

Análise dos metais pesados nos sedimentos de fundo do alto rio Jequitinhonha em áreas afetadas pela atividade de extração mineral, Diamantina MG

Bruno Teles de Souza
Hernando Baggio Filho

Programa de Pós-Graduação em Geologia
Universidade Federal dos Vales do
Jequitinhonha e Mucuri
Campus JK
Rodovia MG 367 - km 583 N 5000
Alto da Jacuba
Diamantina, MG - Brasil
39100-000

*Autor correspondente
brteles@hotmail.com

RESUMO

A busca de ouro no leito do rio Jequitinhonha foi o principal motivo a atrair os primeiros Bandeirantes a explorar suas águas. Esta longa jornada, iniciada em sua foz, trouxe resultados próximos à sua nascente no distrito de Serro Frio, local atualmente conhecido como Diamantina, no estado de Minas Gerais. Alguns anos após a sua colonização foram também descobertos os diamantes, e esta região ficou marcada pela presença da atividade mineral até os dias atuais. A atividade garimpeira é uma das responsáveis pela mudança da paisagem da região assim como a alteração na química dos sedimentos. Para entender estas alterações foram realizadas análises físico-químicas (granulometria e cor) e análises químicas na fração silto-argilosa dos sedimentos. A determinação das concentrações dos elementos químicos foi feita por ICP OES. As amostras (28 no total) foram coletadas em dois períodos climáticos. Os dados analisados foram comparados a Resolução CONAMA 454/2012, ao índice de geoacumulação e ao fator do enriquecimento percentual. Os resultados indicaram que os sedimentos apresentaram granulometria fina a média e cor 2,5Y. Quando comparados a Resolução CONAMA 454/2012, os resultados das análises químicas apontam alterações nos teores de Zn, Pb e Cr, sendo que os teores destes dois últimos ultrapassaram o nível 2. Cr, Zn e Cu apresentaram índices de geoacumulação superiores a 3, sendo os sedimentos classificados como moderado a altamente poluídos em pelo menos um dos períodos analisados no que diz respeito a estes elementos. O Fator de enriquecimento percentual indicou que os maiores aumentos das concentrações dos elementos químicos analisados foram no Pb, Cu e Zn.

Palavras chave: Geoquímica Ambiental, Metais pesados, Sedimentos.

ABSTRACT

The search for gold in the Jequitinhonha riverbed was the main reason to attract the first Bandeirantes to explore its waters. This long journey, started at its mouth, brought results close to its source in the district of Serro Frio, a place currently known as Diamantina, in the state of Minas Gerais. Some years after its colonization, diamonds were also discovered, and this region has been marked by the presence of mineral activity to the present day. The mining activity is responsible for changing the landscape of the region as well as changing the chemistry of sediments. To understand these changes, physical-chemical analyzes (granulometry and color) and chemical analyzes were carried out on the silt-clayey fraction of the sediments. The determination of the concentrations of the chemical elements was made by ICP OES. The samples (28 in total) were collected in two climatic periods. The analyzed data were compared to CONAMA Resolution 454/2012, to the geoaccumulation index and to the percentage enrichment factor. The results indicated that the sediments presented fine to medium granulometry and 2.5Y color. When compared to the CONAMA Resolution 454/2012, the results of the chemical analyzes point to changes in the levels of Zn, Pb and Cr, with the contents of the latter two exceeding level 2. Cr, Zn and Cu presented geoaccumulation indexes greater than 3, the sediments being classified as

moderate to highly polluted in at least one of the analyzed periods with respect to these elements. The percentage enrichment factor indicated that the greatest increases in the concentrations of the chemical elements analyzed were in Pb, Cu and Zn.

Keywords: Environmental Geochemistry, Heavy metals, Sediments

1. INTRODUÇÃO

O rio Jequitinhonha abrange um rico histórico sobre a exploração mineral. A corrida do ouro no século XVII, desencadeada por desbravadores baianos e paulistas, foi a principal causa da origem e do povoamento da bacia do rio Jequitinhonha (GONÇALVES, 1997) e, desde então, a produção mineral está associada às questões culturais regionais. Inicialmente a Lavra de Tijuco, uma lavra aurífera, apresentou seus primeiros indícios da exploração de diamantes no ano de 1729 (SANTOS, 1868). No período entre 1772 e 1841, a lavra de diamantes foi explorada pela Real extração (CHAVES; UHLEIN, 1991). No ano de 1962, a Mineração Tejucana S.A teve seu alvará de pesquisa liberado, e a sua primeira draga instalada no Rio Jequitinhonha em 1966 (DUPONT, 1991). No ano de 2007, a Mineradora Novo Rio concluiu suas operações de lavra no rio Jequitinhonha. Sem o funcionamento da mineradora, um fluxo surpreendente de garimpeiros ocupou a região em busca de ouro e diamantes (SANTOS; SILVA, 2015).

O rio Jequitinhonha é o recurso natural mais importante da região. Atividades de desmatamento para fins agropastoris, de mineração e de garimpagem em seu alto curso e alguns dos afluentes têm causado, no decurso dos anos, modificações importantes no ciclo hidrológico (GONÇALVES, 1997). Metais podem entrar na água dos rios a partir de áreas de mineração através de várias formas, como descarga de minas, escoamento superficial, intemperismo químico de rochas e solos, úmido e seco e precipitação de partículas atmosféricas (REZA; SINGH, 2010). A remobilização de grandes quantidades de materiais, junto a escavações, pode aumentar a concentrações dos metais nas águas e posteriormente se acumular junto aos sedimentos fluviais, gerando grandes passivos ambientais.

Os sedimentos são uma combinação de materiais fragmentados, compostos por materiais detríticos, biogênicos e autogênicos. Os componentes detríticos são formados por fragmentos de rocha e minerais derivados da

terra pelo intemperismo, os componentes biogênicos são remanescentes de esqueletos inorgânicos de organismos e matéria orgânica produzida pela degradação dos seus tecidos, e os componentes autogênicos são precipitações derivadas inorganicamente, que são formadas nas águas e também após a deposição dos sedimentos no fundo de rios e oceanos (CALVERT, 1976; WARREN, 1981). Segundo Christofolletti (1981), em seus estudos sobre geomorfologia fluvial, a carga total dos sedimentos é composta por materiais fornecidos por processos químicos, processos pluviais, englobando todos os processos ligados à morfogênese pluvial que atuam sobre as vertentes e movimentos de massa no regolito. Estes se apresentam como uma mistura de partículas de várias espécies, tamanhos e formas. Desta maneira, os sedimentos detríticos são uma mistura complexa, nos quais não é fácil quantificar os principais componentes ou defini-los de forma individualizada (WARREN, 1981). As trocas de elementos químicos entre a água e os sedimentos são temas de estudos desde as primeiras pesquisas geoquímicas. Para Clarke (1911), no momento em que a água deixa a atmosfera e entra na terra porosa, sua química e atividade solvente iniciam e continuam, provavelmente sem interrupção, até alcançar o mar. O caráter e a extensão do trabalho assim realizado varia com as condições do local, como a temperatura, a natureza dos minerais encontrados e assim por diante. Este autor demonstrou que, a atividade antrópica também era responsável pelas alterações na água quando afirmou que “em qualquer discussão completa sobre as águas nos rios, é preciso levar em conta a contaminação por interferências humanas”.

