

Análise da Carga Difusa de Poluição Gerada por Atividades de Mineração

Nadia Bernardi Bonumá, Maria do Carmo Cauduro Gastaldini, João Batista Dias de Paiva

Departamento de Hidráulica e Saneamento - Centro de Tecnologia – UFSM
nadiabonuma@gmail.com.br, mcarmo@pq.cnpq.br, jbpaiiva@pesquisador.cnpq.br

Recebido: 20/08/07 – revisado: 20/02/08 – aceito: 04/09/08

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi analisar a carga difusa gerada na bacia do Lageado Grande, no município de São Martinho da Serra - RS. Na bacia em estudo são desenvolvidas as atividades de agricultura e extração de pedras preciosas. As características de qualidade da água foram avaliadas através dos parâmetros: temperatura, turbidez, ST, SST, SDt, SSf, SSV, condutividade elétrica, pH, alcalinidade, OD, DBO₅, DQO, fosfato, nitrato, Al, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Zn, coliformes totais e coliformes termotolerantes. As amostras da água foram coletadas em onze campanhas de tempo seco e durante treze eventos de precipitação, em 2005. Os resultados indicam que houve aumento nos valores de condutividade elétrica, turbidez e sólidos, devido às atividades de garimpo. A média das Concentrações Médias dos Eventos (CME) foi de 479,47 mg/L para ST, 320,60 mg/L para SST, 160,51 mg/L para SDt, 112,57 mg/L para SSV, 209,12 mg/L para SSf e de 64,68 UNT para a turbidez. As concentrações dos parâmetros apresentaram tendência em aumentar com o volume do escoamento superficial e com o total precipitado. Além disso, observou-se uma boa correlação entre os parâmetros sólidos suspensos e turbidez. Também foi avaliada a existência e natureza do fenômeno da carga de lavagem gerada pelo escoamento superficial na qualidade das águas da bacia. Foi verificada a ocorrência do fenômeno em mais de 50% dos eventos para os parâmetros sólidos. Os resultados indicam a influência da atividade de garimpo na qualidade da água do rio. Isso demonstra a necessidade de medidas de controle da poluição difusa na bacia do Lageado Grande.

Palavras-chave: qualidade da água, poluição difusa, garimpo.

INTRODUÇÃO

A mineração é uma atividade que exerce um papel decisivo para o desenvolvimento econômico do mundo atual. Entretanto, as atividades extrativas podem causar grandes impactos ambientais, pois além das modificações das características do ambiente natural pode haver uma grande quantidade de poluentes gerados. E parte desses resíduos acaba sendo transportada para os corpos de água, alterando suas características físicas e químicas.

A preocupação com a questão ambiental deve existir nas áreas de garimpo, onde a atividade extrativa não é realizada por instituições formais e sim por um grupo de pessoas e na maioria das vezes a atividade não é licenciada junto aos órgãos ambientais e responsáveis, bem como não existe nenhum planejamento ou controle da extração.

O Rio Grande do Sul é um dos maiores fornecedores de gemas do mundo, especialmente ágata e ametista (Juchem *et al.* apud Agostini, *et al.*, 1998). Este tipo de atividade tem uma grande relevância no desenvolvimento sócio-econômico das regiões junto

aos locais de extração e beneficiamento. Entretanto, também é responsável por grandes modificações na paisagem e meio ambiente, podendo causar um alto grau de degradação do ambiente hídrico, mesmo após o término da atividade extrativa.

Apesar disso a poluição hídrica gerada por garimpos tem sido pouco estudada, uma vez que não existem dados suficientes sobre o potencial das reservas minerais, sobre o processo extrativo das lavras existentes e tão pouco sobre o passivo ambiental gerado (Agostini, *et al.*, 1998; Alberti, *et al.*, 2003; Fiorentini, *et al.*, 1998; Kambani, 2003).

Este trabalho visa analisar a carga difusa devido às atividades de garimpo na bacia hidrográfica do Lageado Grande, no município de São Martinho da Serra – RS.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A mineração pode ser uma grande fonte de poluição dos recursos hídricos. Mota (2006) salienta que nesta atividade são realizados desmatamentos e

grandes movimentos de terra, resultando na erosão do solo, no carreamento de materiais para os corpos d'água e em modificações nos sistemas de drenagem.

De acordo com Von Sperling (2005), a passagem da água por minas abandonadas, vazadouros de mineração e borras de minério pode causar alteração na acidez da água. Além disso, as atividades de mineração e garimpo podem aumentar o nível de alguns micropoluentes inorgânicos tóxicos, entre eles os metais pesados.

Pegram & Bath (1995) dizem que as minas podem ser consideradas como "fontes de poluição concentradas", por apresentarem características tanto de fontes pontuais, como de fontes difusas. As descargas das minas podem ser representadas espacialmente por pontos dentro da bacia, mas, geralmente, ocorrem durante eventos de chuva, assim como no caso das fontes de poluição difusa.

A extensão das áreas de mineração e a sua correlação com fatores meteorológicos é que caracterizam o escoamento de minas como fonte de poluição difusa.

No caso da extração de pedras preciosas, segundo relatório da agência ambiental norte-americana (USEPA, 1998), a maior parte dos resíduos gerados é inerte, ou seja, fragmentos de gemas não aproveitadas e, principalmente em minas subterrâneas, sedimentos resultantes da grande movimentação de terra. Ainda podem ser gerados resíduos perigosos devido à utilização de substâncias químicas no beneficiamento das pedras. Outros resíduos perigosos que podem ser gerados são solventes, substâncias de limpeza, pneus, óleos e lubrificantes. Pode haver ainda a poluição orgânica, devido ao esgoto sanitário gerado pelos trabalhadores das minas.

