



## INFLUÊNCIA ANTRÓPICA NA GEOQUÍMICA DE ÁGUA E SEDIMENTOS DO RIO CONCEIÇÃO, QUADRILÁTERO FERRÍFERO, MINAS GERAIS - BRASIL

R.R. Parra<sup>1,\*</sup>, H.M.P. Roeser<sup>1</sup>, M.G.P. Leite<sup>1</sup>, H.A. Nalini Jr.<sup>1</sup>,  
A.T.A. Guimarães<sup>1</sup>, J.C. Pereira<sup>1</sup>, K. Friese<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Departamento de Geologia da Universidade Federal de Ouro Preto,  
Ouro Preto, MG

<sup>2</sup>Department of Lake Research, Centre for Environmental Research,  
Brueckstr

\*E-mail: geoquimica@degeo.ufop.br

Recebido em março de 2006, aprovado para publicação em novembro de 2006

### ABSTRACT

Fifty two samples of water and 50 samples of bottom sediments along the Conceição river, from Santa Bárbara district, Minas Gerais. Brazil were examined. A seasonal hydro-chemical monitoring of the parameters: pH, Eh, electrical conductivity, total dissolved solids (TDS), turbidity and alkalinity was carried out. The concentrations of sulphates, chlorides, and heavy metal in the water were analyzed. Chemical and mineralogical compositions of the sediments were determined as well as the local background and the index of Geoaccumulation. The results indicates that the variations in the water- and sediment - composition are related as well as with the lithology of the area, as well as with human activities. The mining of the area is primarily responsible for the variations in the physical-chemical characteristics of the water and the pollution with heavy elements as arsenic and lead.

### RESUMO

Estudaram-se 52 amostras de água e 50 amostras de sedimentos de fundo, coletadas ao longo do rio Conceição (Município de Santa Bárbara, Minas Gerais, Brasil). Realizou-se um monitoramento hidro-geoquímico sazonal dos parâmetros pH, Eh, condutividade elétrica, sólidos totais dissolvidos, turbidez e alcalinidade. Foram analisadas as concentrações de sulfatos, cloreto, e dos metais pesados na água. As composições químicas e mineralógicas dos sedimentos foram determinadas como também o background Local e o índice de Geoacumulação. Os resultados indicam que as variações na composição da água e dos sedimentos estão relacionadas com a litologia da área, assim como também com atividades antrópicas. A mineração da área é a principal responsável pelas variações nas características físico-químicas da água e pela poluição com elementos pesados como arsênio e chumbo.

### INTRODUÇÃO

A contaminação das águas pode ser resultante das condições geológica da região e das atividades humanas desenvolvidas no entorno da bacia hidrográfica. A contaminação

antrópica dos rios é originada principalmente pelo lançamento de esgotos domésticos, lixo urbano e rejeitos industriais, entre outros, sendo a atividade industrial a responsável pela maioria das diferentes substâncias poluentes encontradas na água (Fellenberg, 1980).

O rio Conceição é um exemplo típico dos cursos de água no Estado de Minas Gerais, estando impactado por diversas atividades antrópicas. Situando-se na região conhecida como Quadrilátero Ferrífero, trata-se de uma área de intensas atividades de minerações de ouro, ferro e manganês, em que se destacam as minas Brucutu, Córrego do Sítio, São Bento e Capanema. Ao longo do rio, localizam-se ainda os vilarejos de Conceição do Rio Acima, Galego, Paiol, Tambor e São Gonçalo.

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar as características geoquímicas de água e sedimentos ao longo do rio Conceição e em seus tributários para caracterizar a real influência das atividades antrópicas nos mesmos.

### LOCALIZAÇÃO E ACESSO

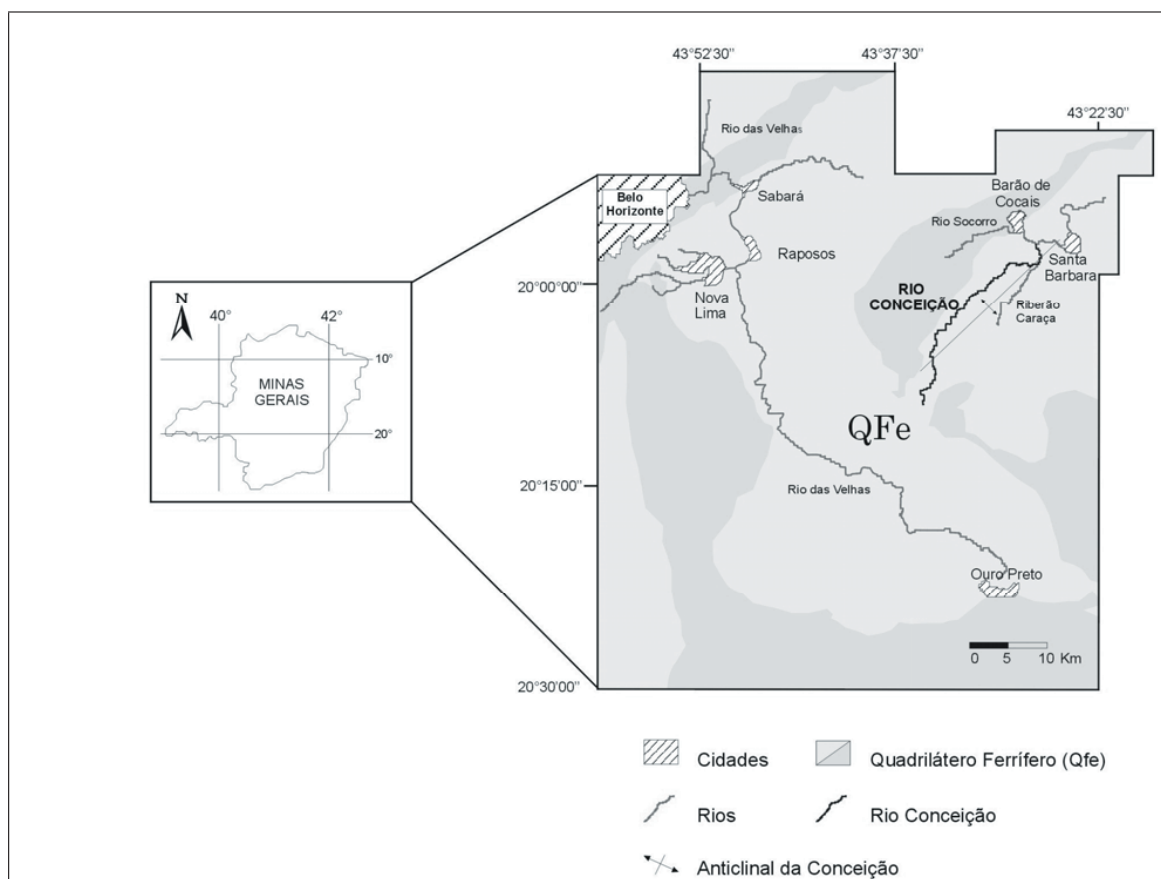
A área estudada localiza-se no Município de Santa Bárbara, estado de Minas Gerais - Brasil, a aproximadamente 100km de

distância da cidade de Belo Horizonte. Situada entre as longitudes  $43^{\circ}37'30''$  e  $43^{\circ}22'30''$ W e as latitudes  $19^{\circ}55'00''$  e  $20^{\circ}13'00''$ S (Figura 1), a bacia do rio Conceição possui cerca de 27km de comprimento e aproximadamente 225km<sup>2</sup>, estando inserida em três folhas topográficas do IBGE (1:50.000): Acuruí, Catas Altas e Caeté.

