

Avaliação da presença de metais pesados nas águas superficiais da Bacia do Córrego São Mateus, Juiz de Fora (MG), Brasil

César Henrique Barra Rocha*
Leonardo Pimenta de Azevedo**

*Engenheiro Civil (UFJF). Mestre em Engenharia de Transportes (USP). Doutorado em Geografia (UFJF). Professor da UFJF.
** Biólogo (UFV). Especialista em Análise Ambiental (UFJF).

Resumo Atualmente, a Bacia Hidrográfica do Córrego São Mateus tem um histórico de danos ambientais, abrigando o primeiro aterro de Juiz de Fora de 2005 a 2010. Entre as consequências da deposição de lixo urbano e industrial, há o risco de contaminação por metais pesados através do chorume. A mineração também pode aumentar a concentração dos metais na água, pois na mesma bacia, encontra-se a Pedreira Pedra Sul. Buscou-se detectar os elementos As, Cd, Pb, Cu, Hg e Zn nos córregos por meio da sonda Metalyser e confrontar com a legislação. Foi obtida uma amostra por mês (maio a setembro de 2014) nos quatro pontos de coleta. Os resultados mostraram que em todos os pontos havia metais pesados em concentrações superiores às permitidas e, ainda, em todas as amostras, pelo menos um metal estava acima do limite. Esse tipo de impacto pode afetar a saúde dos moradores do local e de toda biota.

Palavras-chave: recursos hídricos, impactos ambientais, aterro sanitário, chorume, monitoramento ambiental.

1. Introdução

O município de Juiz de Fora está localizado na mesorregião da Zona da Mata, dista cerca de 280 km da capital de Minas Gerais e ocupa uma área de 1.436 km² no sudeste do estado. Em 2010, sua população era de 516.247 habitantes, sendo que apenas 1,14% habitava a zona rural. Estima-se que em 2014 a população passou a ser de 550.710 habitantes (IBGE 2014). Um dos maiores desafios para a gestão do município, advindo do crescimento populacional e potencial causador de impactos ambientais, é a destinação final do lixo (Vale 2010).

Nas últimas décadas foram abundantes as discussões e estudos sobre o assunto, tendo como ponto central a escolha da área apropriada para a instalação de um aterro sanitário que receberia os resíduos sólidos recolhidos na cidade. Entre os anos de 2005 e 2010 funcionou o primeiro aterro de Juiz de Fora, o Aterro Sanitário Salvaterra (Demlurb 2010), que substituiu o lixão estabelecido no mesmo local, na área da Bacia Hidrográfica do Córrego São Mateus (BHCSM) (Teixeira *et al.* 2006). Afluente do rio do Peixe, o Córrego São Mateus tem, por sua vez, como afluente principal o Córrego Salvaterra e apresenta grande histórico de intervenções antrópicas, como atividades de mineração, agricultura e, mais recentemente, impactos decorrentes da destinação dos resíduos sólidos na área próxima à nascente de seu afluente (Duprat 2012).

Entre as consequências da deposição de lixo em discordância com a legislação, há o risco de contaminação

dos mananciais por metais pesados, que estão presentes no solo de cobertura dos aterros e no chorume. Quando existem falhas de contenção e drenagem nos aterros, podem ocorrer deslizamentos de solo e resíduos que são carregados pela chuva, juntamente com o lixiviado, até os cursos d'água (Santos 2013).

Os altos índices de toxicidade dos metais pesados para os organismos, associados à sua relativa facilidade de entrarem e acumularem-se ao longo cadeias tróficas por muito tempo, fundamenta a importância de estudos que determinem suas concentrações em ambientes aquáticos. Assim, o grande potencial dos metais pesados de causar danos ao meio ambiente e à saúde da população da zona rural de Juiz de Fora motivou a realização deste trabalho. Sua relevância é percebida, principalmente, ao considerar a carência de análises deste tipo nos cursos d'água da região estudada e ao motivar a investigação das fontes de poluição a fim de prevenir maiores impactos.

Através do presente estudo, busca-se detectar metais pesados (arsênio, cádmio, chumbo, cobre, mercúrio, zinco) dissolvidos na água dos córregos e medir suas concentrações em quatro pontos estratégicos da bacia do Córrego São Mateus por meio de um analisador portátil. Depois disso, confrontar os valores obtidos com os limites estabelecidos na legislação e investigar as prováveis origens de descargas de efluentes de acordo com o perfil de contaminação que vier a ser encontrado. Assim, pretende-se apontar as condições de saneamento ambiental tendo em

vista a qualidade da água (no que diz respeito à concentração de metais pesados) e, finalmente, sugerir os possíveis impactos da poluição ao meio ambiente e à saúde da comunidade que utiliza os recursos hídricos.

Desta forma, a intenção do trabalho é demonstrar, com base na avaliação do estado de contaminação do sistema fluvial por metais pesados, a importância da realização de um saneamento ambiental adequado.

2. Revisão Bibliográfica

A bacia hidrográfica é uma compartimentação geográfica natural delimitada por divisores de água, que são os pontos mais altos do relevo (Santana 2003). Esse compartimento é drenado por um curso d'água principal e seus afluentes até a saída da bacia, no local de menor altitude. Complementando o conceito, Torres *et al.* (2012) consideram que a bacia hidrográfica, também conhecida como bacia fluvial ou bacia de drenagem, é a área da superfície terrestre que drena as águas de chuvas, sedimentos e solutos através de cursos de água que convergem até formarem um leito único no exutório ou foz.

A Bacia Hidrográfica do Córrego São Mateus está compreendida entre a região mais elevada do bairro Nova Califórnia e a foz de seu curso d'água principal no rio do Peixe, que é enquadrado como um rio de classe 1 de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº 16 de 25 de setembro de 1996. O COPAM ainda estabelece que os corpos d'água não mencionados na Deliberação recebem o mesmo enquadramento do trecho onde deságuam, portanto, essa classificação estende-se ao Córrego São Mateus e seus afluentes (Minas Gerais 1996).

A BHCSM abrange uma área de cerca de 30 km², sendo que aproximadamente 11 km² correspondem à área da bacia do Córrego Salvaterra, uma sub-bacia do Córrego São Mateus. A nascente do principal afluente do Córrego São Mateus está situada entre o Centro Empresarial Park Sul e o Aterro Sanitário Salvaterra (Pires e Villaça 2011) e, 1 km a jusante desta, o curso d'água entra na área da RPPN Vale de Salvaterra, que possui área averbada de 263,3 ha dentro dos limites da Fazenda Santa Cruz, sendo a maior reserva particular do município de Juiz de Fora (Minas Gerais 2002). Outro importante afluente do Córrego São Mateus é o Córrego Bocaina, que nasce nas proximidades da Pedreira Pedra Sul, no Centro Empresarial Park Sul.