Em estudos de avaliação da qualidade ambiental dos recursos hídricos, os sedimentos de corrente e de fundo têm destacada importância por apresentarem alta capacidade de adsorver estes metais tóxicos (TRINDADE, 2012). Para Debarry (2004) os sedimentos carregam importantes informações dos processos naturais e antrópicos. Os metais

pesados tendem a se acumular nos sedimentos de fundo, os quais podem ser assimilados dentro dos organismos por ingestão. Para Han *et al.* (2002) os sete metais pesados de maior preocupação segundo o impacto ambiental que causam são: Cd, Cu, Cr, Hg, Pb, Ni e Zn. Em geral, a produção mundial para estes sete metais pesados estudados aumentou exponencialmente. Para este mesmo autor, as taxas de aumento na produção mundial destes metais desde o início do século 20 estão na seguinte ordem: Cr > Cu > Zn > Pb > Ni > Cd > Hg. Desta forma toda a interação entre os sedimentos e o aumento das concentrações dos metais pesados de origem antrópica estão inseridos em uma área denominada como geoquímica ambiental.

A geoquímica ambiental é uma ciência nova que reflete a preocupação com as fontes atuais de desequilíbrio da natureza, originada basicamente nos problemas sócio-políticos de superpopulação, urbanização e industrialização (CARVALHO, 1989). Deste modo, além dos estudos geoquímicos até então classicamente desenvolvidos, passou-se também a efetuar trabalhos relativos à detecção e controle de poluição e às modificações decorridas no meio ambiente em consequência de interferências de caráter antrópico (MOREIRA-NORDEMANN, 1987). Para Rohde (2008), a geoquímica ambiental é responsável por estudar os processos geoquímicos da antroposfera, o compartimento terrestre produzido pela atuação dos seres humanos como um conjunto e suas influências geoquímicas nos demais compartimentos terrestres.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 ÁREA DE ESTUDO

O rio Jequitinhonha tem grande importância no cenário nacional, sendo um dos mais relevantes cursos d'água da região nordeste de Minas Gerais. Sua bacia de drenagem ocupa uma extensão total de 70.315 km² os quais estão divididos em uma área de 66.319 km² no estado de Minas Gerais enquanto 3.996 km² se encontram no estado da Bahia (GONÇALVES, 1997). Apresenta uma extensão aproximada de 1.100 km e suas nascentes estão localizadas a aproximadamente 1300 metros de altitude, localizada no município de Serro-MG. A área

Embora as preocupações sobre a interferência humana no meio ambiente sejam relativamente novas, no Brasil seu amadurecimento é crescente nos últimos 40 anos, sendo cada vez mais constante a sua aplicação de estudos geoquímicos, em questões de contaminações fluviais, ou nos sedimentos carreados por suas águas. Muitos estudos realizados como os de Baggio (2008), no rio Formoso, Trindade (2010), no rio São Francisco e Araújo *et al.* (2017), no rio Jequitinhonha, Neves (2008), no Ribeirão das Pedras, um dos afluentes do rio Jequitinhonha, demonstram estas crescentes preocupações relacionadas à qualidade das águas e dos sedimentos no estado de Minas Gerais.

Para Baggio (2008) e Trindade (2012) os sistemas fluviais estão entre os ambientes naturais mais impactados pelas atividades antrópicas. Desta forma, torna-se necessário verificar como essas atividades vêm atuando sobre o sistema fluvial do rio Jequitinhonha e quais as origens e potenciais fontes de contaminação. O principal objetivo deste trabalho é de determinar as concentrações e distribuições dos seguintes elementos químicos: Cr, Cu, Cd, Ni, Zn e Pb nos sedimentos de fundo ao longo do perfil longitudinal do rio Jequitinhonha em áreas afetadas pela atividade de extração mineral. Porém, para que este estudo seja completo se faz necessário avaliar outras fontes potenciais de contaminação antrópicas, como lançamento de efluentes domésticos associados a cidades, estradas, silvicultura, agropecuária, entre outros.

de estudo, encontra-se inserida ao sul da região hidrográfica de Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) do Alto Jequitinhonha - JQ01, entre os municípios de Diamantina e Couto de Magalhães de Minas (Figura 1).

A área total de contribuição da bacia analisada - área de estudo, é de 3.006,8 km². Topograficamente, o rio Jequitinhonha tem uma variação de altitude entre 1.276 m a 652 m, com um desnível médio em torno de 624 m, e uma extensão aproximada de 140 km.

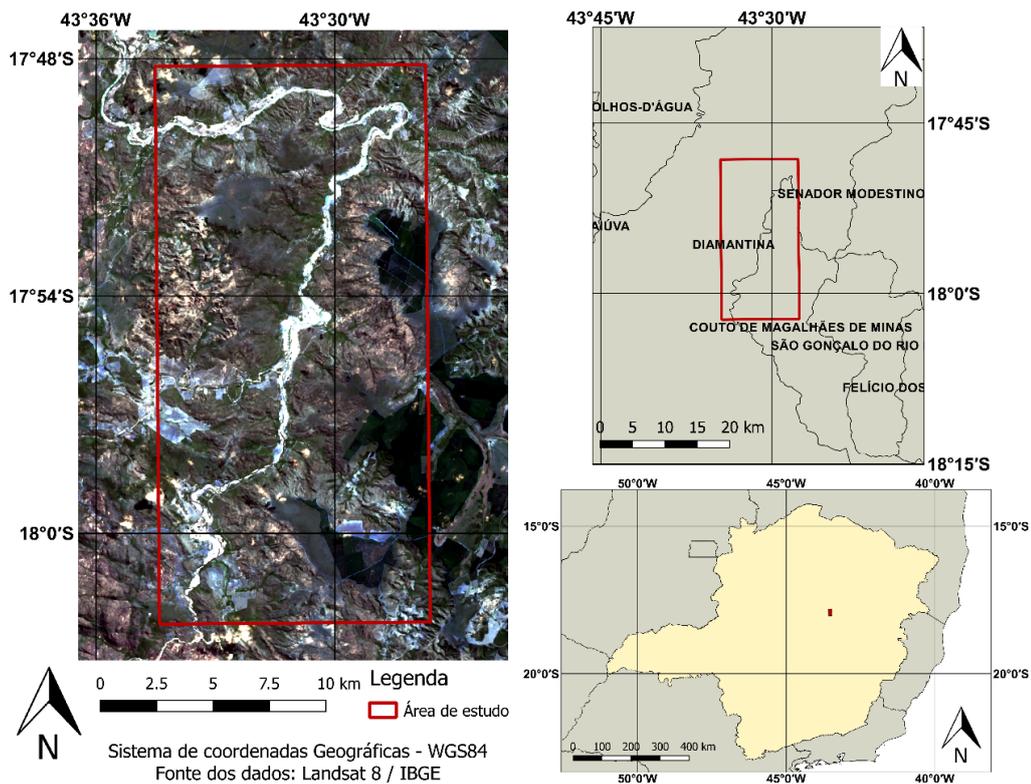


Figura 1
Localização da área de estudo no contexto estadual e municipal.

2.2 ASPECTOS FISIAGRÁFICOS

Os aspectos fisiográficos afetam diretamente a dinâmica dos sedimentos. Características como o relevo, clima, vegetação, geologia e solos são responsáveis por gerar modificações em sua deposição, composição, causar variações granulométricas e prover materiais detríticos dos mais diversos.

