

INCREMENTO DE METAIS PESADOS NA DRENAGEM RECEPTORA DE EFLUENTES DE MINERAÇÃO – MINAS DO CAMAQUÃ, SUL DO BRASIL

Luciano Laybauer

Curso de Pós-Graduação em Geociências – UFRGS - Caixa Postal 15001
91501-970 Porto Alegre, RS
laybauer@cpovo.net

RESUMO

Foi avaliado o incremento das concentrações de metais pesados (Cu, Pb, Zn, Fe e Al) e as variações de pH, condutividade, temperatura e sólidos em suspensão nas águas superficiais das Minas do Camaquã – RS, decorrente do lançamento de efluentes e rejeitos da mineração de cobre no período de 1980 a 1993. Os gradientes espaciais de concentração média são positivos, estatisticamente significativos e as mudanças mais relevantes do ponto de controle (“background”) da área para a região impactada são as seguintes: Cu aumenta sua concentração até 5 vezes, Zn aumenta até 2 vezes, Fe aumenta até 2,5 vezes e o Al aumenta em torno de 3 vezes. O Pb é a única exceção e apresenta concentrações médias baixas e homogêneas ao longo de toda a sub-bacia. O pH, a condutividade e os sólidos em suspensão também aumentam seus valores de forma significativa. A temperatura, entretanto, apresenta uma pequena variação ao longo da drenagem. A atividade mineira causa aumento nos teores naturais de Cu, Fe, Al e Zn, assim como nos valores de pH, condutividade e sólidos em suspensão na água. O impacto desta atividade é evidenciado tanto através do acréscimo significativo das concentrações médias, quanto por altos valores de dispersão na região sob influência da mineração, o que é característico de influência antrópica.

INTRODUÇÃO

A poluição causada por metais pesados tem despertado grande interesse nos órgãos ambientais e governamentais de vários países, em virtude destes elementos persistirem no meio como micropoluentes, apresentarem elevada toxicidade e causarem efeitos adversos sobre os ecossistemas aquáticos (UNEP, 1992).

Metais como Cu, Zn, Fe e Mn são micronutrientes essenciais para o crescimento dos organismos aquáticos, enquanto outros metais como Hg, Ag, Pb e Cd não são requisitos metabóli-

cos e são tóxicos mesmo em pequenas quantidades (Shine et al., 1995). Dependendo da concentração, todos os metais são tóxicos, incluindo aqueles mencionados como micronutrientes.

O conhecimento dos processos e mecanismos que controlam o ciclo de metais no ambiente aquático é fundamental para a compreensão da real dimensão do impacto causado por diversas atividades antropogênicas, dentre as quais destacam-se os setores industrial, agrícola e mineral.

A mineração produz uma série de metais essenciais à manutenção da qualidade de vida da sociedade humana, e persistirá como tal durante muito tempo. O efeito danoso e poluidor desta atividade é histórico, porém medidas visando à redução destes impactos são cada vez mais frequentes (Laybauer, 1995).

Este estudo tem por objetivo avaliar a influência da mineração no incremento das concentrações de metais pesados (Cu, Pb, Zn, Fe e Al) e nas modificações da temperatura, condutividade, pH e sólidos em suspensão das águas do Arroio João Dias, corpo receptor dos efluentes das Minas do Camaquã, RS.

ÁREA DE ESTUDO

As Minas do Camaquã são formadas por mineralizações sulfetadas de cobre em rochas sedimentares do Proterozóico Superior. A jazida situa-se na porção central do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Caçapava do Sul, 300 km à oeste de Porto Alegre (Figura 1). A região apresenta um clima temperado mesotérmico, com precipitação média anual em torno de 1465 mm no período de 1961-90 (DNM, 1992).

A mina, exaurida no início de 1996, foi descoberta em 1865 e representou durante mais de um século o principal depósito metálico do sul do país. Durante esse período houve vários ciclos intermitentes de exploração do minério cuprífero, e boa parte dos efluentes e rejeitos da atividade mineira foram lançados diretamente no Arroio João Dias. A sub-bacia hidrográfica formada por este

arroio possui uma área de 308 km², e deságua no alto curso do Rio Camaquã, que é o mais importante eixo de drenagem do Escudo Sul-rio-grandense para a Laguna dos Patos (Baisch, 1994).