Segundo Kambani (2003), o volume de resíduos gerados para extrair pequenas quantidades de pedras preciosas é muito alto, se comparado ao volume gerado com a extração de grande quantidade de minerais como o ferro, cobre e materiais para a construção civil. Na maioria dos casos, um grande volume de resíduos é deixado após a atividade de extração sem que haja a recuperação das áreas degradadas.

No Brasil, as fontes de poluição difusas ainda são pouco estudadas. A maioria dos trabalhos que tratam do assunto refere-se às cargas difusas geradas pela drenagem urbana (Ide, 1984; De Luca *et al.*, 1991; Paz *et al.*, 2004; Brites & Gastaldini, 2005). No que tange à poluição gerada por garimpos de pedras preciosas, esse assunto foi pouco explorado.

Um fenômeno discutido quando se avalia carga difusa é a ocorrência da chamada carga de lavagem (em inglês, "first flush"). Para Tomaz (2006) *first flush* é o escoamento superficial no início de uma chuva que carrega grande concentração de poluentes que ficaram acumulados nos dias sem chuva. Considerando-se que esta lavagem carrega quase todos os sólidos em suspensão, isto é, os poluentes. Como salienta Porto (1995) este fenômeno ocasiona que o pico do polutograma ocorra antes do pico do hidrograma.

O grau de intensidade do fenômeno da carga de lavagem é maior em bacias menores. Em grandes bacias, áreas distantes podem produzir elevados valores de concentração que se misturam a valores decrescentes dos locais próximos da seção de medição. Os principais fatores que interferem no processo são: área de contribuição, características da precipitação e o PTSA (Gupta & Saul, 1996, Lee *et al.*, 2002). Entretanto Deletic & Orr (2005) e Brites & Gastaldini (2005) não encontraram correlação entre o período de tempo seco antecedente ao evento e o carreamento de poluentes.

Existem alguns estudos sobre a avaliação das cargas difusas e a ocorrência do fenômeno da carga de lavagem (Gupta & Saul, 1996; Deletic & Orr, 2005; Bertrand-Krajewski *et al.*, 1998; Lee *et al.*, 2002; Kim *et al.*, 2006).

A BACIA EM ESTUDO

A área de estudo é a bacia hidrográfica do Lageado Grande, situada nas cabeceiras do Rio Ibiçu-Mirim, entre as coordenadas 53°52'46" e 53°57'14" de longitude Oeste e as coordenadas 29°30'16" e 29°35'04" de latitude Sul. A bacia possui aproximadamente 33,12 km², seu relevo é fortemente ondulado, com altitudes que variam de 160 a 470 metros.

A bacia do Lageado Grande é uma bacia rural, localizada no município de São Martinho da Serra, pertencente a uma região do Rio Grande do Sul considerada de elevado potencial gemológico, onde estão em fase de implantação garimpos de ametistas e ágatas. Com relação ao uso do solo, não existem assentamentos populacionais, apenas atividade agropastoril e extração de pedras preciosas.

O processo de lavra na região se desenvolve a céu aberto, apresentando uma sistemática de extração ascendente de pedreira de encosta. O processo de extração é se mimecanizado, utilizando dês-

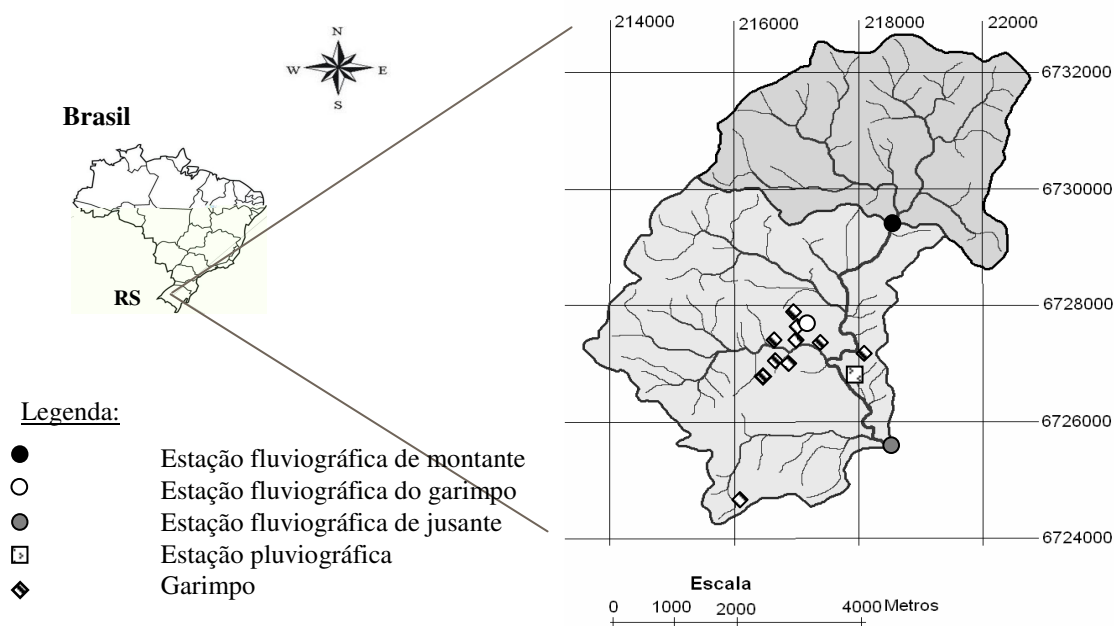


Figura 1 - Localização geográfica da bacia hidrográfica do Lageado Grande, no município de São Martinho da Serra – RS.

monte com explosivos, sendo que a camada mineralizada é escarificada com um trator e depois garimpada manualmente, retirando as pedras preciosas que são encontradas.

Foi realizado monitoramento visando a caracterização da qualidade da água, através de uma estação pluviográfica e de três estações fluviográficas, localizadas a montante e a jusante da área de mineração e na saída do principal garimpo em atividade, como ilustra a figura 1. As estações foram monitoradas pelo Grupo de Pesquisa em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da UFSM (GHIDROS).

