

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE SEDIMENTOS FLUVIAIS DA REGIÃO DE DESCOBERTO-MG, E DEFINIÇÃO DE VALORES ORIENTADORES PARA VERIFICAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO MERCURIAL A PARTIR DA APLICAÇÃO DO ÍNDICE DE GEOACUMULAÇÃO - I GEO

Carlos Alberto de Carvalho Filho¹; Otávio Eurico de Aquino Branco²;

Peter Marshall Fleming³; Helena Eugênia Leonhardt Palmieri⁴ & Rubens Martins Moreira⁵

RESUMO – Em 2003, uma área de aproximadamente 8.000 m², localizada na bacia do ribeirão da Grama no município de Descoberto-MG, foi interditada e classificada como Área Contaminada por mercúrio. Estudos de detalhe concluíram que a contaminação abrange cerca de 400 m³ (800 m²) do terreno, caracterizada por concentrações de mercúrio no solo e no cascalho superiores a meta de remediação (10 mg/kg). O primeiro objetivo desse artigo é apresentar uma avaliação da qualidade dos sedimentos fluviais, quanto à concentração de Hg, na bacia do ribeirão da Grama e em mais três bacias da região, em função da aplicação do Índice de Geoacumulação-Igeo e com base nos valores de referência para mercúrio em sedimentos de rio. O segundo objetivo é estabelecer, com base no Igeo, valores orientadores de qualidade de sedimentos para avaliação de contaminação mercurial, aplicáveis a região em estudo. Os resultados para o Igeo classificaram os sedimentos como “Não contaminados” a “Não contaminados a moderadamente contaminados”. As bacias da Grama e dos Mineiros apresentaram um número significativo de sedimentos com valores acima do *Interim freshwater Sediment Quality Guideline-ISQG* (0,170 mg/kg). Não foi observado valor acima do *Probable Effect Levels-PEL* (0,486 mg/kg) em nenhuma das amostras analisadas.

ABSTRACT - In 2003, an area of approximately 8,000 m², located in the Grama creek basin in the municipality of Descoberto-MG, was interdicted and classified as a “Contaminated Area” by mercury. Detailed studies concluded that the contamination extends to about 400 m³ (800 m²) of land, presenting mercury concentrations in soil and gravel above the remediation target (10 mg/kg). The first objective of this paper is to present an evaluation of the quality of river sediments, in terms of Hg concentration, in the Grama creek basin and in other three basins of the region, based on the geoaccumulation index-Igeo application and on the reference values for mercury in river sediments. The second aim is to establish, based on Igeo, values of sediment quality guidelines for evaluation of mercury contamination, for the region under study. The results for the Igeo rated sediments of the study area as "not contaminated" to "not contaminated to moderately contaminated." The Grama and Mineiros basins had a significant number of sediments with values above the *Interim freshwater Sediment Quality Guideline-ISQG* (0.170 mg/kg). Values above the *Probable Effect Levels-PEL* (0.486 mg/kg) were not observed in any of the samples.

Palavras-chave: Contaminação mercurial; Sedimentos fluviais; Índice de geoacumulação;

1-Tecnologista Senior do CDTN/CNEN, Av. Pres. Antônio Carlos 6627, CEP:31270-901 cacf@cdtn.br

2-Pesquisador Senior do CDTN/CNEN, Av. Pres. Antônio Carlos 6627, CEP:31270-901 oeab@cdtn.br

3-Tecnologista Senior do CDTN/CNEN, Av. Pres. Antônio Carlos 6627, CEP:31270-901 pmf@cdtn.br

4-Pesquisadora Senior do CDTN/CNEN, Av. Pres. Antônio Carlos 6627, CEP:31270-901 help@cdtn.br

5-Pesquisador Senior do CDTN/CNEN, Av. Pres. Antônio Carlos 6627, CEP:31270-901 rubens@cdtn.br

INTRODUÇÃO E OBJETIVO

Em dezembro de 2002, moradores da zona rural do município de Descoberto, estado de Minas Gerais, Brasil, observaram a presença de mercúrio metálico no solo. O local do afloramento do Hg está localizado próximo a um afluente (córrego Rico) do ribeirão da Grama, ribeirão utilizado como manancial de abastecimento para os municípios de Descoberto e São João Nepomuceno. O incidente foi informado às autoridades locais e estaduais que, por precaução, interromperam a utilização dessas águas para abastecimento público. Em março de 2003, foi realizada a Investigação Confirmatória na área do afloramento, cujos resultados indicaram elevada concentração de mercúrio no solo. O local foi então classificado como Área Contaminada, conforme sugerido por Casarini *et al.* (2001), para cenários de uso e ocupação agrícola do solo. Em agosto de 2003, o Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM) do estado de Minas Gerais interditou uma área de aproximadamente 8.000 m² em torno afloramento de mercúrio. É fato, historicamente documentado, que toda a região de Descoberto e arredor foi alvo de atividade garimpeira ao longo de todo século XIX, e que as extrações de ouro se concentravam na região da bacia do ribeirão da Grama, onde por volta de 1885 existiam quatro lavras em atividade, uma das quais é a área do afloramento observado em 2002 (FEAM *et al.*, 2005; FEAM e CDTN, 2006).

Os sedimentos de fundo, também chamados de sedimentos de corrente, são formados por partículas minerais e orgânicas que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como rios, lagos e oceanos (Baird, 2002). A proporção dos compostos minerais e orgânicos dos sedimentos varia substancialmente em função das características do solo e das atividades biológicas exercidas na área de influência do corpo receptor. Para os rios e lagos, a bacia hidrográfica é considerada a região de influência. Em razão da capacidade de se associar a materiais pouco solúveis – como é o caso da maioria dos compostos de mercúrio e de outros elementos-traço tóxicos – e da sua característica de estar em equilíbrio físico e químico com as águas superficiais, o sedimento possui grande importância ambiental. Desempenham um papel significativo na determinação de padrões de poluição de sistemas aquáticos, atuando tanto no transporte do poluente como no assentamento deste no leito dos rios e lagos. Dessa forma os sedimentos podem refletir a história de eventos de contaminação ambiental, fornecendo um registro dos aportes do contaminante nos sistemas aquáticos (Çevik *et al.*, 2008).

Nesse contexto, os sedimentos foram empregados como principal matriz geoindicadora da dispersão do Hg no ribeirão da Grama, a partir da Área Contaminada, assim como na identificação de outras áreas com potencial de contaminação por mercúrio em regiões do município de Descoberto e adjacências. O presente artigo tem dois objetivos principais. O primeiro é apresentar uma avaliação da qualidade de sedimentos fluviais, em termos de Hg, da região de Descoberto e mais especificamente nas bacias do ribeirão da Grama, ribeirão dos Mineiros, ribeirão do Pires e na

represa Maurício, a partir da aplicação do Índice de Geoacumulação-Igeo e com base nos valores de referência para mercúrio em sedimentos de rio. O segundo objetivo é estabelecer, com base no IGEO, valores orientadores de qualidade de sedimentos para avaliação de contaminação mercurial, aplicáveis a região em estudo.

MATERIAIS E MÉTODOS

Valores de referência para o mercúrio em sedimentos

Por apresentar baixa solubilidade e alta densidade, a presença de compostos de mercúrio em meios hídricos é normalmente restrita ao sedimento localizado nas proximidades do lançamento no rio ou lago. De fato, diversos estudos apontam que o transporte do mercúrio ao longo dos corpos de água é lento e que as concentrações desse metal são reduzidas, em poucos quilômetros, dos valores máximos, observados no local de lançamento, até valores próximos aos considerados naturais (Lacerda e Salomons, 1999). Esta situação é verdadeira, sobretudo quando a contaminação por mercúrio é pontual. Por outro lado, as contaminações ambientais por mercúrio através de lançamentos na atmosfera de mercúrio metálico, ou de materiais particulados contendo compostos desse metal, podem comprometer a qualidade do ar, solo, água e sedimentos, atingindo extensas áreas (WHO, 2000).

Para as concentrações de mercúrio nos sedimentos de rios e lagos de água doce, o Conselho Canadense de Ministérios de Meio Ambiente estabelece dois valores de referência. O primeiro deles, denominado “*Interim freshwater Sediment Quality Guidelines*” – ISQG, determina a concentração abaixo do qual se espera baixa probabilidade de efeitos adversos à biota. O segundo, chamado de “*Probable Effect Levels*” – PEL, estabelece a concentração acima do qual se espera um provável efeito adverso à biota (CANADIAN COUNCIL, 2001). Os valores adotados de ISQG e PEL para mercúrio são 0,170 mg/kg e 0,486 mg/kg, respectivamente.