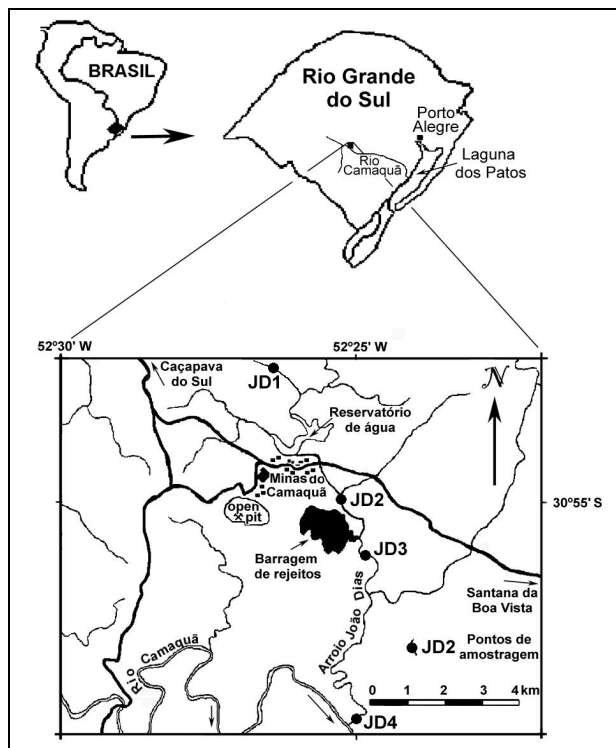


Figura 1. Mapa de localização da área.

Na região das Minas do Camaquã predominam solos litólicos eutróficos, pouco desenvolvidos, com horizonte A sobreposto diretamente à rocha, ou sobre um horizonte C, pouco espesso, geralmente com fragmentos de rocha em decomposição (IBGE-RADAM, 1986).

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram amostrados 4 pontos na sub-bacia do Arroio João Dias.

O ponto JD1 representa o ponto de controle ou “background” da área de estudo e é caracterizado por baixos valores de concentração dos metais analisados na água, assim como de condutividade, pH e sólidos em suspensão. Os pontos JD2, JD3 e JD4 encontram-se na região sob influência da mineração. O ponto JD2 está localizado à montante do vertedouro da barragem de rejeitos, enquanto o ponto JD3, situa-se à jusante da mesma. O ponto JD4 está situado próximo à foz do Arroio João Dias com o Rio Camaquã (Figura 1).

As coletas, análises de metais (Cu, Pb, Zn, Fe e Mn) e medidas dos parâmetros físico-químicos (temperatura, condutividade, pH e sólidos em suspensão) da água foram realizadas pela Companhia Brasileira de Cobre (CBC), operadora da mina, conforme os critérios preconizados pelo “Standard Methods” (APHA, 1985). As concentrações dos metais foram determinadas na água superficial (metais dissolvidos + metais ligados ao material particulado) e provêm do programa de monitoramento mensal realizado pela empresa no período de 1980 a 1993.

A análise dos gradientes espaciais de concentração de metais e dos parâmetros físico-químicos da água considerou os pontos contíguos da sub-bacia, ou seja: JD1-JD2, JD2-JD3 e JD3-JD4.

A avaliação das diferenças estatisticamente significativas foi realizada através do teste t de Student, considerando $p < 0,01$, conforme Davis (1986).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise das séries temporais de monitoramento da qualidade das águas na região das Minas do Camaquã (RS), evidenciou incrementos significativos, tanto das concentrações (Tabela 1), quanto dos fluxos totais da maior parte dos metais pesados, da área controle para a região sob influência da mineração (Laybauer, 1995).