A RPPN Vale de Salvaterra apresenta características típicas de remanescentes de mata atlântica e em sua área estão as ruínas do antigo Hotel Salvaterra, a Capela Nossa Senhora do Bom Conselho e o Vagão Escola, tornando-a relevante não só para a preservação ambiental, mas também para o cenário histórico e cultural de Juiz de Fora. Sua importância também é percebida ao possibilitar a pesquisa científica, as atividades de educação ambiental e o turismo ecológico (Pires e Villaça 2011).

Por outro lado, a reserva, assim como grande parte da BHCSM, vem sofrendo com um tipo inédito de impacto ambiental para estes locais. No início de 1999, foi estabelecido um vazadouro (lixão) nas proximidades da

nascente do Córrego Salvaterra e na Área de Preservação Permanente (APP) de alguns de seus tributários (Teixeira *et al.* 2006), assim, todos os resíduos sólidos de Juiz de Fora, incluindo os de origem hospitalar e industrial, eram depositados sem tratamento nesta área, que fica às margens da Rodovia BR-040.

Em 11 de janeiro de 2002, ocorreu um grande deslizamento do lixo acumulado no local que, segundo a prefeitura, funcionava como aterro controlado. Porém, os técnicos que avaliaram o incidente verificaram que havia várias irregularidades em seu funcionamento, como a falta de sistemas de drenagem pluvial, dos gases e dos percolados da massa de lixo (Macêdo 2004 *apud* Vale 2007), o que é conflitante com as características mais básicas de um aterro sanitário.

Em 2004, a prefeitura de Juiz de Fora anunciou o início da construção de um aterro sanitário no mesmo local do vazadouro com vida útil até 2019 e, em 31 de março do mesmo ano, foi inaugurado o "Aterro Sanitário de Juiz de Fora" com 20% das obras concluídas. Porém, devido a algumas condicionantes estabelecidas pela FEAM e às obras inacabadas, o aterro, que fica localizado na vertente direita do terreno, não entrou em operação. Portanto, o lixo da cidade continuou sendo depositado na vertente esquerda da área (Miranda 2004a *apud* Vale 2007).

Cinco dias após a inauguração, entre 20 e 50% de todo o volume de lixo aterrado deslizou por mais de 300 metros a partir da vertente esquerda, ampliando os problemas ambientais no local (Miranda 2004b *apud* Vale 2007). A situação tornou-se ainda pior quando ocorreu um novo deslizamento significativo em 13 de janeiro de 2005 (Lisboa e Carnevali 2005 *apud* Vale 2007). A partir de então a recém-empossada administração do município recuperou as obras do aterro, iniciou a operação do Aterro Sanitário Salvaterra na vertente direita (30 de maio de 2005) e paralisou as atividades no antigo lixão (Demlurb 2010).

Apesar das novas obras e da paralisação do lixão, em janeiro de 2006 ocorreu outro deslizamento de terra e lixo, que atingiu o Córrego Salvaterra e a RPPN Vale de Salvaterra, impedindo de forma direta a utilização da água contaminada com chorume pelos moradores da região e, ainda, colocando em risco a saúde do gado leiteiro e de quem consome o leite e derivados produzidos ali. Problemas como esses, assim como o desaparecimento de peixes no Córrego Salvaterra, foram relatados frequentemente pelos moradores ao longo dos anos em que a disposição final do lixo de Juiz de Fora foi feita de forma não planejada e inadequada, em desacordo com a legislação ambiental desde o âmbito municipal até o federal (Vale 2007).

Embora tenha sido projetado para funcionar até 2019, o Aterro Sanitário Salvaterra teve o fim de sua vida útil oficializado em 11 de abril de 2010, data da desativação. As causas de seu fim precoce são constatadas no início das grandes intervenções ambientais no local em janeiro de 1999, quando foi estabelecido o lixão, e ao longo dos anos seguintes em que aconteceram os deslizamentos e a deposição de lixo de forma irregular. Depois de desativado,

o Plano de Encerramento do aterro passou por apreciação pelo órgão de controle ambiental como previsto no processo de licenciamento ambiental. A execução desse plano consiste basicamente no plantio de gramíneas para proteger superficialmente as áreas expostas dos taludes formados pelos resíduos e dos taludes naturais, proporcionando resistência à erosão e preservando as características da paisagem e, além disso, o monitoramento ambiental e o tratamento dos efluentes percolados devem ser continuados (Demlurb 2010).

Após a desativação do aterro sanitário os impactos ambientais na BHCSM não cessaram. Odores fortes e persistentes, presença de espuma densa nos córregos e coloração escura da água foram as evidências de descargas de chorume percebidas in situ por pesquisadores da Universidade Federal de Juiz de Fora e por moradores das propriedades da região e, segundo estes, o lançamento do poluente nos cursos de água ocorria semanalmente (Pires e Villaça 2011). Esses episódios evidenciam falhas na metodologia de operação do aterro após o encerramento do recebimento dos resíduos, já que todo o efluente líquido deveria ser retirado dos tanques de armazenamento de percolados e encaminhado para uma estação de tratamento antes que a capacidade dos tanques fosse excedida (Teixeira *et al.* 2006).

Chorume é a fase líquida da massa de lixo aterrada, que percola através desta carreando materiais dissolvidos ou suspensos. O componente principal do chorume é o líquido que entra na massa aterrada, podendo ter origem externa, como sistemas de drenagem superficial, chuvas, água do lençol freático e de nascentes, ou internas (com origem no próprio aterro), como o líquido resultante da decomposição da matéria orgânica (Hamada 1997).

A falta do manejo adequado do chorume gerado promove a contaminação do solo, do ar, das águas superficiais e subterrâneas, além de possibilitar a propagação de vetores de doenças, em detrimento da qualidade do meio ambiente e da saúde pública (Celere *et al.* 2007). Entre os impactos causados pelas descargas de chorume está a liberação de metais pesados no ambiente (Aucott 2006). Segundo Serafim *et al.* (2003), existem técnicas de tratamento de chorume quando este exibe teores elevados de metais, mas tais possibilidades representam um grande desafio, uma vez que a heterogeneidade dos resíduos dispostos, a idade do aterro, a forma de operação, as condições climáticas e ambientais, entre outros fatores, determinam a complexidade do chorume. Isto inviabiliza a ideia de que uma forma de tratamento adotada para um aterro seja aplicável a outro.