No presente trabalho, para a avaliação qualitativa do grau de contaminação dos sedimentos, foi realizada uma análise dos resultados de concentração obtidos nas amostras coletadas utilizando-se os valores indicadores de contaminação mercurial (ISQG e PEL).

Características da área de estudo

Na Figura 1 apresenta-se mapa de situação da área de estudo, a qual perfaz um polígono com cerca de 160 km², inserido num retângulo com vértices de coordenadas UTM (Sad 69 - 23 S) 7.621.000 - 7.636.000 Norte e 728.000 - 706.000 Este.

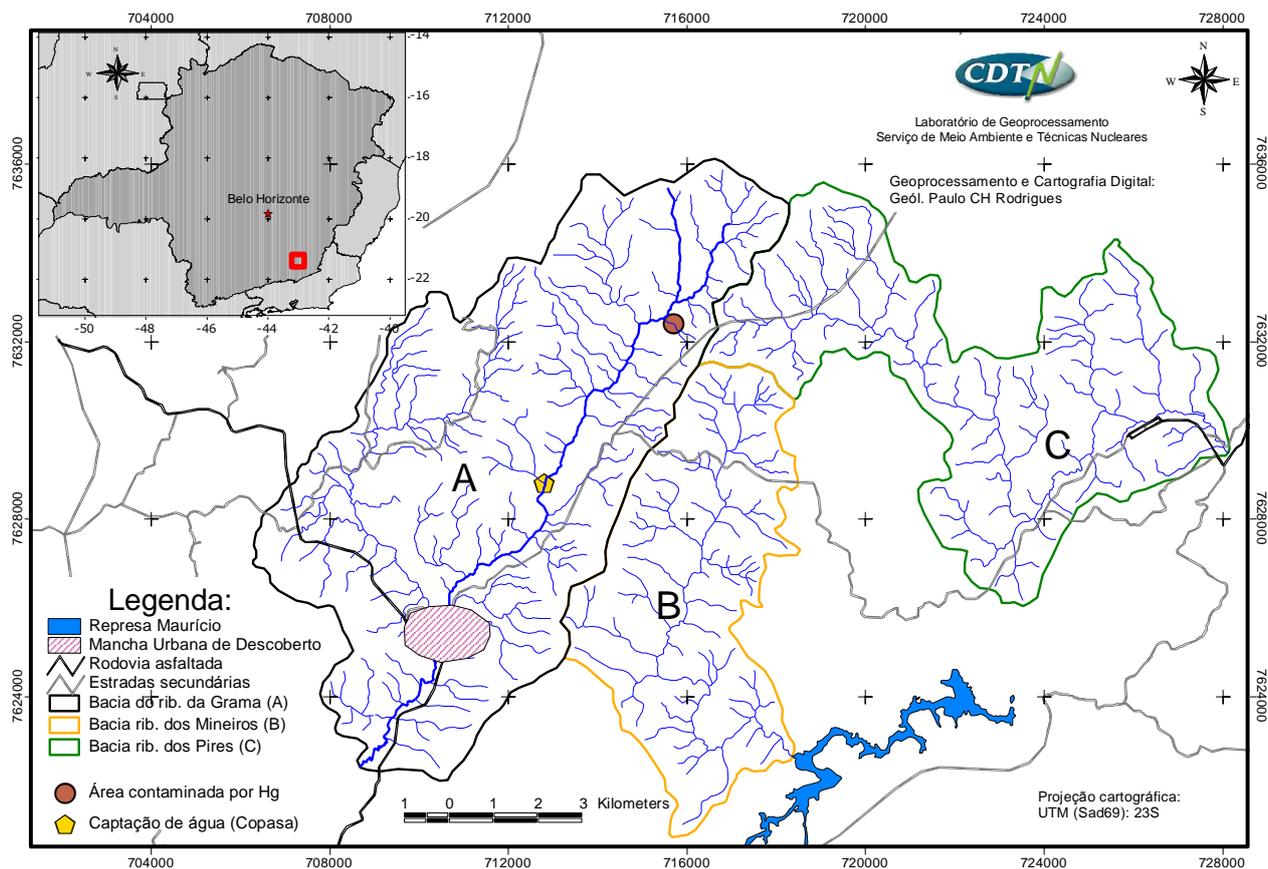


Figura 1: Mapa de situação da área de estudo (CDTN, 2008).

Abrange as bacias hidrográficas da Grama (79 km²), dos Mineiros (33 km²), dos Pires (46 km²) e represa Maurício (3 km²). Encontra-se nessa Figura a localização das bacias hidrográficas, do sítio contaminado por mercúrio (ribeirão da Grama), do local de captação de água e da mancha urbana da cidade de Descoberto. Os ribeirões presentes na área de estudo são tributários da margem esquerda do rio Novo, que pertence à sub-bacia do rio Pomba, afluente da margem esquerda do rio Paraíba do Sul. O ribeirão da Grama é o principal manancial de abastecimento para o núcleo urbano de Descoberto, além de contribuir para o abastecimento de São João Nepomuceno. A maior parte da área de estudo encontra-se inserida no município de Descoberto-MG, mas também abrange terrenos do município de Itamarati de Minas-MG. Por via rodoviária, dista cerca de 340 km de Belo Horizonte e aproximadamente 80 km da sede do município de Juiz de Fora.

A região possui duas estações bem definidas, uma que vai de outubro a abril com temperaturas mais elevadas e maiores precipitações pluviométricas, e outra de maio a setembro com temperaturas mais baixas e menor pluviosidade. A temperatura média anual é aproximadamente 21^oC com precipitação média anual em torno dos 1,5x10³ mm. Em termos geológicos encontra-se inserida nos domínios litológicos da Megassequência Andrelândia e do Complexo Juiz de Fora (Noce *et al*, 2005). Os litotipos característicos do Complexo Juiz de Fora são os gnaisses de fácies granulito, compostos essencialmente por plagioclásio, quartzo, ortopiroxênio e clinopiroxênio, podendo estar presente também biotita e hornblenda. A cobertura metassedimentar Neoproterozóica,

denominada de Megassequência Andrêlandia, é essencialmente composta por gnaisses granatíferos contendo plagioclásio, feldspato potássico, granada, quartzo e biotita, subordinadamente sillimanita e ortopiroxênio (Noce *et al.*, 2005). A região possui jazidas de bauxita.

Está inserida no domínio dos solos do tipo Latossolo Vermelho-Amarelo, os quais são predominantemente argilo-arenosos com conteúdo de matéria orgânica médio de 4%, decrescente em profundidade. O valor médio de pH (H₂O) aumenta com a profundidade, de 5,6 na porção superficial do solo até 6 por volta dos 100 cm de profundidade. Da mesma forma o valor médio de Δ pH torna-se mais negativo em profundidade, passando de -1,4 na zona superficial do solo para -1,9 a cerca de 100 cm de profundidade. Esses valores negativos de Δ pH indicam que os solos da região tem predominância de cargas negativas sendo capaz de adsorver mais cátions do que ânions, e que essa propriedade aumenta com a profundidade (FEAM e CDTN, 2006). A presença no solo de uma quantidade significativa de óxidos e hidróxidos de Fe e Al, aliada à abundância relativa de gibbsita, é indicativa que o substrato local sofreu a ação de processos intempéricos extremos, corroborada pelos depósitos supérgenos de bauxita na região. Os processos de decomposição química atuaram sobre as litologias das unidades geológicas regionais, removendo os cátions solúveis, o que causou um enriquecimento dos cátions menos móveis como Fe e Al, mais tarde cristalizados na forma de minerais hidrolisados tais como: caolinita, goethita e gibbsita. Todos com elevada capacidade de adsorver metais (FEAM e CDTN, 2006).

A área de estudo possui predominância de relevo fortemente ondulado a montanhoso com declividade superior a 20 %. Durante o período das chuvas as enxurradas descem as encostas íngremes, carreando grande quantidade de solo erodido para as drenagens a jusante. Durante esse período úmido a várzea dos ribeirões recebe uma grande carga de sedimentos, chegando mesmo a provocar assoreamento de alguns pontos nos leitos desses ribeirões, onde há perda de energia e sedimentação intensa. Análise mineralógica realizada nos sedimentos da bacia do ribeirão da Grama (FEAM *et al.*, 2005) detectou a presença predominante de óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio (hematita, gibbsita, caolinita e goethita). Esses minerais possuem a capacidade de reter metais, impedindo ou dificultando a liberação dos mesmos para a fase líquida.