A influência desta atividade antrópica foi confirmada empregando-se um modelo baseado no balanço de massa dos fluxos de metais, considerando a segregação (diferenciação) entre as componentes natural e antrópica (Laybauer e Bidone, 1998). Esta estimativa demonstrou que a bacia do Arroio João Dias exporta para o Rio Camaquã, cerca de 410 t.ano⁻¹ de metais (considerando somente Cu, Zn, Fe e Al) de origem antropogênica. Deste montante, destacam-se as contribuições de Fe e Al, que juntas totalizam cerca de 96% do fluxo total, seguidas de Cu (15,6 t.ano⁻¹) e de Zn (2,6 t.ano⁻¹), que perfazem os 4% restantes. Para estes cálculos foram utilizadas análises totais da concentração de Cu, Pb, Zn, Fe e Al na água (Tabela 1).

Para melhor avaliar a forma de transferência, a disponibilidade geoquímica e o tempo de residência dos metais na coluna d’água foi realizado, em dez/93, uma amostragem da água superficial do Arroio João Dias, visando determinar

Tabela 1. Concentração de metais pesados na água do arroio João Dias, Minas do Camaquã, RS. Fonte: CBC (1980-93).

Pontos de Amostragem	Cu				Concentração de metais pesados na água ($\mu\text{g.l}^{-1}$)												Al			
	X	\pm	S	n	X	\pm	S	n	X	\pm	S	n	X	\pm	S	n	X	\pm	S	N
JD1*	27	\pm 15		19	9	\pm 9		14	18	\pm 16		22	1260	\pm 430		28	290	\pm 270		24
		(10 - 90)				(1 - 25)				(1 - 50)				(600 - 2300)				(10 - 950)		
JD2	121	\pm 118		40	11	\pm 13		20	31	\pm 27		38	2790	\pm 2260		42	1100	\pm 1250		40
		(20 - 560)				(1 - 25)				(2 - 99)				(200 - 8000)				(40 - 5400)		
JD3	154	\pm 98		62	10	\pm 12		36	42	\pm 31		63	3210	\pm 3260		58	990	\pm 1200		57
		(30 - 447)				(1 - 40)				(2 - 120)				(160 - 15000)				(20 - 6200)		
JD4	155	\pm 116		62	9	\pm 12		36	41	\pm 32		63	3360	\pm 3010		59	870	\pm 1110		58
		(30 - 540)				(1 - 50)				(2 - 148)				(190 - 12000)				(20 - 5100)		

Obs.: X - média aritmética, S - desvio padrão, n - nº de indivíduos; (valor mínimo – valor máximo). * - período de monitoramento (1980-85).

a partição das concentrações de Cu, Pb, Zn, Fe, Al, entre outros elementos.

Embora não faça parte deste estudo, a partição destes metais na região impactada pela mineração (ponto JD2 para jusante) mostrou que os elementos podem ser separados, de forma preliminar, em 3 grupos distintos (Laybauer e Bidone, 1997): (i) metais que estão preferencialmente na fração dissolvida – caso do Pb e Zn; (ii) metais que estão nitidamente ligados ao material particulado – caso do Fe e Al e (iii) metal com aproximadamente 50% do seu conteúdo metálico em cada fração (dissolvida e particulada) – caso do Cu.

Metais associados a fração dissolvida da água apresentam uma tendência pela forma iônica. Segundo o modelo proposto Morel *et al.* (*apud* Förstner e Wittmann, 1981) dependendo das condições de pH e Eh, essas espécies iônicas solúveis são freqüentes. A análise de diagramas de pH-Eh para os metais considerados corrobora a interpretação e o modelo sugerido por Morel *et al.* (*apud* Förstner e Wittmann, *op. cit.*), pois estas são as formas dominantes em águas com pH neutro a levemente ácido e Eh oxidante, como é o caso das águas do Arroio João Dias (Laybauer, 1995).

Este aspecto é da maior relevância, pois a forma iônica favorece a disponibilidade geoquímica, bem como o aumento do tempo de residência desses elementos na coluna d'água, facilitando a exportação dos mesmos para áreas distantes da mineração. Ao contrário, metais ligados, preferencialmente, à fração particulada (caso do Fe e Al) são menos disponíveis geoquimicamente e apresentam uma tendência a serem retirados da coluna d'água (i. e., diminuem o seu tempo de residência na mesma), especialmente por processos que favoreçam a decantação de partículas.