METODOLOGIA

As amostras de água foram coletadas em duas situações: em tempo seco e durante os eventos de precipitação. Este procedimento foi realizado no período de dezembro de 2004 a janeiro de 2006.

Foram realizadas onze campanhas de coletas em tempo seco, nas três estações de monitoramento (figura 1), no centro das seções, em dias que antecederam as precipitações. A análise da qualidade da água em tempo seco visou verificar a influência da atividade de mineração na qualidade da água, bem

como determinar a concentração de base na estação de jusante, para possibilitar o cálculo da carga difusa.

As coletas em tempo úmido foram realizadas na subida do hidrograma de cheia utilizando-se um Amostrador instantâneo de Nível Ascendente (ANA) (Umezawa, 1979) instalado no pilar da ponte da estação de jusante (figura 2). Foram monitorados todos os eventos ocorridos no período de amostragem, sendo desprezados apenas os eventos que produziram pequeno escoamento superficial, insuficientes para atingir a primeira garrafa de coleta do amostrador; e os eventos que apresentaram vários picos sucessivos, com intervalos de tempo menores que um dia, pela dificuldade de retirada das amostras e substituição das garrafas. Resultando na seleção de 13 eventos de precipitação para este estudo.

Mensalmente e durante 13 eventos de precipitação, foram determinados os valores dos seguintes parâmetros de qualidade da água: Parâmetros físicos: temperatura (Temp), sólidos totais (ST), sólidos suspensos (SSt), sólidos dissolvidos (SDt), sólidos suspensos fixos (SSf), sólidos suspensos voláteis (SSv), turbidez (Turb) e condutividade elétrica (Cond). Parâmetros químicos: oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO_5), demanda química de oxigênio (DQO), condutivi-

dade elétrica (Cond), pH, alcalinidade, Fosfato, Nitrato, Alumínio (Al), Cálcio (Ca), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Magnésio (Mg), Manganês (Mn), Sódio (Na) e Zinco (Zn). Parâmetros biológicos: coliformes totais (CT) e coliformes termotolerantes (Ctt). Os procedimentos de coleta e análise laboratorial seguiram a metodologia descrita no Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA e WEF, 1998). O quadro 1 apresenta a técnica analítica utilizada para cada parâmetro.



Figura 2 - Estação fluviográfica de jusante.

Quadro 1 - Parâmetros e Técnicas Analíticas Utilizadas.

Parâmetro	Técnica analítica
Sólidos	Gravimétrico
Temperatura	Potenciométrico
Turbidez	Nefelométrico
pH	Potenciométrico
Alcalinidade	Método titulométrico
Condutividade	Potenciométrico
OD	Potenciométrico e Winkler com modificação de azida
DBO ₅	Winkler com modificação de azida
DQO	Titulométrico com refluxo fechado
Coliformes	Colilert – Sistema Quanti-tray/2000
Al, Cu, Cr e Zn	ICP – OES
Ca, Fe, Mg, Mn e Na	Espectrometria atômica
Fosfato	Colorimétrico fenoldissulfônico
Nitrato	Fenoldissulfônico

ICP-OES = Espectrometria de Emissão com Plasma de Argônio induzido.

As cargas de todos poluentes foram obtidas através da multiplicação do valor de concentração da variável de qualidade da água em questão, pela vazão de escoamento no instante considerado. Os valores destas cargas foram acumulados durante cada evento de precipitação. Como o corpo d'água apresenta uma carga poluente de base, devido à sua vazão de base (tempo seco), este valor foi calculado e descontado da carga total. A carga de base foi obtida pela multiplicação da concentração da variável de qualidade da água pela vazão no instante da coleta no dia de amostragem em tempo seco anterior ao evento de precipitação.

Para avaliar os efeitos do escoamento superficial nos corpos d'água receptores foi calculada a Concentração Média do Evento (CME) utilizando-se equação 1 (Lee *et al.*,2002).

$$CME = \frac{M}{V} = \frac{\int_0^{tr} C_t Q_t dt}{\int_0^{tr} Q_t dt} \cong \frac{\sum C_t Q_t \Delta t}{\sum Q_t \Delta t} \quad (1)$$

onde: CME é a concentração média do evento (mg/L); M a massa total de poluente durante o evento (g); V o volume total durante o evento (m³); t o tempo (s); C_t a concentração no tempo t (mg/L); Q_t a vazão no tempo t (m³/s) e Δt o intervalo de tempo (s).

A relação entre a vazão e as características de qualidade da água foi analisada estatisticamente por análises de correlação em que a relação entre os parâmetros foi representada pelo coeficiente de correlação de Pearson, que varia de +1 (correlação perfeita positiva) a -1 (correlação perfeita negativa). Análises similares foram feitas por Kim *et al.* (2006).

Para avaliação da carga de lavagem foi aplicada a metodologia descrita por Gupta & Saul (1996). Segundo os autores, a carga de lavagem pode ser definida como sendo a porção do evento até o local de máxima divergência entre as curvas adimensionais da percentagem de massa poluente cumulativa e a percentagem de volume escoado cumulativo, traçadas em relação à percentagem acumulada do tempo do evento.

Para a análise do fenômeno torna-se necessário normalizar adimensionalmente as massas poluentes transportadas e os volumes escoados, indicados nas equações 2 e 3, respectivamente.

Tabela 1 - Características de qualidade da água em tempo seco.