A Área Contaminada por Hg

Conforme já mencionado, o local classificado como Área Contaminada por Hg, situa-se na margem direita do córrego Rico (Figura 1), tributário do ribeirão da Grama. Em outubro de 2006, a Investigação Detalhada da Área Contaminada foi concluída (FEAM *et al.*, 2005; FEAM e CDTN, 2006), constatando-se que o afloramento do mercúrio é devido à atividade pretérita de garimpo de ouro no século XIX, e que a contaminação abrange cerca de 400 m³ (800 m²) do terreno, até no máximo 1 m de profundidade, caracterizada por concentrações de mercúrio, no solo e no cascalho,

superiores a meta de remediação (10 mg/kg), estabelecida pela análise de risco realizada com dados e informações específicas do local e da região. Os cascalhos estão dispostos em estruturas denominadas pelos garimpeiros de canoas, nas quais se realizava a lavagem do cascalho aurífero. O teor médio de Hg nos cascalhos é de 986,1 mg/kg, e de 55,4 mg/kg no solo circundante. O volume de Hg existente no local foi estimado em aproximadamente 3 L, dos quais cerca de 500 ml estão contidos nos cascalhos (FEAM e CDTN, 2006).

O mercúrio se fixou inicialmente nos cascalhos, devido a particularidades do método de apuração do ouro adotado pelos antigos garimpeiros. A partir das canoas, o mercúrio se dispersou no solo circunjacente, atingindo posteriormente o córrego Rico. Essa dispersão do mercúrio vem ocorrendo tanto por fenômenos naturais de transporte como devido à ação antrópica durante atividades agropecuárias e de abertura e manutenção de estradas de acesso (FEAM e CDTN, 2006).

A avaliação conjunta de 75 amostras de água superficial indicou que a qualidade dos cursos de água que drenam a Área Contaminada pode estar sendo influenciada pela presença de mercúrio no solo da região, apesar da maior parte das análises (72 amostras) apresentarem concentrações reduzidas desse metal. O monitoramento das águas subterrâneas não indicou a presença de mercúrio nesse meio (FEAM e CDTN, 2006).

Em 2003, foram coletadas 13 amostras de sedimentos, cujos resultados em termos de ppm de Hg (mg/kg Hg) são apresentados na Figura 2. As amostras SD1 a SD3 foram coletadas no período de estiagem, enquanto que as demais durante o período de chuvas. Os sedimentos SD1 a SD7 representam amostras pontuais enquanto que as demais são amostras compostas (FEAM *et al.*, 2005).

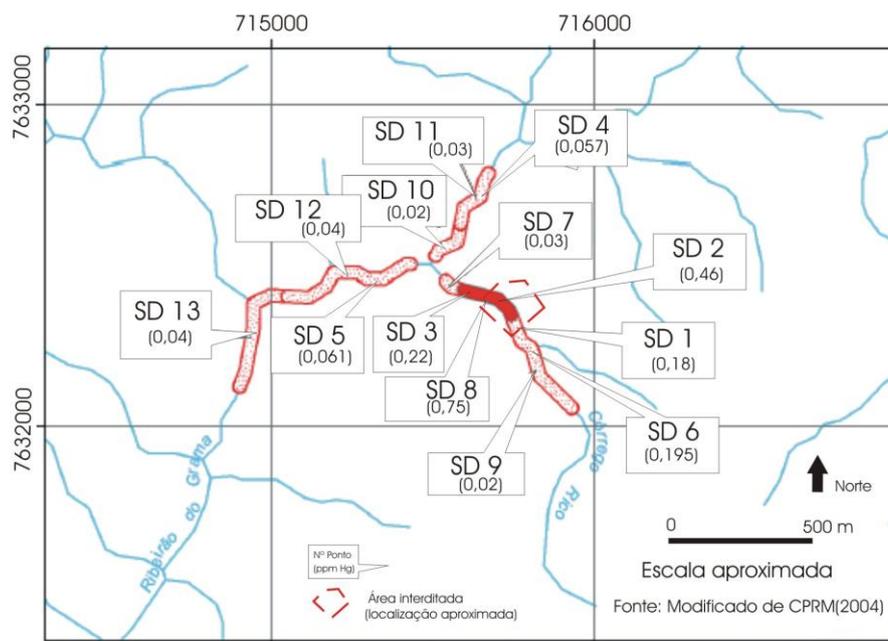


Figura 2: Localização aproximada dos pontos de coleta de sedimentos fluviais. Campanha realizada no segundo semestre de 2003 (FEAM *et al.*, 2005).

Conforme pode ser visto na Figura 2, os sedimentos coletados no leito do córrego Rico, no interior da área interditada, apresentaram valores de Hg muito próximos ou acima do PEL- 0,46 mg/kg na amostra SD2 e 0,75 mg/kg na amostra SD8. Esses resultados demonstram que havia transporte do mercúrio do solo e cascalho contaminado para o leito do córrego Rico. Algumas amostras pontuais coletadas imediatamente a montante (SD1 e SD6) e a jusante (SD3) da área interditada apresentaram valores superiores ao ISQG mas inferiores ao PEL. As demais amostras apresentaram valores inferiores ao ISQG.

Com a finalidade de reduzir o impacto ambiental decorrente da presença das elevadas concentrações de mercúrio no solo, até a definição e execução das intervenções para recuperação da área, foram implementadas em 2004 medidas de controle emergenciais, tais como: escavação de canal de drenagem para desviar a água não contaminada que drena a área; construção de barreira de contenção dos sedimentos e da água que drena a Área Contaminada; instalação de caixas de passagem para sedimentação do material sólido e instalação de tanques com chicanas para tratamento físico das águas que passam pelas caixas de sedimentação.

Metodologia de Amostragem e Análise laboratorial

Visando o detalhamento da caracterização do grau de contaminação dos sedimentos da região, foram selecionadas 38 estações ou pontos de amostragem de sedimentos na bacia do ribeirão da Grama, 40 na bacia do ribeirão dos Mineiros, 3 na bacia do ribeirão dos Pires e 10 na represa Maurício. Foram realizadas campanhas de amostragem de modo a cobrir as estações de chuva e de seca. Por motivos operacionais nem todos os pontos foram amostrados em todas as campanhas. As amostragens executadas nesses pontos resultaram na coleta de 167 amostras para determinação da concentração de Hg total. Foram descartadas 22 amostras em função da duplicidade amostral, nesse caso sempre se optando pelo valor de maior concentração (mais restritivo). Das 145 amostras, 68 foram obtidas na bacia da Grama, 66 na bacia dos Mineiros, 6 na bacia dos Pires e 10 na represa Maurício

As amostras foram coletadas com amostrador do tipo “*rock island*” e acondicionadas em frascos de polietileno de baixa densidade. Uma vez no laboratório, elas foram secas à temperatura ambiente em bandejas de aço inox e quarteadas. Um terço de cada amostra foi guardado e os dois terços restantes passaram por duas etapas de peneiramento. Na primeira etapa, as amostras foram peneiradas em duas frações granulométricas (>2 mm e <2 mm). Com a fração <2 mm executou-se o segundo peneiramento obtendo três frações granulométricas (2,0–0,59 mm; 0,59–0,062 mm; <0,062 mm). Cada fração foi pesada e o peso em percentagem de cada fração foi calculado, obtendo-se assim uma estimativa da análise granulométrica das amostras. As determinações de Hg total foram realizadas na fração <0,062 mm. Essa fração silte-argila é a que possui maior capacidade de

adsorver contaminantes metálicos, em função de possuir elevada superfície específica por unidade de material, conter geralmente um capeamento de óxidos de ferro e manganês, além de ser o tamanho de grão mais provável de se envolver em reações físico-químicas de sorção (Hart, 1982)

O Hg total foi determinado usando a técnica de espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (CVAAS) com um sistema de injeção em fluxo (FIMS 400) da Perkin Elmer. No momento da análise, todo o mercúrio inorgânico (Hg^{2+}) é reduzido, gerando vapor de mercúrio metálico que é então medido, à temperatura ambiente ou levemente superior, em célula de quartzo inserida na trajetória de um feixe de radiação de comprimento de onda específico (lâmpada de mercúrio, $\lambda = 253,7$ nm). A otimização dessa metodologia e conseqüente validação foi realizada no Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (CDTN) e descrita por Palmieri (2006) e Palmieri e Moreira (2004).

Índice de Geoacumulação-Igeo

Para avaliação qualitativa do grau de contaminação dos sedimentos, foi realizada uma análise expedita através da comparação dos resultados de concentração obtidos com os valores indicadores de contaminação mercurial (ISQG e PEL). Para avaliar de forma quantitativa os resultados obtidos do ponto de vista de uma possível contaminação na área de estudo, foi aplicado o Índice de Geoacumulação (Igeo), introduzido por Muller e Suess (1979) e largamente empregado nos estudos de avaliação de contaminação de metais pesados em sedimentos aquáticos. O Igeo é definido conforme a equação (1).

$$\text{Igeo} = \text{Log}_2 (\text{Cn}/1,5*\text{Bn}) \quad (1)$$

Onde Cn é a concentração (mg/kg) de determinado elemento numa fração granulométrica determinada; Bn é o valor (mg/kg) de *background* do elemento nessa mesma fração, podendo ser calculado ou adotado da literatura, onde se emprega a concentração média do elemento determinada em folhelhos (0,18mg/kg, para Hg). O fator 1,5 da equação é utilizado para compensar possíveis variações dos dados de background devido a efeitos litogênicos.