De uma maneira geral, os resultados mostram uma nítida variação espacial das concentrações médias de metais nas águas do Arroio João Dias, de montante para jusante (Figura 2). As diferenças significativas entre os valores médios dos metais, em pontos contíguos do Arroio João Dias, foram verificadas através do teste t de Student (Tabela 2).

Estes resultados possibilitam as seguintes considerações:

- Cu, Fe e Al mostram gradientes expressivos, com diferenças significativas para $p < 0,01$, entre o ponto controle (JD1) e o ponto JD2, localizado no início da região sob influência da mineração. O Zn, nesse mesmo segmento, apresenta um incremento significativo, não para a probabilidade testada, mas para $p < 0,05$;
- o Pb, por sua vez, não mostra contrastes significativos entre os segmentos estudados e, segundo Laybauer (1995) e Laybauer e Bidone (1998), as concentrações médias deste metal refletem o "background" do mesmo nas águas superficiais da região, o que transforma este elemento e suas relações com os demais metais em um indicador potencial do nível de base natural da região;
- nos demais segmentos avaliados (JD2-JD3 e JD3-JD4), as variações entre as médias de todos os metais nas águas do Arroio João Dias, apesar de mostrarem tendências de aumento ou diminuição das concentrações, não caracterizam diferenças estatisticamente significativas para $p < 0,01$;

