

Análise Geoquímica dos Sedimentos de Fundo do Arroio do Salso, Porto Alegre - RS - Brasil

MARIA CRISTINA CERVEIRA SOARES,¹ ANA MARIA PIMENTEL MIZUSAKI,¹ TERESINHA GUERRA²
& MARIA LÍDIA VIGNOL¹

¹ Instituto de Geociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Caixa Postal 15001
CEP 91509-900, Porto Alegre, RS

² Instituto de Biociências Universidade Federal do Rio Grande do Sul, CEP 91501-970 Porto Alegre, RS

(Recebido em 10/03. Aceito para publicação em 04/04)

Abstract - This paper presents the results of a study performed on bedload samples from the Salso Creek in the Porto Alegre City (Rio Grande do Sul State) rural area where agricultural and pastoral activities are carried out within urban areas. Sediment sampling took place on the 16th September 2001 (winter) and 21st January 2002 (summer), at five sites along the Salso Creek. The Salso Creek bed load changes from granules and pebbles (upstream reaches), through coarse- to medium-grained sand (mid reaches) to fine-to very fine-grained sand in the Salso Creek mouth region. Organic matter content increases throughout the summer low discharge due to the accumulation of the suspended load on the creek bed surface. Grains larger than 0.062 mm feature the following estimated mineralogical composition: feldspar (55-50%), quartz (30-40%), opaque (5-10%) and accessory (5-10%) minerals. Among the fine-grained sediments (< 0.062 mm) kaolinite dominates being followed by a minor amount of muscovite/illite as well as quartz, feldspar and smectite traces. The chemical composition of the fine-grained sediments reveals that, among the major (Al, Fe, Mn, Ca, Mg, Na and K) and trace (Cr, Cu, Ni, Pb and Zn) analyzed elements, the Al content is high, probably a result of the kaolinite-rich $(Al_4(Si_4O_{10})(OH)_8)$ composition of the fine-grained fraction. Geo-Accumulation Index calculation shows no significant accumulation of any of the analyzed elements within the fine-grained fraction, hence indicating slightly to moderately polluted sediments. On the other hand Contamination Factor computation for the sediments fine-grained fraction pointed out a Cu, Ni and Zn enrichment, indicating considerable to high contamination, especially for those places directly under domestic sewerage influence. These elements are probably being concentrated in the fine-grained fraction of the bed load.

Keywords - bed load, major elements, trace elements, geochemistry.

INTRODUÇÃO

Os sedimentos são carreadores e fontes potenciais de contaminantes nos sistemas aquáticos (Murray *et al.*, 1999). Portanto, a análise de poluentes em sedimentos é uma ferramenta muito importante para o estudo da poluição de origem antropogênica da água (Senten, 1989). Alguns destes poluentes podem ser adsorvidos pelo material em suspensão ou pelas partículas de granulometria mais fina associadas aos sedimentos de fundo (Förstner, 1979).

Um dos meios para se avaliar o grau de impacto por *input* antropogênico ou natural em uma área é a determinação da concentração de elementos químicos, principalmente metais pesados, nos sedimentos (Santschi *et al.*, 1984; Roy & Crawford, 1984; Dominik *et al.*, 1984; Armannsson *et al.*,

1985). Como os sedimentos são produtos de processos de degradação física e química em grande escala, é de extrema necessidade obter-se o máximo de informações sobre sua origem, suas características mineralógicas e físico-químicas, bem como os fatores ambientais que controlam os processos de intemperismo, transporte e deposição (Prohic & Juracic, 1989). Portanto, a simples realização de análises químicas de sedimentos, sem levar em conta a origem e composição química da rocha fonte, pode levar a uma superestimação da contribuição antropogênica de um metal em particular (Whitehead *et al.*, 1986).

Förstner & Salomons (1980), Förstner & Wittman (1981) e Ratha & Sahu (1993) sugerem que a análise de metais pesados seja obtida nas frações granulométricas mais finas dos sedimentos. Isto porque observa-se uma maior afinidade dos

metais com estas frações e, conseqüentemente, constituem-se em bons indicadores do grau de poluição dos sedimentos.

Este trabalho tem por objetivo realizar um estudo geoquímico dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso, localizado em Porto Alegre (RS), através de comparações com o *background* da área de estudo. A bacia hidrográfica do Arroio do Salso (Fig. 1) abrange uma área de aproximadamente 92,94 km² no município de Porto Alegre. O arroio tem um comprimento de 16.774 metros, desembocando no Lago Guaíba, com fluxo de norte para sudoeste-sul. A densidade populacional da área de abrangência desta bacia é de 626 hab/km² (Menegat *et al.*, 1998).

De acordo com as características hidrológicas e morfológicas, o curso do Arroio do Salso pode ser dividido em três segmentos principais (Fig.1):

- **Curso Superior:** caracterizado por áreas declivosas a muito declivosas, localizadas nas regiões de nordeste a sudeste da bacia composta pelos

morros, com predomínio de declividades maiores do que 30% e algumas incidências no intervalo de 15 a 30%.

- **Curso Médio:** corresponde às áreas mais centrais da bacia, de relevo suave ondulado, com predomínio de declividades entre 0 a 15% e, com menor incidência, de 15 a 30%.

- **Curso Inferior:** corresponde a área oeste da bacia, na região da foz, com relevo plano a suave ondulado e predomínio de declividades inferiores a 6%.

O clima da região é classificado, segundo Köppen, como sendo subtropical úmido (Cfa) por registrar valores de temperatura média superiores a 22°C no mês mais quente (janeiro) e apresentar chuvas bem distribuídas ao longo do ano. A temperatura média anual é de 24,2°C, com umidade relativa anual de 79%. A taxa de precipitação média anual é em torno de 1400 mm, com mínimo mensal de 72 mm nos meses de novembro e dezembro e máximo de 173 mm em junho (Menegat *et al.*, 1998).

