos voláteis *apud* Rubio *et al.*, (2000), *apud* Moreira & Boaventura (2003). Para isso utilizou-se os valores de *background* proposto por Moreira & Boaventura (2003).

Esse fator foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$FE = \frac{[E_{amostra}]/[MO_{amostra}]}{[E_{back}]/[MO_{back}]}$$

onde: $[E_{amostra}]$ = concentração do elemento na amostra avaliada; $[MO_{amostra}]$ = concentração da matéria orgânica na amostra; $[E_{back}]$ = concentração média do elemento na área de *background*; $[MO_{back}]$ = concentração média da matéria orgânica na área de *background*.

Índice de geoacumulação (I_{geo})

Utilizou-se esse índice proposto por Müller (1979) *apud* Rodrigues (1997) e Rubio *et al.*, (2000) para identificar a intensidade da contaminação do sedimento. O I_{geo} foi calculado de acordo com a seguinte fórmula:

$$I_{geo} = \log_2 \frac{C_n}{1,5.C_b}$$

onde: C_n = concentração do elemento na fração argila ($< 2\mu m$) do sedimento a ser classificado; C_b = concentração média de *background* para argila na crosta terrestre (folhelho médio padrão). e 1,5 = fator de correção para possíveis variações do *background* causado por diferenças litológicas.

Esse índice consiste de sete classes distintas (de 0 a 6) e está relacionado com um grau crescente de contaminação. O valor mais alto corresponde a um enriquecimento de aproximadamente 100 vezes em relação ao nível de *background*.

O cálculo desse índice em relação aos folhelhos médios é pouco representativo. Portanto, nesse estudo determinou-se o I_{geo} na fração $< 45\mu m$ e C_b adotada foi a concentração média dos elementos nas áreas de *background* propostas por Moreira & Boaventura (2003) de modo a considerar a contribuição litológica da área em estudo.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Granulometria e Difractometria de Raios-X (DRX)

Os sedimentos no Lago Paranoá são provenientes de materiais das margens, dos tributários, atmosféricos e residuais, estes últimos

correspondentes ao material existente antes do preenchimento do lago.

No Lago Paranoá predominam sedimentos (Tabela 1) de granulação silto-argilosa, condicionados pelo ambiente deposicional de baixa energia, resultados demonstrados nos estudos de Moreira & Boaventura (2003). Nota-se a tendência de concentração dessas frações nas porções centrais (de 68% a 100%), enquanto as margens contêm menor teor de finos ($< 68\%$), exceto em E3 com 96%. Nas margens, a maior energia da água, provocada por ondas e turbulência, favorece a seleção dos sedimentos, transportando a fração silto-argilosa proveniente das margens dos tributários e atmosféricos para os locais de águas paradas ou calmas.

Os principais minerais encontrados nos sedimentos do Lago Paranoá foram: quartzo, ilita, caolinita e gibbsita (Tabela 2) e como constituintes acessórios a vermiculita, goethita, anatásio, rutilo, hematita e sepiolita, Estes resultados estão de acordo com os encontrados por Moreira & Boaventura (2003). Neste trabalho foi observado que a distribuição mineralógica é fortemente influenciada pela geologia da região, e os minerais foram descritos como compostos por argilominerais, quartzo e uma grande infinidade de óxidos e hidróxidos, enquanto que, havendo um incremento na granulometria, o quartzo predomina sobre os filossilicatos nos níveis silticos

O quartzo destacou-se nas amostras das margens e do centro dos braços A, B, C e E,

Tabela 1: Valor mínimo e máximo da composição granulométrica do sedimento na Bacia do Lago Paranoá

Amostras	Grossos	Finos
	(%)	
Braço A (A1 - A6)	0 - 43	57 - 100
Braço B (B1 - B5)	0 - 77	23 - 100
Braço C (C1 - C16)	0 - 93	7 - 100
Braço D (D1 - D7)	1 - 71	29 - 99
Braço E (E1 - E7)	4 - 43	57 - 96
Tributários	12 - 74	9 - 88

Onde: (Grossos) Σ areia média + areia fina, (Finos) Σ silte + argila

Tabela 2: Variação dos minerais principais nos sedimentos do Lago Paranoá.

Amostras	Minerais principais			
	ilita	caolinita	gibbsita	quartzo
Braço A (A1 - A6)	T a M	m e M	m e M	m e M
Braço B (B1 - B5)	T a M	T a M	T a M	M
Braço C (C1 - C16)	T a M	T a M	T a M	m e M
Braço D (D1 - D7)	ausente a M	ausente a M	T a M	M
Braço E (E1 - E7)	m e M	m e M	M	m e M

Onde (T) traço, (m) menor e (M) maior representam a proporção de cada constituinte mineral para cada amostra.

ocorrendo variações na parte central do lago. Já nos braços D e B a maior contribuição de quartzo é proveniente dos ritimitos. A gibbsita destacou-se nas amostras dos braços E e B, indicando importante contribuição do solo, já nos braços A e D essa contribuição é menor. No braço C, a gibbsita acumulou-se nas amostras do centro, em função da confluência dos demais braços do lago. A caolinita destacou-se nas amostras de fração fina, já na amostra total é constituinte maior ou menor, indicando importante contribuição das ardósias e do solo, trazida pelos tributários, ou resultante do retrabalhamento dos materiais das margens. A ilita ocorreu principalmente na fração fina de todas as amostras do centro, enquanto nas margens, não ocorre, ou ocorre como constituinte traço ou menor. Portanto, observou-se uma tendência de concentração desse mineral nos braços alimentados pelos ribeirões Bananal (E) e Riacho Fundo (A), cujos cursos correm sobre as ardósias constituídas essencialmente por ilita e caolinita.

Elementos Químicos

Para o controle analítico dos resultados (Figura 2) utilizou-se amostra de referência de solo do *National Institute of Standards and Technology – NIST (San Joaquin Soil)*. Como critério de aceitação das análises descartou-se os resultados que apresentaram variação maior que 15%, em relação a amostra de referência.