### ASPECTOS GEOLÓGICOS

A bacia hidrográfica do rio Conceição localiza-se na parte nordeste do Quadrilátero Ferrífero, mais precisamente no chamando Anticlinal de Conceição (Figura 1), uma estrutura antiformal invertida de eixo NE-SW e caimento para SE (Simons 1968; Dorr 1969), situado entre o Sinclinal Gandarela e o Maciço do Caraça.

As unidades litoestratigráficas que caracterizam a área estudada correspondem às rochas pertencentes aos supergrupos Rio das Velhas e Minas, com predominância das litologias do primeiro (Figura 2). O



grupo Nova Lima, base do supergrupo Rio das Velhas, está presente em grande parte da área estudada. Localizado na porção central da bacia hidrográfica, é caracterizado principalmente pela presença de clorita quartzo xisto, mica quartzo xisto, quartzo mica xisto, sericita clorita xisto, quartzito sericítico e quartzo carbonato mica clorita xisto. Já o grupo Maquine, topo do supergrupo Rio das Velhas, localiza-se na porção sul da área estudada e é constituído principalmente de quartzitos, filitos e metaconglomerados (Lobato *et al.* 2004). Ainda segundo os mesmos autores, o supergrupo Minas se ocorre principalmente na borda sudoeste, destacando-se a presença do grupo Caraça constituído por filitos, quartzitos finos com conteúdos variáveis de sericita e muscovita; o grupo Itabira, compreendendo itabiritos e pequenas lentes de xistos, filitos e margas; e o grupo Piracicaba: composto de filitos e quartzito ferruginoso (Figura 2). Além destas rochas proterozóicas, ocorrem ainda na área as coberturas recentes, em sua maioria depósitos aluviais.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para determinar a influência da atividade mineraria na geoquímica das águas e dos sedimentos no rio Conceição, realizou-se um monitoramento sazonal, com a análise dos parâmetros físico-químicos da água e amostragens de água e sedimentos em duas campanhas: uma realizada no período de verão (outubro de 2003) e outra no inverno (julho e setembro de 2004). Coletaram-se 52 amostras de água (uma amostra na estação seca e outra na chuvosa) ao longo do rio e em alguns de seus tributários (Figura 3). No campo, foram medidos o pH, o Eh, a temperatura, a condutividade elétrica e os sólidos totais dissolvidos, usando o ULLTRAMETER™ 6P. O oxigênio dissolvido foi medido usando o Oxímetro Handylab, modelo OXI 1/SET.

Já os sedimentos de fundo foram coletados em 25 destes pontos amostrais, a exceção do ponto C9 (Figura 3), onde não havia sedimento suficiente para a coleta,

totalizando 50 amostras (uma amostra na estação seca e outra na chuvosa). As amostragens foram realizadas a cerca de 1 m da margem do rio, usando um tubo PVC, com o qual foi feita uma perfuração de 60 cm, inclinada a aproximadamente 45°. As amostras coletadas foram acondicionadas em sacos plásticos e transportadas para o LGqA (Laboratório de Geoquímica Ambiental do DEGEO/UFOP). As coletas e preservação das amostras foram realizadas tomando o cuidado necessário para não contaminá-las previamente, segundo os critérios de Agudo *et al.* (1987) e Derisio (1992).

As análises químicas foram realizadas, no LGqA, seguindo o Procedimento Operacional Padrão (POP), baseado nas metodologias propostas por Greenberg *et al.* (1992), no *Standard methods for the examination of water and wastewater*, ou seja uma digestão total ácida ( $\text{HNO}_3 + \text{HCl} + \text{HF}$ ). Foram determinados a turbidez, a alcalinidade, o teor de sulfatos, o teor de cloretos e os metais pesados. Para medir a turbidez, foi utilizado o turbidímetro B250. A alcalinidade foi determinada pelo método titulométrico. As concentrações de sulfato e cloreto foram determinadas através do método turbidimétrico.

Nas amostras de água foi determinada a concentração dos elementos principais Al, Ca, Mg, Na, K, Mn e Fe e dos elementos menores As, Cd, Cu, Co, Cr, Mo, Ni, Pb, V e Zn, todas realizadas via Espectroscopia de Emissão Atômica com Plasma Indutivamente Acoplado (ICP-OES). Já os sedimentos foram secos a temperatura de 23°C e peneirados, utilizando-se um conjunto de 4 peneiras, que geraram 5 frações granulométricas: 0,59mm; 0,210mm; 0,149mm; 0,063mm e <0,063mm. As frações de areia foram analisadas em uma lupa binocular para a caracterização mineralógica/petrográfica dos fragmentos, enquanto que na porção mais fina, silte+argila, determinou-se a composição mineralógica por difratometria de raios-X. Uma parte desta fração foi também usada na determinação dos teores de metais e dos elementos Ca, Na, K,