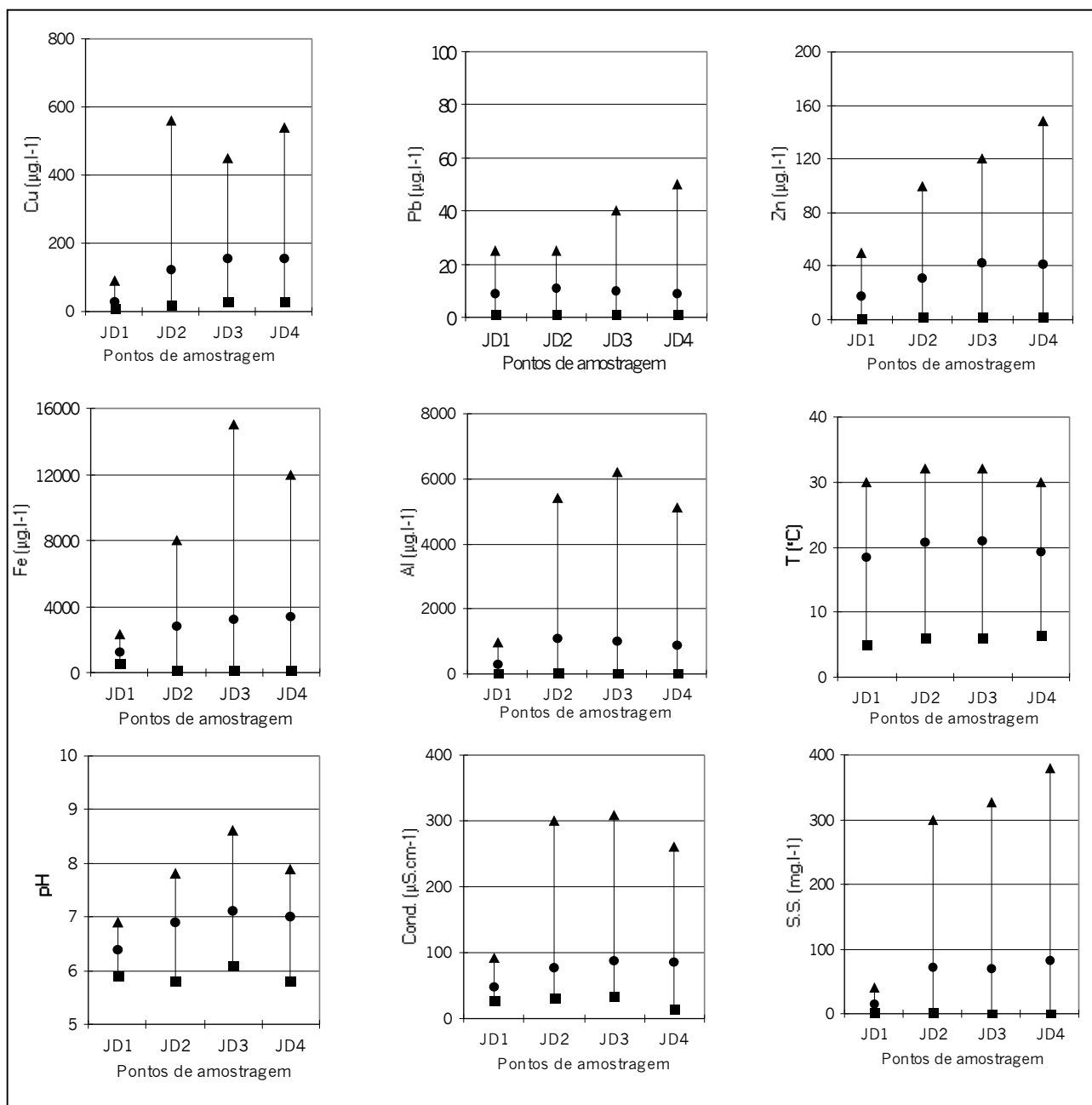


Figura 2. Valores máximo (▲), médio (●) e mínimo (■) de Cu, Pb, Zn, Fe, Al, temperatura, pH, condutividade e sólidos em suspensão da água do Arroio João Dias de montante (JD1) para jusante (JD4) no período de 1980 a 1993.

- uma feição importante, além dos nítidos gradientes positivos de concentração média de Cu, Fe, Al e Zn, de montante para jusante, é o aumento da dispersão de valores (tanto na forma de desvio padrão, quanto na amplitude de valores máximos e mínimos) na região impactada (Figura 2). Esse incremento de teor médio, desvio padrão e intervalo de variação observado do

ponto de controle para a zona impactada reflete a contribuição antrópica destes metais, a partir do ponto JD2 do Arroio João Dias. Este ponto, por sua vez, situado a montante da barragem de rejeitos, recebeu efluentes contaminados por metais pesados até 1994, época em que a empresa foi autuada pela FEPAM, por esses lançamentos indevidos.

Tabela 2. Diferenças entre as concentrações médias de metais pesados na água do arroio João Dias para $p < 0,01$ (S – significativa; N – não significativa).

Segmentos do Arroio João Dias	Conc. de metais pesados				
	Fe	Al	Cu	Pb	Zn
JD1 - JD2	S	S	S	N	N
JD2 - JD3	N	N	N	N	N
JD3 - JD4	N	N	N	N	N

Além dos metais, também foi realizado o mesmo tipo de análise com alguns parâmetros físico-químicos da água (temperatura, pH, condutividade e sólidos em suspensão). Os resultados encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Os processos hidrogeoquímicos, capazes de controlar a estabilidade de fases minerais em solução e retirar parte dos metais da coluna d'água, estão intimamente relacionados com os parâmetros físico-químicos da água.

A temperatura é a única medida entre os parâmetros físico-químicos avaliados, que não mostra diferenças significativas, entre o ponto de controle (JD1) e o ponto JD2.

Além dos gradientes de pH, condutividade e sólidos em suspensão nas águas do Arroio João Dias (montante → jusante), nota-se um aumento significativo na dispersão dos valores em torno da média na região impactada (Figura 2). Esses 3 parâmetros físico-químicos mostram diferenças significativas do ponto JD1 para o ponto JD2, que indicam a entrada dos efluentes da mineração no Arroio João Dias. As variações entre as médias destes parâmetros da água, nos demais segmentos (JD2-JD3 e JD3-JD4), não são significativas na probabilidade testada (Tabela 4).

A caracterização do minério de cobre na área de estudo, mostra que o metal encontra-se intimamente associado a sulfetos (calcopirita, bornita, pirita e calcocita).

Estes sulfetos, no ambiente superficial, são facilmente alterados por soluções oxidantes e tendem a gerar soluções ácidas, com elevadas concentrações de sulfato. Entretanto, o pH médio das águas superficiais é bastante próximo da neutralidade (6,4 a 7,1) e variou no período analisado de 5,5 a 8,6, o que demonstra uma boa diluição das águas e efluentes da mina pelo Arroio João Dias.