Na análise do Hg obteve-se o limite de detecção (3X o desvio padrão do branco) de 0,3204mg/kg e o limite de quantificação utilizado foi de 3,204mg/Kg. As variações dos brancos de Hg em relação aos dias de análises estão expostas na Figura 3.

Os resultados dos sedimentos foram apresentados por peso seco, pois foram corrigidos pela umidade relativa que o mesmo registrou no momento da análise (105°C) (EMBRAPA, 1997).

De acordo com a Tabela 3 verifica-se que as amostras dos tributários apresentaram menor

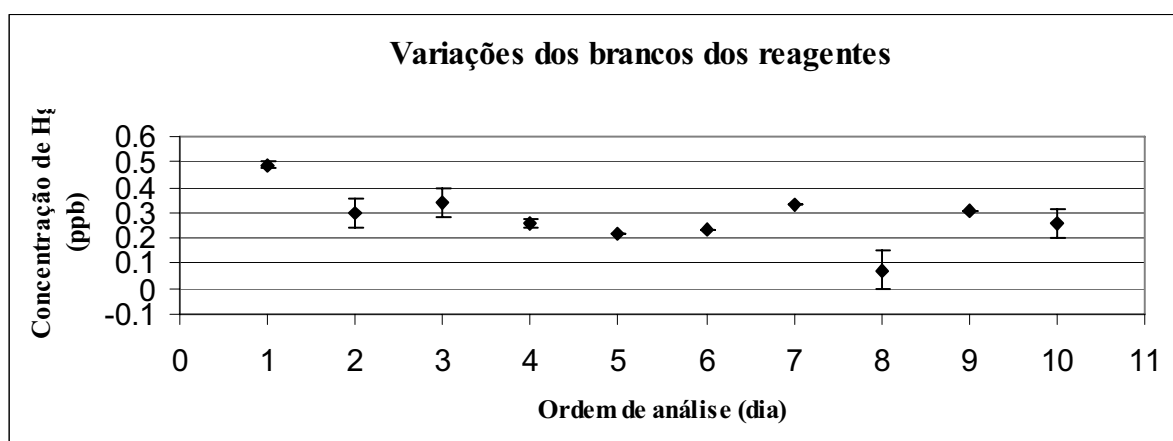


Figura 2: Gráfico das variações dos brancos dos reagentes.

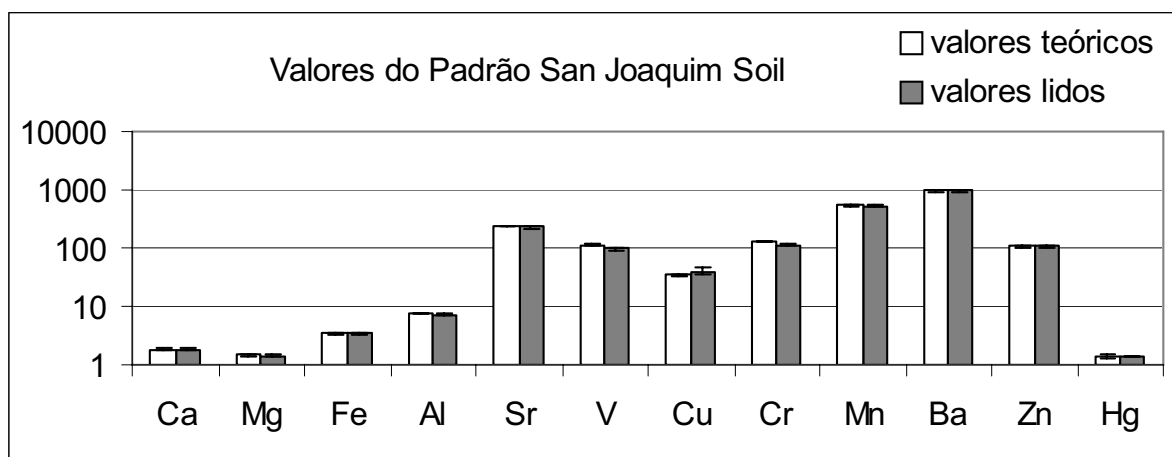


Figura 3: Gráfico da variação do padrão entre os valores teóricos e os valores obtidos.

composição metálica, matéria orgânica e de sólidos voláteis, devido à predominância da granulação grossa, quando comparadas com as amostras do Lago Paranoá. As exceções foram os elementos Cu e Mn, os quais apresentaram concentrações maiores no Ribeirão Bananal (Cu=209,2mg/kg) e no Paranoá jusante (Mn=480,1mg/kg).

No Lago Paranoá as amostras apresentaram comportamento heterogêneo, pois as concentrações dos metais, matéria orgânica e sólidos voláteis foram mais elevadas ora nas amostras coletadas no centro e/ou ora nas amostras coletadas próximas às margens desse lago (Tabela 3).

Para o esclarecimento da contribuição dos elementos químicos provenientes de processos de erosão e/ou intemperismo da ardósia (unidade principal onde se insere esse lago), analisaram-se os metais em uma amostra de ardósia, pouco alterada, coletada a 10m de profundidade do solo no campo experimental da UnB-Geotecnia cedida por Motta (2003).

Observa-se na Tabela 3 que nos sedimentos os elementos Mg, F, Al, V, Sr, Cr e Ba apresentaram menores concentrações do que na amostra de ardósia, indicando uma contribuição geológica para esses metais. Já os demais elementos apresentaram concentrações maiores do que a ardósia, sugerindo uma contribuição de origem antrópica.

Tabela 3: Valores mínimos e máximos das variáveis estudadas.