Para o cálculo do Igeo foi utilizada a fração granulométrica <0,062 mm e para o valor de *background* foi adotado a menor concentração de Hg verificada nos sedimentos da área de estudo. O Igeo é um índice que procura comparar concentrações atuais de um determinado metal com valor de *background*, supostamente livre da ação antrópica. Com base no valor do Igeo foram definidas 7 Classes (Förstener *et al.*, 1993), conforme se apresenta na Tabela 1. A passagem de uma Classe para outra significa dobrar o valor da concentração do elemento.

Tabela 1: Classes do Índice de Geoacumulação - Igeo

Igeo	Classe Igeo	Qualidade do sedimento
>5	6	Extremamente contaminado
>4 – 5	5	Muito contaminado a extremamente contaminado
>3 – 4	4	Muito contaminado
>2 – 3	3	Moderadamente contaminado a muito contaminado
>1 – 2	2	Moderadamente contaminado
>0 – 1	1	Não contaminado a moderadamente contaminado
<0	0	Não contaminado

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nas Tabelas 2, 3, 4 e 5 são apresentados os valores de concentração de Hg e o Igeo para os sedimentos coletados, respectivamente, nas bacias do ribeirão da Grama, Pires e Mineiros e represa Maurício. Encontram-se destacados os valores de Hg superiores ao ISQG (0,170 mg/kg) e os de Classe 1 do Igeo (entre 0 e 1).

Tabela 2: Concentração de mercúrio e Igeo nos pontos de amostragem na bacia do ribeirão da Grama.

Bacia do ribeirão da Grama									
Pto	Chuva		Seca		Pto	Chuva		Seca	
	[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo		[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo
1	0,11 ± 0,01	-0,45	0,13 ± 0,02	-0,21	20	0,17 ± 0,02	0,18	0,20 ± 0,02	0,42
2	0,13 ± 0,01	-0,21	0,23 ± 0,02	0,62	21	0,14 ± 0,01	-0,10	0,18 ± 0,02	0,26
3	0,14 ± 0,01	-0,10	0,20 ± 0,02	0,42	22	0,12 ± 0,01	-0,32	0,15 ± 0,02	0,00
4	0,15 ± 0,02	0,00	0,20 ± 0,02	0,42	23	0,15 ± 0,02	0,00	0,17 ± 0,02	0,18
5	0,10 ± 0,01	-0,58	0,25 ± 0,03	0,74	24	0,14 ± 0,01	-0,10	0,16 ± 0,02	0,09
6	0,13 ± 0,01	-0,21	0,17 ± 0,02	0,18	25	0,17 ± 0,02	0,18	0,20 ± 0,02	0,42
7	0,20 ± 0,02	0,42	0,26 ± 0,03	0,79	26	0,14 ± 0,01	-0,10	0,19 ± 0,02	0,34
8	0,14 ± 0,01	-0,10	0,16 ± 0,02	0,09	27	0,12 ± 0,01	-0,32	0,15 ± 0,02	0,00
9	0,17 ± 0,02	0,18	0,15 ± 0,02	0,00	28	0,13 ± 0,01	-0,21	0,16 ± 0,02	0,09
10	0,18 ± 0,02	0,26	0,19 ± 0,02	0,34	29	0,15 ± 0,02	0,00	0,19 ± 0,02	0,34
11	0,18 ± 0,02	0,26	0,17 ± 0,02	0,18	30	0,15 ± 0,02	0,00	0,25 ± 0,03	0,74
12	0,12 ± 0,01	-0,32	0,25 ± 0,03	0,74	31	-	-	0,25 ± 0,03	0,74
13	0,13 ± 0,01	-0,21	0,16 ± 0,02	0,09	32	-	-	0,18 ± 0,02	0,26
14	0,16 ± 0,02	0,09	0,20 ± 0,02	0,42	33	-	-	0,15 ± 0,01	0,00
15	0,22 ± 0,02	0,55	0,23 ± 0,02	0,62	34	-	-	0,14 ± 0,01	-0,10
16	0,11 ± 0,01	-0,45	0,22 ± 0,02	0,55	35	-	-	0,12 ± 0,01	-0,32
17	0,16 ± 0,02	0,09	0,22 ± 0,02	0,55	36	-	-	0,16 ± 0,02	0,09
18	0,16 ± 0,02	0,09	0,16 ± 0,02	0,09	37	-	-	0,17 ± 0,02	0,18
19	0,11 ± 0,01	-0,45	0,20 ± 0,02	0,42	38	-	-	0,19 ± 0,02	0,34

Tabela 3: Concentração de mercúrio e Igeo nos pontos de amostragem na bacia do ribeirão do Pires.

Bacia do ribeirão dos Pires									
Pto	Chuva		Seca		Pto	Chuva		Seca	
	[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo		[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo
1	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	<u>0,18</u> ± 0,02	<u>0,26</u>	3	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	0,16 ± 0,02	0,09
2	0,14 ± 0,01	-0,10	0,16 ± 0,02	0,09					

Conforme já mencionado, para o valor de *background* de Hg nos sedimentos foi adotado o menor valor de concentração de Hg encontrado na área de estudo. Observa-se que o *background* não apresenta variação significativa nem entre as bacias investigadas, nem entre os períodos de seca e chuva. Esse fato torna-se mais evidente quando se leva em conta o erro associado a cada resultado analítico. Não existe variação significativa no substrato da região (solo e rocha) capaz de provocar alterações no valor de *background* de uma bacia para outra. Assim, adotou-se 0,10 mg/kg Hg (menor valor encontrado) como *background* nos sedimentos para todas as bacias investigadas e para todo o regime pluviométrico regional. Ressalta-se que esse valor é o mais restritivo ou conservador para a análise do grau de contaminação mercurial na área estudada.

Tabela 4: Concentração de mercúrio e Igeo nos pontos de amostragem na bacia dos Mineiros.

Bacia do ribeirão dos Mineiros									
Pto	Chuva		Seca		Pto	Chuva		Seca	
	[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo		[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo
1	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	21	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>
2	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>	22	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	0,15 ± 0,02	0,00
3	<u>0,26 ± 0,03</u>	<u>0,79</u>	<u>0,22 ± 0,02</u>	<u>0,55</u>	23	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>	0,13 ± 0,01	-0,21
4	<u>0,24 ± 0,02</u>	<u>0,68</u>	<u>0,21 ± 0,02</u>	<u>0,49</u>	24	<u>0,24 ± 0,03</u>	<u>0,85</u>	0,13 ± 0,01	-0,21
5	<u>0,20 ± 0,02</u>	<u>0,42</u>	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	25	<u>0,20 ± 0,02</u>	<u>0,42</u>	<u>0,22 ± 0,02</u>	<u>0,55</u>
6	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	<u>0,20 ± 0,02</u>	<u>0,42</u>	26	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>
7	<u>0,25 ± 0,03</u>	<u>0,74</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	27	0,14 ± 0,01	-0,10	-	-
8	<u>0,21 ± 0,02</u>	<u>0,49</u>	0,15 ± 0,02	0,00	28	0,13 ± 0,01	-0,21	0,15 ± 0,01	0,00
9	<u>0,21 ± 0,02</u>	<u>0,49</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	29	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>
10	<u>0,26 ± 0,03</u>	<u>0,79</u>	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	30	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	-	-
11	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	31	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>	-	-
12	<u>0,21 ± 0,02</u>	<u>0,49</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	32	<u>0,20 ± 0,02</u>	<u>0,42</u>	-	-
13	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	0,15 ± 0,01	0,00	33	<u>0,20 ± 0,02</u>	<u>0,42</u>	-	-
14	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	34	<u>0,20 ± 0,02</u>	<u>0,42</u>	-	-
15	<u>0,22 ± 0,02</u>	<u>0,55</u>	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	35	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>
16	<u>0,21 ± 0,02</u>	<u>0,49</u>	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	36	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>
17	<u>0,21 ± 0,02</u>	<u>0,49</u>	-	-	37	0,15 ± 0,02	0,00	0,14 ± 0,01	-0,10
18	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	0,14 ± 0,01	-0,10	38	-	-	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>
19	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	0,17 ± 0,02	<u>0,18</u>	39	-	-	<u>0,18 ± 0,02</u>	<u>0,26</u>
20	<u>0,19 ± 0,02</u>	<u>0,34</u>	0,16 ± 0,02	<u>0,09</u>	40	-	-	0,15 ± 0,01	0,00

Tabela 5: Concentração de mercúrio e Igeo nos pontos de amostragem na e represa Maurício.