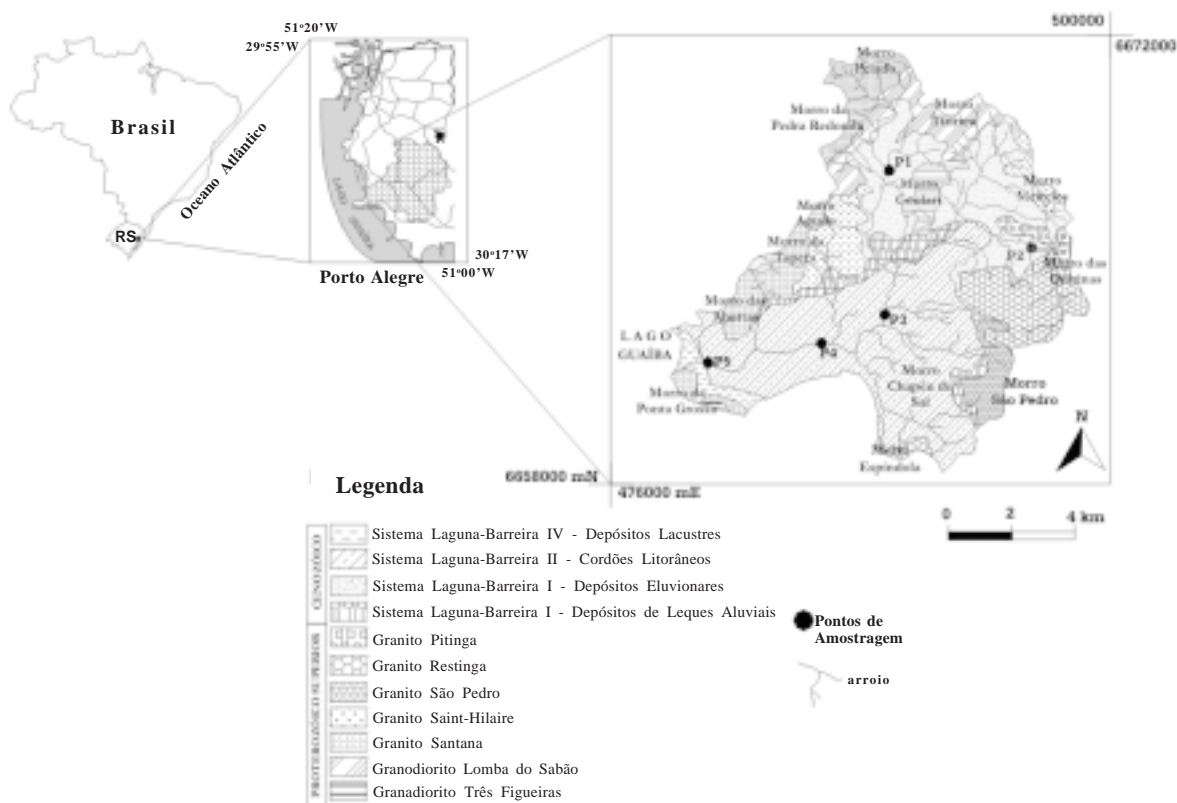


Figura 1 - Mapa geológico e pontos de amostragem de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre – RS (modif. Menegat *et al.*, 1998).

Neste trabalho adotou-se a denominação das unidades geológicas conforme proposição de Menegat *et al.*(1998). A bacia hidrográfica do Arroio do Salso é composta por rochas graníticas a granodioríticas e sistemas deposicionais do tipo laguna-barreira (Fig. 1). O embasamento do município de Porto Alegre na área da bacia hidrográfica do Arroio do Salso é constituído predominantemente pelos Granodioritos Três Figueiras e Lomba do Sábão, e pelos Granitos Santana, Saint Hilaire, São Pedro, Restinga e Pitinga. Oliveira (2001) caracterizou, do ponto de vista geoquímico, os granitos supracitados, através da determinação dos teores dos elementos maiores e traço. Considerando que os dados geoquímicos são importantes e relevantes na estimativa do *background* dos sedimentos de fundo da calha do arroio em estudo, utilizou-se os teores médios dos elementos presentes nestes granitos, como apresentado na tabela 1.

Tabela 1 - Dados geoquímicos (valores médios, mínimos e máximos) para o conjunto dos Granitos Santana, Saint Hilaire, São Pedro, Restinga e Pitinga e do embasamento do município de Porto Alegre (modif. Oliveira, 2001).

Parâmetros e Unidades		Md	Mín.	Máx.
Al ₂ O ₃	%	14,27	13,00	16,44
FeO _t	%	2,32	1,06	4,18
MnO	%	0,05	0,01	0,08
MgO	%	0,37	0,10	1,48
CaO	%	1,56	0,51	3,38
Na ₂ O	%	3,80	2,84	5,09
K ₂ O	%	4,63	3,47	6,53
Cr	ppm	34,56	2,50	65,00
Cu	ppm	5,25	3,00	17,00
Ni	ppm	3,47	1,00	25,00
Pb	ppm	25,07	10,00	48,00
Zn	ppm	46,81	12,00	85,00

MATERIAIS E MÉTODOS

Cinco pontos foram selecionados para a coleta de amostras visando a caracterização dos sedimentos ao longo do curso do Arroio do Salso (Fig.1). Estas coletas foram realizadas em duas eta-

pas: no dia 16 de setembro de 2001 representando o período estacional de inverno, e no dia 21 de janeiro de 2002 representando o verão.

A coleta da camada superficial dos sedimentos de fundo, para cada ponto de amostragem, foi realizada com auxílio de draga e pá de plástico, nas margens e no centro da seção transversal do leito do arroio. As amostras de sedimento foram armazenadas em frascos de boca larga de polietileno de 1000 mL, preservadas em gelo, até o momento da preparação para a análise.

Para determinação de elementos traço e elementos maiores, as amostras de sedimento foram preparadas no Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS, e posteriormente analisadas na Central de Análises do Instituto de Química da UFRGS.

Förstner (1989) recomenda, como método para redução do efeito do tamanho dos grãos, a peneiração a úmido para obtenção da fração silte/argila (FF<0,062 mm), dentre vários outros existentes, citando certas vantagens: (1) os elementos traço estão associados principalmente às partículas silte e argila; (2) esta fração é a que mais se assemelha à granulometria do material carregado em suspensão, correspondente à forma mais importante de transporte para os sedimentos no ambiente aquático; (3) a peneiração não altera as concentrações dos metais por remobilização, especialmente quando é empregada água do mesmo sistema.

O procedimento de preparo das amostras de sedimento do Arroio do Salso para análises químicas seguiu-se de peneiração a úmido, secagem em estufa a aproximadamente 40°C e desagregação das partículas para homogeneização da amostra.

A concentração de metais totais no sedimento corresponde aos metais pesados presentes na solução resultante da digestão ácida do material com a mistura HNO₃-HF-HCl concentrados, segundo metodologia aplicada pelo Laboratório de Geologia Isotópica do Instituto de Geociências da UFRGS (modif. USEPA, 1996). A determinação dos elementos traço (Cu, Pb, Ni, Cr e Zn) e elementos maiores (Al, Ca, Fe, Mg, Mn, K e Na) foi obtida através de um espectrômetro de emissão por plasma (ICP/OES), da Central de Análises do Instituto de Química da UFRGS.

A caracterização granulométrica do sedimento foi realizada no Laboratório do CECO – Centro de Estudos de Geologia Costeira e Oceânica, do Instituto de Geociências da UFRGS. A técnica utilizada consiste na separação das principais classes

texturais dos sedimentos grossos e finos. Para os sedimentos grossos ($F > 0,062$ mm), empregou-se um arranjo de peneiras segundo abertura de Wentworth (1922), em meio-intervalos de ϕ (ϕ). Para os sedimentos de granulometria fina ($FF < 0,062$ mm), empregou-se o método de pipetagem baseado na lei de sedimentação de Stokes. A individualização do percentual de silte e argila foi adotada apenas nos casos onde a fração de finos foi superior a 5% do peso da amostra total.