O aumento do pH médio da água na região impactada pela mineração, especialmente no ponto JD3, deve estar relacionado ao tratamento químico a base de sulfato de alumínio, associado com um polímero não aniônico de cadeia pesada (Aquatec

M 33), usado para decantar os sólidos suspensos dos efluentes da barragem de rejeitos.

O pH é um dos principais fatores determinantes da especiação geoquímica dos metais, isto é, sua distribuição entre as fases dissolvida e particulada da água, e conseqüentemente, sua maior ou menor biodisponibilidade (Jenne e Luoma, 1975). Em pH básico são freqüentes as formas particulada e coloidal dos metais, o que favorece a decantação destes, para o compartimento sedimentar, onde podem ficar retidos e pouco biodisponíveis (Bourg, 1983). Já em pH ácido, predominam as formas iônicas do metal, na fase dissolvida. Em função do caráter neutro a levemente ácido das águas do Arroio João Dias foi constatado a coexistência de ambas as fases (Laybauer, 1995; Laybauer e Bidone, 1997).

Associado ao pH, o Eh é outro parâmetro muito importante na delimitação das condições de oxi-redução do meio, pois uma boa parte das reações observadas na natureza (25°C e 1 atm de pressão) envolvem processos de oxidação e redução (Brookins, 1988). Nesse sentido, os diagramas de pH-Eh constituem-se numa ferramenta bastante utilizada nos estudos geoquímicos, relacionados com a delimitação dos campos de estabilidade das espécies minerais em solução aquosa (Garrels e Christ, 1965; Brookins, 1988). Apesar do Eh das águas do Arroio João Dias não ter sido medido, não há dúvida que o mesmo seja oxidante, tomando-se por base as concentrações de oxigênio dissolvido medidas pela CBC, que situam-se em média acima de 8 mg O₂/l. Segundo o "Standard Methods for Examination of Water and Wastewater" (APHA, 1985) para a temperatura média da água de 20 °C, o valor de oxigênio dissolvido de saturação é de aproximadamente 8,6 mg O₂/l, portanto existe um favorecimento à saturação de oxigênio nessas águas, devido às características hidrodinâmicas desta sub-bacia (Laybauer, 1995).

Da mesma forma que o pH, as características oxidantes do sistema, ora representadas pelas concentrações de oxigênio dissolvido, condicionam as formas químicas estáveis dos metais (íons, óxidos e hidróxidos). Além disso, nessas condições a presença de óxidos e hidróxidos (complexos e/ou colóides) de Fe e Mn nas águas, funcionam como um importante suporte geoquímico para os demais elementos-traço (Förstner e Wittmann, 1981).

As condições de pH e Eh das águas do Arroio João Dias indicam para os metais analisados um predomínio das formas iônicas dissolvidas, exceto para o Fe e Al, elementos preferencialmente ligados ao material particulado.

A condutividade elétrica varia com a concentração total de substâncias ionizadas

Tabela 3. Parâmetros físico-químicos da água do arroio João Dias, Minas do Camaquã, RS. Fonte: CBC (1980-93).

Pontos de Amostragem	Temperatura (°C)				PH				Conductividade ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)				Sól. Susp. ($\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$)			
	X	±	S	n	X	±	S	n	X	±	S	n	X	±	S	n
JD1*	18,4	± 5,1		25	6,4	± 0,3		29	47,3	± 17,7		28	14,0	± 10,1		15
		(5,0 - 30,0)				(5,9 - 6,9)				(27,0 - 92,0)				(2,0 - 38,6)		
JD2	20,7	± 5,3		42	6,9	± 0,5		44	76,9	± 60,2		43	71,7	± 64,3		32
		(6,0 - 32,0)				(5,8 - 7,8)				(31,0 - 300,0)				(2,0 - 298,0)		
JD3	20,9	± 5,7		57	7,1	± 0,5		63	88,5	± 65,4		60	68,5	± 66,2		45
		(6,0 - 32,0)				(6,1 - 8,6)				(33,0 - 308,0)				(1,0 - 325,5)		
JD4	19,2	± 4,8		60	7,0	± 0,4		62	86,4	± 56,3		62	81,5	± 91,4		49
		(6,5 - 30,0)				(5,8 - 7,9)				(14,0 - 260,0)				(1,0 - 380,1)		

Obs.: X - média aritmética, S - desvio padrão, n - nº de indivíduos; (valor mínimo – valor máximo). * - período de monitoramento (1980-85).