	Tributários	Lago Paranoá		Ardósia
		Margem	Centro	n n = 1
N = 54				
Ca	0,03 - 0,21	0,01 - 0,17	0,01 - 0,21	0,02
Mg (%)	0,08 - 0,22	0,07 - 0,47	0,07 - 0,38	0,77
Fe	1,31 - 5,55	2,34 - 10,68	3,12 - 8,34	2,73
Al	3,88 - 12,95	5,28 - 19,47	1,68 - 17,58	12,56
Sr	11,3 - 27,0	9,3 - 35,0	9,0 - 33,0	43,6
V	48,8 - 154,8	56,6 - 238,9	54,3 - 178,9	117,7
Cu (mg/Kg)	17,3 - 209,2	22,8 - 110,5	18,2 - 72,6	5,2
Cr	34,8 - 125,3	46,5 - 371,5	38,4 - 139,8	97,6
Mn	22,3 - 480,1	160,7 - 1280,6	57,2 - 474,2	28,7
Ba	130,4 - 240,1	92,3 - 518,7	112,5 - 686,5	462,3
Zn	16,4 - 88,8	16,4 - 131,1	22,3 - 124,6	24,6
Hg	0,030 - 0,120	0,021 - 0,160	0,024 - 0,264	-----
MO (%)	0,7 - 5,1	1,36 - 7,1	2,8 - 17,5	-----
SV	5,7 - 13,5	5,3 - 22,3	9,27 - 26,7	-----

Nota: MO – matéria orgânica, SV – sólidos voláteis.

Para esclarecer a origem dos metais e certificar a fonte geológica do Mg, Fe, Al, V, Cr e Ba utilizaram-se os tratamentos estatísticos a seguir:

Matriz de correlação

De acordo com as correlações da Tabela 4 observa-se que o Al, Ba e Hg podem ser normalizados com a matéria orgânica (MO). A associação dessa com os metais indica uma origem antrópica, que deve estar associada com a presença dos elementos no sulfato de alumínio utilizado no tratamento de esgoto, de inseticida e dos efluentes das ETEs, respectivamente. Os resultados de Santos (2003), realizados no lago Descoberto, também no Distrito Federal, mostram semelhança nas correlações e na influência antrópica ocasionada pela ocupação humana. Em relação ao Al, Moreira & Boaventura (2003) também encontraram anomalias no Lago Paranoá. Neste caso a associação com matéria orgânica foi marcante demonstrando os efeitos da presença de esgotos domésticos do passado.

As correlações significativas dos sólidos voláteis com o Fe, Al, V, Zn e Hg permitiram a normalização desses elementos com essa variável, mas não esclarece sobre a origem. O Mg e Mn ocorrem preferencialmente na fração silte. Já o Al, Fe, V e Cr ocorrem preferencialmente na fração argila indicando uma origem geológica desses metais.

Nas correlações verificadas entre os metais observa-se ausência de proporcionalidade do Ca, tanto com os demais elementos quanto com as frações silte e argila, indicando uma baixa associação desse elemento com a fração fina. Ao contrário do Ca, o Fe e Al se correlacionam indicando uma ocorrência geológica proveniente dos argilominerais. Observa-se ainda, a propriedade de adsorção desses metais mais o Zn com os demais elementos químicos, verificada pelas correlações significativas desses elementos com os demais.

Os elementos que se correlacionaram com Ba (Mg e Sr) apresentam origem semelhante, pois são provenientes do intemperismo das ardósias. A correlação do Cr com Mn e V, provavelmente indica uma associação geológica. As mesmas correlações foram observadas por outros autores com destaque para Santos (2003) e Carmo (2004). Nestes trabalhos as correlações de Ba com Mg e Sr e Cr com Mn e V mostraram também a associação geológica provenientes de intemperismo.

Análise de cluster

Essa análise complementa a correlação de *Pearson*. Conforme a Figura 4 nota-se a formação de 4 grupos. O primeiro formado pelos elementos Ca, Mg, Fe, Al e Sr, os quais são resultantes do intemperismo. O segundo grupo formado pelos elementos V e Cr, os quais

Tabela 4: Correlações de *Pearson* entre as variáveis estudadas.

	Ca	Mg	Fe	Al	Sr	V	Cu	Cr	Mn	Ba	Zn	Hg	MO	SV	S	Ar
Ca	100															
Mg	18,1	100														
Fe	10,7	42,0	100													
Al	5,7	42,8	76,6	100												
Sr	36,2	28,8	21,5	16,1	100											
V	9,5	36,8	86,4	81,9	25,9	100										
Cu	12,8	16,4	52,9	38,2	7,2	48,4	100									
Cr	10,3	17,4	72,3	62,6	23,0	80,4	48,5	100								
Mn	8,3	2,0	58,2	45,1	-8,4	47,8	36,7	50,0	100							
Ba	-1,9	63,0	31,1	30,1	62,7	39,8	1,3	23,0	-23,3	100						
Zn	26,3	55,8	76,8	66,8	13,5	72,1	50,3	61,0	50,1	21,4	100					
Hg	18,8	43,8	32,3	42,4	-8,9	32,7	24,8	11,6	25,2	8,1	67,6	100				
MO	4,2	43,4	34,0	52,0	27,0	45,6	10,6	17,0	-4,2	54,8	35,9	55,0	100			
SV	-3,5	32,7	53,6	67,1	8,6	65,9	15,3	37,3	28,4	38,7	51,9	55,7	80,5	100		
S	-22,9	51,2	19,7	35,1	27,1	34,3	-14,9	12,7	-25,6	66,2	28,8	38,6	66,0	58,3	100	
Ar	-8,9	24,1	43,6	52,7	10,6	48,1	1,0	43,7	29,5	35,9	34,0	9,0	31,9	46,9	38,2	100