Parâmetros	MONTANTE			GARIMPO			JUSANTE		
	Média	DP	CV	Média	DP	CV	Média	DP	CV
Temp (°C)	18,4	2,70	0,15	17,7	2,68	0,15	18,3	3,17	0,17
OD (mg/L)	7,4	0,95	0,13	4,7	1,07	0,23	5,6	0,44	0,08
DBO ₅ (mg/L)	0,9	0,72	0,80	5,1	0,76	0,15	1,6	0,67	0,42
DQO(mg/L)	4,6	1,63	0,35	18,7	9,36	0,50	5,1	3,15	0,62
Cond.(µS/cm)	39	7,32	0,19	221	11,10	0,05	86	27,20	0,32
pH	7,1	0,16	0,02	7,3	0,27	0,04	7,3	0,12	0,02
ST(mg/L)	69	25,07	0,36	1519	1618,05	1,07	236	193,48	0,82
SSt(mg/L)	35	19,39	0,55	1016	1144,29	1,13	144	162,62	1,13
SDt(mg/L)	34	22,48	0,66	504	521,33	1,03	92	44,36	0,48
SSv(mg/L)	14	10,27	0,73	362	424,60	1,17	50	61,93	1,24
SSf(mg/L)	21	11,88	0,57	653	730,43	1,12	94	101,59	1,08
Turb.(UNT)	13	8,72	0,67	91	19,78	0,22	22	11,78	0,54
CT (NMP/100mL)	2000	500	0,25	10000	10000	1,27	10000	4000	0,39
Ctt (NMP/100mL)	100	60	0,59	3000	3000	0,94	1000	600	0,58
Fosfato(mg/L)	0,41	0,39	0,96	1,09	0,82	0,76	0,47	0,42	0,89
Nitrato(mg/L)	0,46	0,21	0,46	1,12	0,48	0,43	0,50	0,33	0,65
Alcalinidade	13,50	1,30	0,10	75,90	5,40	0,07	21,10	1,80	0,09
Al (mg/L)	1,16	0,55	0,48	0,99	0,54	0,54	0,98	0,53	0,54
Ca (mg/L)	2,86	0,40	0,14	23,26	18,55	0,80	6,48	1,27	0,20
Cu (mg/L)	0,012	0,007	0,62	0,021	0,017	0,81	0,013	0,009	0,66
Cr (mg/L)	0,003	0,004	1,38	0,003	0,004	1,28	0,003	0,004	1,36
Fe (mg/L)	0,46	0,29	0,63	0,96	0,48	0,50	0,66	0,33	0,50
Mg (mg/L)	0,76	0,11	0,15	6,50	1,81	0,28	1,64	0,31	0,19
Mn (mg/L)	0,005	0,002	0,15	0,016	0,012	0,77	0,006	0,002	0,33
Na (mg/L)	2,18	0,25	0,11	6,78	1,37	0,20	2,68	0,19	0,07
Zn (mg/L)	1,31	2,58	1,97	2,21	4,59	2,08	1,31	2,58	1,97

DP = Desvio padrão e CV = coeficiente de variação.

$$L = \frac{m(t)}{M} \quad (2)$$

$$F = \frac{v(t)}{V} \quad (3)$$

onde: L é o adimensional de massa poluente acumulada; F é o adimensional de volume escoado acumulado; M a massa poluente total durante o evento (descontada a carga de base)(g); V o volume total durante o evento (m³); m(t) é a massa poluente transportada até o tempo t (g); e v(t) o volume escoado até o tempo t (m³).

A definição de máxima divergência considera a ocorrência de carga de lavagem quando a diferença máxima entre a curva adimensional de massa

poluente acumulada, L, e a curva adimensional de volume escoado acumulado, F, for maior que 0,2. A equação 4 indica esta diferença.

$$\Delta = L - F \quad (4)$$

onde: Δ é a diferença entre a curva adimensional de massa poluente acumulada, L, e a curva adimensional de volume escoado acumulado, F.

RESULTADOS

Características de Tempo Seco

Os resultados das campanhas de amostragem de qualidade realizadas nos três pontos de mo-

monitoramento foram comparados com os limites estabelecidos na Resolução CONAMA 357/05 (BRASIL, 2005), equivalentes aos corpos de água doce de Classe 2. Estes corpos d'água devem ser considerados de classe 2, de acordo com a Resolução CONAMA 357/05, por não possuírem enquadramento aprovado.

A tabela 1 mostra a média, o desvio padrão (DP) e o coeficiente de variação (CV) dos parâmetros analisados, nos três pontos de monitoramento.

Quanto à análise do conteúdo orgânico, a concentração de DBO₅ encontrada nos pontos de montante e jusante foi muito baixa, inferior aos limites de detecção do método de análise (2mg/L). Na saída do garimpo a concentração média de DBO₅ foi 5mg/L, com valores variando de 3 a 6mg/L (limite da Classe 2 - 5mg/L).

A relação DQO/DBO₅ nos três pontos foi elevada. Segundo Braile e Cavalcanti (1979 *apud* Von Sperling, 2005), isso significa que a fração inerte de poluição, ou seja, não biodegradável é alta. Confirmando o fato de que a principal fonte de contaminação é não biodegradável, como já era esperado.

As concentrações de oxigênio dissolvido encontradas foram, em geral, superiores aos limites da Classe 2, exceto no ponto de garimpo. Este ponto possui maior conteúdo orgânico mostrado pelos maiores valores de DBO₅.

Os resultados obtidos no ponto de montante são inferiores ao limite da Classe 2 para coliformes termotolerantes: 1.10³ NMP/100mL. No ponto de jusante o valor médio de coliformes termotolerantes foi 1.10³ NMP/100mL e no ponto de garimpo o valor médio foi 3.10³ NMP/100 mL, com um coeficiente de variação de 0,94.

Os valores de pH mantiveram-se numa faixa de 6 a 8 com variações muito pequenas, dentro dos limites da classe 2.

Nos pontos de montante e de jusante os valores de condutividade elétrica foram baixos. No entanto na saída do garimpo os valores foram elevados: o valor médio de condutividade elétrica foi de 221 µS/cm, com valores variando de 204 a 239 µS/cm, que indicam a presença de sais dissolvidos na água, de origem geoquímica.