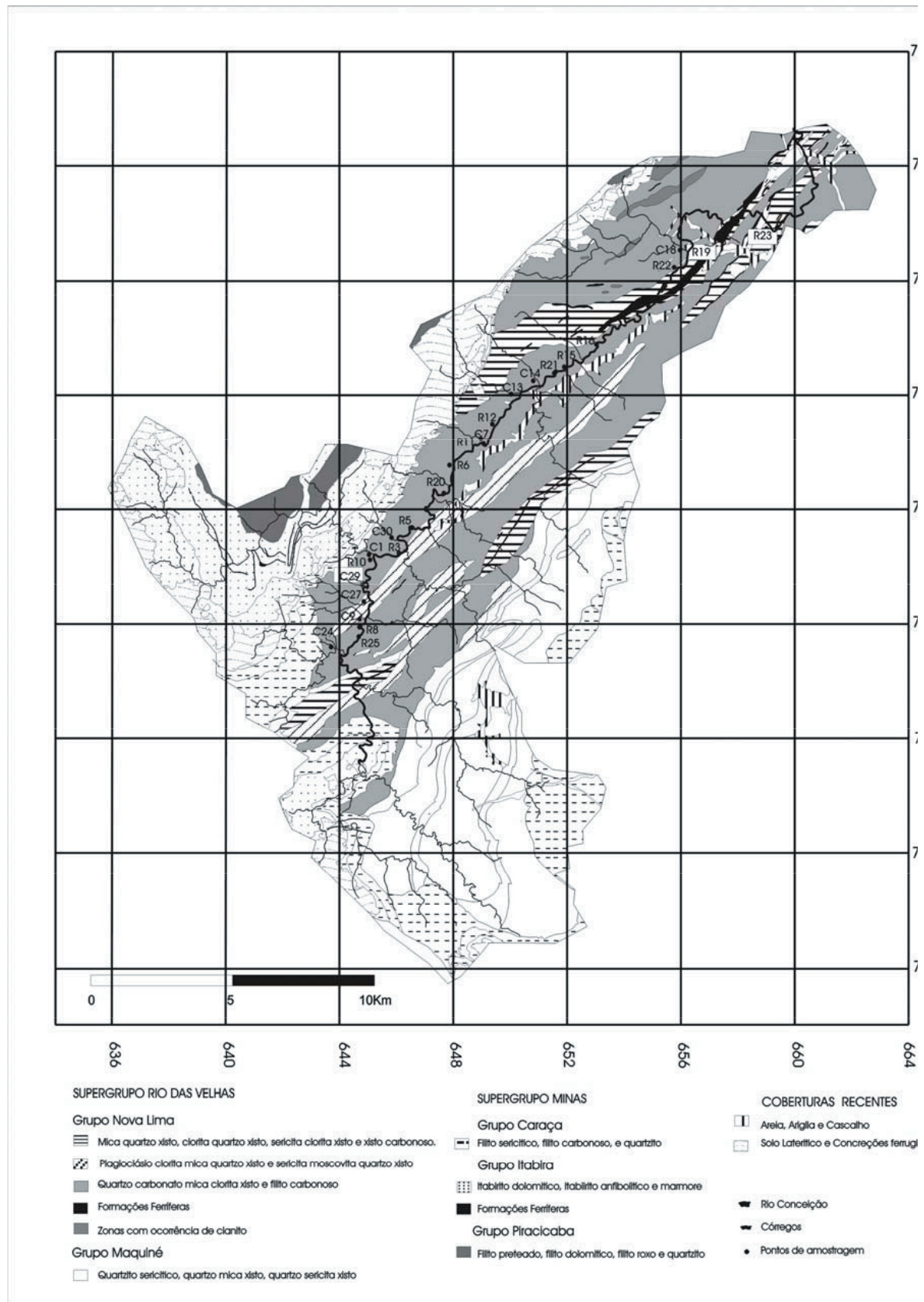
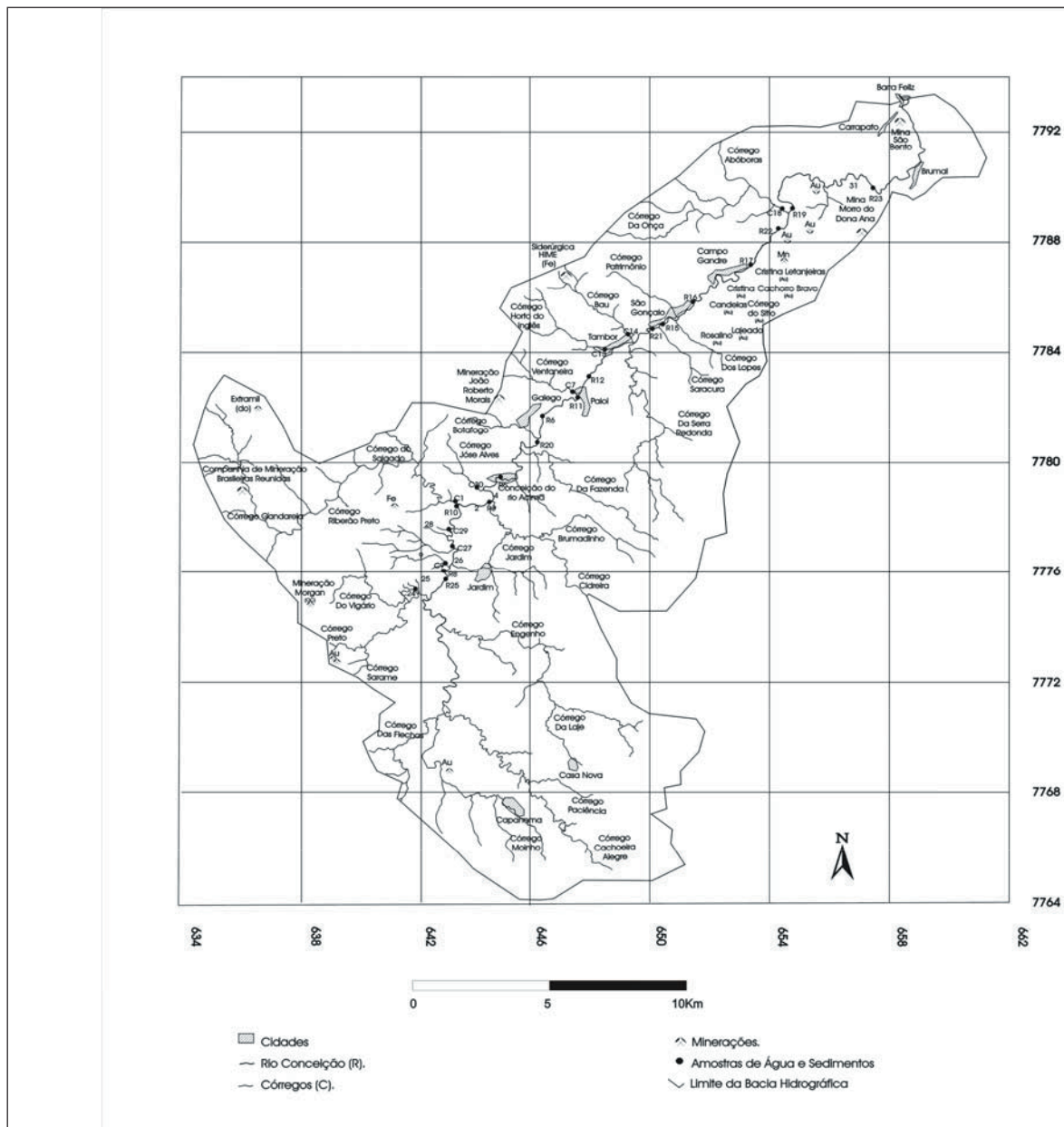


Figura 2: Mapa geológico da área de estudo (modificado de Lobato *et al.* 2004).



**Figura 3:** Localização dos pontos de amostragem (pontos iniciados com “R”, são pontos amostrais no próprio rio Conceição, enquanto pontos iniciados com “C” são pontos nos córregos tributários do rio Conceição) (IBGE 2005).

Mg, Fe, Mn, Al, As, Cd, Pb, Co, Cu, Cr, Ni e Zn. Para tal, foi feita a abertura das amostras através da digestão parcial, com água régia ( $\text{HNO}_3$ : HCl, 1:3), seguida das dosagens dos elementos por ICP-OES.

De posse dos resultados da análise química da água e dos sedimentos foram representados os dados em gráficos e tabelas para depois realizar a interpretação e discussão dos dados.

A seguir, determinou-se o *background* local para os metais pesados cromo, zinco, cobre, arsênio, cádmio e chumbo, seguindo os critérios propostos por Matschullat *et al.* (2000), usando os gráficos de probabilidade normal (NPC).

Utilizou-se como concentração média de *background* ( $C_n$ ) os valores de níveis de base natural obtidos dos gráficos de probabilidade normal e os valores de *background* médios

globais (Turekian & Wedepohl 1961), para estabelecer comparações entre eles.