A matéria orgânica desempenha um importante papel no meio aquático, através da formação de complexos estáveis com os elementos metálicos (Agemian & Chau, 1976; *apud* Rodrigues, 1997). Sob condições oxidantes, a matéria orgânica presente nos sedimentos pode ser degradada, levando à liberação de traços metálicos solúveis (Tessier *et al.*, 1979). A determinação do teor de matéria orgânica, na fração fina das amostras de sedimento, foi realizada pela técnica de gravimetria. Alíquotas de aproximadamente 0,5 g de amostra, pesadas em balança analítica com quatro casas decimais, em cadinhos de porcelana previamente tarados, foram calcinadas em mufla a uma temperatura de 550°C, durante 4 horas. Após a queima, os cadinhos são resfriados em dessecador e novamente pesados. O teor de matéria orgânica é a relação entre a perda de massa, decorrente desta queima, e a massa inicial da amostra (Allen, 1989).

Parte da fração fina de sedimento superficial ($FF < 0,062$ mm), individualizada através de peneiração a úmido, foi seca em estufa, desagregada e identificada por intermédio de análises por difratometria de raios X (DRX) no Laboratório de DRX do Centro de Estudos em Petrologia e Geoquímica (UFRGS). O difratômetro utilizado para as análises é Diffraktometer SIEMENS D 5000, com ânodo de cobre, filtro de níquel, fendas de 1°, 40 mA de corrente e 30 kV de tensão do feixe. A preparação das amostras baseou-se nos procedimentos descritos por Alves (1987 *apud* Mizusaki, 1992).

O nível de base natural (NBN) ou *background* de um elemento em sedimentos pode ser considerado de diferentes maneiras. Martin & Meybeck (1979) propõem o emprego de valores médios globais enquanto que Taylor & Maclennan (1981) sugerem o emprego da abundância destes elementos na crosta. Neste trabalho optou-se utilizar como nível de base natural os valores médios globais (EPA *apud* Rodrigues, 1997; Turekian & Wedephol, 1961) e valores médios de dados geoquímicos das

rochas do embasamento da região da bacia hidrográfica em estudo obtidos por Oliveira (2001) (Tab. 2).

Tabela 2 - Nível de Base Natural (NBN) dos elementos maiores e traço (em $\mu\text{g/g}$).

NBN	Cr	Cu	Ni	Pb	Zn
Oliveira (2001)	34,56	5,25	3,47	25,07	46,81
EPA <i>apud</i> Rodrigues (1997)	90	39	68	23	120
Turekian & Wedephol (1961)	90	33	52	19	95

Analisando os dados da tabela 2, verifica-se que as concentrações médias dos elementos traço presentes nos granitos da bacia hidrográfica do Arroio do Salso (Oliveira, 2001) são inferiores, com exceção do Pb, aos valores propostos pelos outros autores. A importância do uso do *background* com base nos dados geoquímicos da região está no fato destes reportarem melhor as condições preexistentes nos sedimentos de fundo dos recursos hídricos.

O Fator de Contaminação de Hakanson (1980) é utilizado para estimar a contribuição antrópica dos metais pesados e estabelecer seções ao longo do leito fluvial onde a contaminação do sedimento seja significativa. O FC dos sedimentos é calculado através da razão entre a concentração do elemento no sedimento superficial e a concentração do seu nível de base natural (NBN) ou *background* (Hakanson, 1980; *apud* Hatje, 1996). Essa metodologia permite verificar em que ordem de grandeza o nível natural dos metais foi excedido, indicando o enriquecimento ou, caso contrário, o empobrecimento do elemento no sedimento. A classificação de Hakanson propõe que valores de FC menores que 1 indicam baixa contaminação, valores entre 1 e 3 contaminação moderada, valores entre 3 e 6 contaminação considerável e valores maiores que 6 alta contaminação.

O cálculo do Índice de Geoacumulação de Müller (1979) é uma outra proposta de avaliação da intensidade de contaminação dos sedimentos. Este índice estabelece a relação entre os teores de metais encontrados na região em análise e um valor referencial equivalente à média mundial para metais associados às argilas. É calculado por meio da fór-

mula: $I_{geo} = \log_2 C_n / (1,5 \times C_b)$, onde C_n é a concentração do elemento N na fração fina $FF < 0,062$ mm do sedimento; C_b é a concentração média de *background* geoquímico do elemento e $1,5$ é o fator usado para minimizar variações do *background* causadas por diferenças litológicas. O valor obtido permite classificar os níveis de enriquecimento dos metais em sete extratos, com intensidades progressivas de contaminação. O I_{geo} consiste em sete intervalos distintos, que variam de 0 a 6, e estão relacionados com o grau crescente de contaminação (Tab. 3), onde o valor mais elevado corresponde a um enriquecimento de aproximadamente 100 vezes em relação ao nível de *background*.

Tabela 3 - Índice de geoacumulação (I_{geo}) de metais pesados (modif. Müller, 1979).

Intensidade de poluição	Acúmulo no Sedimento (I_{geo})	Classe I_{geo}
Muito fortemente poluído	> 5	6
Forte a muito fortemente poluído	4 - 5	5
Fortemente poluído	3 - 4	4
Moderado a fortemente poluído	2 - 3	3
Moderadamente poluído	1 - 2	2
Pouco a moderadamente poluído	0 - 1	1
Praticamente não poluído	< 0	0

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os sedimentos de fundo se caracterizam pela granulação grossa (seixos e grânulos) na região a montante do Arroio do Salso (curso superior), areia grossa a média (curso médio) e areia fina a muito fina (região da foz) (Fig. 2). A distribuição granulométrica e o teor de matéria orgânica (MO) dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso são apresentados na tabela 4 e figura 2. A fração fina (FF) é considerada como a soma das frações silte mais argila, onde a granulometria é inferior a 0,062 mm (Wentworth, 1922). A análise da tabela 4 permite observar a variação dos intervalos granulométricos

de montante a jusante do arroio. Deve-se ressaltar que os grãos dos sedimentos analisados não são uniformes, variam de angulosos a sub-arredondados, indicando que são de origem recente, sofreram pouco transporte e estão nas proximidades da rocha fonte. Os dados granulométricos mostram o comportamento esperado para os sedimentos do arroio, ou seja, na nascente são depositadas as frações mais grossas. O material fino, em suspensão, é levado até a foz (P5), quando então se depositam devido à perda de energia do sistema e também ao efeito de remanso provocado pelas águas do Lago Guaíba.