Em relação aos valores obtidos para turbidez na Figura 3 observa-se o gráfico Box e Whisker da distribuição dos valores desse parâmetro para os três pontos de amostragem. A reta indica o valor limite estabelecido pela Resolução CONAMA 357 para Classe 2(100 UNT). Constatase que nos pontos de montante e jusante os valores mantiveram-se bem

abaixo do limite da classe 2. Enquanto na saída do garimpo 50% dos valores ficaram acima do limite para Classe 2.

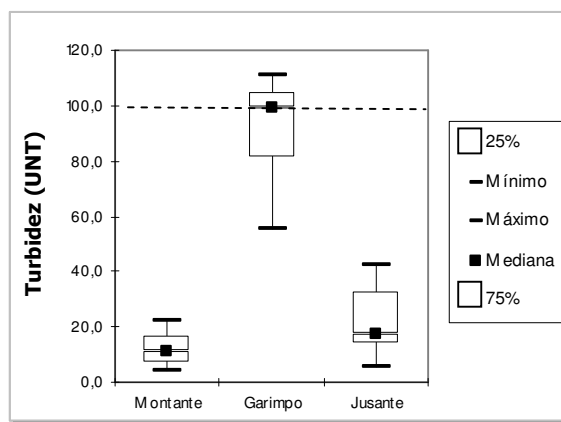


Figura 3 – Gráfico Box e Whisker da turbidez.

Os valores de sólidos totais, dissolvidos, suspensos, fixos e voláteis foram mais elevados no ponto da saída do garimpo que nos pontos de jusante e montante, apresentando grande variação dos valores. A concentração média de sólidos dissolvidos no ponto de garimpo foi de 504 mg/L, com valores variando de 140 a 1586 mg/L, acima do limite (500 mg/L) da Classe 2 da Resolução CONAMA 357/05.

Na Figura 4, observa-se o gráfico Box e Whisker da distribuição dos valores de sólidos totais e constata-se que os valores no ponto de garimpo são bem superiores aos valores encontrados nos outros pontos, e cerca de 25% dos valores na saída do garimpo estão acima de 2000 mg/L.

O aumento nas concentrações de sólidos e turbidez após a área de extração mineral são devido aos grandes remanejamentos de rochas e movimentações de terra.

As concentrações de: Alumínio total, Cobre total e Ferro total; foram elevadas nos três pontos de monitoramento se comparados com os limites da Resolução CONAMA 357/05, no entanto cabe ressaltar que os limites da Resolução são para Al, Cu e Fe dissolvidos. Os valores elevados são devido às características geológicas e pedológicas da região.

Para os três pontos de monitoramento as concentrações médias de Fosfato foram elevadas se comparadas com o limite da classe 2 para Fósforo total: 0,1 mg/L. As concentrações médias de Zinco total também foram superiores ao limite para a Classe 2 da Resolução CONAMA 357/05, nos três pon-

tos, apresentando grande variação entre os valores. As outras variáveis de qualidade de água apresentaram valores inferiores aos limites estabelecidos na Resolução.

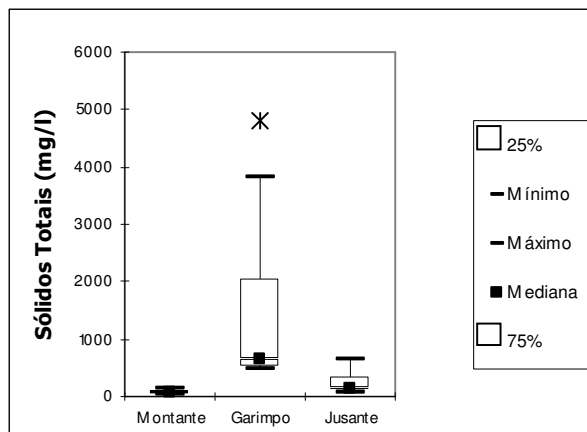


Figura 4 – Gráfico Box e Whisker dos sólidos totais.

Observou-se um aumento nas concentrações no ponto de garimpo dos seguintes elementos: Cálcio, Cobre, Ferro, Magnésio, Manganês, Sódio e Zinco, que podem ter sido incorporados à água durante os grandes remanejamentos de rochas e movimentações de terra, indicando a interferência da área de mineração,

Avaliação da carga difusa

No ponto de jusante, além das onze coletas em tempo seco, foram realizadas coletas durante 13 eventos de precipitação.

Para análise do escoamento superficial foi calculada a Concentração Média do Evento (CME) de cada evento conforme a equação 1 (Lee *et al.*, 2002).

Na tabela 2, apresentam-se os valores obtidos para as CME dos principais parâmetros. As CME's foram superiores às concentrações médias observadas em tempo seco, indicando que o escoamento superficial afeta a qualidade da água do corpo receptor.

Os parâmetros sólidos totais, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos fixos, sólidos voláteis e turbidez apresentaram CME's elevadas e variáveis entre os eventos. A média das CME entre todos os eventos foi de 479,37 mg/L para ST, 320,60 mg/L para SSt, 160,51 mg/L para SDt, 112,57 mg/L

para SSv, 209,12 mg/L para SSf e de 64,68 UNT para turbidez.

Tabela 2 - Concentrações médias dos eventos monitorados.