Tabela 4. Diferenças entre os valores médios dos parâmetros físico-químicos na água do arroio João Dias para $p < 0,01$ (S – significativa; N – não significativa).

Segmentos do Arroio João Dias	Parâmetros físico-químicos			
	Temp.	pH	Conduct.	S.Susp
JD1 - JD2	N	S	S	S
JD2 - JD3	N	N	N	N
JD3 - JD4	N	N	N	N

dissolvidas na água, bem como com a temperatura, mobilidade, valência e concentração de cada íon na mesma.

A condutividade das águas superficiais do Arroio João Dias variou de 14 a 308 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, no período analisado. Observa-se um gradiente positivo e estatisticamente significativo na condutividade média das águas superficiais do ponto controle para o ponto JD2, no início da região sob influência da mineração (Tabelas 3 e 4). Conforme Laybauer e Bidone (1997), os dados indicam que o lançamento de efluentes da mineração aumenta a concentração de íons dissolvidos na água e boa parte dos mesmos é exportada para a bacia do Rio Camaquã.

O teor de sólidos em suspensão é um bom indicador das concentrações de metais pesados transportados ao longo de um rio, pois essas partículas, além de serem ricas em metais absorvidos pela estrutura cristalina, tendem a absorver elementos em solução, devido a sua grande superfície e cargas negativas.

A concentração de sólidos em suspensão nas águas superficiais da região variou de 1,0 a 380,1 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$. As concentrações médias observadas no Arroio João Dias, a partir do ponto JD2, são relativamente elevadas, superando em mais de 4 vezes o valor médio do ponto de controle (JD1). Esta feição caracteriza um gradiente bastante expressivo para este parâmetro. Além do contraste entre as concentrações médias de sólidos em suspensão, nota-se um aumento significativo na dispersão de valores e um intervalo de variação com maior amplitude na região sob influência da mineração (Figura 2).

O processo de beneficiamento do minério de cobre gera um efluente de coloração avermelhada com altíssimas concentrações de sólidos em suspensão (geralmente com concentração superior a 1000 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$, segundo comunicação verbal do Eng. Alexandre Ritter Volkman, responsável pelo processo). O tratamento desta “polpa” com altas quantidades de óxidos/hidróxidos de ferro e argilo-minerais, é realizado com agentes floclulantes, que reduzem de maneira expressiva a quantidade de partículas em suspensão.

CONCLUSÕES

A mineração causa incrementos significativos nas concentrações de Cu, Fe, Al e, secundariamente no teor de Zn, nas águas do Arroio João Dias. O Pb é a única exceção a esse comportamento geral, apresentando concentrações baixas e homogêneas ao longo de toda a bacia. Para os elementos estudados o gradiente observado é positivo e as mudanças mais relevantes do

ponto "background" da área para a região impactada são os seguintes: Cu aumenta de 4 a 5 vezes, Zn aumenta até 2 vezes, Fe aumenta de 2 a 2,5 vezes e o Al aumenta em torno de 3 vezes.

Da mesma forma que os metais, o pH, a condutividade e os sólidos em suspensão também aumentam seus valores de forma significativa, refletindo nitidamente a entrada dos efluentes provenientes da atividade mineira. A temperatura, por sua vez, não mostrou gradiente significativo ao longo da drenagem.

A influência da mineração nas águas do Arroio João Dias pôde ser constatada tanto pelo incremento dos teores médios da maioria dos metais e parâmetros físico-químicos medidos, quanto por altos valores de dispersão (desvio padrão e intervalo de variação), na região afetada pela mineração, o que é típico de "input" antropogênico.