Para determinar os níveis de contaminação nos sedimentos foi calculado também o índice de geoacumulação usando-se a fórmula proposta por Müller (1979) *in* Calmano & Förstner (1996). Este índice permite classificar os níveis de enriquecimento dos metais em sete classes distintas, que variam de 0 a 6 e estão relacionadas com o grau crescente de contaminação (Tabela 1). O Índice de Geoacumulação foi calculado para os metais pesados cromo, zinco, cobre, cádmio, chumbo e arsênio.

**Tabela 1:** Índice de geoacumulação (Igeo) de metais pesados (modif. Müller 1979 *in* Calmano & Förstner (1996)).

Intensidade de poluição	Acúmulo no sedimento (Igeo)	Classe Igeo
Extremamente poluído	>5	6
Fortemente a extremamente poluído	4 – 5	5
Fortemente poluído	3 – 4	4
Moderadamente a fortemente poluído	2 – 3	3
Moderadamente poluído	1 – 2	2
Não poluído a moderadamente poluído	0 – 1	1
Praticamente não poluído	< 0	0

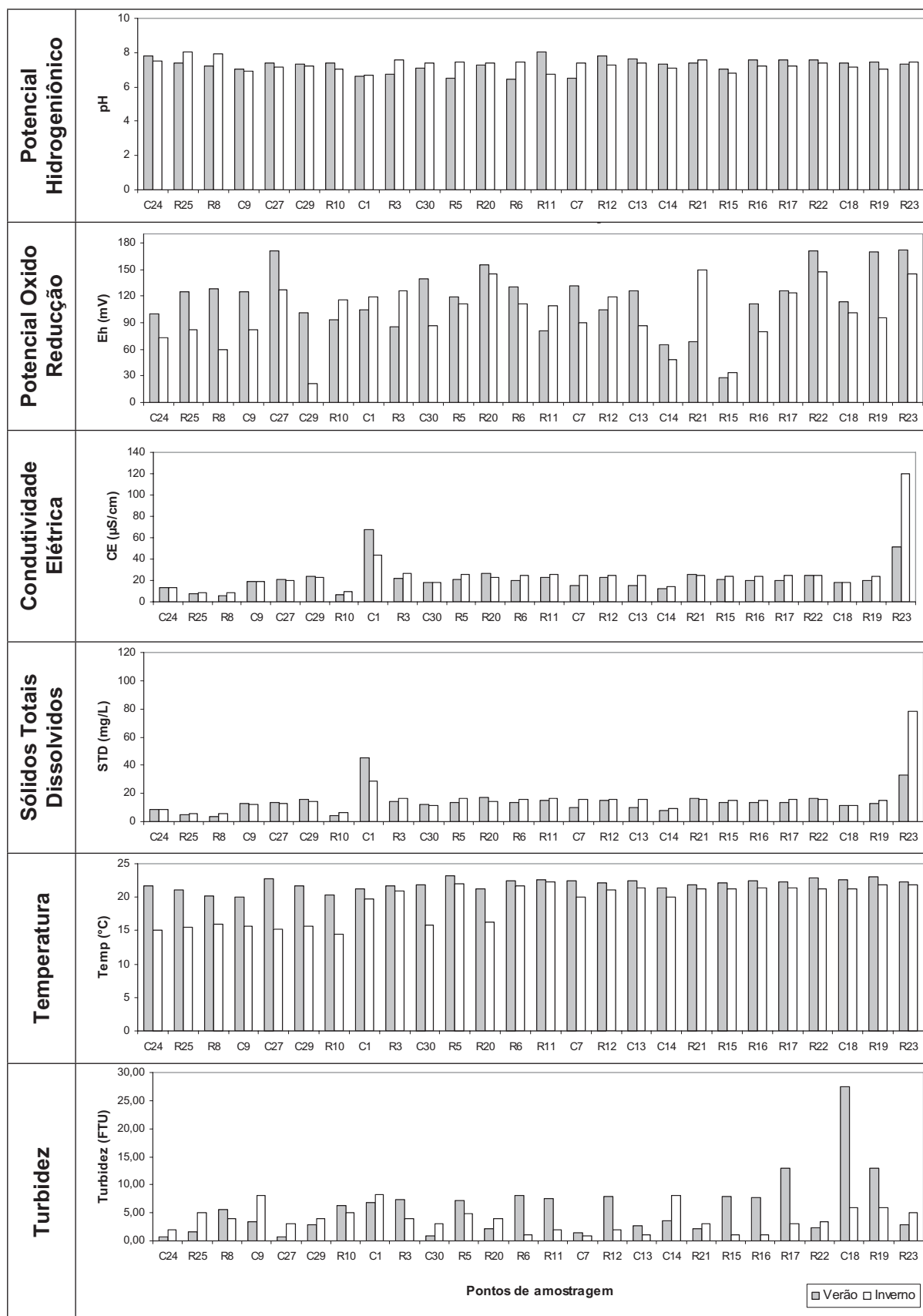
## RESULTADOS E DISCUSSÕES

Alguns dos parâmetros medidos *in situ* apresentaram pouca variação durante o tempo de monitoramento. É o caso do pH, que variou entre 6,76 e 8,04 durante o verão e entre 6,44 e 8,07 durante o inverno (Figura 4A). Em ambas situações, o pH manteve-se próximo de 7, conferindo às águas um caráter neutro. Também temperatura se manteve praticamente constante, principalmente durante o verão, quando oscilou entre 20 e 23,2°C, enquanto que durante o inverno, teve um comportamento um pouco mais variável,

oscilando entre 14,5 e 22,3°C (Figura 4E). Já as demais medidas apresentaram resultados com variações bastante significativas. O Eh, por exemplo, indicou ambientes oxidantes, com valores variando de 65mV a 173 mV durante o período de inverno, sofrendo um decréscimo na maioria dos pontos durante o verão, provavelmente devido às maiores quantidades de matéria orgânica presente neste período de chuva (Figura 4B). Como se pode observar na Figura 4B, alguns pontos, apresentaram valores bem diferentes da média geral, resultado de influências antrópicas, seja das minerações ou dos aglomerados urbanos situados ao longo do rio (Figura 3). É o caso dos pontos R3, R10 e C1, que sofrem influência direta das minerações de ferro, enquanto os pontos como o R15 e o C14 são influenciados pelo lançamento de efluentes urbanos (Figura 3).

Também a turbidez apresentou resultados bastante variados no rio e seus tributários, com valores entre 0,7 e 13 FTU durante o verão e entre 0,9 e 8,3 FTU durante o inverno. Pode-se observar no histograma da Figura 4F que durante o verão ocorreram valores mais elevados de turbidez, na maioria dos pontos. Como a turbidez está relacionada com os sólidos particulados carregados em suspensão, durante o verão há um maior volume de precipitação e a conseqüentemente maior quantidade de material em suspensão derivado dos processos erosivos na bacia. Vale destacar os elevados valores, especialmente no verão, associados à ação antrópica, é o caso dos pontos C18 e R19 (Figura 4F), localizados na base da encosta onde se localizam diversas minas de ouro (Figura 3). Além desses, os pontos C1, C9 e C14, exultórios de córregos que drenam as minas (Figura 3), e o R23, a jusante da mina de ouro, aparecem com valores mais elevados de turbidez no período de inverno, nitidamente influenciados pela atividade das mesmas.