Parâmetros	Média	Máximo	Míni-	DP
Cond. (µS/cm)	91,16	157,58	54,39	36,32
pH	7,01	7,30	6,59	0,18
ST (mg/L)	479,37	1124,86	211,83	256,11
SSt (mg/L)	320,60	784,26	123,02	181,89
SDt (mg/L)	160,51	340,52	88,81	76,80
SSv (mg/L)	112,57	275,47	50,77	59,96
SSf (mg/L)	209,12	522,66	72,25	127,43
Turb.(UNT)	64,68	180,02	26,90	38,86
Al (mg/L)	0,473	0,597	0,335	0,236
Ca (mg/L)	5,877	7,012	4,700	2,883
Cu (mg/L)	0,017	0,032	0,004	0,010
Cr (mg/L)	0,006	0,019	0,001	0,005
Fe (mg/L)	0,338	0,482	0,243	0,171
Mg (mg/L)	1,477	1,550	1,337	0,711
Mn (mg/L)	0,009	0,021	0,004	0,006
Na (mg/L)	2,612	2,821	2,451	1,257
Zn (mg/L)	0,018	0,027	0,010	0,009

Os parâmetros condutividade elétrica, pH e os metais apresentaram pequena variação entre os eventos para as CME. Cabe ressaltar que as cargas difusas e as CME's calculadas referem-se a toda a bacia, que possui atividades agropecuárias e de garimpo, embora a última seja mais intensiva.

A tabela 3 mostra os resultados da análise estatística da correlação entre a vazão e as características de qualidade da água através coeficiente de correlação de Pearson.

De acordo com os resultados analisados, pode-se concluir que as concentrações dos parâmetros apresentaram tendência em aumentar com o volume do escoamento superficial e com o total precipitado. Além disso, foi encontrada uma boa correlação entre os parâmetros sólidos e turbidez.

A figura 5 mostra a correlação das CME do parâmetro sólidos suspensos com a turbidez, onde R^2 calculado foi de 0,7248.

A carga poluente transportada pelo escoamento superficial na bacia hidrográfica em estudo foi calculada diminuindo a carga de cada intervalo de tempo medido da carga de base.

A figura 6 apresenta a correlação entre a descarga líquida (m^3/s) e a descarga sólida (ton/dia).

Tabela 3 - Coeficientes de Pearson das análises de correlação entre os parâmetros de qualidade

	Vol	Prec	ST	SSt	SDt	SSv	SSf	Turb
Vol	1,000	0,884	0,762	0,782	0,685	0,855	0,742	0,888
Prec	0,884	1,000	0,597	0,616	0,515	0,714	0,569	0,805
ST	0,762	0,597	1,000	0,997	0,973	0,954	0,997	0,844
SSt	0,782	0,616	0,997	1,000	0,952	0,970	0,994	0,851
SDt	0,685	0,515	0,973	0,952	1,000	0,881	0,966	0,781
SSv	0,855	0,714	0,954	0,970	0,881	1,000	0,939	0,898
SSf	0,742	0,569	0,997	0,994	0,966	0,939	1,000	0,820
Turb	0,888	0,805	0,844	0,851	0,781	0,898	0,820	1,000

Vol = Volume escoado e Prec = precipitação total.

As descargas sólidas foram calculadas a partir dos dados de concentração e vazão medidos durante os eventos chuvosos. A equação obtida foi a seguinte:

$$Q_s = 8,413.e^{0,7532.Q} \quad (5)$$

onde: Q = vazão (m³/s) e Q_s = descarga sólida (ton/dia)

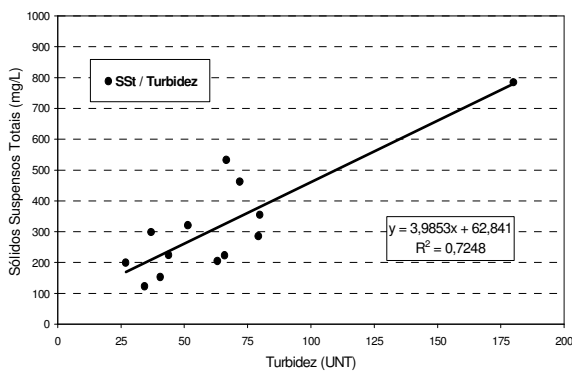


Figura 5 – Diagrama de dispersão para os Sólidos Suspensos (SSt) e Turbidez.

O ajuste apresenta-se bom, onde o R² calculado foi de 0,8821. Porém há um ponto anômalo, devido a um grande evento ocorrido no período, com um volume escoado muito superior ao dos outros eventos.

Pela análise dos polutogramas pode-se verificar a presença do fenômeno da carga de lavagem na maioria dos eventos. Como ilustra a figura 7, que mostra o polutograma do parâmetro sólidos suspensos de um dos eventos do período analisado, o pico das concentrações ocorreu antes do pico das vazões. Isto sucedeu mesmo com PTSA = 1, entretanto a chuva do dia anterior foi de apenas 3 mm, e portan-

to, não contribuiu significativamente para o escoamento superficial na bacia.

A tabela 4 apresenta os valores encontrados para a carga de lavagem (adimensional) calculada para cada evento monitorado.

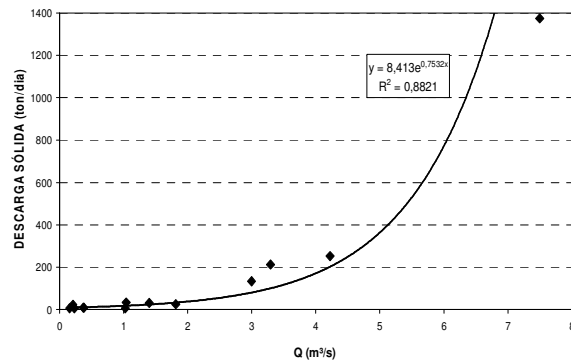


Figura 6 - Diagrama de dispersão para a descarga líquida e a descarga sólida.