Os teores de matéria orgânica da fração fina dos sedimentos variam de 9,98% a 3,2% no período de inverno a 12,3% a 6,80% no período de verão (Fig.2). Os pontos P3 e P4 apresentam um comportamento diferenciado em relação aos outros, pois observa-se uma inversão nos teores de matéria orgânica. Este aumento do teor de matéria orgânica nos pontos P3 e P4 no verão pode estar associado ao baixo volume e baixa vazão das águas observados neste período, promovendo o acúmulo de material em suspensão na camada superficial dos sedimentos do arroio. A origem desta matéria orgânica inclui fontes naturais como detritos orgânicos, vegetação marginal e fitoplâncton presente nas águas do arroio, além de fontes antropogênicas como os efluentes domésticos. Por outro lado, no inverno, as condições de águas mais altas, com maior vazão e volume, favorecem a mobilização e transporte deste material, provocando até mesmo sua redistribuição como deposição lateral em bancos e na planície de inundação.

A identificação mineralógica das frações maiores que 0,062 mm para os sedimentos do Arroio do Salso foi realizada através de lupa binocular, sendo reconhecida a seguinte associação mineralógica: 55% a 50% de feldspato, 30 a 40% de quartzo, 5 a 10% de opacos e 5 a 10% de acessórios.

As frações finas ($FF < 0,062$ mm) dos sedimentos foram analisadas através da técnica de Difração de Raios-X. Os resultados obtidos (tanto no período de inverno como no de verão) são muito semelhantes. Destaca-se o predomínio relativo de caolinita, secundariamente a presença de muscovita/ilita, traços de quartzo, feldspato e esmectita.

A tabela 5 apresenta a composição química dos elementos analisados para a fração fina ($FF < 0,062$ mm) dos sedimentos do Arroio do Salso.

Dentre os elementos maiores analisados (Fig. 4), todos os teores sofrem uma redução no ponto P4, porém tornando a aumentar em direção a

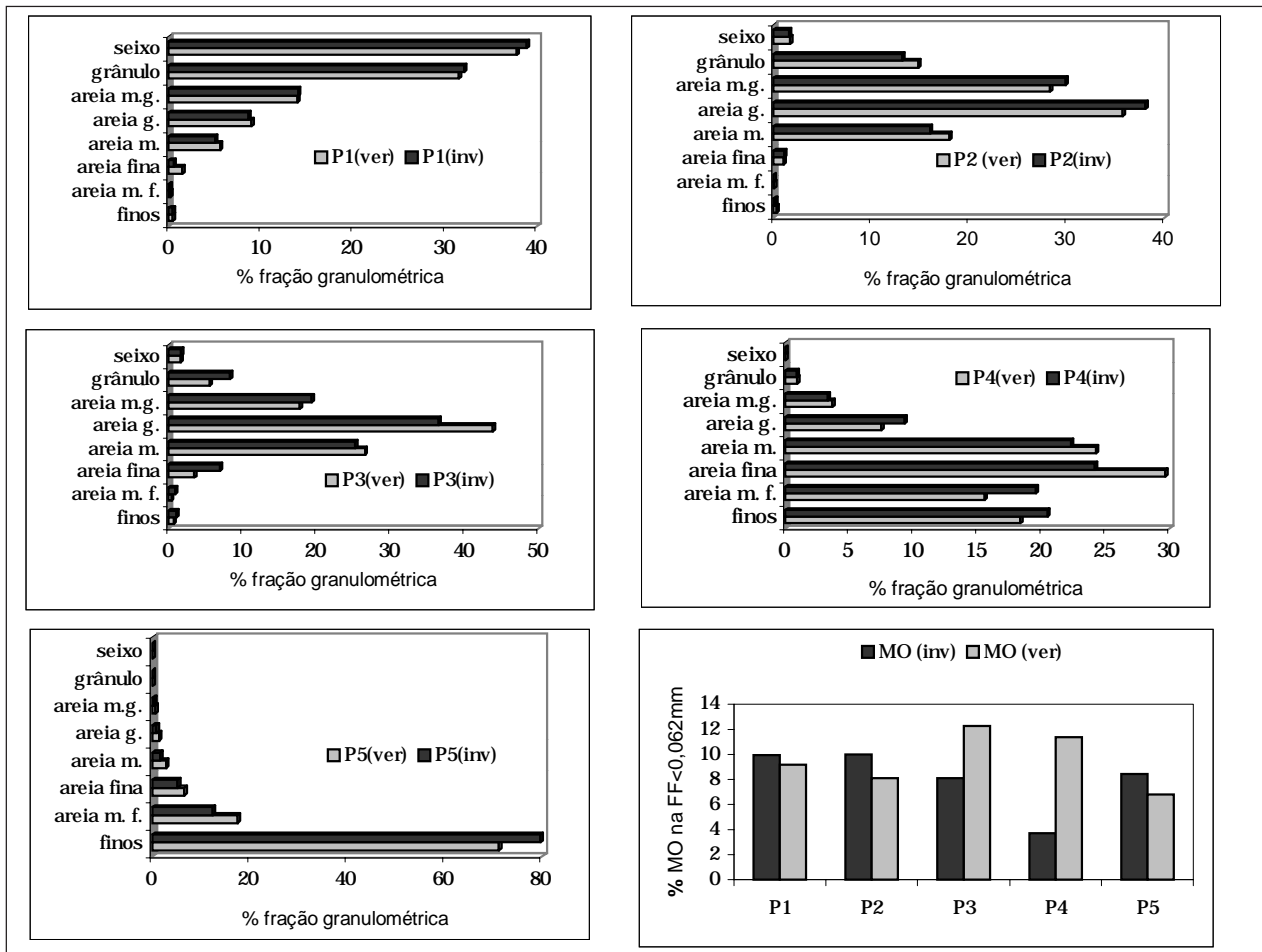


Figura 2 - Distribuição espacial e sazonal da granulometria e do teor de matéria orgânica dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso.

Tabela 4 - Distribuição da granulometria (Wentworth, 1922) e teor de matéria orgânica (%MO) na fração fina FF < 0,062 mm dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso.

Intervalos Granulométricos (mm)	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Seixo: ³ 4	38,91	37,82	1,60	1,70	1,70	1,62	-	-	-	-
Grânulo ³ 2,00	32,11	31,54	13,17	14,84	8,32	5,60	0,89	0,95	-	-
Areia muito grossa: ³ 1,00	14,08	13,96	29,85	28,30	19,30	17,80	3,32	3,67	0,37	0,64
Areia grossa: ³ 0,50	8,68	8,97	38,00	35,74	36,50	43,80	9,32	7,51	0,83	1,33
Areia média: ³ 0,25	5,03	5,60	16,00	17,96	25,20	26,60	22,30	24,30	1,61	2,81
Areia fina: ³ 0,125	0,56	1,47	1,13	1,05	6,94	3,50	24,20	29,70	5,19	6,58
Areia muito fina: ³ 0,062	0,16	0,17	0,03	0,08	0,90	0,40	19,60	15,60	12,37	17,50
Silte e argila: < 0,062	0,48	0,46	0,22	0,31	1,11	0,72	20,50	18,40	79,65	71,14
M.O. (%) na FF<0,062mm	9,96	9,20	9,98	8,10	8,10	12,3	3,72	11,40	8,42	6,80

INV: inverno; VER: verão

Tabela 5 - Composição química da FF<0,062mm (em µg/g) dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso.