De acordo com Tsutiya (1999), esses elementos químicos possuem peso específico maior que 5 g/cm³ ou número atômico maior que 20. Entretanto, o termo “metais pesados” também é utilizado para se referir àqueles elementos (metais ou ametais) que contaminam o meio ambiente, desencadeando efeitos tóxicos aos sistemas vivos. Enquadram-se nesse conceito: alumínio, antimônio, arsênio, cádmio, chumbo, cobre, cobalto, cromo, ferro, manganês, mercúrio, molibdênio, níquel, selênio e zinco.

Os efeitos adversos na saúde humana devido à intoxicação por esses metais são numerosos e bem descritos na literatura. A severidade da contaminação para o organismo humano depende do grau de exposição aos metais, que, de forma geral, podem causar danos ao sistema nervoso central, aos sistemas hepático, renal, hematopoiético e esquelético (Segura-Muñoz 2002).

Os metais diferem-se dos compostos orgânicos tóxicos por serem não degradáveis, o que faz com que esses elementos se acumulem ao longo da cadeia trófica manifestando a sua toxicidade nos organismos vivos (Chaves 2008). Portanto, os perigos da contaminação no meio hídrico não se restringem ao consumo direto da água, mas propagam-se nas relações de predação dos ecossistemas e nos meios de produção de alimento dos humanos. Um exemplo clássico de tóxico bioacumulativo é o metilmercúrio, que, presente na água, contamina os peixes e conseqüentemente todos os níveis tróficos superiores (Santos *et al.* 2006).

Os elementos-traço, como também são conhecidos os metais pesados por serem encontrados em baixas concentrações (usualmente < 0,1%) nos solos e nos organismos vivos (Valle 2012), são introduzidos naturalmente nos sistemas aquáticos através de processos geoquímicos e intemperismo. Os ciclos biológicos e geológicos são responsáveis pela redistribuição desses metais no ambiente, transportando-os para os rios (Yabe e Oliveira 1998). Alguns são considerados essenciais do ponto de vista biológico, mas quando presentes em altos teores causam impactos negativos à saúde dos seres vivos, constituindo um problema ambiental ou de saúde pública. Entre os elementos que, sabidamente, são importantes para os organismos estão: cromo, ferro, níquel, selênio, zinco (Valle 2012).

A atividade industrial contribui maciçamente no aporte excessivo dos metais pesados para o ecossistema. Indústrias de fundição, tecidos, curtumes, microeletrônica, fertilizantes, pesticidas, tintas e de mineração, por exemplo, utilizam diversos desses elementos em suas linhas de produção e contaminam as águas dos rios através de seus efluentes (Francischetti 2004; Andrade *et al.* 2010). Arsênio, cádmio, chumbo, cobre, mercúrio e zinco são frequentemente encontrados na composição de muitos resíduos industriais e urbanos levados para aterros sanitários municipais (Segura-Muñoz 2002), como: restos de tintas, aparelhos elétricos e eletrônicos, lâmpadas, placas de circuitos eletrônicos impressos, chapas de radiografias, resíduos de amálgama dentário, embalagens e restos de medicamentos, inseticidas, fungicidas, pesticidas, fertilizantes e produtos de limpeza, baterias de níquel-cádmio, pilhas galvânicas, peças de carros, encaixamentos metálicos e plásticos (WHO 2001a; WHO 2001b; WHO 2004; WHO 2007; WHO 2010a; WHO 2010b). Outras fontes importantes de contaminação do meio ambiente são os incineradores de lixo urbano e industrial, que lançam na atmosfera materiais particulados contendo metais pesados. As cinzas ricas em metais, principalmente mercúrio e arsênio, são levadas pelo vento e precipitam-se no solo,

onde esses elementos podem ser carregados pela chuva para os cursos d'água ou assimilados pelos vegetais, introduzindo-os na cadeia alimentar (Andrade *et al.* 2010; Segura-Muñoz 2002). Para apontar o limite a partir do qual a concentração de determinado metal pesado na água é uma ameaça, primeiramente, é necessário definir os usos a que o curso d'água está ou deveria estar destinado. Com base no enquadramento de corpos d'água em Classes de Qualidade, a Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 estabelece condições e padrões de qualidade da água a serem respeitados, de modo a assegurar seus usos preponderantes ou atender às necessidades da comunidade.

Na tabela 1 podem-se verificar os limites das concentrações em partes por bilhão (ppb) ou Microgramas/litro ($\mu\text{g.L}^{-1}$) dos metais pesados considerados neste estudo para cada classe. A Resolução não fixa limites de concentração de poluentes para as águas de classe especial, pois estas deverão ter suas condições naturais mantidas, ou seja, suas características não devem ser afetadas por atividades humanas. Às águas doces de classe 2 aplicam-se as mesmas condições e padrões das águas de classe 1, como verificado na tabela 1. Já para a classe 4, não são estabelecidos na legislação os valores máximos para os parâmetros inorgânicos (Brasil 2005).

Metais pesados	Valores máximos (ppb) CONAMA 357/2005	
	Classes 1 e 2	Classe 3
Arsênio total	0,14* ou 10,01	33,04
Cádmio total	1,00	10,01
Chumbo total	10,01	33,04
Cobre dissolvido	9,01	13,01
Mercúrio total	0,20	2,00
Zinco total	180,21	5005,71

*Onde haja pesca ou cultivo de organismos para fins de consumo intenso.

Tabela 1 – Valores máximos da concentração de metais pesados por classe
Fonte: Elaboração própria.

Como mencionado anteriormente, todos os corpos d'água da BHCSM estão enquadrados na classe 1. Além de serem fundamentais para a proteção das comunidades bióticas que dependem da água, os corpos d'água dessa classe podem ser destinados ao abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado, à irrigação de hortaliças e até à recreação (Brasil 2005), o que torna importante a investigação da qualidade da água que é drenada pelos córregos dessa Bacia.

3. Metodologia

Para possibilitar a investigação das origens dos processos que levam a contaminação por metais pesados na BHCSM, foram selecionados quatro pontos de coleta através de análise da carta topográfica “Matias Barbosa” (SF-23-X-D-IV-3) do IBGE (1983) e das imagens de satélite no Google

Earth e, em seguida, foi feita a verificação em campo da viabilidade de acessar os locais com o auxílio do receptor GPS de navegação Garmin GPSMAP 76CSx.