O rio Jequitinhonha, tem sua nascente localizada no Planalto de Diamantina (SAADI, 2005). Em sua porção superior os vales são escavados e profundos, formando frequentemente cânions entalhados sobre as

rochas quartzíticas da Serra do Espinhaço, com a largura dos aluviões raramente excedendo os 20 m. A partir da localidade do município de Mendanha, o rio ganha o seu médio curso, desenvolvendo aluviões mais largos. Também observa-se uma forte queda no gradiente do rio, com altitudes entre 1.200 e 1.500 m no espigão serrano para 700 e 600 m (CHAVES; CHAMBEL, 2004). A Figura 2 apresenta o perfil longitudinal do rio Jequitinhonha e a localização de seus pontos de amostragem.

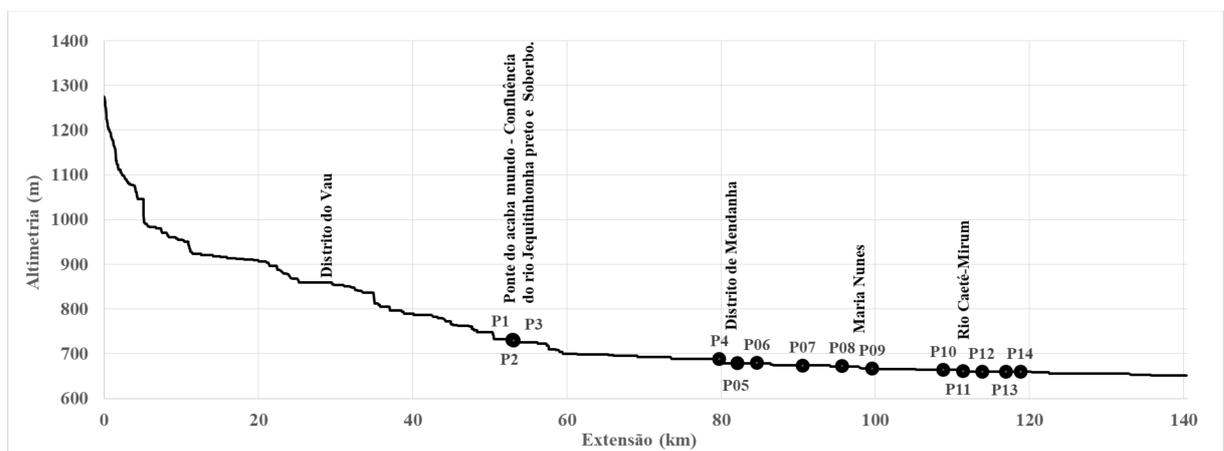


Figura 2
Perfil longitudinal do rio Jequitinhonha, juntamente com os pontos de amostragem dos sedimentos de fundo.
Geochimica Brasiliensis 34(1): 110 - 129, 2020

O ouro e os diamantes que se encontravam inicialmente nas rochas do Supergrupo Espinhaço são transportados pelos leitos fluviais constituídos por rochas de acentuada declividade, até finalmente se depositarem nas áreas de menor desnível junto ao Grupo Macaúbas, onde é possível observar a formação de uma grande planície aluvionar, com grandes depósitos de *placers*. A porção basal do Supergrupo Espinhaço se formou em um evento de deformação decorrente de um rifteamento e posterior deposição a cerca de 1,75 Ma. Posteriormente, estabeleceu-se a bacia Macaúbas, cujas rochas recobriram o batólito, já aflorante (GROSSI-SAD *et al.*, 1997). O Grupo Macaúbas consiste de material glacial ressedimentado e depositado como debris-flow subaquoso e por correntes de turbidez (metarritmos turbidíticos). Este preencheu o *rifte* brasileiro, provavelmente durante o período de 900 a 700 Ma (UHLEIN *et al.*, 1995). O fechamento da faixa Araçuaí ocorreu entre 660 Ma e prolongou-se até cerca de 550 Ma, durante o período Brasileiro (NOCE, 1997). A área de estudo encontra-se em sua maior parte sobre as rochas do Grupo Macaúbas.

A análise do perfil fluvial, juntamente com as características geológicas, permitiu definir que, à montante, o rio Jequitinhonha drena rochas do Supergrupo Espinhaço, apresentando alta declividade e fluxo turbulento. Próximo da cota de 700 m de altitude nota-se uma mudança para litologia de rochas do Grupo Macaúbas. Esta transição reflete-se na redução da declividade e o canal fluvial apresenta maior largura e fluxo laminar.

Segundo dados da Normal Climatológica do Brasil, realizados no período entre os anos de 1981 até 2010, pelo Instituto Nacional de

Meteorologia (INMET), a área apresenta uma precipitação acumulada média anual de 1375,3 mm e uma temperatura média de 18,7 °C. A região apresenta as estações úmida e seca bem definidas. As menores precipitações se encontram no mês de julho caracterizando o ápice do período de secas, enquanto em dezembro observa-se os valores de maiores precipitações, definindo o período de cheias do rio Jequitinhonha. Nesta região o tipo de clima e solos favorecem a formação de uma flora típica. Na extremidade ocidental da bacia do Jequitinhonha a vegetação é de campos rupestres/altitude, com ocorrências de florestas estacionais decíduais nos fundos de vale (FERREIRA, 2011).

Para a análise de uso e ocupação do solo utilizou-se dados fornecidos pelo IBGE de monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil 2014 – 2016. Estes dados são gerados com imagens OLI/Landsat-8 do ano de 2016, utilizadas as bandas 4 (Red), 5 (NIR) e 6 (SWIR 1), para criar a composição falsa cor R5G6B4, e outros insumos auxiliares no processo de interpretação visual das imagens (IBGE, 2018). Os dados gerados pelo levantamento do IBGE, no ano base de 2016, permitiram observar uma maior concentração das áreas classificadas como vegetação campestre. Nas áreas de menor altitude é facilmente observada a vegetação florestal ao longo das margens dos leitos fluviais. Entre os principais impactos antrópicos classificados temos: mosaicos de ocupação em áreas florestais, pastagem com manejo, áreas artificiais (aquelas estruturadas por edificações e sistema viário, ocupadas por complexos industriais ou comerciais e onde ocorrem a exploração ou extração de substâncias minerais) e silvicultura (Figura 3).

2.3 AMOSTRAGEM E PREPARAÇÃO DAS AMOSTRAS

Foram coletadas manualmente, 14 amostras por período climático, dividindo a coleta em dois trabalhos de campo, sendo um primeiro elaborado no período seco no dia 29 de junho de 2018, e uma segunda campanha no período úmido em 12 de fevereiro de 2019. Estas duas campanhas totalizaram 28 amostras ao longo do segmento fluvial no rio Jequitinhonha (Figura 4). As coletas ocorreram de forma sazonal, de modo, a buscar um espectro de

dados anual sobre as mudanças na geoquímica dos sedimentos no rio Jequitinhonha. Cada amostra pesou aproximada de 5 kg, e foram coletadas nas margens esquerda e direita. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos, previamente identificadas, lacradas e transportadas em gelo - 4°C até o laboratório. Junto com a coleta das amostras, foi realizado o registro fotográfico e aferição da localização com o auxílio do GPS portátil Garmin 78s.