A condutividade elétrica (CE), como era de se esperar, apresentou relação direta com os sólidos totais dissolvidos STD. Estes dois parâmetros apesar de terem apresentado pouca variação sazonal (CE com valores entre 5,93 e 68  $\mu$ S/cm no verão e entre



**Figura 4:** Parâmetros físico-químicos da água. A) pH, B) Eh, C) Condutividade, D) Sólidos totais dissolvidos E) Temperatura e F) Turbidez.

8,94 e 119  $\mu\text{S}/\text{cm}$  durante o inverno; STD com valores entre 3,92 e 45,59 mg/L no verão e entre 5,85 e 78,04 mg/L durante o inverno) mostraram uma clara influência das minerações principalmente nos pontos C1, R10 e R23 (Figuras 3, 4C e 4D).

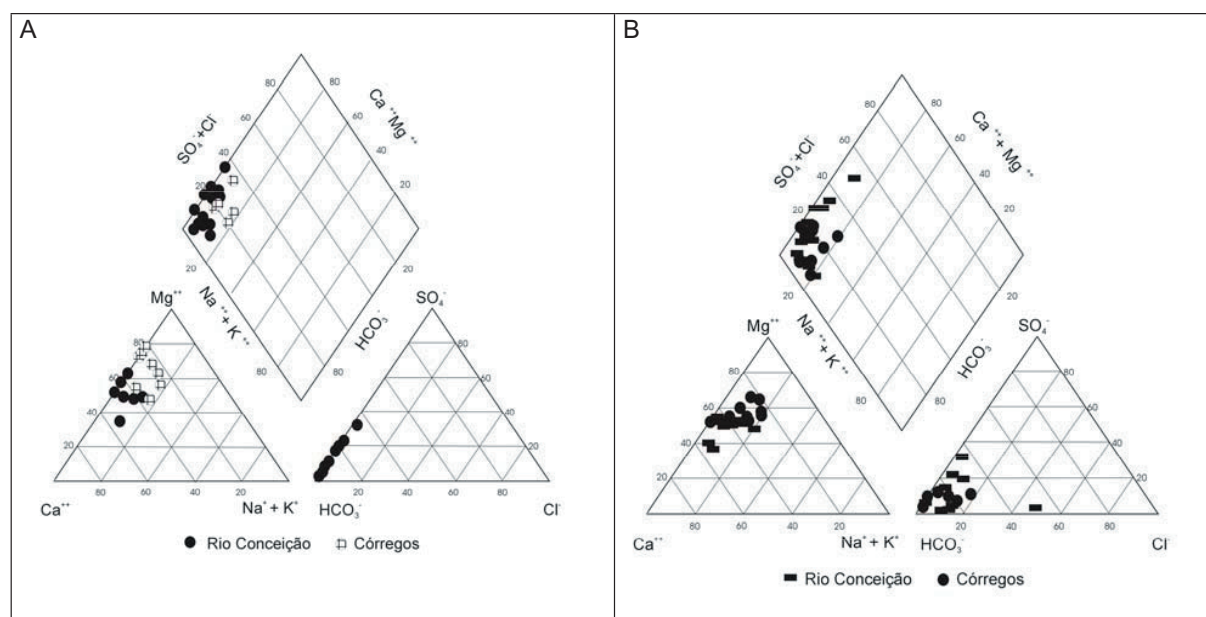
Com base nos dados das análises químicas (Tabela 1), a água do rio Conceição pode ser classificada como bicarbonatada magnesiânica-cálcica tanto no verão quanto no inverno (Figura 5). Porém, a água dos córregos teve suas características variando durante as estações: durante o verão classificada como bicarbonatada magnesiânica (Figura 5A) e durante o inverno como bicarbonatada cálcica (Figura 5B). Neste período observou-se ainda uma anomalia no ponto R23 (Figura 3), onde as concentrações de cloreto foram muito mais elevadas do que nos outros pontos. Pode-se perceber na Figura 3 que este ponto está localizado no meio do povoado de São Gonçalo, recebendo o lançamento direto de efluentes domésticos.

Em relação aos elementos principais e os elementos menores, apenas os valores de ferro, níquel, chumbo e cromo mostraram concentrações relativamente elevadas (Tabela 2), acima dos valores permissíveis pela Resolução nº 357 de 17/03/2005 do Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA 2005)

para as águas de classes 1 e 2. É interessante notar que estes valores ocorreram apenas durante o inverno, devido à menor diluição, característica do período seco, indicando uma contaminação antrópica (Tabela 2). Essas concentrações elevadas ocorreram nos tributários C29 e C27, localizados na base da encosta onde se localiza uma mina de ferro, e no ponto C14, exutório de um tributário que drena uma mina de ouro.

Em relação aos sedimentos do rio Conceição, a caracterização por lupa binocular permitiu verificar que estes são constituídos principalmente quartzo, óxido de ferro (hematita) e hidróxido de ferro (goethita). Já nos sedimentos dos córregos, predominam largamente o quartzo e diminui em muito a quantidade de hematita, especialmente no inverno. A difração de raios-X também mostrou a presença de quartzo, hematita, e goethita, porém determinou ainda a presença de muscovita, caolinita e mais raramente gibbsita e ilita.

Na tabela 3 estão os resultados obtidos para os metais e principais elementos químicos. Pode-se observar que existe uma grande variação de valores, tanto entre as estações como entre os pontos amostrais. Os teores de alumínio, por exemplo, oscilaram



**Figura 5:** Diagramas de Piper para a água do rio Conceição A) verão e B) inverno.



Tabela 2: Concentrações dos elementos Ca, Cr, Fe, K, Mg, Na, Ni e Pb em amostras de água no verão e no inverno.