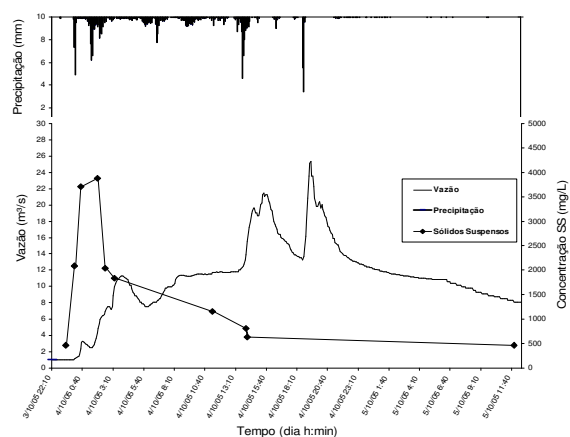


Figura 7 – Polutograma do parâmetro sólidos suspensos do dia 04/10/2005.

Tabela 4 - Carga de Lavagem (adimensional) na bacia de estudo.

Data do Evento	Parâmetros					PTSA (dias)	Im (mm/h)	Prec (mm)	Vol (m ³)
	Δ ST	Δ SSt	Δ SDt	Δ SSv	Δ SSf				
16/07/05	0,00	0,00	0,09	0,00	0,00	1	1,78	20,30	1297
21/08/05	0,04	0,03	0,05	0,16	0,00	1	4,27	19,06	3249
23/08/05	0,06	0,07	0,21	0,08	0,06	1	2,36	21,23	85002
10/09/05	0,14	0,17	0,07	0,19	0,16	6	4,69	33,64	77496
24/09/05	0,01	0,01	0,00	0,00	0,02	9	5,63	54,91	294179
04/10/05	0,23	0,23	0,25	0,19	0,26	1	5,00	102,53	1051780
13/10/05	0,28	0,27	0,28	0,32	0,23	5	3,83	19,15	8300
14/10/05	0,28	0,27	0,28	0,32	0,23	0	3,98	38,24	242456
21/10/05	0,16	0,17	0,16	0,22	0,13	4	2,68	16,51	61809
06/11/05	0,42	0,41	0,44	0,54	0,29	15	2,14	24,21	33083
24/11/05	0,22	0,24	0,16	0,22	0,25	19	8,33	30,56	9953
08/01/06	0,22	0,24	0,16	0,22	0,25	7	23,38	52,60	5270
12/01/06	0,25	0,26	0,22	0,23	0,28	2	33,06	41,32	19824
Média	0,18	0,18	0,18	0,21	0,17	-	-	-	-
Máximo	0,42	0,41	0,44	0,54	0,29	-	-	-	-
Mínimo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	-	-	-	-

PTSA = período de tempo seco antecedente, Im=intensidade média da precipitação, Prec = precipitação total, Vol = Volume escoado.

Nos eventos monitorados não foi observada correlação significativa entre o PTSA e a carga de lavagem. Deletic & Orr (2005) e Brites & Gastaldini (2005) também não encontraram correlação entre o PTSA e o carreamento de poluentes. Entretanto seria necessário analisar mais eventos na bacia do Lageado Grande para verificar se há um padrão.

CONCLUSÕES

Este trabalho teve por objetivo avaliar a carga de poluição difusa lançada na bacia hidrográfica do arroio Lageado Grande devida à atividade de garimpo de pedras preciosas.

Os resultados mostram que a contaminação orgânica, avaliada através da DBO₅, DQO, OD e Sólidos Voláteis, é muito pequena, mas com crescimento de montante para jusante da área de extração mineral. Quanto à contaminação bacteriológica, avaliada através dos coliformes totais e termotolerantes esta pode ser justificada pela atividade agropastoril que é desenvolvida no entorno das áreas de garimpo da bacia em estudo.

As concentrações dos seguintes elementos: Cálcio, Cobre, Ferro, Magnésio, Manganês, Sódio e Zinco, foram mais elevadas na saída do garimpo indicando que a atividade de extração mineral au-

mentou os teores de alguns desses parâmetros na água, devido à dissolução de compostos químicos, da rocha ou do solo na drenagem.

Os elevados valores de condutividade elétrica no ponto de garimpo indicam a presença de sais dissolvidos na água, de origem geoquímica. Além disso, houve um grande aumento nas concentrações de sólidos e turbidez a jusante da saída do garimpo, devido aos grandes remanejamentos de rochas e movimentações de terra.

Na bacia em estudo obtiveram-se Concentrações Médias dos Eventos (CME) superiores às concentrações médias observadas em tempo seco, indicando que o escoamento superficial afeta a qualidade da água do corpo receptor.

A carga poluente consiste basicamente de sedimentos, provenientes das atividades de garimpo e agropecuária, que são transportados para o corpo d'água durante o escoamento superficial.

De acordo com os resultados, as concentrações dos parâmetros observados apresentaram tendência em aumentar com o volume do escoamento superficial e com o total precipitado. Além disso, foi encontrada uma boa correlação entre os parâmetros sólidos e turbidez.

Foi verificada a ocorrência do fenômeno da carga de lavagem em mais de 50% dos eventos para os parâmetros sólidos. Não foi observada correlação significativa entre PTSA e a carga de lavagem. Seria

necessário analisar mais eventos para verificar se há um padrão.

Os resultados indicam a influência da atividade de garimpo na qualidade da água superficial da bacia do Lageado Grande.