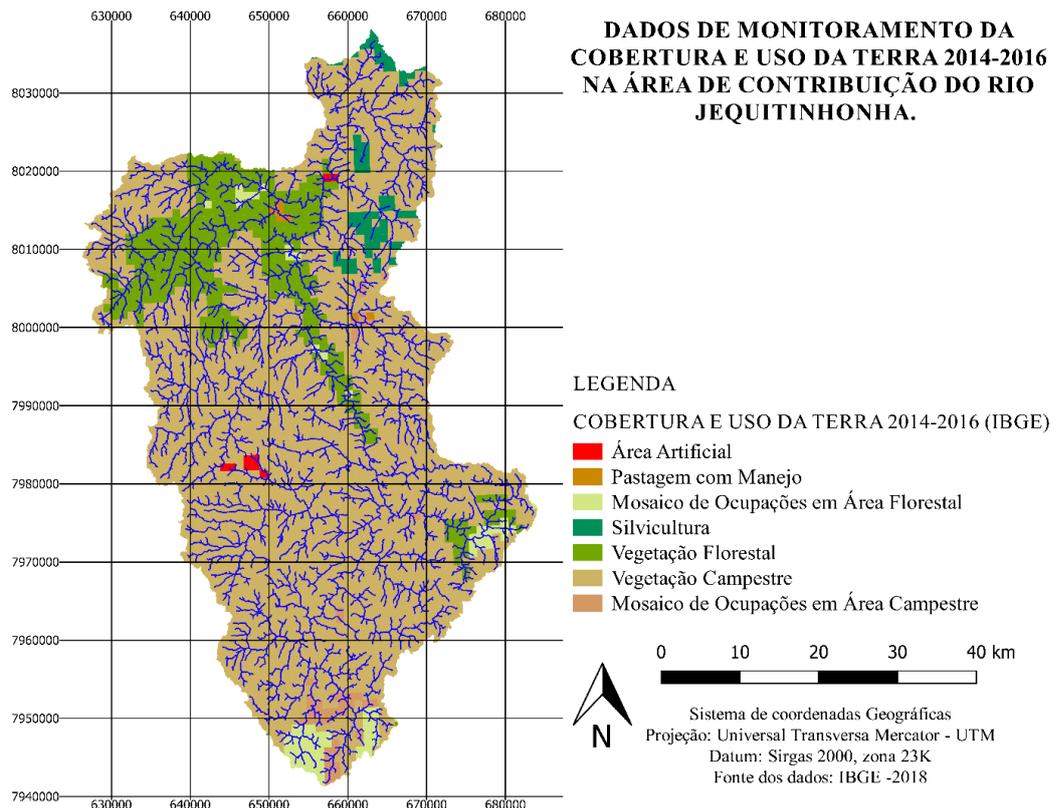


Figura 3
 Correlação entre a bacia estudada e os dados de monitoramento da cobertura e uso da terra 2014-2016 do IBGE.

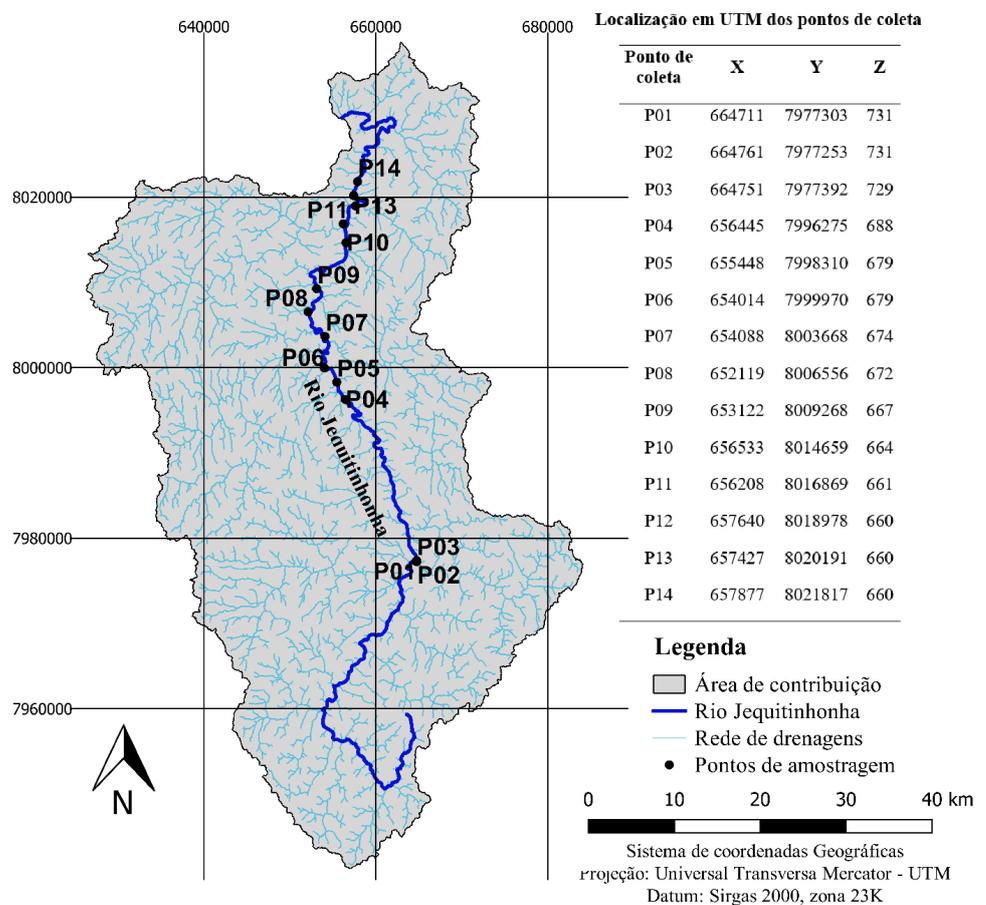


Figura 4
 Mapa hidrográfico da Bacia do rio Jequitinhonha, apresentando a localização dos pontos de amostragem.

A preparação da amostra em laboratório envolveu todo o processo de secagem, homogeneização e redução da amostra até a alíquota necessária para a realização da análise. Os sedimentos foram submetidos à decantação e posterior separação da água, sem a perda de partículas finas e filtrados em filtros de nitrato de celulose 0,45 μm . Após a retirada do excesso de água, as amostras foram secas em estufa, por um período de aproximadamente 48 horas, a uma temperatura inferior a 60°C evitando a perda de metais por volatilização.

Como parametrização dos sedimentos foi utilizada a classificação de cores baseada na Munsell Soil Color Charts (2000). O primeiro passo na classificação de MUNSELL envolve a definição das matizes e suas variações. Os matizes são representados pelas cores simples e suas combinações, mas para os solos os matizes principais variam de 10R até 2,5Y como também as cores neutras (G e B). O segundo valor refere-se à intensidade da cor e

sua tonalidade enquanto o último valor representado pelo croma está associado à saturação ou brilho (MUNSELL SOIL COLOR CHARTS, 2000).

Com a amostra seca, foi de interesse compreender a disposição dos sedimentos ao longo do perfil fluvial e quais as principais frações granulométricas presentes. Este procedimento foi baseado na Norma ABNT - NBR 7181 de 1984 – Análise Granulométrica de Solos que consiste na utilização de 500 g da amostra e separação mecânica por 30 minutos em peneira vibratória. As amostras foram classificadas com um conjunto de peneiras com malhas variando de 9 até 250 mesh. A definição das malhas de peneiras utilizadas seguiu a distribuição granulométrica segundo a Resolução CONAMA 454/ 2012 (Tabela 1). Para esta análise não foi utilizado o material acima de 2 mm que seria classificado como a fração cascalho. Os valores com 0% apresentaram concentração menor de 5g, não sendo detectados pelo erro da balança.