Amostras	Ca		K		Mg		Na		Cr		Fe		Ni		Pb	
	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno	verão	inverno
(mg/L)																
(µg/L)																
C24	0,48	0,72	0,17	0,11	0,52	0,76	<LQ	0,31	<LQ	<LQ	79,60	44,93	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R25	0,38	0,61	0,11	0,12	0,38	0,56	<LQ	0,38	<LQ	<LQ	124	113	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R8	0,40	0,63	0,13	<LQ	0,31	0,56	0,16	0,28	<LQ	<LQ	128	138	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
C9	0,95	0,98	0,23	0,06	1,56	1,59	0,32	0,41	<b>153</b>	<b>153</b>	54,5	84,8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
C27	0,99	0,68	0,15	<LQ	1,58	0,78	<LQ	0,21	<LQ	<LQ	41,6	20,2	<LQ	<b>115</b>	<LQ	<b>116</b>
C29	1,03	1,12	0,19	<LQ	1,83	1,89	<LQ	0,56	<LQ	<LQ	147	135	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R10	0,40	0,70	0,13	<LQ	0,32	0,65	<LQ	0,26	<LQ	<LQ	106	256	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
C1	7,41	4,07	0,12	0,11	4,47	2,78	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	10,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R3	2,18	2,18	0,17	0,13	1,39	1,65	0,27	<LQ	<LQ	<LQ	61,3	71,6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
C30	0,67	0,85	0,16	0,11	1,43	1,55	<LQ	0,58	<LQ	<LQ	29,5	52,8	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R5	2,10	2,17	0,11	0,13	1,35	0,98	<LQ	0,17	<LQ	<LQ	57,9	67,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R20	2,59	2,20	0,08	0,13	1,68	1,54	0,22	0,33	<LQ	<LQ	103	136	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R6	1,95	1,07	0,12	0,11	1,29	0,80	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ	53,50	51,6	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R11	2,25	2,25	0,28	<LQ	1,50	1,64	0,39	0,30	<LQ	<LQ	44,3	71,1	<LQ	<LQ	21,7	<LQ
C7	1,30	1,85	0,13	0,15	1,10	1,62	0,31	0,27	<LQ	<LQ	59,1	36,3	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
R12	2,19	2,25	0,14	<LQ	1,47	1,65	0,20	0,25	<LQ	<LQ	52,1	121	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
C13	1,25	2,21	0,18	<LQ	0,97	1,73	0,25	0,33	<LQ	<LQ	62,0	44,5	<LQ	<LQ	<LQ	<LQ
C14	0,51	0,50	0,25	0,05	0,66	0,70	0,37	0,41	<LQ	<LQ	<b>553</b>	<b>1041</b>	<LQ	<LQ	16,73	<LQ
R21	2,36	2,11	0,09	<LQ	1,63	1,62	0,28	0,21	<LQ	<LQ	131	79,3	<LQ	<LQ	19,78	<LQ
R15	1,92	2,03	0,17	<LQ	1,32	1,59	0,27	0,26	<LQ	<LQ	54,1	99,1	<LQ	<LQ	23,77	<LQ
R16	1,87	2,03	0,17	0,06	1,30	1,57	0,28	0,41	<LQ	<LQ	48,9	87,8	<LQ	<LQ	21,34	<LQ
R17	1,82	2,10	0,17	<LQ	1,26	1,59	0,24	0,27	<LQ	<LQ	51,6	122	<LQ	<LQ	21,87	<LQ
R22	2,26	2,11	0,19	<LQ	1,56	1,58	0,45	0,39	<LQ	<LQ	118	125	<LQ	<LQ	21,87	<LQ
C18	1,15	1,10	0,43	0,06	0,92	1,09	0,64	0,57	<LQ	<LQ	152	<b>373</b>	<LQ	<LQ	21,17	<LQ
R19	1,81	1,98	0,25	0,10	1,24	1,52	0,49	0,51	<LQ	<LQ	52,1	142	<LQ	<LQ	18,38	<LQ
R23	5,00	11,27	0,20	0,29	1,91	4,62	1,10	1,94	<LQ	<LQ	126	104	<LQ	<LQ	15,75	<LQ

<LQ = Menor que o limite de quantificação.

Valores em negrito correspondem às concentrações acima do nível permitido pela Resolução CONAMA 357 para as classes 1 e 2.

Tabela 3: Teores dos elementos Al, Ca, Fe, K, Mg, Mn e As em amostras de sedimento no inverno e no verão.

Pontos De	Ca		K		Mg (mg/kg)		As		Al		Fe (%)		Mn	
	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno	Verão	Inverno
C24	196	119	45,4	40,1	198	433	38,0	<LQ	1,13	0,39	12,1	11,9	0,39	0,16
R25	127	434	86,5	100	187	480	<LQ	4,20	0,60	0,89	11,9	8,24	0,42	0,11
R8	78,4	94,1	54,3	118	166	348	<LQ	<LQ	0,43	0,79	12,3	10,6	0,35	0,08
C27	185	564	101	384	216	525	8,80	10,6	1,80	2,58	11,2	9,02	0,48	0,07
C29	424	464	151	169	818	389	6,71	7,03	1,08	1,28	6,80	4,80	0,05	0,05
R10	88,7	189	43,8	63,4	215	392	<LQ	<LQ	0,43	0,61	9,52	13,0	0,06	0,12
C1	100	133	41,4	25,7	290	199	<LQ	<LQ	0,20	0,26	9,83	12,1	0,08	0,35
R3	76,4	471	64,6	93,3	188	368	<LQ	<LQ	0,23	0,65	11,3	9,20	0,38	0,81
C30	82,3	475	68,1	168	198	764	8,77	9,94	1,19	1,08	11,6	8,56	0,38	0,08
R5	441	258	161	85,1	267	292	<LQ	<LQ	0,18	0,67	9,24	9,05	0,09	0,51
R20	119	131	132	64,8	242	220	<LQ	<LQ	0,23	0,45	10,5	11,9	0,08	0,31
R6	63,1	160	33,6	59,5	181	242	<LQ	<LQ	0,24	0,39	11,8	11,8	0,27	0,40
R11	83,6	227	40,4	54,7	190	269	<LQ	<LQ	0,29	0,51	11,6	10,6	0,30	0,34
C7	82,8	299	68,2	274	188	1076	6,91	<LQ	1,17	1,29	9,58	7,91	0,26	0,08
R12	315	297	129	60,1	221	285	<LQ	<LQ	0,30	0,50	8,13	12,3	0,07	0,40
C13	137	543	76,9	250	246	338	<LQ	<LQ	0,35	0,51	9,26	9,02	0,34	0,12
C14	172	204	44,4	224	219	445	<LQ	<LQ	0,37	0,71	11,9	11,3	0,35	0,16
R21	132	122	61,4	10,1	212	199	<LQ	<LQ	0,38	0,26	9,77	14,3	0,31	0,26
R15	45,3	100	42,0	14,1	183	220	<LQ	<LQ	0,24	0,34	9,56	13,9	0,29	0,37
R16	141	<LQ	37,8	13,4	174	95,1	<LQ	<LQ	0,26	0,34	9,74	15,3	0,25	0,29
R17	395	137	250	133	872	296	4,91	40,8	0,36	0,93	4,86	7,80	0,47	0,28
R22	<LQ	188	54,6	156	236	700	8,10	89,0	0,29	0,92	10,0	9,12	0,13	0,24
C18	603	239	349	191	400	272	15,0	18,0	0,88	1,42	7,78	9,73	0,07	0,12
R19	555	214	151	107	285	777	37,1	62,3	0,44	0,66	5,31	8,76	0,12	0,31
R23	344	252	207	58,3	564	366	11,5	32,0	0,29	0,53	8,68	13,7	0,08	0,34

&lt;LQ = Menor que o limite de quantificação.

0,18 e 1,80 % no período do verão e de 0,27 e 2,58 % durante o período do inverno.

A maioria dos gráficos para o cálculo *background* apresentou apenas um padrão de distribuição, assinalando pouca ou nenhuma contaminação. Os gráficos dos elementos cromo, zinco e cobre apresentaram dois padrões distintos, indicando uma possível contaminação. Apenas o arsênio, cádmio e o chumbo apresentaram três padrões claros (Figura 7), mostrando pontos nos quais há, sem dúvida, contaminação antropogênica. Estes pontos amostrais contaminados antropogenicamente por As estão localizados na jusante do rio e estão relacionados com as minerações de Au (Figura 3). Já o cádmio e o chumbo apresentaram contaminação antrópica nos pontos situados a montante e no meio curso do rio Conceição, podendo ser associada às minerações de ferro nas cabeceiras da bacia (Figura 3).