Como apresentado na Figura 1, foram escolhidos dois pontos de coleta no córrego São Mateus: um na sua nascente (P1) e outro antes da confluência com o córrego Salvaterra (P4). Neste, foi escolhido um ponto alguns metros antes de receber o córrego Bocaina (P2), onde também foram coletadas amostras antes da sua foz no córrego Salvaterra (P3). O propósito dessa forma de distribuição dos pontos de amostragem foi comparar os três cursos d'água quanto ao grau de contaminação e obter um perfil geral da poluição das águas da BHCSM, já que a área a montante dos pontos P2, P3 e P4 corresponde a mais da metade da bacia de contribuição.

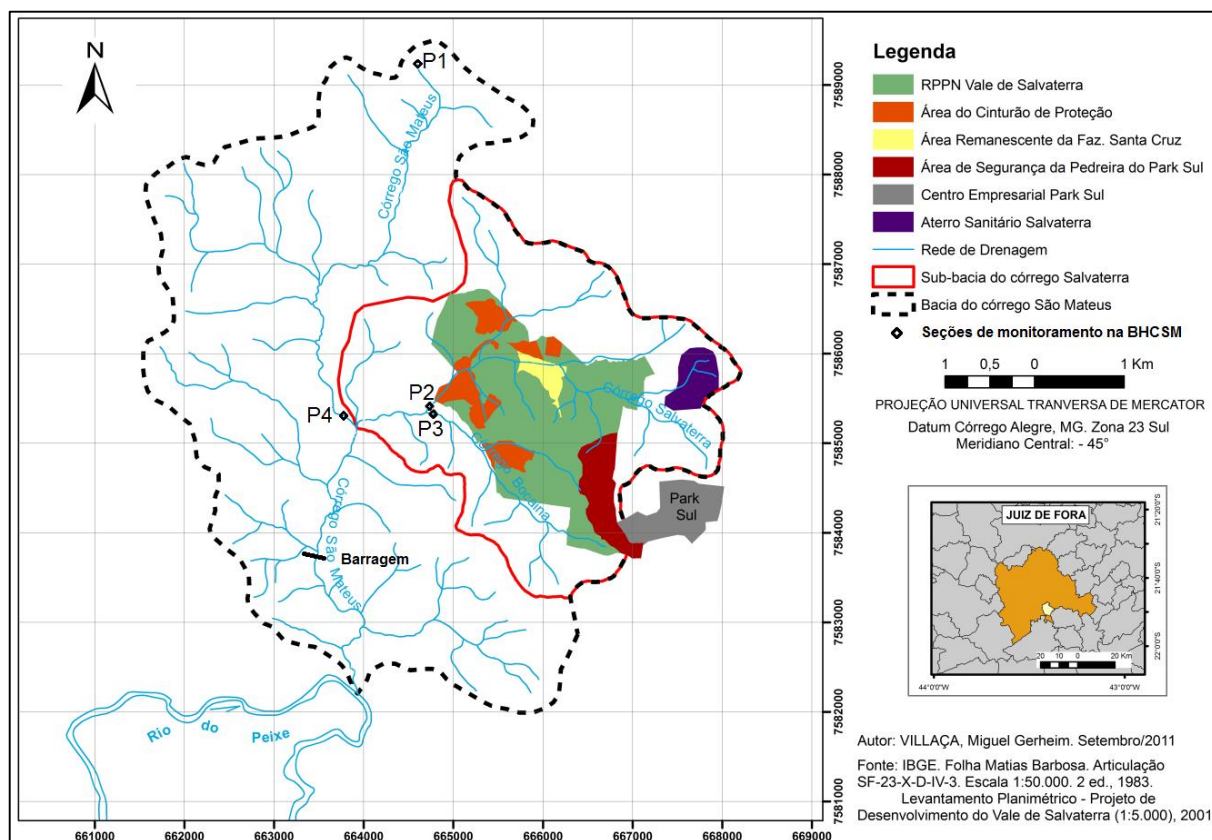


Figura 1: Localização dos pontos de coleta na BHCSM
Fonte: Adaptado de Pires e Villaça (2011).

Foi obtida uma amostra de cada ponto por coleta, sendo que as coletas foram realizadas uma vez por mês durante cinco meses, sempre que possível na última semana do mês: 30/05/2014; 26/06/2014; 25/07/2014; 22/08/2014; e 30/09/2014. Este intervalo de meses corresponde ao período da seca em Juiz de Fora que, de acordo com o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do município, é caracterizado por temperaturas mais baixas e menor precipitação pluviométrica em relação aos outros meses do ano (Juiz de Fora 2000). O horário das coletas iniciava-se às 7:00 horas com término aproximado às 12:00 horas. Especialmente neste ano de 2014, ocorreu uma das maiores secas da história recente da nossa Região, o que fez com que as condições meteorológicas um dia antes da coleta e no dia da coleta variassem muito pouco. Como exemplo, consultando a Estação Meteorológica da UFJF, a precipitação em todos esses dias foi de 0 mm; a temperatura mínima foi de 12,5°, 13,4°, 14,0°, 13,5° e 17,6°, respectivamente; e a umidade relativa do ar foi de 84,5%, 79,25%, 70,5%, 64% e 66,5%, respectivamente, no dia anterior à coleta (INMET 2015).

As amostras foram acondicionadas em recipientes inertes de plástico e analisadas em laboratório no mesmo dia ou no dia posterior à coleta, seguindo as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA 2011) para metais dissolvidos.

A determinação do nível de contaminação por metais pesados foi realizada através da medição da concentração de cada elemento no ambiente estudado e da comparação com

os valores preconizados na Resolução CONAMA nº 357/2005 (BRASIL 2005), como sugerem Andrade et al. (2010).

Um método bastante difundido para a análise de metais pesados dissolvidos na água é a espectrometria de absorção atômica com forno de grafite, que se baseia no princípio de que cada metal em seu estado fundamental absorve a luz a um comprimento de onda específico (Jesus *et al.* 2011). Porém, a medição da concentração dos metais através de uma sonda ou analisador portátil, como o Metalyser HM1000 da Trace2o Ltd., é uma alternativa mais econômica: demanda menos recursos financeiros para aquisição do equipamento e manutenção em comparação ao forno de grafite; não exige grande espaço físico; a utilização é relativamente simples, dispensando treinamento de pessoal ao apresentar uma interface intuitiva. Por outro lado, a obtenção dos resultados utilizando o analisador mostrou-se um pouco lenta. Para medir a concentração de um metal em uma amostra o aparelho levou, em média, dez minutos considerando apenas seu tempo de processamento.