Tabela 1 – Malha das peneiras utilizadas para a classificação granulométrica dos sedimentos. Modificado de CONAMA nº454/2012

Fração Granulométrica	Malha da peneira	
	Mesh	Abertura (μm)
Cascalho	9	2000
Areia muito grossa	16	1000
Areia grossa	35	500
Areia média	60	250
Areia fina	115	125
Areia muito fina	250	63
Silte e argila	-	-

Após o processo de peneiramento, o material passante da peneira de malha 63 μm (250 mesh) foi reservado para análise geoquímica em potes atóxicos. Para Thorne (1981), Zonta *et al.* (1994) e Maslennikova *et al.* (2012) as concentrações de metais pesados têm uma correlação com as diversas frações dos tamanhos de partícula, sendo que a concentração dos metais pesados aumenta de acordo com a redução do tamanho das partículas. Para Warren (1981) as frações mais finas contêm não apenas uma grande fração de argila, ferro e matéria orgânica, mas também uma alta concentração de elementos traços como o chumbo e o zinco.

Com uma balança de precisão, Bel Engineering modelo M214Ai, foi reservada uma alíquota de 0,5 g dos sedimentos passantes da peneira de 63 μm . Este sedimento

fino, abaixo de 63 μm , foi colocado em tubos digestores e submetido à dissolução em uma combinação de 9 mL de ácido clorídrico e 3mL de ácido nítrico concentrados em uma relação de 3:1. As amostras foram alocadas em um bloco digestor SL 25/40 da fabricante SOLAB. O aquecimento do bloco digestor ocorreu de forma gradual com um incremento de 30°C a cada 20 minutos (tempo de rampa) e estabilizado em temperatura final de 180°C até a digestão total da amostra.

Após a digestão total, as amostras foram diluídas até uma alíquota de 50 mL de água deionizada e posteriormente filtradas. Após este processo o material foi enviado para o Laboratório de Pesquisas Ambientais – NGqA / UFMG, para análise no espectrômetro de emissão óptica ICP OES (*Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectroscopy*) com

Plasma de Argônio Acoplado Indutivamente. O equipamento utilizado foi o Epectroflame – Spectro, modelo M4165.

Os teores de metais obtidos com ICP OES foram avaliados de três modos distintos: através do cálculo do Índice de geoacumulação – *Igeo*, o fator de percentagem do enriquecimento, e a comparação dos dados brutos aos valores limites na legislação brasileira - Resolução CONAMA 454/2012.

A primeira avaliação consiste no cálculo do Índice de geoacumulação – *Igeo* proposto por MULLER (1979, apud TRINDADE, 2010), o qual pode ser obtido pela equação (1)

$$I_{geo} = \log_2 \left(\frac{C_n}{1,5 \times C_b} \right) \quad (1)$$

Onde *C_n* é a concentração do elemento *n* na fração fina; *C_b* é a concentração do background geoquímico do elemento e 1,5 é o fator usado para minimizar variações do background causadas por diferenças litológicas. Os valores calculados pelo *Igeo* definem classes de poluição em sete intervalos, variando entre zero (0) e maior que cinco (>5), apresentados na Tabela 2.

Tabela 2 - Fator de percentagem do enriquecimento e o Índice de Geoacumulação.

Valores do <i>I_{geo}</i>	Classe do <i>I_{geo}</i>	Qualidade do sedimento
0 – 0	0	Não poluído
0 – 1	1	Não poluído a moderado
1 – 2	2	Moderadamente poluído
2 – 3	3	Moderado a altamente poluído
3 – 4	4	Altamente poluído
4 – 5	5	Altamente para extremamente poluído
5 – 6	>5	Extremamente poluído

O termo “background geoquímico” foi originalmente introduzido em meados do século XX para diferenciar a abundância de elementos nas formações rochosas mineralizadas e não-mineralizadas. Os termos “background ambiental”, “background antropogênico” e “background local” são sinônimos e que se referem às substâncias poluentes oriundas de fontes antropogênicas em escala regional não identificada (RODRIGUES; NALINI JUNIOR, 2009). O background geoquímico ou natural é uma medida relativa para distinguir entre concentrações de elementos ou compostos naturais e concentrações influenciadas pela antropogênese em amostras (MATSCHELLAT *et al.*, 2000). Para Gough (1993) o termo background é entendido principalmente como um valor natural para um dado meio não impactado por atividades antrópicas. Esta tarefa pode-se tornar ainda mais difícil em ambientes heterogêneos. A sua definição pode ser mais complexa em ambientes onde as rochas sofreram processos metamórficos, hidrotermais ou de alteração (GALUSKA, 2007). Neste trabalho adotou-se a utilização do termo ponto de referência no local de background geoquímico. O ponto de referência ou linha de base ocorre em áreas nas quais a interferência antrópica está presente, e se deseja se observar qual foi o impacto de uma determinada atividade antrópica

(ROHDE, 2008). Para Brandão *et al.* (2011) o ponto de referência corresponde a um ambiente livre da ação antrópica ou o menos impactado dentro da área de estudo.

Desta forma foi necessário amostrar em um local mais distante de fontes potenciais de contaminação e alguns dos seus principais tributários. A amostra definida como ponto de referência foi o P03, localizado na zona de mistura dos rios Jequitinhonha e rio Soberbo.

O fator de percentagem do enriquecimento, do inglês “*percentage enrichment factor*” – EF% foi definido por Zonta *et al.* (1994). Estes autores afirmam que a definição de uma linha de base referente a concentrações dos elementos medidos antes dos focos de contaminação, pode se tornar uma tarefa difícil. Isso ocorre, pois o sedimento a ser utilizado deverá estar livre de contaminantes, apresentar as mesmas origens, mineralogia e tamanhos de grãos. Desta maneira a utilização do fator de percentagem do enriquecimento, se torna um índice que não necessita de um ponto de referência. Este índice pode ser calculado para avaliar a contaminação nos sedimentos através da equação (2)

$$EF\% = \left(\frac{C - C_{min}}{C_{max} - C_{min}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde C é a concentração média de todos os elementos amostrados, C_{min} seria o valor do ponto amostrado com menor concentração e C_{max} o valor do ponto com concentração máxima nas análises.

Não existe uma legislação brasileira que trate diretamente sobre os valores máximos para contaminantes de sedimentos em águas. A resolução mais próxima em definir os valores

máximos para estes contaminantes é a resolução CONAMA nº 454, de 01 de Novembro de 2012. Esta, estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Estes valores podem ser observados na Tabela 3.