Os elementos como o Mg e Ca apresentaram resultados bem acima da média (Figura 6), nos tributários do rio Conceição em especial no ponto C1, único a percorrer as rochas da Formação Gandarela (dolomitos e mármore – Figura 2).

A área estudada apresenta condições geológicas que a diferenciam de outros lugares, isto pode ser observado quando o *background local* é comparado com o *background* médio global. Na tabela 4 são mostrados o *background local* e o *background* proposto por Turekian & Wedepohl (1961) para os elementos que apresentaram gráficos com dois ou três padrões de distribuição. Pode se perceber que os valores de *background local* para os elementos Cr, Zn, As e Pb apresentaram-se baixos em relação ao *background* médio global, já o Cu e o Cd apresentaram altas concentrações o que pode estar relacionado com a presença de rochas

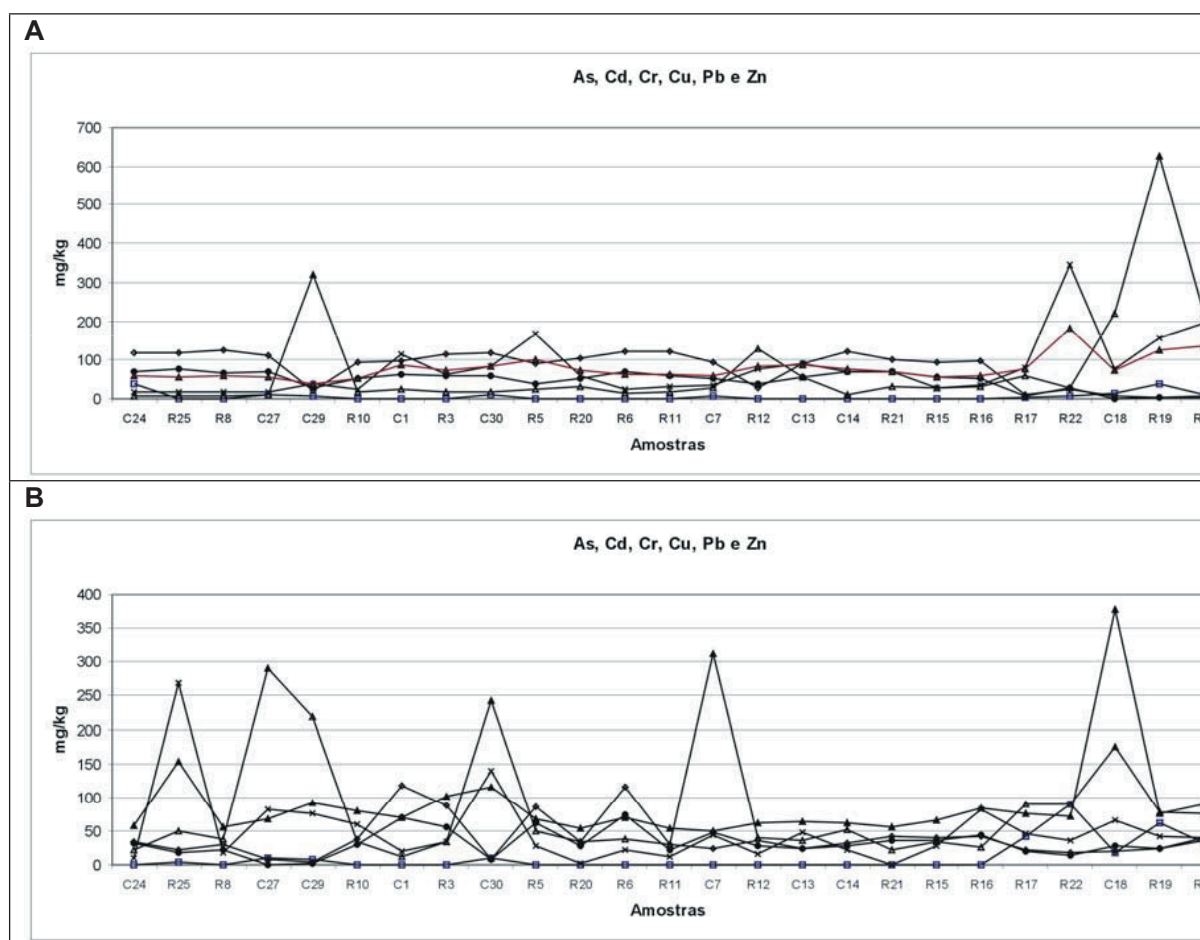


Figura 6: Teores de As, Cd, Cr, Cu Pb e Zn nos sedimentos A) no verão e B) no inverno.

sulfatadas do supergrupo Rio das Velhas descrita na área (Lobato *et al.* 2004).

Usando o *background* local e o IGEO  $\leq 0$ , a área em estudo foi classificada como praticamente não poluída pelos elementos cromo, zinco, cobre e cádmio. O arsênio, no verão, apresentou valores do IGEO que variam de 2 até 4, permitindo classificar a área como moderadamente poluída a fortemente poluída. Os pontos de amostragem que apresentaram as concentrações mais elevadas de arsênio são o R19 e C24. Durante o inverno, o arsênio apresentou concentrações baixas na montante do rio Conceição, portanto o alto do curso do rio é classificado como praticamente não poluído. No médio curso, o arsênio apresentou concentrações um pouco mais elevadas, correspondendo à classe IGEO 3 e 4, sendo definido como moderadamente a fortemente poluído. Já na jusante do rio

as concentrações foram maiores, o que define esta região como extremamente a fortemente poluída. O chumbo, na jusante do rio, apresentou índices de geoacumulação que variam de 1 até 3 no verão, sendo considerado como não poluído nos pontos R19, R17 e R23; moderadamente poluído nos pontos C29 e R22 e moderadamente a fortemente poluído nos outros pontos. No inverno as concentrações de chumbo foram mais baixas do que no verão, tendo como exceção os pontos R17, R19 e R23. O chumbo apresentou IGEO 4, 5 e 6, o que classifica a área como fortemente poluída a extremamente poluída.