A medição da concentração de metais pesados utilizando o analisador portátil Metalyser HM1000, importado pela Clean Environment Brasil®, possibilita a análise *in situ*. Entretanto, verificou-se que sua utilização em laboratório é mais segura ao evitar danos ao equipamento e perda dos suprimentos por contaminação. As amostras foram deixadas em temperatura ambiente, não foram agitadas e foi utilizado o Procedimento Operacional Padrão (POP) desenvolvido a partir do manual do analisador. Os limites de detecção de

cada metal são de 5 ppb, exceto o Cádmio que é de 3 ppb. A calibração do equipamento é feita em quatro etapas: polimento do eletrodo que será utilizado; utilização de soluções de condicionamento do eletrodo para cada grupo de metais; condicionando a amostra de água para o metal escolhido (buffer); finalmente, adicionando a solução padrão de 280 µl do STANDARD correspondente ao metal analisado (Trace2o 2015).

As concentrações (ppb) de As, Pb, Cu, Hg e Zn encontradas nos córregos da BHCSM entre os meses de maio a setembro de 2014 são mostradas na Tabela 2. Verificou-se que Pb e As foram os metais menos frequentemente encontrados: o primeiro, em apenas uma amostra, e o segundo, em duas no mesmo ponto de coleta. Porém, as concentrações medidas nessas três amostras excederam os valores máximos permitidos pela Resolução CONAMA 357/2005.

4. Resultados e Discussão

Metais	Pontos de coleta	Coleta 1 30/05/14	Coleta2 27/06/14	Coleta 3 25/07/14	Coleta 4 22/08/14	Coleta 5 30/09/14
Arsênio	P1	-	-	-	-	-
	P2	-	-	-	-	-
	P3	-	-	-	-	-
	P4	-	57,63	-	-	24,38
Chumbo	P1	-	-	-	-	-
	P2	-	-	-	-	-
	P3	-	-	-	-	65,01
	P4	-	-	-	-	-
Cobre	P1	26,87	33,21	7,90	9,04	-
	P2	24,76	7,54	47,62	29,15	31,54
	P3	36,29	14,40	7,77	51,09	-
	P4	9,83	10,53	22,46	13,58	137,08
Mercúrio	P1	14,23	-	19,02	5,71	44,46
	P2	22,92	8,72	5,02	12,31	15,78
	P3	7,96	-	18,54	-	6,97
	P4	-	-	11,56	-	-
Zinco	P1	444,25	135,20	85,97	83,10	228,13
	P2	47,71	43,19	52,92	59,34	89,78
	P3	590,15	255,05	48,01	18,20	66,26
	P4	45,78	64,69	47,56	228,97	19,27

Tabela 2: Concentrações, em ppb, de metais pesados em cada amostra. O sinal (-) indica que o metal estava ausente na amostra ou abaixo do limite de detecção do analisador. Os valores em negrito excedem o limite estabelecido na legislação.

Fonte: Elaboração própria

Cádmio não é apresentado na Tabela 2 e nos gráficos de 1 a 5 porque não foi obtida sua concentração em nenhuma amostra. Embora esse elemento não tenha sido detectado pelo analisador, há a possibilidade de estar acima do limite da legislação, já que o limite inferior de detecção do metal pelo aparelho é de 3 ppb, enquanto o VMP para corpos d'água classe 1 é 1 ppb.

Ao se comparar os valores obtidos com os limites estabelecidos na legislação, constatou-se que em todos os pontos de coleta detectaram-se metais pesados em concentrações superiores àquelas determinadas na Resolução do CONAMA para águas de classe 1 e, ainda, em todas as amostras pelo menos um metal pesado estava presente acima desse limite. Isso indica que as águas dos

córregos estudados são impróprias para a proteção das comunidades aquáticas, para recreação de contato primário, para irrigação de hortaliças e frutas que são ingeridas cruas e, mesmo após tratamento simplificado, impróprias para consumo humano.

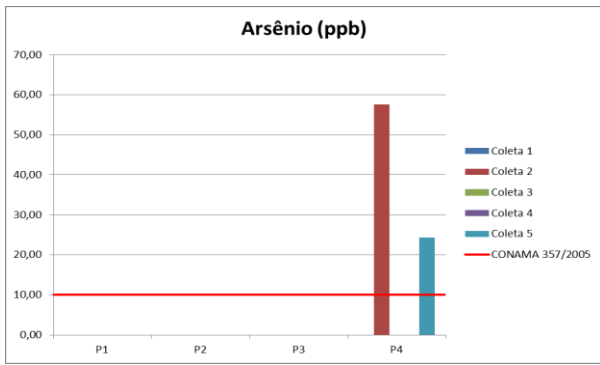


Gráfico 1: Concentração de arsênio x Pontos de coleta.

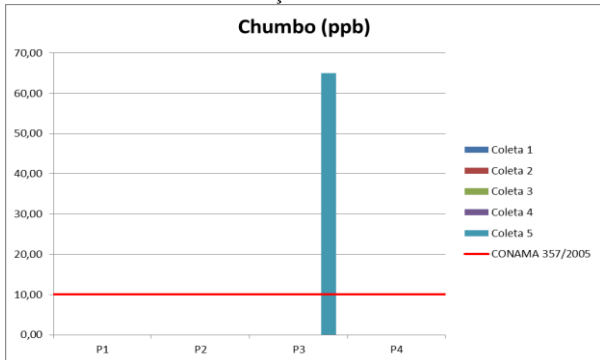


Gráfico 2: Concentração de chumbo x Pontos de coleta.

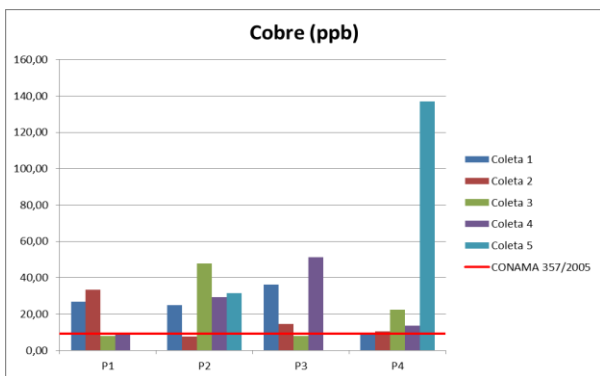


Gráfico 3: Concentração de cobre x Pontos de coleta.