Elementos Maiores e Traço (µg/g)	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Al	199085	180896	194435	169946	159685	134746	127435	83196	169135	143146
Fe	101036	86060	98376	98475	74986	68790	47296	17680	69001	52135
Mn	2991	3014	2184	2134	1215	1139	485	767	1214	1271
Ca	7836	7826	10909	15474	10304	15259	3300	3499	9283	8331
Mg	5862	6293	7906	7904	9396	9590	3097	1969	7868	6175
Na	17561	16816	14331	17786	12841	13201	8073	4870	8155	11746
K	37977	33784	33042	39239	30932	32344	24602	10719	26357	32624
Cr	31,56	29,05	23,43	24,36	47,11	36,75	22,65	14,36	39,19	27,43
Cu	21,58	20,15	22,33	23,34	25,23	60,66	10,67	13,02	37,35	33,59
Ni	10,62	8,82	7,71	6,81	16,68	15,36	4,38	4,29	13,37	7,63
Pb	45,13	28,07	28,41	21,41	40,52	38,41	14,61	25,13	29,72	33,55
Zn	164	141,35	110,81	128,85	116,81	176,35	39,61	61,20	147,31	120,85

foz. De modo geral, os teores de Al são os mais elevados, provavelmente refletindo a composição mineralógica desta fração que é rica em caolinita ($\text{Al}_4(\text{Si}_4\text{O}_{10})(\text{OH})_8$). Os teores de Fe e Mn podem ser associados aos minerais opacos. Os teores de Na, K, Ca e Mg provavelmente refletem a presença dos outros minerais como: feldspato (KAlSi_3O_8); muscovita/ilita ($\text{K}_2\text{Al}_4\text{Si}_6\text{Al}_2\text{O}_{20}(\text{OH})_4$); esmectita ($(\text{Al},\text{Mg})_2\text{Si}_4\text{O}_{10}(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$).

Quanto aos elementos traço, também foi observada uma redução de seus teores no ponto P4 para ambas as estações (Tab. 5; Fig. 4).

O Cr tem suas maiores concentrações ocorrendo no período de inverno, variando de 22,65 a 47,11 µg/g, com o máximo no ponto de amostragem em P3. No período de verão, as concentrações totais de Cr diminuem, variando em torno de 14,36 a 36,75 µg/g, porém o comportamento espacial é o mesmo.

O elemento Cu apresentou variações em suas concentrações entre 10,60 µg/g a 37,35 µg/g, no período de inverno. No período de verão o comportamento é semelhante, com exceção da ocorrência de valores mais altos em P3 (60,66 µg/g).

Semelhante ao Cu, o elemento Ni também apresenta suas maiores concentrações no ponto P3.

Os teores de Ni variam de 4,38 a 16,68 µg/g no inverno e de 4,29 a 15,36 µg/g no verão.

Os valores mais elevados para os teores de Pb ocorreram nos pontos P1 e P3, para o período de inverno e os mais baixos no ponto P4, com variações de 14,61 a 45,13 µg/g. No verão houve uma redução nos teores no curso superior (P1 e P2).

Para finalizar, o elemento Zn, no inverno, apresenta variações em suas concentrações totais de 39,61 a 164 µg/g, sendo os teores máximos registrados nos pontos P1 e P5, e o mínimo no ponto P4. No verão, as concentrações de Zn aumentam para os pontos P2, P3 e P4, variando de 61,20 a 176,35 µg/g.

A tabela 6 apresenta os valores do cálculo do *Fator de Contaminação* (FC) obtidos para os sedimentos do Arroio do Salso. De acordo com estes dados, observa-se que Cr e Pb apresentaram valores de FC que indicam desde baixa a moderada contaminação, alcançando teores máximos dentro destas categorias no ponto de amostragem P3. Níquel e zinco apresentaram valores de FC que indicam moderada a considerável contaminação, sendo esta mais crítica também no ponto P3. Os valores de FC para o Cu indicaram considerável a alta contaminação, onde os pontos de amostragem mais críticos foram P3 e P5.