## CONCLUSÕES

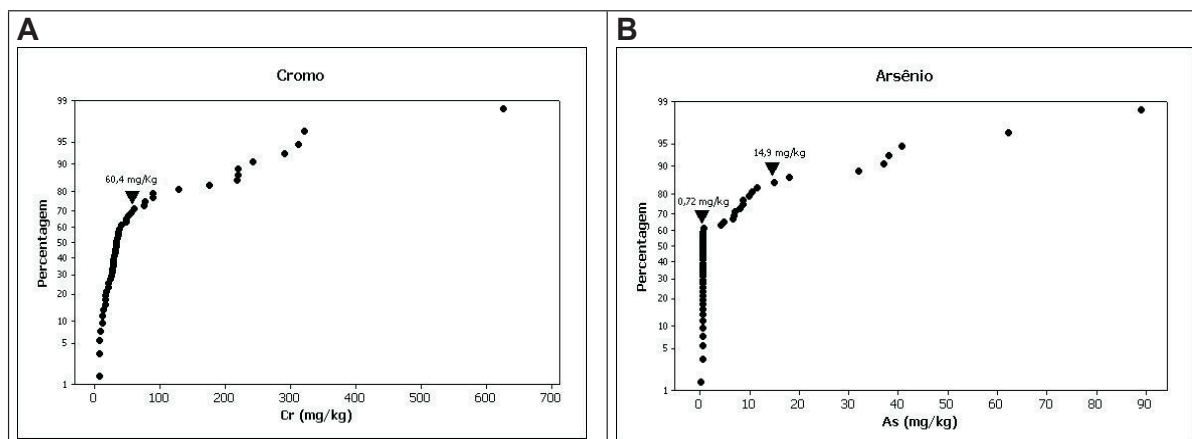
A geoquímica da água e dos sedimentos do rio Conceição está relacionada tanto com a geologia da área como com as atividades antrópicas, sendo a mineração uma das principais responsáveis por variações nas características físico-químicas e nas concentrações de elementos.

Na água do rio Conceição, as minerações contribuem com o aumento de diversos parâmetros. No caso das minerações de ferro, nas cabeceiras da bacia, esta influência fica evidente no aumento da turbidez e da condutividade elétrica nos tributários C1, C9 e C14 e no ponto R25 no rio (Figura 3). Já as minerações têm sua interferência evidenciada no tributário C18 e nos pontos R19 e R23 no rio (Figura 3).

**Tabela 4:** *Background* local e *background* médio global (Turekian & Wedepohl 1961) (em mg/kg).

	Local	Médio global
Cromo (mg/kg)	60,40	90
Zinco (mg/kg)	91,40	95
Cobre (mg/kg)	<b>89,70</b>	45
Arsênio (mg/kg)	0,72	13
Cádmio (mg/kg)	<b>8,04</b>	0,30
Chumbo (mg/kg)	1,15	20

Valores em negrito correspondem às concentrações acima do Médio global (Turekian & Wedepohl 1961).



**Figura 7:** Gráficos de probabilidade normal para determinação do *background* em: A) cromo, B) arsênio.

Em termos dos químicos, observou-se na água a sazonalidade em alguns elementos como o Fe, Pb, e Cr, os quais apresentaram concentrações mais elevadas durante o inverno. Segundo a legislação brasileira CONAMA 357 alguns pontos amostrais são considerados como contaminados por Fe, Pb e Cr, por terem apresentado concentrações acima dos valores permissíveis para águas das classes 1 e 2. Novamente essas concentrações ocorreram em tributários associados a minas (C14, C29 e C27 – Figura 3).

Por outro lado, os aglomerados urbanos, especialmente os vilarejos de São Gonçalo e Conceição do Rio Acima, também contribuem para a poluição do rio com o lançamento de esgotos domésticos, que levam a um aumento dos teores de cloreto e sulfato e da turbidez. Esse é o caso do ponto R15, no centro de São Gonçalo.

Os sedimentos encontrados na área provem de duas fontes litológicas: as rochas do Supergrupo Rio das Velhas são fonte dos elementos Al, Fe, Mn, K e As, e as rochas do Supergrupo Minas são fonte dos elementos

Mn, Mg, Ca e Fe, tendo como resultado sedimentos com elevadas concentrações destes elementos nos pontos onde afloram estas rochas. Assim, os gráficos NPC e o Índice de Geoacumulação (IGEO) permitiram classificar o rio Conceição e seus tributários como praticamente não poluído pelos elementos Cr, Zn e Cu, moderadamente poluído por Pb e fortemente a extremamente poluído por As. A presença deste último elemento diretamente relacionada à influencia das minas de ouro situadas na porção jusante do rio (Figura 3).

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho faz parte da cooperação internacional Brasil-Alemanha (PROBRAL-CAPES/DAAD 163/2). O primeiro autor agradece à Organização de Estados Americanos (OEA) pela concessão da bolsa de estudo e ao Programa de Pós-Graduação em Evolução Crustal dos Recursos Naturais do Departamento de Geologia da UFOP pelo apoio na realização deste trabalho, tema de dissertação de mestrado.

### REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Agudo, E.G. (1987) Guia de coleta e preservação de amostras de água. 1ª ed. CESTEB, São Paulo, 150p.
- Calmano, W. & Förstner, U. (1996) Sediments and toxic substances: environmental effects and ecotoxicity. 1ª ed. Springer, Berlin, Heidelberg, New York, 332p.
- CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente - (2005) Resolução do CONAMA Nº 357 de 17 de março de 2005. <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Visitado em maio/2006
- Derisio, J.C. (1992) Introdução ao controle de poluição Ambiental. 1ª ed. CESTEB, São Paulo, 201p.
- Dorr, J.V.N. (1969) Physiographic, Stratigraphic and Structural Development of the Quadrilátero Ferrífero, Minas Gerais, Brazil. U.S.G.S. Prof. Pap. 641 - A, Washington, 110 p.
- Fellenberg, G. (1980) Introdução aos problemas da poluição ambiental. 1ª ed. Universidade de São Paulo, 196p.
- Greenberg, A.E., Clesceri, L.S., Eaton, A.D. (1992) Standard methods for the examination of water and wastewater. 18. ed. Ed. American Public Health Association. Washington, D.C. p. 2.8-2.11, 2.25-2.26, 3.34-3.103.
- IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) (2005) Coleção digital de mapas. Mapas topográficos Folhas Catas Altas, Caeté e Acuruí e Santa Bárbara. <http://biblioteca.ibge>.

gov.br.

- Karlsson, K. & Westerlund, C. (2002) A geochemical survey in Peti Lake, Minas Gerais, Brazil. Master's thesis, Department of Environmental Engineering, Division of Applied Geology, Luleå University of Technology, Sweden, 101p.
- Lobato L.M., Achstschin A.B., Timbó M.A., Baltazar O.F., Silva S. L., Reis L. B., Baars F. J. (2004) Geologia do Quadrilátero Ferrífero: integração e correção cartográfica em SIG. Codemig. Universidade Federal Minas Gerais, Belo Horizonte, CD-room.
- Matschullat, J., Ottenstein, R, Reimann C. (2000). Geochemical background – can we calculate it?. *Environ. Geol.* 39: 990-1000.
- Pereira, D.N. (1979). Aspectos da poluição dos estuários por metais pesados. *In: I Seminário sobre poluição por metais pesados, Brasília, Anais* (s.n). p. 17-23.
- Simons, G. (1968) Geology and Mineral Resources of the Barão de Cocais Área, Minas Gerais, Brazil: USGS Prof. Pap. 341 - H, 46p.
- Turekian, K. & Wedepohl, K. H. (1961) Distribution of the elements in some major units of the Earth's crust. *Geol. Soc. Amer. Bull.*, 72: 641-664.

(Footnotes)

<sup>1</sup>To whom the correspondence should be sent: [geoquimica@degeo.ufop.br](mailto:geoquimica@degeo.ufop.br)