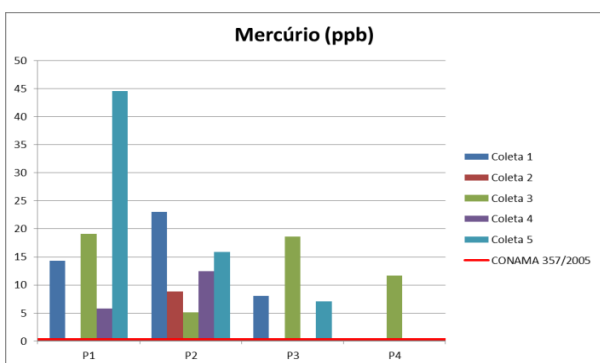


Gráfico 4: Concentração de mercúrio x Pontos de coleta.

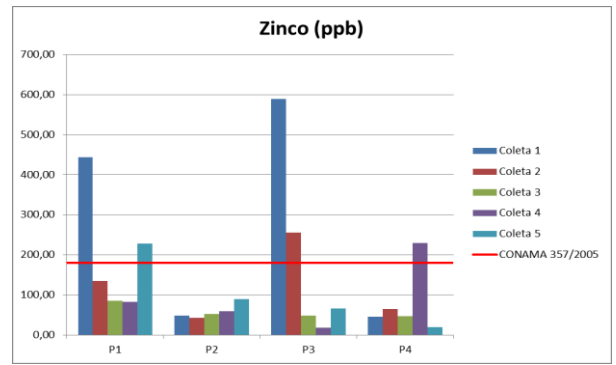


Gráfico 5: Concentração de zinco x Pontos de coleta.

Mercúrio foi o metal cuja concentração medida em uma amostra foi mais discrepante em relação ao VMP. No ponto de coleta P1, no mês de setembro, sua concentração foi cerca de 220 vezes maior do que o estipulado na Resolução. Mesmo o menor valor obtido para a concentração de mercúrio, em P2, no mês de julho, foi aproximadamente 25 vezes maior que o limite de 0,20 ppb. Outro metal pesado que teve a concentração medida em uma amostra excedendo sobremaneira o limite foi o cobre. Sua concentração em P4, mês de setembro, superou em mais de 15 vezes o VMP. Zinco foi o único elemento analisado presente em todas as 20 amostras, sendo que em um quarto delas a concentração ultrapassou o limite legal para corpos de água doce classe 1, com destaque para a amostra de maio em P3, na qual foi detectado o teor de 590,15 ppb, enquanto a legislação define 180,21 ppb como máximo.

A elevação da poluição por metais pesados no solo e na água está normalmente associada ao lançamento de efluentes industriais, lixo urbano e esgoto doméstico não tratado nos mananciais (Macêdo 2004 *apud* Andrade *et al.* 2010), atividades essas que foram constatadas na região das amostragens (Figuras 2 e 3). Outra atividade que pode explicar a presença de metais pesados nas águas da bacia estudada é a mineração, já que nos arredores da nascente do córrego Bocaina encontra-se a Pedreira Pedra Sul.

Entre os cursos d'água estudados, o córrego Salvaterra é o mais diretamente afetado pelo lançamento de lixo e efluentes líquidos, já que um de seus tributários nasce no terreno que pertence ao Aterro Sanitário Salvaterra. Na sua terceira fase de decomposição, esse aterro é responsável por uma grande produção de sulfetos, pela redução de diversas formas de enxofre, causando a precipitação de cátions inorgânicos, principalmente metais pesados (Pacheco 2004).

A matéria orgânica é a fonte principal dos metais Pb, Cu, Hg e Zn; nos metais ferrosos, Pb e Cu se manifestam em quantidades importantes e o papel também é fonte importante de Pb (Castilhos Jr. 1988 *apud* Celere, 2007). Os resultados obtidos e as evidências do lançamento de chorume durante o período de realização deste trabalho sugerem que quantidades consideráveis de matéria orgânica, metais ferrosos e papéis foram depositadas no aterro sanitário enquanto esteve em funcionamento.



Figura 2: Lixo encontrado no córrego Salvaterra.
Fonte: Elaboração própria



Figura 3: A seção P2 no córrego Salvaterra com a água escura (possivelmente chorume) e a seção P3 com bastante sedimento na foz do córrego Bocaina (onde está o pesquisador).
Fonte: Elaboração própria

No caso do ponto P1 (nascente do córrego São Mateus), apesar de estar dentro de um fragmento de Mata Atlântica em estado avançado de regeneração, existe um condomínio a montante dessa Mata, visitado pelos pesquisadores na tentativa de identificar alguma atividade: depósito clandestino, consultório odontológico, etc. Isso não foi possível devido ao direito de propriedade. Não existem registros históricos de lavra de ouro nessa área. O fato de encontrar Cu, Hg e Zn pode estar associado a falhas na rede de esgoto doméstico ou inexistência de tratamento, que poderia estar penetrando no lençol freático e atingindo essa nascente.

No caso do P4 (no mesmo córrego), além de Cu, Hg e Zn (já encontrados na nascente), só não foi encontrado Pb, destacando-se como único ponto onde foi encontrado As, os quais possuem como origem comum o esgoto doméstico (Jackson 1992) e atividades agrícolas, por meio do uso de pesticidas, fertilizantes, inseticidas, dentre outros.

Portanto, as seções P2 e P3 encontram justificativa para os resultados encontrados em função principalmente do Aterro Sanitário Salvaterra e do Distrito Industrial Park Sul. Como relatado por moradores e pescadores da Região, houve diminuição na variedade e quantidade de peixes nos córregos (Caetano 2014), o que motivou a abertura de um Inquérito Civil pelo Ministério Público do Estado de Minas Gerais.

5. Considerações Finais

Aos diversos impactos ambientais causados pelo Aterro Sanitário Salvaterra e pela Pedreira Pedra Sul, soma-se a contaminação das águas dos córregos Salvaterra e Bocaina, respectivamente. Os impactos sobre a BHCSM são preocupantes, principalmente porque a população que habita essa área rural não possui atendimento de água e faz uso de nascentes e poços, os quais estão abaixo do nível desses córregos na maioria das vezes, o que facilita a contaminação através do escoamento e da infiltração da água poluída no solo. Além disso, os organismos que tem parte ou todo seu ciclo de vida dependente dos recursos hídricos da região estão sujeitos à bioacumulação de metais pesados.