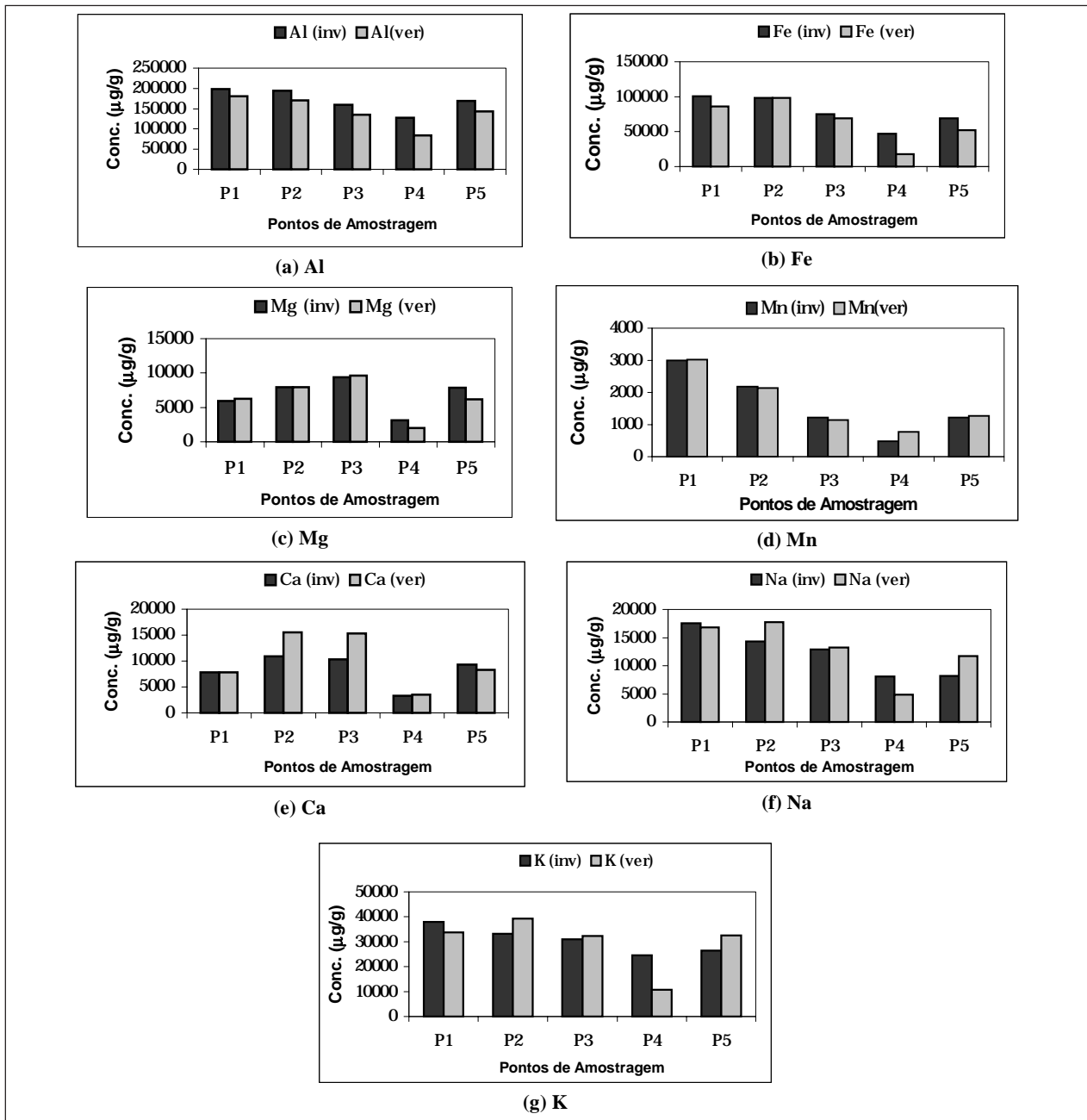


Figura 3 - Distribuição espacial e sazonal das concentrações dos elementos maiores (em $\mu\text{g/g}$) dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso.

O maior enriquecimento em Cu, Ni e Zn foi observado principalmente onde há evidências de lançamento de cargas orgânicas e efluentes domésticos. Estes elementos estão se acumulando na fração fina dos sedimentos de fundo e são indícios de poluição antropogênica.

As fontes de cobre para o meio ambiente incluem efluentes de estações de tratamento de esgotos, uso de compostos de cobre como algicidas aquáticos, escoamento superficial, contaminação da água subterrânea a partir de usos agrícolas como fungicidas e pesticidas no tratamento de solos e

efluentes, e precipitação atmosférica de fontes industriais (CETESB, 2002a). As principais fontes pontuais de Zn e Ni para o meio ambiente incluem a queima de combustíveis fósseis, efluentes industriais e águas residuárias municipais (Callender & Rice, 2000; CETESB, 2002a).

As tabelas 7 e 8 mostram que, ao usar padrões estabelecidos para médias globais de sedimentos, os valores de FC apresentaram resultados inferiores aos valores de FC calculados com o *background* dos dados geoquímicos da região de estudo. Por exemplo, o cálculo de FC utilizando os

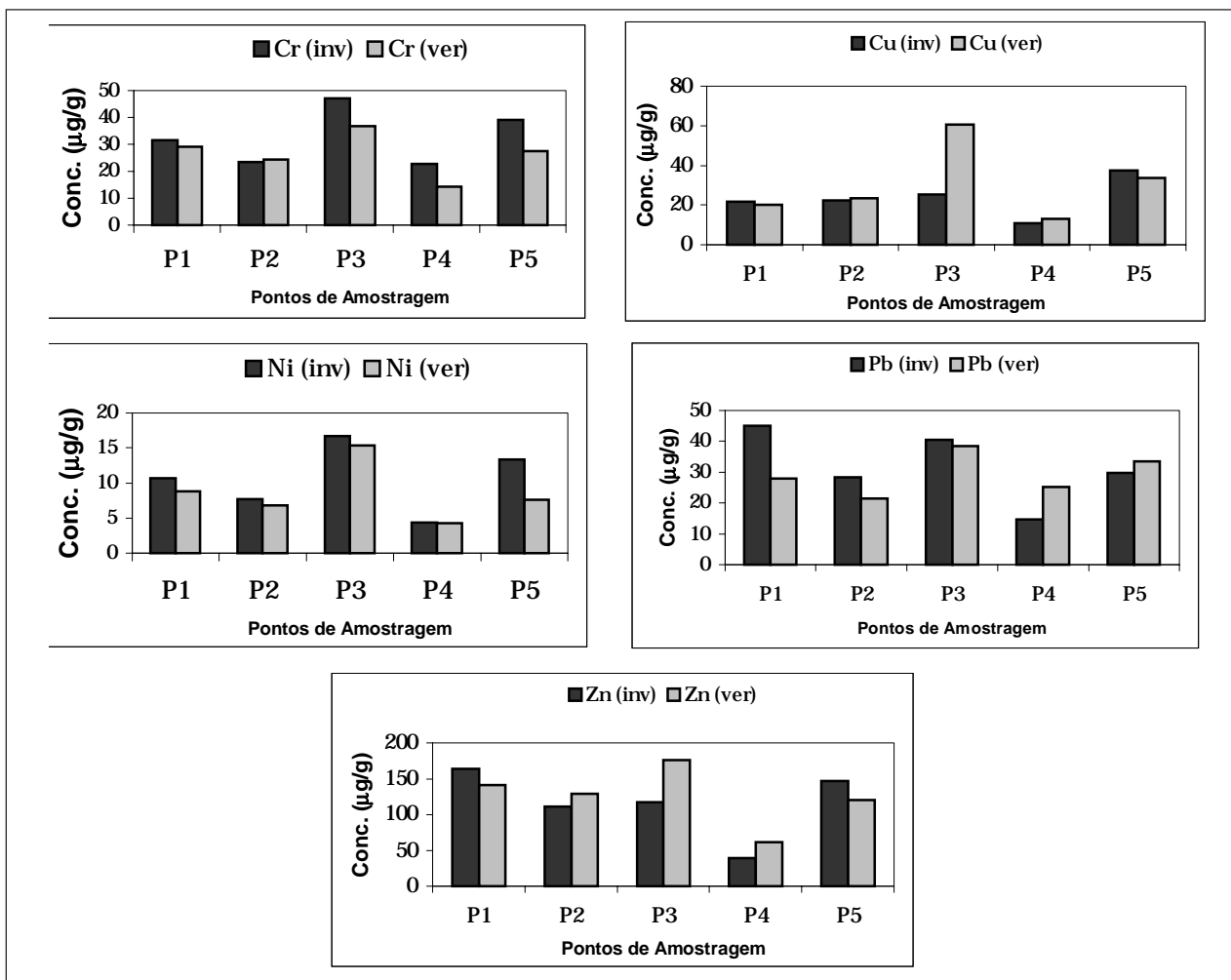


Figura 4 - Distribuição espacial e sazonal das concentrações dos elementos traço (em $\mu\text{g/g}$) dos sedimentos de fundo do Arroio do Salso.

Tabela 6 - Fator de Contaminação (FC) para elementos traço nos sedimentos do Arroio do Salso utilizando como background os granitos aflorantes na área de estudo (Oliveira, 2001).