REFERÊNCIAS

- APHA (AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION) 1985. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. 16. ed. Washington. 1268p.
- BAISCH, P. R. 1994. *Les Oligo-elements Metalliques du Systeme Fluvio-lagunaire dos Patos (Bresil) - Flux et Devenir*. Bordeaux. Tese de Doutorado. Curso de Doutorado com Especialização em Geologia Marinha da Universidade de Bordeaux I. 230p.
- BOURG, A. 1983. Modélisation du Comportement des Métaux Traces à L'interface Solide-liquide dans les Systèmes Aquatiques. *BRGM*, n. 62, 171p.
- BROOKINS, D. G. 1988. *Eh-pH Diagrams for Geochemistry*. New York: Springer-Verlag. 176p.
- DAVIS, J. C. 1986. *Statistics and Data Analysis in Geology*. New York: John Wiley, 646p.
- DNM. 1992. *Normais Climatológicos (1961-1990)*. Brasília. 1v.
- FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G. T. W. 1981. *Metal Pollution in the Aquatic Environment*. Berlin: Springer-Verlag. 486p.
- GARRELS, R. M.; CHRIST, C. L. 1965. *Solutions, Minerals and Equilibria*. New York: Harper International Student Reprint. 450 p.
- IBGE-RADAM. 1986. *Levantamento de Recursos Naturais. Folha SH.22 Porto Alegre e parte das Folhas SH.21 Uruguiana e SI.22 Lagoa Mirim: geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação, uso potencial da terra*. Rio de Janeiro, v. 33, 796p.
- JENNE, E. A.; LUOMA, S. N. 1975. *Forms of Trace Elements in Soils, Sediments and Associated Waters: a overview of their determination and biological availability*. In: Life Sciences Symposium, 15., 1975. Biological Implication of Metal in the Environment. p. 110-135.
- LAYBAUER, L. 1995. *Análise das transferências de metais pesados em águas e sedimentos fluviais na região das Minas do Camaquã, RS*. Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Geociências, UFRGS. 164p.
- LAYBAUER, L.; BIDONE, E. D. 1997. Partição de metais pesados em águas fluviais impactadas por mineração de cobre no Rio Grande do Sul. In: Congresso Brasileiro de Geoquímica, 6, *Anais*, Salvador, p.293-296.
- LAYBAUER, L.; BIDONE, E. D. 1998. Mass Balance Estimation of Natural and Anthropogenic Heavy Metal Fluxes in Streams Near Camaquã Copper Mines, Rio Grande do Sul, Brazil. In: WASSERMAN, J. C.; SILVA-FILHO, E. V.; VILLAS-BOAS, R. (eds.) *Environmental Geochemistry in the Tropics*. Berlin: Springer-Verlag. p. 127-137.
- SHINE, J. P.; IKA, R. V.; FORD, T. E. 1995. Multivariate statistical examination of spatial and temporal patterns of heavy metal contamination in New Bedford Harbor marine sediments. *Environmental Science & Technology*, V.29, n.7, p.1781-1788.
- UNEP. 1992. *Chemical Pollution: A Global Overview*. United Nations Environment Programme, Geneve. 106 p.

***Increase of Heavy Metals in Drains
Collecting Mining Effluent: Camaquã
Mines, Southern Brazil***

ABSTRACT

Increases in heavy metal concentrations (Cu, Pb, Zn, Fe and Al), together with variation in pH, conductivity, temperature and suspended solids, were evaluated in surface waters from the Camaquã Mines (RS). The changes followed discharge of copper-mining waste and waste waters over the period 1980-93. The spatial gradients in mean concentration were positive and statistically significant. The changes most relevant for control purposes in the affected region are the following: concentration of Cu increased up to five-fold; Zn increased by a factor of two; Fe increased by up to 2.5 times; increase in Al was about three-fold. Pb was the sole exception, having low and stable mean values along the length of the sub-basin. There were also significant increases in pH, conductivity and suspended solids. Temperature, however, varied little along the course of drainage. Mining activity increases levels of Cu, Fe, Al and Zn, as well as pH, conductivity and suspended solids in water. The impact of mining is revealed both by the significant growth in mean concentrations, and by their high variability in the region affected by mining, characteristic of human activity.