Grande parte dos impactos observados na BHCSM seria evitada caso o chorume gerado no aterro fosse tratado. Porém, a complexidade do percolado torna difícil a determinação de técnicas efetivas e reprodutíveis de tratamento. Sendo assim, é seguro afirmar que medidas mitigadoras preventivas bem definidas, quando do licenciamento de qualquer empreendimento, são mais eficientes em sua aplicação do que as medidas minimizadoras ou compensatórias por dependerem de menos recursos (para a recuperação de áreas degradadas e para o tratamento de resíduos, por exemplo) e são, também, mais eficazes por não gerarem incertezas quanto ao resultado de sua execução, dada a variabilidade das características dos impactos que podem ser produzidos. Um modo de prevenir alguns desses impactos é determinar que as indústrias implementem sistemas de logística reversa

para gerar a destinação final ambientalmente adequada ou o reaproveitamento das matérias-primas de seus produtos descartados após a vida útil.

REFERÊNCIAS

ANA - Agência Nacional de Águas. 2011. *Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras: Água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos*. São Paulo: CETESB; Brasília.

Andrade MT, Veador MAR, Menezes MAB, Alípio VC. 2010. *Análise da concentração de metais pesados no rio Piracicaba, Minas Gerais*. In: XXX Encontro Nacional de Engenharia de Produção, São Carlos - SP. Anais. São Carlos: ABEPRO - Associação Brasileira de Engenharia de Produção.

Aucott M. 2006. *The fate of heavy metals in landfills: A Review*. New York: New York Academy of Sciences, 22p.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Resolução n. 357, de 17 de março de 2005**. Lex: Diário Oficial [da República Federativa do Brasil], Brasília, 18 de março de 2005.

Caetano C. 2014. *Inquérito apura poluição em córrego. No Dia do Meio Ambiente, população do entorno não tem o que comemorar e reclama do mau cheiro e da mortandade de peixes no curso d'água*. Jornal Tribuna de Minas. Disponível em <<http://www.tribunademinas.com.br/cidade/inquerito-apura-poluic-o-em-corrego-1.1464677>>. Acesso em 05 de agosto de 2014.

Castilhos Jr AB. 1988. Estimativa da distribuição e dos teores dos metais pesados nas diversas frações dos resíduos urbanos no Brasil. Campina Grande - PB: *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, 1:57-60.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2009. *Qualidade das águas interiores no estado de São Paulo*. Apêndice A: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. São Paulo: CETESB, 43p. (Série Relatórios)

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2012. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. *Arsênio*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/arsenio.pdf>, 2012>. Acesso em: 4 de junho de 2015.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. 2012. Divisão de Toxicologia Humana e Saúde Ambiental. *Cobre*. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/laboratorios/fit/cobre.pdf>, 2012>. Acesso em: 4 de junho de 2015.

- Celere MS, Oliveira AS, Trevilato TMB, Segura-munoz SI. 2007. Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública. *Cad. Saúde Pública*. Rio de Janeiro, **23** (4): 939-947.
- Chaves RCP. 2008. *Avaliação do teor de metais pesados na água tratada do município de Lavras - MG*. 2008. 44p. Dissertação (Pós-Graduação em Agroquímica) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.
- DEMLURB - Departamento Municipal de Limpeza Urbana. 2010. *Aterro Sanitário: Conheça a central de tratamento de resíduos de Juiz de Fora*. Disponível em: <<http://www.demlurb.pjf.mg.gov.br/aterro.php>>. Acesso em: 31 de janeiro de 2015.
- Duprat PL. 2012. *Diagnóstico da Ictiofauna do córrego São Mateus, afluente do Rio do Peixe, Juiz de Fora, Minas Gerais*. 46p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais.
- Francischetti J. *Remoção de Metais Pesados em Efluentes Líquidos Através da Filtração Adsorviva*. 2004. 81p. Dissertação (Pós Graduação em Engenharia Química) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.
- Hamada J. 1997. Estimativas de geração e caracterização do chorume em aterros sanitários. In: XIX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Foz do Iguaçu. Anais. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p. 1801-1810.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1983. *Folha Matias Barbosa. Articulação SF.23-X-D-IV-3*. Secretaria de Planejamento da República. Diretoria de Geodésia e Cartografia. Superintendência de Cartografia. Carta do Brasil. Escala 1:50.000. 2 ed.
- IBGE, 2014. Cidades@. Minas Gerais: Juiz de Fora. Disponível em: <<http://cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=313670>>. Acesso em: 31 de janeiro de 2015.
- INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. *Dados meteorológicos*. Disponível em < <http://www.inmet.gov.br> >. Acesso em: 18 de julho de 2016.
- Jackson J. 1992. *Heavy metals and other inorganic toxic substances*. In: MATSUI, S. (Ed.). Guidelines of lake management. v. 4. Toxic substances management in lakes and reservoirs. Otsu: International Lake Environment Committee Foundation (ILEC)/ United Nations Environment Programme (UNEP), p. 65-80.
- Jesus J, Santos S, Rodrigues AL. 2011. Metais Pesados na Água. *Revista Lusófona de Ciências e Medicina Veterinária*, **4**:18-22.
- Juiz de Fora. 2000. *Plano diretor de desenvolvimento urbano de Juiz de Fora*. Lei n. 9.811, de 27 de junho de 2000.
- Lisboa L e Carnevalli A. 2005. *Tonelada de lixo desliza em área de preservação*. Tribuna de Minas, Juiz de Fora, 14 de janeiro de 2005. Geral, Primeiro Caderno.
- Macêdo JAB. 2004. *Águas & Águas*. Belo Horizonte: Conselho Regional de Química - MG, 977p.
- Minas Gerais. 1996. Conselho de Política Ambiental - COPAM. *Dispõe sobre o enquadramento das águas estaduais da bacia do rio Paraibuna*. Deliberação Normativa n. 16, de 24 de setembro de 1996. Disponível em: <<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=113>>. Acesso em: 5 de dezembro de 2015.
- Minas Gerais. 2002. Instituto Estadual de Florestas - IEF. *Reconhece como Reserva Particular do Patrimônio Natural a RPPN Vale de Salvaterra, situada no Município de Juiz de Fora/MG*. Portaria n. 102, de 22 de agosto de 2002.
- Miranda R. 2004. *Aterro será inaugurado antes da vistoria da FEAM*. Panorama, Juiz de Fora, 28 de março de 2004a. Juiz de Fora e Região, p.4
- Miranda R. 2004b. *Metade do aterro desliza*. Panorama, Juiz de Fora, 6 de abril de 2004. Juiz de Fora e Região, p.3
- Pacheco JR. 2004. *Estudos de certas potencialidades de processos oxidativos avançados para o tratamento de percolado de aterro sanitário*. 2004. 81p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba.
- Pires LG e Villaça MG. 2011. *Alteração dos níveis de condutividade e STD nos córregos Salvaterra e São Mateus em função da descarga de chorume do aterro controlado e sanitário Salvaterra – Juiz de Fora (MG)*. 2011. 59p. Trabalho de Conclusão de Curso (Especialização em Análise Ambiental) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2011.
- Santana DP. 2003. *Manejo Integrado de Bacias Hidrográficas*. Sete Lagoas: Embrapa Milho e Sorgo, 2003. 63p. (Embrapa Milho e Sorgo, Série Documentos, 30).
- Santos FLO, Gatti RM, Souza PRK. 2006. Presença de mercúrio em peixes e sua correlação com a intoxicação alimentar. *Revista Brasileira de Ciências da Saúde* **9**: 37-41.
- Santos VS. 2013. *Remoção de matéria orgânica em lixiviado de aterro sanitário utilizando contactor biológico rotatório*. 110p. Dissertação (Pós-graduação em Engenharia Civil) - UNISINOS, São Leopoldo.
- Segura-Munoz SI. 2002. *Impacto ambiental na área do aterro sanitário e incinerador de resíduos sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de metais pesados*. 131p. Tese (Pós-Graduação de Enfermagem em Saúde