Elementos	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Cr	0,91	0,84	0,67	0,70	1,36	1,06	0,65	0,41	1,13	0,79
Cu	4,11	3,83	4,25	4,44	4,80	11,55	2,03	2,48	7,11	6,39
Ni	3,06	2,54	2,22	1,96	4,80	4,42	1,25	1,23	3,85	2,19
Pb	1,80	1,11	1,13	0,85	1,61	1,53	0,58	1,00	1,18	1,33
Zn	3,49	3,01	2,36	2,75	2,49	3,76	0,84	1,30	3,14	2,58

valores propostos para o Folhelho Padrão de EPA *apud* Rodrigues (1997) (Tab.7) como *background* revela que todos os elementos apresentam teores de baixa a moderada contaminação, inclusive o Cu. Do mesmo modo, ao utilizar os valores propostos por Turekian & Wedephol (1996) (Tab.8), os valores de FC indicam baixa a moderada contaminação para todos os elementos. Portanto, neste trabalho deu-se preferência para o cálculo a partir dos dados geoquímicos da região, visto que retrata valores mais compatíveis com a realidade.

Cabe salientar que os três tipos de cálculos acusaram algum tipo de contaminação, embora de categorias separadas, para os elementos Cu, Ni e Zn nos sedimentos e estes resultados devem ser levados em conta no manejo dos recursos hídricos da bacia de drenagem em estudo.

A tabela 9 apresenta a estimativa do **Índice de Geoacumulação (Igeo)** dos elementos traço

para os sedimentos de fundo do Arroio do Salso utilizando como nível de base os valores propostos por Oliveira (2001). A título de comparação realizou-se também o cálculo com base nos valores propostos por EPA (*apud* Rodrigues, 1997) (Tab.10).

Observa-se que os intervalos com os resultados do Igeo da tabela 9 (*background* segundo Oliveira, 2001) variam entre 0,07-0,75, enquanto os da tabela 10 (*background* baseado em EPA *apud* Rodrigues, 1997) estão na faixa entre 0,02-0,15. Ou seja, há uma variação de 3 a 5 ordens de grandeza entre os dois tipos de cálculos, o que pode influenciar no diagnóstico final quanto à classe do índice de geoacumulação dos sedimentos. Apesar disso, comparando estes intervalos com os valores propostos na tabela 3, verificou-se que todos os elementos apresentam acumulação nos sedimentos entre 0 (zero) e 1 (um), indicando associação com a Classe Igeo 1, ou seja, pouco a moderadamente poluídos.

Tabela 7 - Fator de Contaminação (FC) para elementos traço nos sedimentos do Arroio do Salso utilizando como background os valores propostos por EPA (*apud* Rodrigues, 1997) (cf. Tab.2).

Elementos	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Cr	0,35	0,32	0,26	0,27	0,52	0,40	0,25	0,15	0,43	0,30
Cu	0,55	0,51	0,57	0,59	0,64	1,55	0,27	0,33	0,95	0,86
Ni	0,15	0,12	0,11	0,10	0,24	0,22	0,06	0,06	0,19	0,11
Pb	1,96	1,22	1,23	0,93	1,76	1,67	0,63	1,09	1,29	1,45
Zn	1,36	1,17	0,92	1,07	0,97	1,46	0,33	0,51	1,22	1,00

Tabela 8 - Fator de Contaminação (FC) para elementos traço nos sedimentos do Arroio do Salso utilizando como background os valores propostos por Turekian & Wedephol (1961) (cf. Tab. 2).

Elementos	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Cr	0,35	0,32	0,26	0,27	0,52	0,40	0,25	0,15	0,43	0,30
Cu	0,65	0,61	0,67	0,70	0,76	1,83	0,32	0,39	1,13	1,01
Ni	0,20	0,16	0,14	0,13	0,32	0,29	0,08	0,08	0,25	0,14
Pb	2,37	1,47	1,49	1,12	2,13	2,02	0,76	1,32	1,56	1,76
Zn	1,72	1,48	1,16	1,35	1,22	1,85	0,41	0,64	1,55	1,27

Tabela 9 - Índice de Geoacumulação dos sedimentos do Arroio do Salso utilizando como background os valores propostos por Oliveira (2001).

Elementos	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Cr	0,09	0,09	0,08	0,09	0,11	0,10	0,09	0,07	0,10	0,09
Cu	0,56	0,55	0,57	0,58	0,59	0,75	0,43	0,47	0,66	0,64
Ni	0,65	0,60	0,57	0,53	0,78	0,75	0,41	0,40	0,72	0,56
Pb	0,15	0,13	0,13	0,12	0,14	0,14	0,10	0,12	0,13	0,13
Zn	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,11	0,07	0,08	0,10	0,10

Tabela 10 - Índice de Geoacumulação dos sedimentos do Arroio do Salso utilizando como background os valores propostos por EPA (apud Rodrigues, 1997).

Elementos	Pontos de Amostragem									
	P1		P2		P3		P4		P5	
	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER	INV	VER
Cr	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03
Cu	0,07	0,07	0,07	0,07	0,07	0,10	0,05	0,06	0,08	0,08
Ni	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,03	0,02	0,02	0,03	0,02
Pb	0,15	0,13	0,13	0,12	0,15	0,15	0,11	0,13	0,14	0,14
Zn	0,04	0,03	0,03	0,03	0,03	0,04	0,02	0,03	0,04	0,03

Apesar de existir variações na proporção de finos entre P1, P2, P3, P4 e P5 (cf. Tab. 4) não foram observadas grandes variações espaciais nos resultados de Igeo. Por exemplo, o ponto P5, que possui 70 a 80% de fração fina ($FF < 0,062\text{mm}$) e 7 a 8% de matéria orgânica presente nesta fração, não apresentou índices de geoacumulação muito superiores aos demais pontos de amostragem.

CONCLUSÕES

A composição mineralógica da fração fina ($FF < 0,062\text{ mm}$) dos sedimentos do Arroio do Salso é composta predominantemente de caolinita, secundariamente muscovita/ilita, e traços de esmectita e quartzo. A composição química reflete a mineralogia dos sedimentos. O cálculo do Índice de Geoacumulação,

visando avaliar a intensidade de contaminação por elementos traço, revelou um baixo acúmulo destes, classificando os sedimentos como pouco poluídos. Porém, aplicando outro indicador de poluição por elementos traço, no caso o cálculo do Fator de Contaminação, os sedimentos apresentaram-se enriquecidos em Cu, Ni e Zn, indicando considerável a alta contaminação, principalmente em regiões de lançamento direto de efluentes domésticos no curso médio do Arroio do Salso.

Finalizando, pode-se concluir que o presente estudo poderá servir como subsídio para futuras investigações geoquímicas e ambientais na região, uma vez que estabeleceu faixas de concentração e relações de referência para vários elementos químicos presentes nos sedimentos de fundo do Arroio do Salso.