Análise de Cluster Hierárquico

Método de Ward - Distância Euclidiana

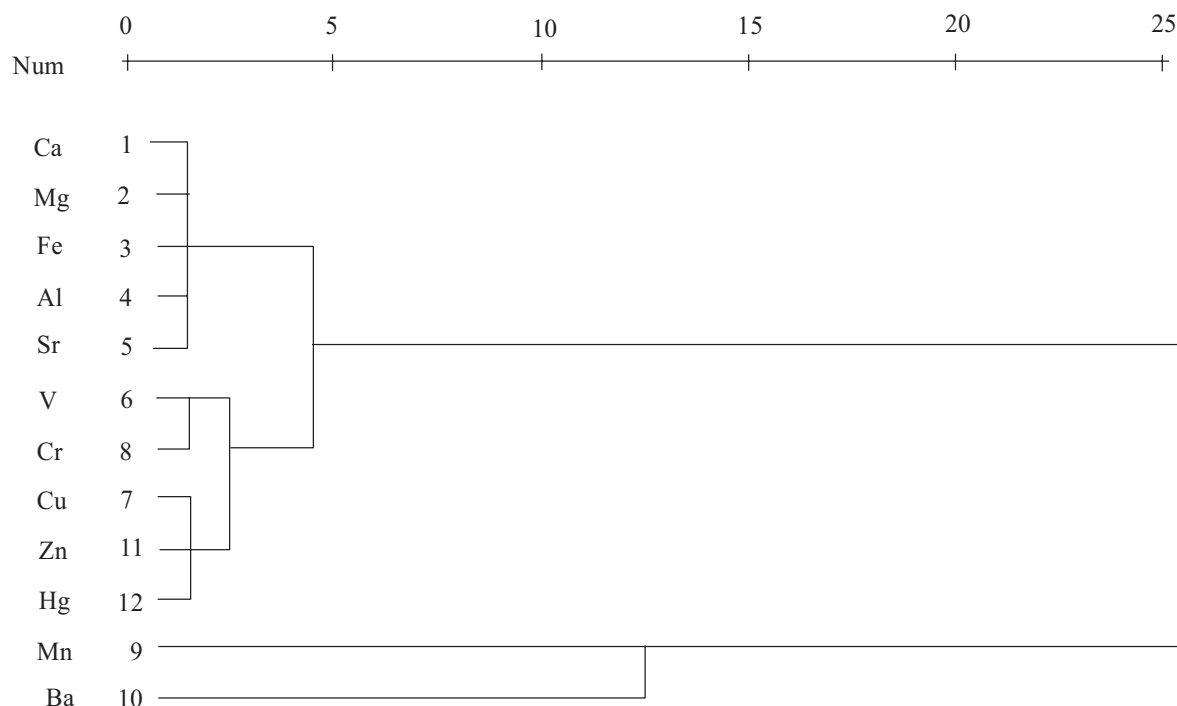


Figura 4: Dendrograma resultante a análise de cluster hierárquico das variáveis estudadas.

indicam uma origem geológica. O terceiro grupo formado por Cu, Zn e Hg indica uma contribuição antrópica. O quarto grupo formado pelo Mn e Ba, que por se relacionar com os demais grupos, está associado tanto a fontes antrópicas provenientes de insumos agrícolas, fertilizantes, lançamento de efluentes domésticos, quanto a processos erosivos e/ou de intemperismo na bacia de drenagem.

Comparando-se os dados desse estudo com estudo realizado no Rio Tiête-SP, Silva *et al.*, (2002) observam-se valores máximos de Ca, Fe, Cu, Mn e Zn no rio enquanto que para o Al e Cr os valores mais elevados foram obtidos no Lago Paranoá. O autor relata que o Al, Ca, Fe e Mn são provenientes do intemperismo de rochas (granitos, filitos, xistos, quartzitos, basaltos) e solos adjacentes, porém para o Cu, Zn e Cr são de origem antrópica.

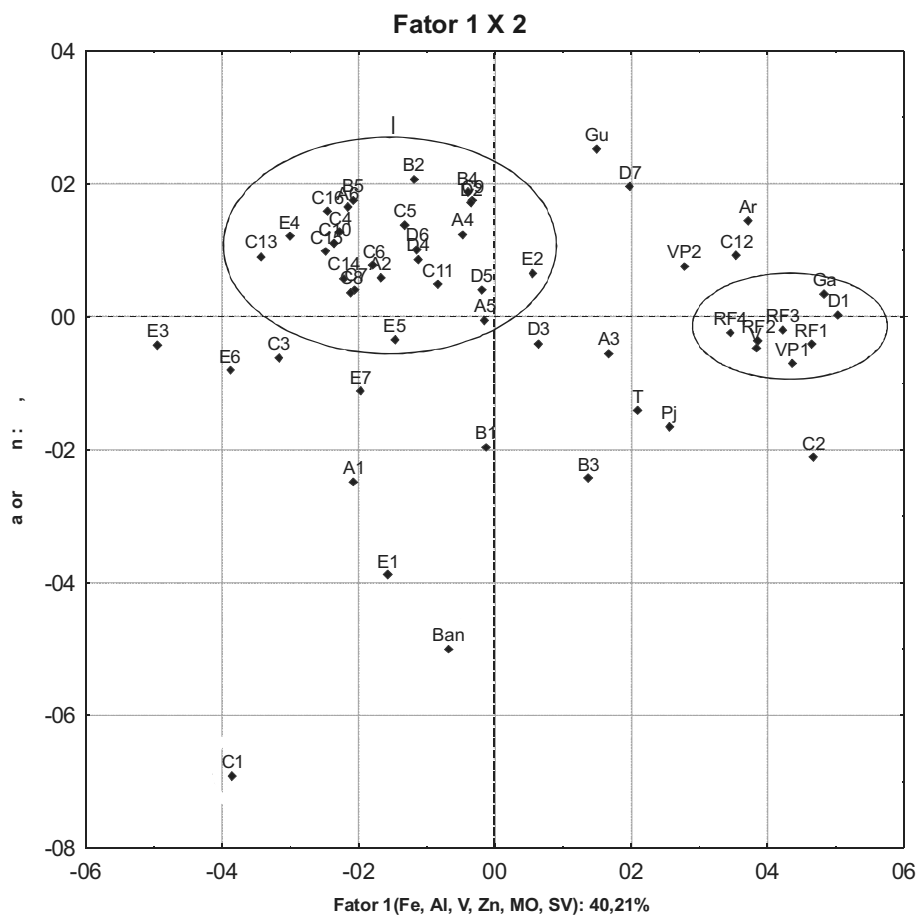
Os valores de Fe, Cu, Ba e Zn no Lago Paranoá foram maiores, quando comparados com os resultados desses metais no lago Boeuf-Lousiania – USA, Aucoin, *et al.*, (1999) e no lago Atatürk Dam - Turquia Karadede & Ünlü

(2000) e com a Lagoa Pom-Atasta – México Vazques, *et al.*, (1999). Já os valores do Mn no Lago Paranoá e no Lago Atatürk Dam - Turquia foram semelhantes, bem como os valores de Cr entre o Lago Paranoá e a Lagoa Pom-Atasta - México. Os elementos Cu, Fe, Mn e Zn são de origem geológica no Lago Atatürk Dam -Turquia, já os metais Cr, Zn e Cu no Lago Boeuf-Lousiania - USA são provenientes de efluentes e ar industriais, embora atualmente não se apresente contaminado por esses elementos. Na Lagoa Pom-Atasta - México o Cr é de origem geológica, enquanto o Zn, Cu e Ba são provenientes da resuspensão dos sedimentos.