Tabela 3 – Limites de classificação dos elementos de acordo com o CONAMA 454/2012. Modificado de CONAMA nº454/2012

Elemento	Níveis de classificação do material (mg/kg)	
	Nível 1	Nível 2
Cd	0,6	3,5
Pb	35	91,3
Cu	35,7	197
Cr	37,3	90
Ni	18	35,9
Zn	123	315

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 ANÁLISES GRANULOMÉTRICAS

As cores dos sedimentos determinadas nas amostras variaram entre 2.5Y 7/3 até 5YR 6/6. Foi atribuída à maior parte das amostras a cor 2.5Y. Associa-se esta cor com a predominância de rochas quartzíticas encontradas no entorno da área de contribuição da bacia. Estas rochas, sob a ação do intemperismo, geram grãos de quartzo encontrados em todo o segmento fluvial. Os pontos com valores de cor 5YR foram geralmente encontrados em áreas em que garimpos encontram-se em atividade, como o P14, em áreas de cavas abandonadas e/ou nas áreas de lavra. Esta variação na cor, com uma gradação do amarelo para o

amarelo/vermelho, ocorre pela presença de material no solo superficial que é misturado aos sedimentos do leito do rio Jequitinhonha.

As amostras no canal fluvial apresentam um baixo acúmulo de sedimentos na fração silte e argila ($< 63 \mu\text{m}$), sendo que suas alíquotas dificilmente ultrapassaram os 5% do conteúdo da amostra total. A fração predominante encontra-se acima do tamanho de 0,250 mm – areia fina. Este comportamento granulométrico pode estar associado à contribuição das rochas formadoras da bacia, entre elas quartzitos e meta-conglomerados da Formação Sopa-Brumadinho (Figura 5).

3.2 DISTRIBUIÇÃO DOS METAIS PESADOS

A concentração absoluta dos teores de metais pesados analisados encontrados na fração silto-argilosa dos sedimentos abaixo de 0,063 mm apresentou a seguinte ordem de grandeza: $\text{Zn} > \text{Pb} > \text{Cr} > \text{Ni} > \text{Cu} > \text{Cd}$ durante o período seco, enquanto no período úmido foi encontrado: $\text{Zn} > \text{Cr} > \text{Pb} > \text{Cu} > \text{Ni} > \text{Cd}$ (Tabela 4).

O índice de geoacumulação (I_{geo}) avalia o aumento da concentração de cada elemento químico em relação as amostras do ponto de referência (P03). Os resultados obtidos são observados nas Tabelas 5 e 6 de acordo com o período climático amostrado.

As maiores variações encontradas para o período seco estão associadas ao cobre que

alcançou valores superiores a 3,0; sendo classificado como o principal veículo poluidor, segundo o índice de geoacumulação. O aumento na concentração do Cu não ocorreu de forma gradativa, sendo que o ponto com maior valor de índice de geoacumulação é o P11 com 4,02 (Tabela 5). O local de coleta desta amostra encontra-se onde o rio Caeté-Mirim deságua no rio Jequitinhonha.

Os dados calculados para o período úmido apresentaram teores maiores que 4.0 para o Cr e Zn. O ponto com maior teor para Cr foi o P11 com 6,03; e o ponto com maior concentração de Zn é o P9 com 4,59. Neste ponto a extração mineral encontra-se em intensa atividade.

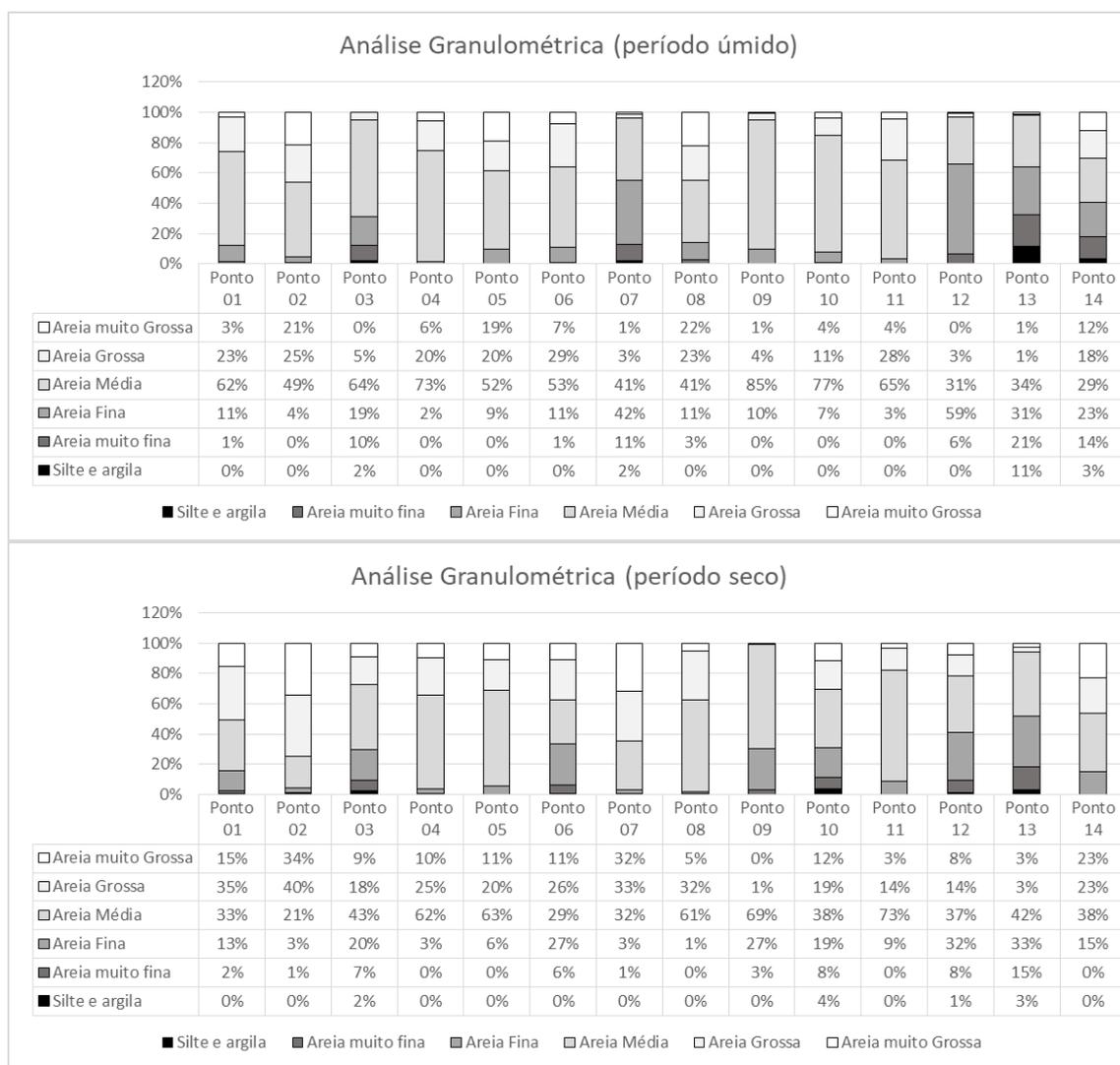


Figura 5
Análise granulométrica para os pontos de amostragem nos sedimentos de fundo - períodos seco e úmido.