Represa Maurício									
Pto	Chuva		Seca		Pto	Chuva		Seca	
	[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo		[Hg] mg/kg	Igeo	[Hg] mg/kg	Igeo
1	0,13 ± 0,01	-0,21	-	-	6	0,15 ± 0,02	0,00	-	-
2	0,14 ± 0,01	-0,10	-	-	7	0,10 ± 0,01	-0,58	-	-
3	0,13 ± 0,01	-0,21	-	-	8	0,13 ± 0,01	-0,21	-	-
4	0,14 ± 0,01	-0,10	-	-	9	0,13 ± 0,01	-0,21	-	-
5	0,14 ± 0,01	-0,10	-	-	10	0,14 ± 0,01	-0,10	-	-

Embora, numa análise preliminar, os resultados de concentração de Hg possam parecer elevados, deve-se avaliá-los com base no valor de *background*, que já é elevado e está próximo ao valor orientador estabelecido pelo ISQG. Deve-se ter em mente que os sedimentos dos rios são gerados pela erosão e migração dos constituintes das rochas e, principalmente, dos solos, e que o valor encontrado para o *background* de Hg nos solos da região foi de 0,22 mg/kg, que é um valor elevado quando comparado com valores típicos mencionados na literatura (FEAM *et al.*, 2005).

Os resultados para o Igeo correspondem às Classes 0 (Igeo<0) e 1 (0< Igeo< 1), classificando os sedimentos da área de estudo, respectivamente, como “Não contaminados” e “Não contaminados a moderadamente contaminados”.

Na Tabela 6 são apresentados os resultados estatísticos com os valores de concentração de Hg e do Igeo, por bacia, período pluviométrico e também com o conjunto total de dados (seca + chuva). Observa-se que não houve variação significativa nos valores de Hg, nem em relação aos períodos pluviométricos avaliados, nem entre as bacias. Como não existiram diferenças significativas entre os valores de concentração de Hg por período pluviométrico, pode-se realizar uma análise conjunta dos dados (seca + chuva) por bacia, conforme apresentado nas Figuras 3, 4 e 5.

Conforme pode ser visto na Figura 3, as bacias da Grama e dos Mineiros apresentaram um número significativo de amostras de sedimentos com valores acima do ISQG, respectivamente, 25 amostras (37%) e 40 amostras (61%). A bacia do Pires apresentou apenas 1 (17%) e a represa Maurício nenhum (0%). Não foi observado valor acima do PEL (0,486mg/kg) em todas as amostras realizadas.

Na bacia do Grama 41 amostras (60%) apresentaram Igeo Classe 1, na bacia dos Mineiros foram 54 (82%), na bacia do Pires 3 (50%) e na represa Maurício nenhum sedimento Classe 1. Das 145 amostras consideradas, 98 (68%) apresentaram com valores indicadores de Igeo na Classe 1.

Tabela 6: Estatística dos valores de Hg e do Índice de Geoacumulação (Igeo)

Bacia	Valor	Período					
		seca		chuvoso		seca + chuvoso	
		Hg mg/kg	Igeo	Hg mg/kg	Igeo	Hg mg/kg	Igeo
Gramma 68 amostras 30 chuva 38 seca	máximo	0,26	0,79	0,22	0,55	0,26	0,79
	mínimo	0,12	-0,32	0,10	-0,58	0,10	-0,58
	médio	0,19	0,29	0,15	-0,06	0,17	0,14
	mediana	0,19	0,30	0,14	-0,10	0,16	0,09
	<i>background</i>	0,10	-0,58	0,10	-0,58	0,10	-0,58
Mineiros 66 amostras 35 chuva 31 seca	máximo	0,22	0,55	0,27	0,85	0,27	0,85
	mínimo	0,13	-0,21	0,13	-0,21	0,13	-0,21
	médio	0,17	0,18	0,20	0,37	0,17	0,27
	mediana	0,17	0,18	0,19	0,34	0,18	0,26
	<i>background</i>	0,10	-0,58	0,10	-0,58	0,10	-0,58
Pires 6 amostras 3 chuva 3 seca	máximo	0,18	0,26	0,17	0,18	0,18	0,26
	mínimo	0,16	0,09	0,14	-0,10	0,14	-0,10
	médio	0,17	0,15	0,16	0,09	0,16	0,12
	mediana	0,16	0,09	0,17	0,18	0,17	0,18
	<i>background</i>	0,10	-0,58	0,10	-0,58	0,10	-0,58
Maurício 10 amostras 10 chuva 0 seca	máximo	-	-	0,15	0,00	0,15	0,00
	mínimo	-	-	0,10	-0,58	0,10	-0,58
	médio	-	-	0,13	-0,21	0,13	-0,21
	mediana	-	-	0,14	-0,10	0,14	-0,10
	<i>background</i>	-	-	0,10	-0,58	0,10	-0,58

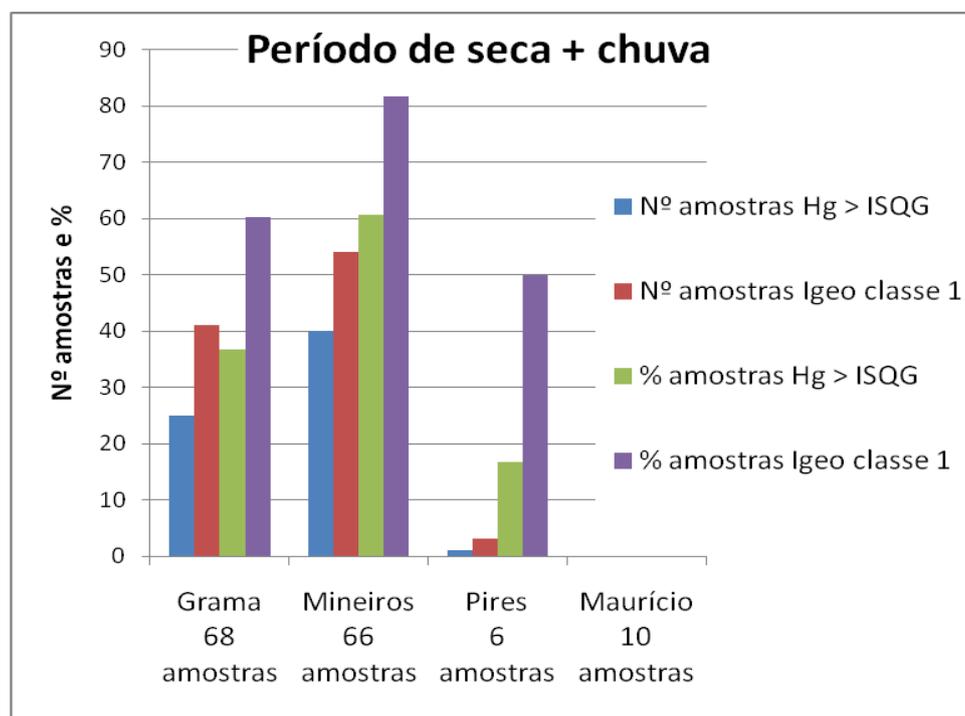


Figura 3: Amostras de sedimentos com valores acima do ISQG e Igeo Classe 1.