Análise de principais componentes (APC)

Através da análise de principais componentes agruparam-se as amostras que apresentaram comportamento semelhante em função das variáveis analisadas. De acordo com a Figura 5a, na elipse I, nota-se o agrupamento das amostras coletadas na parte central do lago, em diferentes áreas, pelo fato de apresentarem valores semelhantes para as variáveis em questão. Considerando-se o fator 4 (Hg), nota-se a formação de um grupo específico (Figura

A)



B)

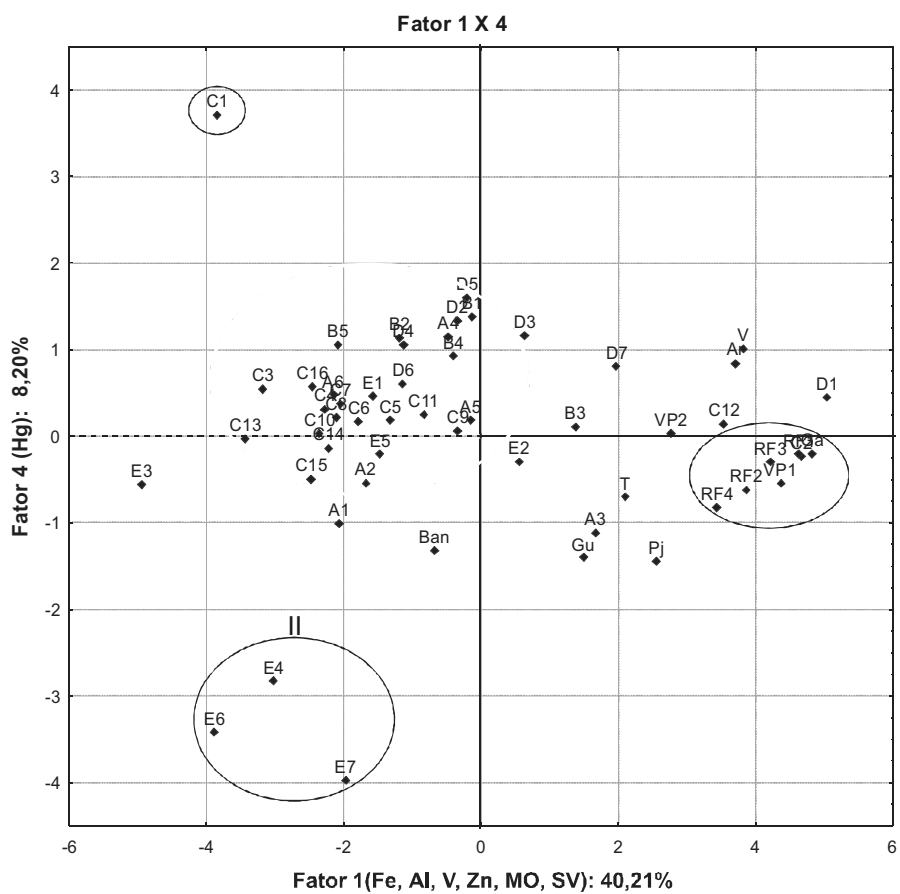


Figura 5. Gráfico de agrupamento dos fatores 1X2 (A) e dos fatores 1X4 (B).

5b, elipse II) que representa as amostras com valores mais elevados de Hg próximo a ETE-N. Nota-se ainda que tanto as amostras C1 e Ban quanto as amostras coletadas nas margens não formaram grupos característicos.

Fator de enriquecimento (FE)

Utilizando os valores do *background* obtidos por Moreira & Boaventura (2003), determinou-se o FE para os elementos Al, V, Hg e Zn normalizados com os sólidos voláteis e o Ba normalizado com a fração silte, pois esses metais apresentaram correlações de *Pearson* significativas com essas variáveis.

De acordo com a Tabela 5 verifica-se o enriquecimento do Al (FE=3) em D2 e Ban proveniente da geologia local. O enriquecimento (FE³ 5), do Ba e Zn em A1, A2, A6, E3 e E6, e do Hg em E6, os quais são de origem antrópica provenientes de área agrícola como Ribeirão do Torto para o Ba, e dos efluentes das ETE_s para os demais metais. O enriquecimento em C1 de V e Zn (FE=3 e FE=4, respectivamente) está associado à presença da laterita gibbsítica, a qual concentra metais. Além disso, verificou-se um enriquecimento dos elementos Zn, Ba, V e Al no braço do Riacho Fundo conforme relatado por Moreira & Boaventura (2003). No entanto, as amostra mais enriquecidas foram: Ban (FE=4), C2 (FE=5) e T (FE = 7) para o elemento Ba, e em A1, A2 e C1 (FE=4) e E5 (FE=5) para o elemento Zn.

Índice de geoacumulação (I_{geo})

Através do índice de geoacumulação pode-se inferir o grau de poluição de metais nos sedimentos. De acordo com os resultados da Tabela 6 os sedimentos do Lago Paranoá e tributários encontram-se, no geral, não poluídos a moderadamente poluídos (I_{geo} £ 2) para a maioria dos metais analisados. No entanto, verificou-se a ocorrência de amostras moderadamente a fortemente poluídas (I_{geo} > 2) para o Zn (A1, A2, C1, E3, E5, E6) e Hg (E6 e E7), ambos os metais provenientes dos efluentes das ETE_s, Ba (B5) proveniente de produtos agrícolas. Além disso, a concentração de Cr em C1 é devido a presença da laterita gibbsítica.