Tabela 4 – Concentração dos elementos analisados na fração silte-argila (< 63 mm) dos sedimentos,

	Período Seco – mg/kg													
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14
Cr	3,81	3,81	3,81	44,65	3,81	3,81	3,81	3,81	17,95	3,81	16,37	3,81	3,81	3,81
Cu	0,64	0,64	0,64	3,2	0,64	0,64	11,67	0,64	5,26	0,64	15,62	0,64	0,64	3,72
Cd	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
Ni	6,35	6,35	6,35	15,97	6,35	6,35	18,58	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35	6,35
Zn	20,75	15,99	19,85	110,3	182,9	12,71	193,8	50,2	19,76	25,48	80,3	19,59	69,5	34,33
Pb	25,68	14,86	16,18	68,2	55,8	10,43	159,5	111,5	34,59	20,29	35,6	14,36	12,4	33,55
	Período úmido – mg/kg													
	P01	P02	P03	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14
Cr	1,09	1,09	1,09	8,68	1,09	1,09	1,09	1,09	39,78	3,24	106,5	1,09	2,78	36,26
Cu	6,17	5,92	4,95	4,41	13,65	3,17	0,12	1,2	20,42	0,12	24,79	0,12	1,48	11,76
Cd	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43
Ni	2,99	2,99	2,99	4,79	7,28	2,99	2,99	2,99	10,69	2,99	19,68	2,99	2,99	3,93
Zn	10,51	14,74	3,36	83,4	27,4	27,12	8,55	0,13	121,1	0,13	108,6	0,13	0,13	0,87
Pb	17,25	14,41	15,97	50,6	38,95	15,18	2,34	14,57	56	19,02	49,05	6,38	12,79	26,47

Tabela 5 - Índices de geoacumulação (*Igeo*) para os elementos analisados nos sedimentos, calculados para o período seco.

	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14
Cr	2,97	0,00	0,00	0,00	0,00	1,65	0,00	1,52	0,00	0,00	0,00
Cu	1,74	0,00	0,00	3,60	0,00	2,45	0,00	4,02	0,00	0,00	1,95
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,75	0,00	0,00	0,96	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Zn	1,89	2,62	0,00	2,70	0,75	0,00	0,00	1,43	0,00	1,22	0,21
Pb	1,49	1,20	0,00	2,72	2,20	0,51	0,00	0,55	0,00	0,00	0,47

Tabela 6 - Índices de geoacumulação (*Igeo*) para os elementos analisados nos sedimentos, calculados para o período úmido.

	P04	P05	P06	P07	P08	P09	P10	P11	P12	P13	P14
Cr	2,41	0,00	0,00	0,00	0,00	4,60	0,99	6,03	0,00	0,77	4,47
Cu	0,00	0,88	0,00	0,00	0,00	1,46	0,00	1,74	0,00	0,00	0,66
Cd	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Ni	0,09	0,70	0,00	0,00	0,00	1,25	0,00	2,13	0,00	0,00	0,00
Zn	4,05	2,44	2,43	0,76	0,00	4,59	0,00	4,43	0,00	0,00	0,00
Pb	1,08	0,70	0,00	0,00	0,00	1,23	0,00	1,03	0,00	0,00	0,14

Embora os dados de geoacumulação (*Igeo*) demonstrem o aumento do teor dos metais que se relacionam às atividades antrópicas, é necessário salientar que a assinatura geoquímica natural, *i.e.*, as litologias associadas ao Supergrupo Espinhaço e ao Grupo Macaúbas podem refletir nos resultados obtidos. A contribuição proveniente dos minerais que não estão presentes na área do ponto de referência (P03) podem causar desvios nestes resultados. Desta forma o *Igeo* deve ser utilizado com ressalvas.

O Fator de percentagem do enriquecimento define quais elementos apresentaram maior aumento na concentração média de um determinado elemento. As Tabelas 7 e 8 apresentam os valores das concentrações, índice de geoacumulação e os valores calculados para o fator de percentagem do enriquecimento. A análise do fator de percentagem do enriquecimento demonstrou um aumento nas concentrações nos dois períodos climáticos para o Cu, Zn e Pb, sendo que o Zn apresentou maior aumento no período seco e o Pb no período úmido.

Tabela 7 - Concentrações, Índice de geoacumulação (*Igeo*) e fator de percentagem do enriquecimento (EF%) para os elementos analisados durante o período seco.

	C _{Min}	C _{Máx}	C _{média}	<i>Igeo</i> _{Min}	<i>Igeo</i> _{Max}	%EF
Cr	3,81	44,65	8,53	0,00	2,97	11,5
Cu	0,64	15,62	4,81	0,00	4,02	27,9
Cd	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,0
Ni	6,35	18,58	7,91	0,00	0,96	12,8
Zn	12,71	193,80	63,72	0,00	2,70	28,2
Pb	10,43	159,50	47,75	0,00	2,72	25,0

Tabela 8 - Concentrações - índice de geoacumulação (*Igeo*) e fator de percentagem do enriquecimento (EF%) para os elementos analisados durante o período úmido.

	C _{Min}	C _{Máx}	C _{média}	<i>Igeo</i> _{Min}	<i>Igeo</i> _{Max}	%EF
Cr	1,09	106,50	13,80	0,00	6,03	12,1
Cu	0,12	24,79	7,05	0,00	1,74	28,1
Cd	0,43	0,43	0,43	0,00	0,00	0,0
Ni	2,99	19,68	5,15	0,00	2,13	12,9
Zn	0,13	121,10	27,38	0,00	4,59	22,5
Pb	2,34	56,00	23,66	0,00	1,23	39,7

3.2.1 CÁDMIO

Entre as principais fontes de contaminação para o Cd estão o uso de fertilizantes na agricultura e as minerações de Zn. A aplicação de fertilizantes com micronutrientes pode causar a disponibilização de Cd, Pb e Cr para o solo (NAVA *et al*, 2011). A mineração de Zn também pode elevar os níveis de Cd presente nos sedimentos (TRINDADE, 2010). Esta pode ocorrer devido à presença deste metal como um elemento acessório em minerais como a esfalerita (ZnS). Além destas fontes, o

Cd pode ser adicionado ao solo via resíduos de pneus, óleos e graxas, disposição de lixo urbano, lodo de esgoto. É facilmente absorvido nas plantas e tem potencial de entrar na cadeia alimentar humana, causando sérios problemas de saúde (DIAS *et al*, 2001). Todos os pontos amostrados encontram-se de acordo com Resolução CONAMA 454/2012, que determina contaminação para teores acima de 18,0 mg/kg - Nível I e de 35,9 mg/kg - Nível II (Figura 6).

3.2.2 CHUMBO

O Pb geralmente é encontrado na natureza na forma mineral de galena (PbS). Nos sedimentos, acumula-se na camada superficial devido à sua baixa mobilidade no perfil. Essa absorção deve-se à sua baixa solubilidade e forte adsorção ao solo (UEBEL *et al*, 2017). O Pb é o poluente que provoca maior ameaça em escala global. Estima-se que 10 milhões de pessoas vivam em regiões contaminadas. Insumo chave para fabricação de baterias de carro, o chumbo é liberado para o meio ambiente por meio de processos de reciclagem informais e pela atividade de mineração (COSTA *et al*, 2012). Neves (2008) também detectou aumento nas concentrações de Pb em áreas com a atuação da atividade do garimpo no Ribeirão da Pedras que é uma das sub-bacias do rio Jequitinhonha. Sua presença estaria associada aos resíduos devido à deterioração de equipamentos de mineração, baterias e combustíveis. No Brasil as principais fontes antropogênicas de poluição por chumbo estão associadas à mineração e ao despejo inadequado de rejeitos industriais e metalúrgicos, incluindo a galvanoplastia (CESAR *et al*, 2011). Cerca de metade do Pb usado nos EUA destina-se à fabricação de