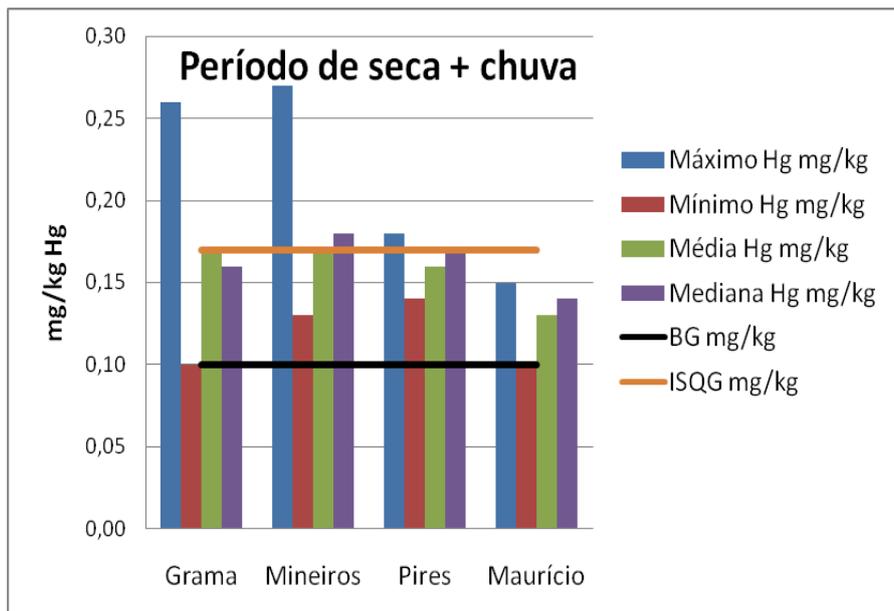


Figura 4: Estatística descritiva: Hg encontrado nos sedimentos

De acordo com o apresentado na Figura 4, a concentração de Hg variou de 0,10 mg/kg (Grama e Maurício) a 0,27mg/kg (Mineiros). Os valores médios por bacia foram próximos, 0,13 mg/kg (Maurício) a 0,17 mg/kg (Grama e Mineiros), assim como as medianas, 0,14 mg/kg (Maurício) a 0,18 mg/kg (Mineiros). Os maiores valores de Hg foram encontrados nas bacias da Grama, 0,26 mg/kg, e dos Mineiros, 0,27 mg/kg, respectivamente, no córrego Rico em frente à Área Contaminada por mercúrio e no leito do ribeirão dos Mineiros. Em termos do Igeo, observa-se na Figura 5 que a exceção da represa Maurício, Igeo Classe 0, as demais bacias apresentaram valores de média e mediana na Classe 1, enquadrando grande parte de seus sedimentos como “Não contaminados a moderadamente contaminados”.

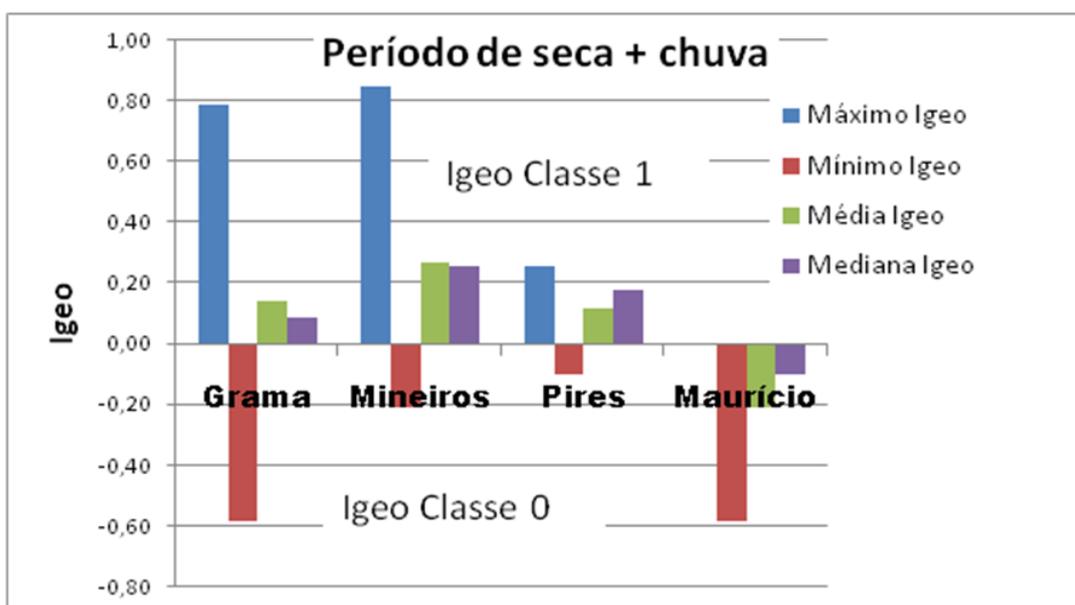


Figura 5: Estatística descritiva dos resultados de Igeo.

Na Figura 6 apresenta-se a localização dos pontos de amostragem de sedimentos na bacia do ribeirão da Grama. Os números em vermelho indicam que no ponto foi obtido pelo menos 1 resultado de Hg acima do ISQG, enquanto os que estão na cor preta assinalam a ocorrência apenas de valores inferiores a esse índice. Pontos de amostragem de sedimentos com numeração entre parênteses indicam que todos os sedimentos coletados no ponto apresentaram Igeo com Classe de qualidade 0 (sedimento não contaminado). Pontos livres de parêntesis, indicam ocorrência de pelo menos 1 resultado na Classe Igeo 1 (sedimento não contaminado a moderadamente contaminado).

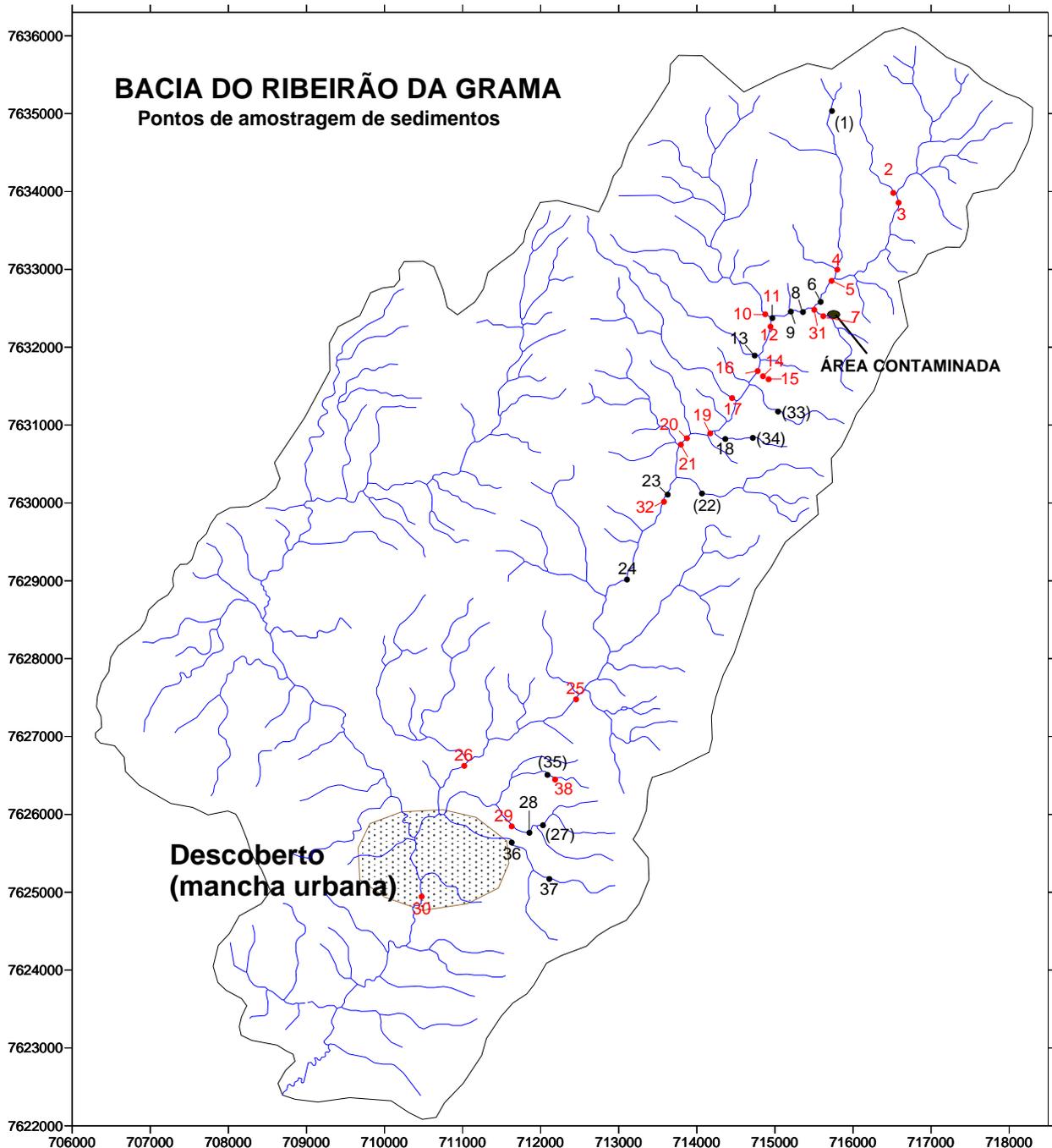


Figura 6: Pontos de amostragem de sedimentos na bacia do ribeirão da Grama.