Agradecimentos - Os autores agradecem a FAPERGS pelo apoio financeiro para o sustento deste projeto de pesquisa. Os dados constantes neste trabalho foram apresentados como parte da Dissertação de Mestrado do autor sênior (Soares, 2002), o qual também agradece ao CNPq pela concessão da bolsa de Mestrado que o manteve durante sua pesquisa. Agradecem também ao revisor anônimo pelas sugestões que muito enriqueceram este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Allen, S.E. 1989. **Chemical Analysis of Ecological Materials**. 2ª ed. London, Blackwell Scientific Publications. 368 p.
- Armannsson, H.; Burton, J.D. ; Jones, G.B. ; Knap, A.H. 1985. Trace metals and hydrocarbons in sediments from the Dothampton Water Region, with particular reference to the influence of oil refinery effluent. **Marine Environmental Research**, **15**: 31-44.
- Callender, E.; Rice, K.C. 2000. The Urban Environmental Gradient: Anthropogenic Influences on the Spatial and Temporal Distributions of Lead and Zinc in Sediments. **Environmental Science & Technology**, vol.34, nº.2.
- CETESB-Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 2002a. **Qualidade dos Rios e Reservatórios**. São Paulo-SP. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 30 maio 2002.
- CETESB-Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. 2002b. **Glossário Ecológico Ambiental**. São Paulo-SP. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br>. Acesso em: 23 julho 2002.
- Dominik, J.; Mangini, A.; Prosi, F. 1984. Sedimentation rate variations and anthropogenic metal fluxes into Lake Constance sediments. **Environmental Geology**, **5**: 151-157.
- Förstner, U. 1979. **Metal transfer between solid and aqueous phases**. In: Metal pollution in the aquatic environment. (Eds: Förstner, U; Wittmann, G.T.W) Springer-Verlag, Berlin, 488 p.
- Förstner, U; Salomons, W. 1980. Trace metal analysis of polluted sediments, Part I, assessment of sources and intensities. **Environmental Technology** vol. 1,nº11, p. 494 - 505.
- Förstner, U. 1989. **Contaminated Sediments**. Berlin: Springer-Verlag. 157p. (Lecture Notes in Earth Sciences).
- Förstner, U.; Wittmann, G. 1981. **Metal Pollution in the Aquatic Environment**, Springer-Verlag, 2nd revised edn. New York, 486 p.
- Hakanson, L. 1980. An Ecological Risk Index for Aquatic Pollution Control: a sedimentological approach. **Water Research**. **14**: 975 - 1001.
- Hatje, V. 1996. **Contaminação por metais pesados no Rio dos Sinos - RS: uma abordagem dinâmica a partir de balanços de massa**. Dissertação de Mestrado. 100 p. Instituto de Geociências, Universidade Federal Fluminense Niterói, Rio de Janeiro.
- Martin, J.M.; Meybeck, M. 1979. Elemental mass-balance of material carried by major world rivers, **Marine Chemistry**. **7**: 173 - 206.
- Menegat, R.; Porto, M.L.; Carraro, C.C.; Fernandes, L.A.D. 1998. **Atlas Ambiental de Porto Alegre**. Porto Alegre: Editora da Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 228p.
- Mizusaki, A.M.P. 1992. **Comportamento do Rb e do Sr em Sedimentos Recentes - Implicação na Datação Radiométrica de Rochas Sedimentares**. Tese de Doutorado. 140p. Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica. Instituto de Geociências. Universidade de São Paulo.
- Müller, G. 1979. **Schwermetallen in den Sedimenten des Rheins**. Veranderrugen seit, Umschau, **79**: 778-783.
- Murray, K.S.; Cauvet,D.; Lybeer,M.; Thomas, J.C. 1999. Particle Size and Chemical Control of Heavy Metals in Bed Sediment from the Rouge River, Southeast Michigan. **Environmental Science & Technology**, **33**: 987 - 992.
- Oliveira, L.D. 2001. Geologia, Geoquímica e Geocronologia dos Granitóides Pós-Tectônicos à Zona de Cisalhamento Transcorrente de Porto Alegre, Extremo Nordeste do Escudo Sul-Rio-Grandense. Dissertação de Mestrado, 134p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Prohic, E., Juracic, M. 1989. Heavy metals in sediments problems concerning determination of the anthropogenic influence. Study in the Krka River Estuary, eastern Adriatic Coast, Yugoslavia. **Environmental Geology and Water Science**, **13**:145-151.
- Ratha, D.S; Sahu, B.K. 1993. Source and distribution of metals in urban soil of Bombay, India, using multivariate statistical techniques. **Environmental Geology**, **22** : 276 - 85.
- Rodrigues, M.L.K. 1997. **Diagnóstico da Poluição por Elementos-Traço no Sedimento da Bacia Hidrográfica do Rio Caf (RS)**. Dissertação de Mestrado. 100p. Instituto de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Roy, P.S., Crawford. E.A. 1984. Heavy Metals in a contaminated Australian estuary - dispersion and accumulation trend. **Estuarine Coastal Shelf Science**., v.19, p. 341-358.
- Santschi, P.H.; Nixon, S.; Pilson, M.; Hunt, C. 1984. Accumulation of sediments, trace metals (Pb, Cu) and total hydrocarbons in Narragansett Bay, Rhode Island. **Estuarine Coastal Shelf Science**, v.19, p. 427-449.
- Senten, J.R. 1989. **Ocean and Shoreline Management**.12, 463p.
- Soares, M.C.C. 2002. **Avaliação Geoambiental da Bacia Hidrográfica do Arroio do Salso, Porto Alegre - RS**. Dissertação de Mestrado. 100p. Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Rio Grande do Sul.
- Taylor, S.R.; MacLennan, S.M. 1981. **The composition and the evolution of the continental crust: rare earth element evidence from sedimentary rocks**. Royal Society (London), Philosophical Transactions, Series A, vol. 301 (1461): 381-399.
- Tessier, A.; Campbell, P.G.C.; Bisson, M. 1979. Sequential extraction procedure for the speciation of particulate trace metals. **Analytical Chemistry**, **51** (7), 844 - 851.
- Turekian, K.K.; Wedepohl, K.H. 1961. Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. **Geological Society of America Bulletin**, **72**: 175 - 192.
- USEPA - United States Environmental Protection Agency. 1996. **Test Methods for Evaluating Solid Waste**. Volume IA: 3rd Edition. EPA/SW-846. National Technical Information Service. Springfield, Va. Disponível em: <http://www.epa.gov/sw-846/main.htm>. Acesso em: 01Jul2001
- Wentworth, C.K 1922. A scale of grade and class terms for clastic sediments. **Journal of Geology**. **30**: 377-392.
- Whitehead, N.E.; Oregoni, B.; Fukai, R., 1986. Background levels of trace metals in Mediterranean sediments. In: 7TH WORKSHOP Marine Pollution. Mediterranean. I.C.S.E.M./ UNEP, Lucerne 11-13 October, 1984, p. 233-240.