Isso demonstra a necessidade de um monitoramento dos corpos d'água no entorno de áreas de garimpo para que sejam gerados dados, modelos e critérios de dimensionamento para as medidas de controle e os processos de tratamento dos efluentes.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FAPERGS pelo financiamento à pesquisa; à CAPES e ao CNPq pelas bolsas de mestrado e de pesquisa concedidas aos autores do trabalho; ao Grupo GHIDROS, aos técnicos Alcides Sartori, José Astério Rosa do Carmo e Thiago Formentini e aos bolsistas de iniciação científica, Álisson Milani, Débora Missio, Fábio Mari Malqui, Felipe D'almaso e Letícia Zorzela, pelo auxílio nos trabalhos de campo e laboratoriais.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINI, I.M. *et al.* *Ágata do Rio Grande do Sul*. Ministério de Minas e Energia; Brasília: DNPM, 1998. 272p.
- ALBERTI, E. A. *et al.* O caráter dicotômico da produção de ametista no Estado do Rio Grande do Sul. *Ciência e Natura*. Santa Maria: v.25, p.189 - 210, 2003.
- APHA, AWWA, WEF *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 20.Ed., Washington DC: American Public Health Association, 1998.
- BERTRAND-KRAJEWSKI, J.; CHEBBO, G.; SAGET, A. Distribution of Pollutant Mass vs Volume in Stormwater Discharges and the First Flush Phenomenon. *Water Resource*, v. 32, n. 8, p. 2341-2356, 1998.
- BRASIL - CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. *Resolução n.375, de 17 de março de 2005*. Brasília, DF, 2005.
- BRITES, A.P.Z., GASTALDINI, M.C.C. *Avaliação da Carga Difusa da Drenagem Pluvial Urbana na Bacia hidrográfica Cancela* In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005, Campo Grande - MS. Anais... ABES, 2005. v.1. p.1 – 8.
- DELETIC, A; ORR, D. W. Pollution buildup on road surfaces. *Journal of Environmental Engineering*. v. 131, n.1, p.49-59, 2005.
- DE LUCA, S.J.; MILANO, L.B.; IDE, C.N. Rain and urban stormwater quality. *Wat. Sci. Tech.* Kyoto, v.23, pp.133-140, 1991.
- FIORENTINI, J.A. *et al.* *Ametista do Alto Uruguai: aproveitamento e perspectivas de desenvolvimento*. Ministério de Minas e Energia; Brasília: DNPM, 1998. 260p.
- GUPTA, K.; SAUL, A.J. Specific Relationships for the First Flush Load in Combined Sewer Flows. *Water Resource*. v. 30, n.5, p. 1244-1252, 1996.
- IDE, C.N. *Qualidade da drenagem pluvial urbana*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento) - IPH -UFRGS, Porto Alegre, 1984.
- LEE, J. H.; BANG, K. W.; KETCHUM, L.H.; CHOE, J.S.; YU, M.J. First flush analysis of urban storm runoff. *Science of the Total Environment* 293, p. 163-175, 2002.
- KAMBANI, S. M. Small-scale mining and cleaner production issues in Zambia. *Journal of Cleaner Production*. n. 11, p 141-146, 2003.
- KIM,G.; YUR,J.; KIM, J. Diffuse pollution loading from urban stormwater runoff in Daejeon city, Korea. *Journal of Environmental Management*, 2006.
- MOTA, S. *Introdução à engenharia ambiental*. 388 p. 4.ed. ABES, Rio de Janeiro, 2006.
- PAZ, M. F., GASTALDINI, M.C.C., JORGE, M.P. *Avaliação da Qualidade do Escoamento Superficial da Bacia Alto da Colina* In: XI SILUBESA - SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA, 2004, Natal. ABES, 2004. v.1. p.1 – 9.
- PEGRAM, G. C.; BATH, A.J. Role of non-point sources in the development of a water quality management plan for the Mgeni River Catchment. *Water Science Technology*. v. 32, n. 5-6, p.175-182, 1995.
- PORTO, M.F.A. Aspectos Qualitativos do Escoamento Superficial em Áreas Urbanas. In: TUCCI, C.E.M.; PORTO, R.L.L.; BARROS, M.T. *Drenagem Urbana*. Porto Alegre: Ed. Universidade/UFRGS/ABRH, 1995, V.5, p.387-414.
- TOMAZ, P. *Poluição difusa*. Navegar Editora. São Paulo - SP. 2006.
- USEPA. *Identification and Description of Mineral Processing Sectors and Waste Streams - Final Technical Background Document. III. Mineral Commodities*. Elemental Phosphorus, Fluorspar and Hydrofluoric Acid, Gemstones, Germanium, Gold and Silver, Iodine, Iron and Steel. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Water, 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov/epaoswer/other/mineral/part5.pdf>> Acesso em : 15 dez. 2005.
- UMEZAWA, P.K. *Previsão de deplúvio (washload) em rios de áreas elevadas*. Dissertação (Mestrado em Hidrologia Aplicada). IPH - UFRGS, Porto Alegre, 1979.
- VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 452 p. Departamento de En-

genharia Sanitária e Ambiental; UFMG, Belo Horizonte, 2005.

Analysis of Diffuse Pollution Load Generated by Mining Activities

ABSTRACT

This study aimed at assessing the diffuse pollution load in the Lageado Grande watershed, located in the town of São Martinho da Serra - RS. Land use in the watershed consists mainly of agricultural activities and gemstone mining. The quality of runoff water was analyzed using the following parameters: temperature, turbidity, TS, TSS, TDS, TFS, TVS, conductivity, pH, alkalinity, DO, BOD₅, COD, phosphate, nitrate, Al, Ca, Cu, Cr, Fe, Mg, Mn, Na, Zn, total coliforms, thermotolerant coliforms. The water samples were collected in eleven dry weather campaigns and during thirteen rainfall events, in 2005. Results showed that the mining operations led to increased conductivity, turbidity and solids content. The observed averaged EMC of the samples analyzed were: TS 479.47 mg/L, TSS 320.60 mg/L, TDS 160.51 mg/L, TVS 112.57 mg/L TFS 209.12 mg/L and 64.68 NTU. Higher surface runoff and rainfall values resulted in increased concentration of these parameters. In addition, a significant correlation was observed between solids content and turbidity values. The study also investigated the existence and nature of the first flush pollution load that is produced by surface runoff in the water quality of this watershed. The phenomenon was found in more than 50 % of the events for the solids parameters. The results indicate that mining operations are having a detrimental effect on the quality of water and control measures of the diffuse pollution load in the Lageado Grande Watershed are needed.

Keywords: Water quality; diffuse pollution; mining.