Em relação aos pontos da bacia da Grama que apresentaram sedimentos classificados como “Não contaminados a Moderadamente contaminados” (Igeo Classe 1), alguns merecem destaque. Os pontos 7 e 31 (0,26 e 0,25 mg/kg, respectivamente) estão localizados no córrego Rico em frente à Área Contaminada por mercúrio. Em 2003, o maior valor de mercúrio encontrado nesse local do córrego Rico foi de 0,75 mg/kg, conforme pode ser observado na Figura 2. Esse valor corresponde a Igeo de 2,32, ou seja, sedimento “Moderadamente contaminado a muito contaminado” (Igeo Classe 3). Ressalta-se que em função da proximidade com o sítio contaminado poderiam ser esperados valores até mais elevados. O fato dos valores obtidos no presente trabalho, nesse ponto de amostragem, serem cerca de 3 vezes inferiores ao valor obtido na amostragem pretérita, certamente está refletindo o sucesso das medidas mitigadoras implantadas de forma mais efetiva a partir de 2004 no local contaminado (FEAM *et al.*, 2005), visando impedir a migração do mercúrio para o córrego Rico.

Os valores obtidos para os pontos 2 e 5 (0,23 e 0,25 mg/kg, respectivamente) podem estar confirmando a existência pretérita de garimpo de ouro na região do córrego do Realengo, ou mais especificamente, no outrora denominado córrego do Maximiano, conforme estudo histórico (FEAM *et al.*, 2005). O ponto 12 está localizado em local de remanso do ribeirão da Grama, com forte deposição de sedimentos finos, refletindo em maiores concentrações de mercúrio. O pontos 15 (0,23 mg/kg), situado em afluente da margem esquerda da Grama, e o 16 (0,22 mg/kg), situado no ribeirão da Grama imediatamente após o ponto 15, também podem estar indicando atividade pretérita de garimpo de ouro.

O valor da concentração de Hg obtido no ponto 30 deve estar refletindo os valores encontrados à montante no ribeirão da Grama, mas pode estar refletindo principalmente os passivos deixados por antigos garimpos de ouro que existiram nos córregos que cortam a mancha urbana atual. Deve-se ter em mente que a cidade de Descoberto teve origem no século XIX em função da atividade desses garimpos (FEAM *et al.*, 2005).

O valor da concentração de mercúrio observado em amostra coletada no ponto 17, situado em tributário da margem direita do ribeirão da Grama (0,22 mg/kg), pode estar refletindo a deposição de sedimentos nas áreas de inundação marginais, com teores mais elevados de mercúrio transportados de montante.

Em relação aos pontos da bacia dos Mineiros com sedimentos Igeo Classe 1 (Figura 9), destaca-se os resultados obtidos nos pontos 3 e 5 (0,26 e 0,24 mg/kg, respectivamente), os quais podem estar relacionados com garimpagem pretérita de ouro nas cabeceiras do córrego Rico e de outros córregos adjacentes a esse, conforme Estudo Histórico (FEAM *et al.*, 2005). Observa-se que essa região abrange as bacias da Grama, Mineiros e Pires. As demais amostras nessa bacia com

valores Classe 1 de Igeo devem estar relacionadas à existência de remansos, frequentes no ribeirão dos Mineiros.

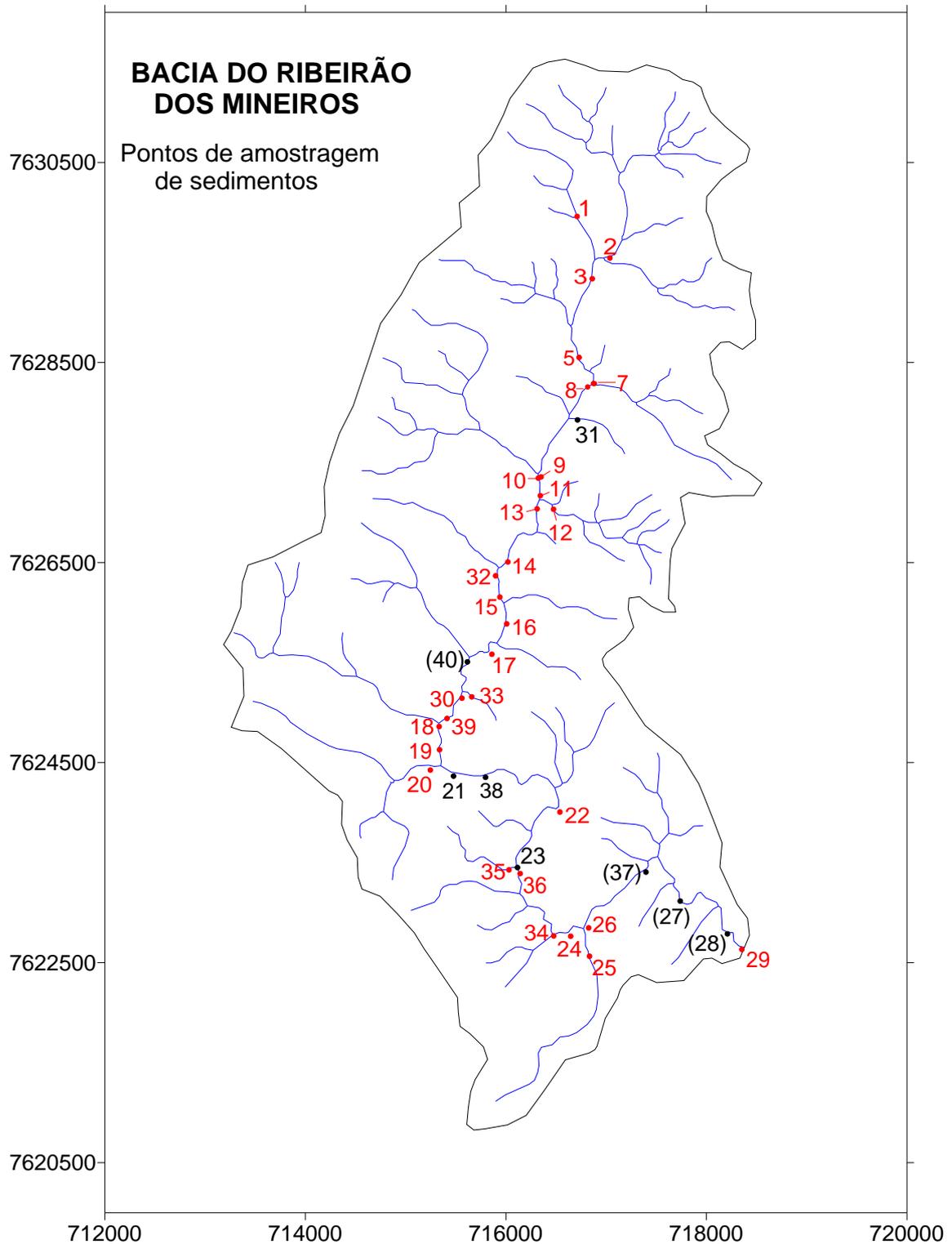


Figura 7: Pontos de amostragem de sedimentos na bacia do ribeirão dos Mineiros.

Nas Figuras 8 e 9 são apresentados os pontos de amostragem nas bacias do Pires e na represa Maurício, respectivamente.

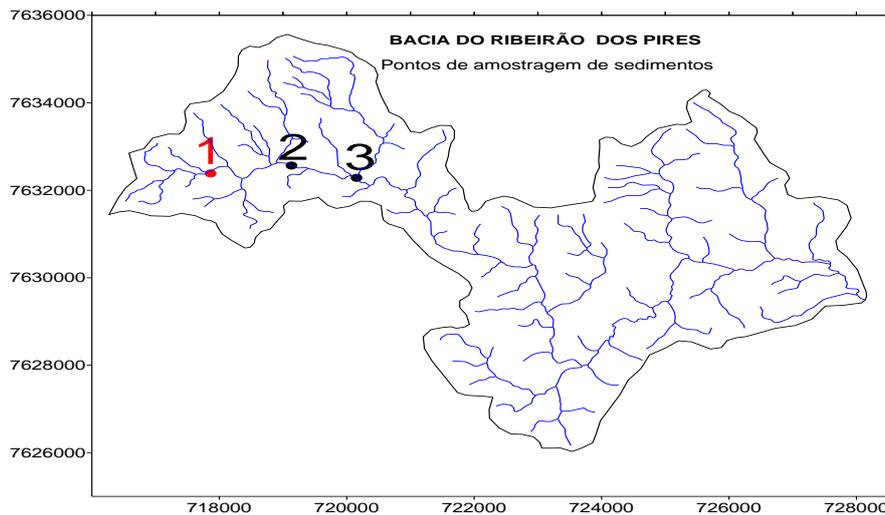


Figura 8: Pontos de amostragem de sedimentos na bacia dos Pires.