Tabela 5: Fatores de enriquecimentos nos sedimentos da Bacia do Lago Paranoá.

Amostra	Fator de Enriquecimento				
	Ba	AL	V	Zn	Hg
A1	0	1	2	4	2
A2	0	2	2	4	2
A3	0	1	1	2	1
A4	1	2	2	2	1
A5	0	1	1	2	1
A6	1	2	2	3	1
B1	1	2	2	1	1
B2	1	1	1	1	1
B3	2	2	2	2	1
B4	1	1	1	2	1
B5	1	0	2	2	1
C1	1	2	3	4	0
C2	5	1	1	2	1
C3	0	1	1	2	1
C4	1	1	1	1	1
C5	0	1	1	1	1
C6	0	2	2	2	1
C7	0	1	2	2	1
C8	1	1	1	2	1
C9	0	1	1	2	1
C10	1	2	2	2	1
C11	0	2	2	2	1
C12	0	1	1	1	0
C13	1	1	1	1	1
C14	0	1	1	2	1
C15	1	1	1	2	1
C16	1	2	2	1	1
D1	1	2	1	2	1
D2	2	3	2	2	0
D3	1	1	1	1	1
D4	1	1	1	1	1
D5	1	2	2	2	0
D6	1	2	2	2	1
D7	0	1	2	2	0
E1	0	1	1	2	1
E2	0	1	1	2	2
E3	1	2	2	3	1
E4	1	1	1	1	1
E5	1	2	2	5	1
E6	0	2	1	3	3
E7	0	1	1	2	2
T	7	2	1	1	1
Ban	4	3	2	2	1
Ga	1	1	1	1	1
RF1	2	1	1	1	1
RF2	2	1	1	1	1
RF3	2	1	1	1	1
RF4	2	1	1	1	0
Gu	1	2	1	1	1
VP1	1	1	1	1	1
VP2	1	1	1	0	1
V	1	2	2	1	1
Ar	1	1	1	1	1
PJ	2	1	1	1	2

Tabela 6: Classes do Índice de Geoacumulação nos sedimentos da Bacia do Lago Paranoá.

Amostra	Índice de Geoacumulação				
	0	1	2	3	4 5
A1		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba	Hg		Zn
A2		Ca, Al, V, Cu, Ba	Sr, Cr	Zn	
A3	Cu, Ba	Ca, Al, Sr, V, Cr, Hg	Zn		
A4	Cu	Ca, Al, V, Cr, Zn, Hg	Sr, Ba		
A5	Cu	Ca, Al, Sr, Cr, Ba, Hg	V, Zn		
A6	Cu	Ca, Al, V, Hg	Sr, Cr, Ba, Zn		
B1	Cu	Ca, Sr, V, Cr, Ba, Zn, Hg	Al		
B2	Cu	Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Zn, Hg	Ba		
B3	Hg	Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn			
B4	Cu	Ca, Al, Sr, V, Cr, Zn, Hg	Ba		
B5	Al	Ca, Cu, Hg	Zn, Cr, V, Sr	Ba	
C1	Cu, Hg	Ca, Sr, Ba	Al, V	Zn	Cr
C2	Ca, Sr, Ba	Al, V, Cu, Cr, Zn, Hg			
C3	Hg	Ca, Sr, Cu, Cr, Ba	Al, V, Zn		
C4	Ca	Sr, V, Cu, Cr, Zn, Hg	Al, Ba		
C5	Ca	Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Hg	Zn		
C6	Ca	Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Hg	Zn		
C7	Ca	Al, Sr, Cu, Cr, Ba, Hg	V, Zn		
C8		Ca, Al, V, Sr, Cu, Cr, Hg	Sr, Ba, Zn		
C9	Ca	Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn, Hg			
C10		Ca, Sr, Cu, Hg	Al, V, Cr, Ba, Zn		
C11		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn, Hg			
C12	Ca, Al, Cu, Cr, Ba, Hg	Sr, V, Zn			
C13	Ca	Cu, Cr, Hg	Al, Sr, V, Ba, Zn		
C14	Ca	Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Hg	Zn		
C15	Ca	Al, Sr, V, Cu, Cr, Hg	Ba, Zn		
C16	Ca	Al, V, Cu, Cr, Hg	Sr, Ba, Zn		
D1	Ca, Cu, Zn, Hg	Al, Sr, V, Cr, Ba			
D2		Ca, Al, V, Cu, Cr, Zn, Hg	Sr, Ba		
D3	Cu, Hg	Ca, Al, V, Cr, Zn, Hg	Sr, Ba		
D4		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn, Hg			
D5	Ca, Cu, Hg	Al, Sr, V, Cr, Zn	Ba		
D6	Cu, Hg	Ca, Al, V, Cr, Zn	Sr, Ba		
D7	Ca, Cu, Hg	Al, V, Cr, Ba, Zn	Sr		
E1	Ba	Ca, Sr, Cu, Cr, Hg	Al, V, Zn		
E2		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Hg	Zn		
E3		Ca, Sr, Cu, Hg	Al, V, Cr, Ba	Zn	
E4		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr	Ba, Zn, Hg		
E5		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Hg		Zn	
E6		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba		Zn, Hg	
E7		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn		Hg	
T	Hg	Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn			
Ban		Ca, Al, Sr, V, Cr, Ba, Zn, Hg		Cu	
Ga	Al, V, Cr, Hg	Ca, Sr, Cu, Ba, Zn			
RF1	V, Cu, Zn, Hg	Ca, Al, Sr, Cr, Ba			
RF2	Cu, Zn, Hg	Ca, Al, Sr, V, Cr, Ba			
RF3	Cu, Zn, Hg	Ca, Al, Sr, V, Cr, Ba			
RF4	Cu, Zn, Hg	Ca, Al, Sr, V, Cr, Ba			
Gu	Cu, Zn	Ca, Al, Sr, V, Cr, Hg	Ba		
VP1	Zn, Hg	Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba			
VP2	Ca, Cu, Zn	Al, Sr, V, Cr, Ba, Hg			
V	Ca, Cu, Zn, Hg	Al, Sr, V, Cr, Ba			
Ar	Ca, V, Cu, Zn, Hg	Al, Sr, Cr, Ba			
Pj		Ca, Al, Sr, V, Cu, Cr, Ba, Zn, Hg			

As amostras dos tributários, em geral, apresentaram índices menores (0-1), justificando a hidrodinâmica de maior energia que dificulta a sedimentação de partículas finas, matéria orgânica e conseqüentemente dos metais.