Pública - Linha de Pesquisa: Saúde Ambiental) - Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto.

Serafin AC, Gussakov KC, Silva F, Coneglian CMR, Brito NN, Sobrinho GD, Tonso S, Pelegrini R. 2003. Chorume, impactos ambientais e possibilidades de tratamentos. In: *III Fórum de Estudos Contábeis*, Rio Claro - SP. Anais. Rio Claro: Faculdades Integradas Claretianas.

Teixeira GP, França RA., Lacerda GBM. 2006. Metodologia de operação de aterro sanitário no município de Juiz de Fora - MG. In: VII Seminário Nacional de Resíduos Sólidos, Maranhão. Anais. Maranhão: ABES/MA - Seção Maranhão da ABES.

Torres FTP, Neto RM, Menezes SO. 2012. *Introdução à geomorfologia*. São Paulo: Cengage Learning. 322p.

Trace2o. Metalyser Portable HM 1000. *Portable Field Heavy Metals Analyser*. Instruction Manual v. 3.1, Technology Centre, Unit 4, Transigo, Gables Way, Thatcham, Berkshire, RG194ZA, United Kingdom. Disponível em <<http://trace2o.com>>. Acesso em 18 de julho de 2016.

Tsutiya MT. 1999. Metais pesados: o principal fator limitante para o uso agrícola de biossólidos das estações de tratamento de esgotos. In: XX Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. Anais. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. p.753-761.

Vale CS. 2007. *Custos ambientais, sociais e econômicos da escolha inadequada de local para a disposição final dos resíduos sólidos urbanos: o caso da cidade de Juiz de Fora*. 107p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência Ambiental) - Universidade Federal Fluminense, Niterói.

Vale CS. 2010. Planejamento e sustentabilidade: o caso da disposição final dos resíduos sólidos na cidade de Juiz de Fora. *Revista Científica ANAP Brasil* 3(3): 67-82.

Valle LAR. *Avaliação de elementos-traço em fertilizantes e corretivos*. 2012. 77p. Dissertação (Pós-Graduação em Ciência do Solo - Área de concentração em Recursos Ambientais e Uso da Terra) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2012.

WHO. 2001a. Zinc. Geneva: *World Health Organization*, 360p. (Environmental Health Criteria, 221).

WHO. 2001b. *Arsenic and arsenic compounds*. Geneva: World Health Organization, 2001b. 66p. (Environmental Health Criteria, 224).

WHO. 2004. Copper in Drinking-water: Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva: World Health Organization. 23p.

WHO. *Exposure to mercury: a major public health concern*. Geneva: World Health Organization, 2007. 4p. (Preventing disease through healthy environments).

WHO. *Exposure to lead: a major public health concern*. Geneva: World Health Organization, 2010a. 6p. (Preventing disease through healthy environments).

WHO. *Exposure to cadmium: a major public health concern*. Geneva: World Health Organization, 2010b. 4p. (Preventing disease through healthy environments).

Yabe MJS, Oliveira E. 1998. Metais pesados em águas superficiais como estratégia de caracterização de bacias hidrográficas. *Química Nova*. 21(5): 551-556.

Assessing the presence of heavy metals in surface waters of the São Mateus Brook Basin, Juiz de Fora (MG), Brazil

César Henrique Barra Rocha*
Leonardo Pimenta de Azevedo**

* Civil Engineer (UFJF). Master in Transport Engineer. Doctorate in Geography (UFJF). Professor at UFJF.

** Biólogo (UFV). Especialista em Análise Ambiental (UFJF).

Abstract The São Mateus Brook Basin has a history of environmental damage, housing the first landfill of Juiz de Fora between 2005 and 2010. Among the consequences of depositing urban and industrial waste, there is a risk of heavy metal contamination through manure. Mining can also increase the concentration of metals in local water bodies due to the activities of the Pedra Sul quarry, which is located in the same basin. We attempted to detect the elements As, Cd, Pb, Cu, Hg and Zn in streams using Metalyser probe and comparing with the values established by law. We obtained one sample per month (May to September 2014) in the four collection points. The results showed that at all points had concentrations of heavy metals above the allowed limits and in all samples, at least one metal was above the limit. This type of impact can affect the health of local residents and all biota.

Keywords: water resources, environmental impacts, landfill, slurry, environmental monitoring.

Informações sobre os autores

César Henrique Barra Rocha

Endereço para correspondência: UFJF, Rua José Lourenço Kelmer, s/n, Bairro São Pedro. CEP 36036-330. Juiz de Fora, MG, Brasil.

E-mail: barra.rocha@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/8729240139391301>

Leonardo Pimenta de Azevedo

Endereço para correspondência: Rua Milton Bandeira, 369, sala 202, Centro, CEP 36570000 - Viçosa, MG - Brasil

E-mail: leopimentaz@yahoo.com.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5747302878569245>

Artigo Recebido em: 04-07-2015

Artigo Aprovado em: 08-10-2015