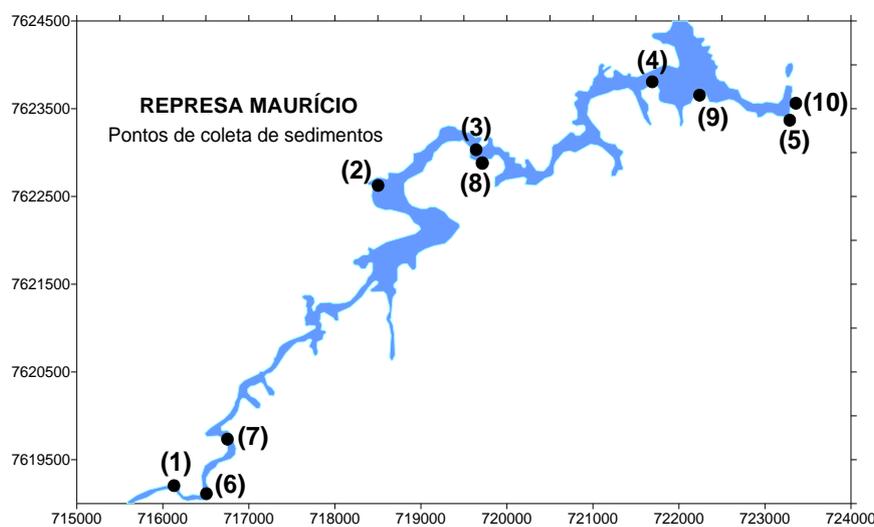


Figura 9: Pontos de amostragem de sedimentos na represa Maurício.

Um resultado importante é apresentado na Tabela 7, constituindo-se numa proposta de valores orientadores que podem ser utilizados em estudos regionais de avaliação de contaminação por mercúrio.

Tabela 7: Valores orientadores de qualidade de sedimentos para avaliação de contaminação mercurial

Concentração Hg mg/kg	Igeo		Qualidade do sedimento
	valor	Classe	
>4,80	>5	6	Extremamente contaminado
>2,40 - 4,80	>4 - 5	5	Muito contaminado a extremamente contaminado
>1,20 - 2,40	>3 - 4	4	Muito contaminado
>0,60 - 1,20	>2 - 3	3	Moderadamente contaminado a muito contaminado
>0,30 - 0,60	>1 - 2	2	Moderadamente contaminado
>0,15 - 0,30	>0 - 1	1	Não contaminado a moderadamente contaminado
≤0,15	≤ 0	0	Não contaminado

Mais especificamente, trata-se de uma orientação para avaliação da contaminação de sedimentos por mercúrio, onde a partir de uma determinada concentração de Hg pode-se estimar o valor do Igeo correspondente e, conseqüentemente, classificar o sedimento quanto a sua qualidade. Em princípio essa proposta só é aplicável de maneira eficaz à região de estudo, mas sugere-se que deva ser avaliada de maneira experimental a regiões compostas por solos do tipo latossolo vermelho-amarelo, inseridas nos domínios litológicos da Megassequência Andrelândia e do Complexo Juiz de Fora, nas quais se espera valores de background muito próximos a de 0,10mg/kg Hg nos sedimentos fluviais.

CONCLUSÕES

A avaliação da qualidade dos sedimentos de fundo da região de Descoberto, Minas Gerais, caracterizada nos estudos históricos como uma região de intensa atividade de garimpo de ouro no século XIX, tinha por objetivo verificar o grau de contaminação mercurial existente nessa região. Para tal foram coletadas e analisadas amostras de sedimentos de três bacias hidrográficas localizadas no entorno da Área Contaminada por mercúrio já identificada nessa região, considerando os períodos pluviométricos característicos, durante os anos de 2006 e 2007.

Parte significativa dos sedimentos analisados apresentou concentração de mercúrio acima do valor de referência ISQG (0,170 mg/kg), porém nenhum apresentou valor superior ao PEL (0,486 mg/kg), indicando pouca probabilidade de existir algum impacto de Hg à biota na área de estudo. Em termos do índice de geoacumulação, os sedimentos apresentaram resultados na Classe 0 “Não contaminado” e na Classe 1 “Não contaminado a moderadamente contaminado”.

A análise dos resultados das amostras caracterizadas como de Classe 1 indica a existência de outras áreas com potencial de contaminação de mercúrio, devido às atividades pretéritas de garimpos de ouro na região. Os valores obtidos nos sedimentos coletados em frente à Área Contaminada já identificada evidenciaram a eficiência das medidas mitigadoras implantadas para evitar a dispersão da contaminação mercurial.

Um resultado adicional relevante obtido nesse trabalho é a proposta de valores orientadores para avaliar áreas com potencial de contaminação mercurial. Essa proposta merece adequações para utilização entre outras regiões, porém acredita-se que pode ser útil na localização de áreas com potencial de contaminação por mercúrio na região de Descoberto e cercanias, alvo no passado de intensa atividade garimpeira.

AGRADECIMENTOS

Registra-se nosso agradecimento ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico – CNPq e a Fundação de Amparo à Pesquisa em Minas Gerais - FAPEMIG pelo apoio concedido ao desenvolvimento dos trabalhos em Descoberto, Minas Gerais.

BIBLIOGRAFIA

BAIRD, C. (2002). *Química Ambiental: Resíduos, solos e sedimentos*. Bookman, Porto Alegre-RS, 250 p.

CANADIAN COUNCIL OF MINISTERS OF THE ENVIRONMENTAL. (2001). *Canadian sediment quality guidelines for the protection of aquatic life – summary tables*. Winnipeg, Canadá.

CASARINI D. C. P. *et al.* (coord.). 2001. *Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo*. São Paulo, CETESB, 247 p. (Relatório completo disponível em http://www.cetesb.sp.gov.br/Solo/aguas_final.zip). Último acesso: 18/02/2009.

CDTN - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear (2008). *Áreas Contaminadas por mercúrio em decorrência de atividades pretéritas de garimpo de ouro em Minas Gerais: Desenvolvimento de metodologia de avaliação de passivo ambiental*. Projeto CNPq 479867/2004-6, relatório final, Belo Horizonte-MG, 100p.

ÇEVİK, F.; GÖKSU, M. Z. L.; DERICI, O. B.; FINDIK O. (2008). An assesment of metal pollution in surface sediments of Seyhan dam by using enrichment factor, geoaccumulation index and statistical analyses. *Environ. Monit. Asses.* Vol. 152, Numbers 1-4 / PP. 309-317.

FEAM, CDTN e CPRM - Fundação Estadual do Meio Ambiente, Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear e Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. (2005) *Diagnóstico da contaminação ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002*. Publicação FEAM-RT-DIMOG-001/2005, publicação CDTN-945/2005, Belo Horizonte-MG, 166p.

FEAM e CDTN. Fundação Estadual do Meio Ambiente e Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear. (2006). *Diagnóstico da contaminação ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002*. Relatório Final, publicação FEAM-RT-DIMOG-022/2006, publicação CDTN-958/2006. Belo Horizonte-MG, 199p.

FÖRSTENER, U, AHLF, W. e CALMANO, W. (1993). *Sediment quality objectives and criteria development in German*. *Water Sci. Technol.*, 28(8-9), 307-316.

HART, B. T. (1982). Uptake of trace metals by sediments and suspended particulates: A review. *Hydrobiology*, 91, pp. 299-313.

LACERDA, L. D. e SALOMONS, W. (1999). *Mercury contamination from New World gold and silver mine tailings*. pp 73-87. In R. Ebinghaus, R. R. Turner, L. D. Lacerda, O. Vasiliev, and W. Salomons, editors. *Environmental Science – Mercury contamination sites*. Berlin: Ed. Springer.

MÜLLER, P.J. e SUESS, E. (1979). *Productivity, sedimentation rate and sedimentary organic matter in the oceans. I. Organic carbon presentation*. *Deep Sea Res.*, 26A, 1347-1362.

NOCE, C. M. *et al.* . Folha Ubá. In: Projeto Sul de Minas Etapa I. COMIG/UFMG, Belo Horizonte, 2003.

PALMIERI H. E. L. e MOREIRA R. M. (2004). *Validação de Métodos para Análise de Metais Pesados e Metalóides em Amostras Ambientais*. Belo Horizonte: CDTN/CNEN, 2004. Publicação CDTN, 841/1998, 49p.

PALMIERI, H. E. L. (2006). *Distribuição, especiação e transferência de Hg e As para a biota em áreas do Sudeste do Quadrilátero Ferrífero, MG*; Departamento de Geologia, Universidade Federal de Ouro Preto, Tese de Doutorado, 170p.

SOUZA, S.M.T. (1993). *Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais*. Hidrosistemas, Belo Horizonte-MG, 264p.

WHO – World Health Organization. (2000) *Air quality guideline – Mercury*. Copenhagen, cap. 6.9. 15p.