CONCLUSÕES

De acordo com a mineralogia verificou-se a proveniência tanto dos minerais quanto de alguns dos metais estudados. A ocorrência da gibbsita em algumas amostras indicou uma importante contribuição do solo. Já a presença da caolinita indicou importante contribuição tanto das ardósias quanto do solo, trazido pelos tributários, ou resultante do retrabalhamento dos materiais das margens e a illita ocorreu principalmente na fração fina nos ribeirões Bananal (E) e Riacho Fundo (A), sendo proveniente das ardósias constituídas essencialmente por illita e caolinita.

Através da análise de principais componentes observou-se o agrupamento das amostras coletadas na parte central do lago em diferentes áreas, pois as mesmas apresentaram composição semelhante de Fe, Al, V, Zn, Mn, MO e SV. No entanto, nota-se a formação de um grupo específico quando se considera o Hg. Esse grupo representa as amostras próximas a ETE-N (E4, E6 e E7), as quais apresentaram valores significativos para esse metal, indicando uma contribuição proveniente dos efluentes das ETE_s. Nota-se ainda que tanto as amostras C1 e Ban quanto as amostras coletadas nas margens não formaram grupos característicos.

De acordo com os resultados e tratamentos estatísticos, os elementos Sr, Fe, Al, Ba, V, Cr e Mg estão associados principalmente à geologia e são provenientes dos processos de erosão e/ou intemperismo, sobretudo da ardósia que constitui a Unidade principal do Grupo Paranoá na área geográfica do lago. No entanto, em alguns pontos existem contribuições antrópicas como, por exemplo, para o Fe utilizado em material de construção, o Al empregado no tratamento de esgoto, o Cr presente em ligas metálicas, o V como componente dos derivados do petróleo e o Ba proveniente de inseticidas.

Os demais elementos estão relacionados, principalmente, a fontes antrópicas. O Ca é utilizado na correção do solo (calagem) e material de construção (cimento, brita); o Mn e Cu estão relacionados às práticas agrícolas; o Hg e Zn estão associados aos efluentes de esgoto.

A correlação de Pearson do Fe e Al com os demais metais indica a capacidade de adsorção desses metais. Essa adsorção provavelmente ocorre sob a forma de oxihidróxido, os quais estão presentes nos minerais de Fe e Al.

Em 7 pontos (17%) sobre os 41 estudados no lago, os elementos Cr, Zn, Ba, Hg e Cu apresentaram maior Índice de Geoacumulação (>2) caracterizando amostras moderadamente poluídas em comparação com as fontes naturais e em dois pontos observaram-se amostras fortemente poluídas em comparação com as fontes naturais.

Portanto, verificou-se que as áreas menos impactadas, no geral, foram os braços B e D. No entanto, as áreas de monitoramento dos metais nos sedimentos estão voltadas para os braços onde existe a ETE-N, próximos aos pontos E3, E5, E6, E7 e ETE-S próximos aos pontos A1 e A2, bem como a área central do lago em C1.

Estudo mais detalhado do Hg para verificar as diferentes associações com a matéria orgânica no lago e desta forma estudar sua disponibilidade para o ecossistema aquático é recomendável, bem como o estudo anual da qualidade dos sedimentos de fundo do Lago Paranoá, especialmente na parte central onde se depositam preferencialmente as partículas finas, para detalhar as transferências de materiais e metais das margens para o lago, levando em conta a presença ou ausência de mata junto às margens.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão de bolsas, a CAESB de Brasília - DF pelo auxílio nas coletas das amostras e a

Ricardo Cosme Arraes Moreira pela execução do mapa de localização desse artigo. A FINATEC pelo suporte para aquisição de materiais. Os laboratórios de Raios-X do IG-

UnB, Química Analítica Ambiental-IQ-UnB e o Departamento de Engenharia Civil pelas análises granulométricas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alves, E.S.D.B. (1987) Desenvolvimento da metodologia de preparação de amostras para análise difratométrica de argilominerais no Centro de Pesquisa da Petrobrás. B. Geoci: PETROBRÁS, Rio de Janeiro, 1(2):157-175.
- AUCOIN, J.; BLANCHARD, R.; BILLIOT, C.; PATRIAGE, C.; SCHULTZ, D.; MANDHARE, K.; BECK, M.J.; BECK, J.N. (1999). Trace Metals in Fish and Sediments from Lake Boeuf, Southeastern Louisiana. *Microchemical Journal*, 62:299-307.
- BOAVENTURA, G.R. (1991) Performance do espectrômetro de emissão com plasma (ICP), Spectroflame FVM03, para determinação de 20 elementos químicos nas amostras de referência geoquímica DNC-1, W-2, UNB-B1 e UNB-G1. *In: Congr. Bras. Geoq., São Paulo, SBGq., Anais 2:423-426.*
- BOAVENTURA, G.R.; BRITO, V.E.B.; BISPO, R.S. (1998). Caracterização Geoquímica de Águas da Bacia do Rio São Bartolomeu – DF. *REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto*, 51(3): 57-61.
- BURNETT, J.A.B.; MATTOS, S.P.; AZZOLIN, N.M.P. (2001) Intervenções da Companhia de Saneamento *In Olhares sobre o Lago Paranoá, Brasília*, 1ª edição SEMARH p. 199-211.
- CAMPOS, J.E.G. & FREITAS-SILVA, F.H. (1998) Geologia do Distrito Federal. *In: IEMA/SEMATEC/UnB. Inventário Hidrogeológico e dos Recursos Hídricos Superficiais do Distrito Federal, parte I, p. 86.*
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; BOAVENTURA, G.R.; MARTINS, E.S.; PEREIRA, F.J.; BRITO, V.E.B.; BISPO, R.S. (1998). Caracterização por Análise de Grupos de Assinaturas Geoquímicas Naturais de Águas Superficiais da Bacia do Taquara - Distrito Federal. *Revista da Escola de Minas, Ouro Preto*, 51(4):47-50.
- CARVALHO JÚNIOR, O.A.; BOAVENTURA, G.R.; MARTINS, E.S.; PEREIRA, F.J.; BRITO, V.E.B., BISPO, R.S. (1998) Caracterização de Elementos-Traço em Águas Superficiais Conforme o Uso da Terra por meio da Análise de Principais Componentes. Estudo de Caso: Ribeirão do Gama - Distrito Federal. *In: Congr. Bras. Geoq., SBGq., Anais p. 57-60.*
- CODEPLAN (1994) Mapa do Distrito Federal e Mapa das Unidades Hidrográficas do DF. Companhia de Desenvolvimento e Planejamento, Brasília, DF.
- DO CARMO, M.S.; BOAVENTURA G.R.; ANGÉLICA, R.S. (2003) Estudo Geoquímico de Sedimentos de Corrente da Bacia Hidrográfica do Rio Descoberto (BHRD), Brasília/DF. *Geochim. Brasil.* 17(2):106-120.
- EMBRAPA (1978) Levantamento de reconhecimento dos solos do Distrito Federal, Boletim Técnico, nº 53, SNLCS, Rio de Janeiro, p. 455.
- EMBRAPA (1997) Manual de métodos de análise de solo. 2ª edição, Rio de Janeiro, p. 27-34, 85-87.
- EMBRAPA (1999) Variabilidade Mineralógica de Latossolos na Bacia do Rio ardim, DF. Brasília, ISSN 1518-0417, Boletim 2, p. 1-24.
- ESTEVES, F.A. (1988) *In: Fundamentos de Limnologia*, Editora Interciências/FINEP, Rio de Janeiro-RJ, p. 276-306.
- FARIA, A. (1997) Mapas geológico do Distrito Federal. Brasília, DNP/UnB.

- FERRANTE, J.E.T. ; RANCAN, L. ; NETTO, P.B. (2001). Meio Físico *In* : Fonseca, F. O., 2001, Olhares sobre o Lago Paranoá,, Brasília, 1ª edição SEMARH, p. 45-79.
- GROOT, A.J. ; ZSCHUPPE, K.H. ; SALOMONS, W. (1982). Standardization of methods of analysis for heavy metals in sediments. *Hydrobiologia*, 92:689-695.
- KARADEDE, H. & ÜNLÜ, E. (2000). Concentration of some heavy metals in water, sediment and fish species from the Atatürk Dam Lake (Euprates), Turkey. *Chemosfere*, 41:1371-1376.
- KRALIK, M. (1999). A rapid procedure for environmental sampling and evaluation of polluted sediments. *Appl. Geochem.*, 14:807-816.
- LANDIM, P.M.B. (1998). *Análise Estatística de Dados Geológico*, editora UNESP, São Paulo, 226 p.
- LICHT, O.A.B. (1998). *Prospecção Geoquímica – Princípios, Técnicas e Métodos*, CPRM, Rio de Janeiro-RJ, 236 p.
- LORING, D.H. & RANTALA, R.T.T. (1992). Manual for the geochemical analyses of marine sediments and suspended particular matter. *Earth Science*, vol. 32, p. 235-283.
- MOREIRA, R.C.A. & BOAVENTURA, G.R. (2003). Referência Geoquímica Regional para a Interpretação das Concentrações de Elementos Químicos em Sedimentos na Bacia do Lago Paranoá – DF. *Quim. Nova*, 26(6):812-820.
- MOTTA, N.M.B. (2003) (*no prelo*). Ensaio avançado de campo na argila porosa não sturada do Brasil: Interpretação e aplicação em projetos de fundação. Tese de Doutouramento – Departamento de Engenharia Civil/Geotecnia/UnB.
- MÜLLER, G. (1979) Schwermetalle in den sedimenten des Rheins-Veränderungen seitt 1971. *Umschan*, 79:778-783.
- PINELLI, M.P. (1999). *Geoquímica de Aguas e Sedimentos da Bacia do São Bartolomeu*. Dissertação de Mestrado – Instituto de Geociências, Universidade de Brasília.
- RODRIGUES, M.L.K. (1997) *Diagnóstico da Poluição por Elementos-Traço no Sedimento da Bacia Hidrográfica do Rio Caí (RS)*. Dissertação de Mestrado em Ecologia da UFRS, Porto Alegre.
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAINT-AUBIN, A.; TRAN, S.; RHÉAULT, I.; FARELLA, N.; DE JESUS DA SILVA, E.; DEZENCOURT, J.; SOUSA PASSOS, C.J.; SANTOS SOARES, G.; GUIMARÃES, J.R.D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. (1998). The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará state, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223:1-24.
- RUBIO, B.; NOMBRELA, M.A.; VILAS, F. (2000). Geochemistry of Major and Trace Elements in Sediments of the Ria de Vigo (NW Spain): Assessment of Metal Pollution. *Marine Pollut. Bulletin*, 40(11): 968-980.
- SANTOS, A.D. (2003). *Estudo da distribuição de metais em sedimentos do Lago Descoberto-DF*. Dissertação de mestrado – Instituto de Química, Universidade de Brasília.
- SILVA, I.S., ABATE, G., LICHTIG, J., MASINI, J.C. (2002). Heavy metal distribution in recent sediments of the Tietê – Pinheiros river system in São Paulo State, Brazil. *Appl. Geochem.*, 17: 105-116.
- VAZQUEZ, G.F., ENCISO, G, MORALES, J.W. (1999). Metal Ions in Water and Sediments of the Pom-Atasta Lagoon, Mexico. *Environment International*, 25(5): 599-604.

(Footnotes)

To whom the correspondence should be sent: dutra@lmtg.obs-mip.fr