baterias de armazenamento. Outros usos incluem soldas, rolamentos, coberturas de cabos, munição, encanamento, pigmentos e calafetagem (WUANA, *et al*, 2011). O Pb pode estar presente em óleos lubrificantes devido aos desgastes de mancais de veículos e equipamentos (SILVEIRA *et al*, 2006). Sörme e Lagerkvist (2002) consideram que a emissão do chumbo pode estar associada a negócios de lavagem de máquinas, onde é desconhecida a fonte exata dos metais, porém este metal estaria associado ao desgaste das pastilhas de freio e pneus, que são conhecidos por liberar consideráveis quantidades de chumbo. Na área de estudo as maiores concentrações de chumbo têm uma forte condicionante antrópica, em particular na área de influência urbana e garimpeira. Nota-se ampla distribuição desse elemento ao longo de todo o perfil de amostragem. Segundo a Resolução CONAMA 454/2012, os níveis I e II para chumbo nos sedimentos são respectivamente - 31 mg/kg e 91,3 mg/kg. Em todos os pontos amostrados detectou-se a presença Pb, destaque para os pontos: P07 com 159,5 mg/kg no período seco e P04 com 50,6 mg/kg no período úmido (Figura 6).

3.2.3 COBRE

Entre as principais fontes antropogênicas de poluição para o Cu estão os condutores de calor e eletricidade, coberturas, produtos químicos e equipamentos farmacêuticos, pigmentos e ligas (BRADL, 2005). O Cu também pode ser encontrado em óleos lubrificantes usados, sendo que suas concentrações são maiores em equipamentos antigos e sem manutenção (SILVEIRA *et al*,

2006). Para sedimentos a Resolução CONAMA 454/2012 define como nível I (limiar abaixo do qual não se observa efeito adverso à biota) a concentração de 35,7 mg/kg, e para o nível II (valor acima do qual provavelmente se observa efeito adverso à biota), a concentração de 197 mg/kg. Dos pontos analisados, nenhum apresentou valores acima do nível II. Todos os pontos amostrados

para Cu, apresentaram teores abaixo do preconizado pela Resolução da CONAMA. No entanto, para o período seco, a partir do P07 (11,67 mg/kg) houve um aumento nas concentrações para este metal, com os teores mais elevados no P11 (15,62 mg/kg). Durante o período úmido o aumento na concentração do cobre ocorreu no P05 (13,65 mg/kg), com destaque para o P09 (20,42mg/kg) e P11 (24,79 mg/kg). Maiores concentrações de cobre no período úmido estão associadas com o aumento da pluviosidade, quando ocorre uma

3.2.4 CROMO

O Cr destaca-se como o quinto elemento metálico mais comum, após o ferro, manganês, alumínio e cobre. Ainda assim, o homem só veio a usar a cromita como fonte de cromo no final do século XVIII, primeiro como pigmento e, mais tarde, como mordente na indústria têxtil. Somente no início do século XIX, descobriu-se que o cromo proporciona propriedades inoxidáveis às ligas de aço (SAMPAIO *et al*, 2008). O Cr é considerado um elemento traço essencial para o ser humano. Entretanto, se encontrado em altas concentrações, pode ser tóxico aos indivíduos (TRINDADE, 2010). O Cr nos sedimentos de corrente pode estar associado à sua utilização como agente ativo das tintas, que são utilizadas na preservação do madeirame, empregado na construção de cercas, galpões e nas casas. Além disso, observa-se a intensa utilização de agroquímicos contendo anidrido crômico, ácido crômico, óxido crômico e tri-óxido de

3.2.5 NÍQUEL

O Ni é muito usado sob a forma pura na proteção de peças metálicas, pois oferece grande resistência à oxidação. Suas principais aplicações são em ligas ferrosas e não-ferrosas para consumo no setor industrial, em material militar, em moedas, em transporte/aeronaves, em aplicações voltadas para a construção civil e em diversos tipos de aços especiais, altamente resistentes à oxidação (SILVA, 2001). Para Poletto (2011) a fonte do níquel de origem antrópica, relacionada às atividades urbanas, pode ser proveniente do combustível

tendência do carreamento de óleos e graxas em direção ao curso fluvial. Mesmo estando abaixo dos valores de referência, existe um aumento nas concentrações para este elemento, podendo estar associado às atividades garimpeiras que ocorrem na região. O índice de geoacumulação apresenta um valor máximo de 4,02, o que significa que, apesar de não apresentar risco direto à saúde, determinado pelas diretrizes do CONAMA 454/2012, existe um aumento nas concentrações deste elemento conforme mostra o gráfico da Figura 6.

cromo. A presença do cromo no compartimento dos sedimentos pode se apresentar como o resultado direto do uso repetitivo e intensivo de fertilizantes, pesticidas e resíduos orgânicos, para a produção agrícola (BAGGIO, 2013). O Cr também pode ter sua fonte antrópica associada a metais galvanizados, componentes dos motores e freios (POLETO *et al*, 2011). De forma geral, as concentrações Cr encontradas ao longo do perfil de amostragem não apresentam grandes variações, com algumas exceções pontuais. Os pontos com os teores de Cr aumentados são o P4 com 44,65 mg/kg no período seco, e P9 com 39,78 mg/kg, ambos valores acima do preconizado para nível 1 da Resolução CONAMA 454/2012. O ponto P11 apresenta valor de 106,5 mg/kg no período úmido. Este valor se encontra acima do nível 2 da mesma Resolução (Figura 7).

diesel, óleos lubrificantes, metais galvanizados, freios e pavimentos asfálticos. Na estação seca e úmida, apenas o P7: 18.58 mg/kg e o P11: 19.68 mg/kg violaram o nível I da Resolução CONAMA N° 454/2012 que é de 18 mg/kg. As análises apresentaram contaminações pontuais para este elemento, podendo estar associada a óleos lubrificantes e utilização do óleo diesel, combustível de utilizado nos motores e máquinas que atuam no garimpo (Figura 7).

3.2.6 ZINCO

No Brasil o Zn tem larga aplicação na construção civil, na indústria automobilística e de eletrodomésticos, destacando-se o seu uso na galvanização como revestimento protetor de aços estruturais, folhas, chapas, tubos e fios por meio da imersão ou eletrodeposição. Os laminados têm como principal campo de aplicação as pilhas e baterias. O zinco é também utilizado como anodo para proteção catódica do aço ou ferro (JESUS, 2001). Nos sedimentos amostrados, os teores de zinco são mais elevados na estação seca (Figura 7). A Resolução CONAMA N° 454/2012 define como nível 1 a concentração de 123 mg/kg para Zn. Este valor foi ultrapassado em 2 pontos na estação seca: P5 com 182,9 mg/kg e P7 com 193,8 mg/kg, (Figura 7). Estes pontos encontram-se antes da área afetada pela atividade de extração mineral, estando mais próximos ao distrito da cidade de Mendanha. Desta forma, existe uma fonte potencial deste Zn com proveniência relacionada à proximidade do centro urbano. Outra fonte

potencial de Zn pode ser encontrada na proximidade com a BR-367, onde pneus e óleos lubrificantes poderiam ser fontes potenciais de contaminação. Pneus utilizam este metal como um ativador. No processo de desgastes ocorre a liberação do elemento Zn o qual irá terminar no solo próximo a estradas e pode ser transportado pelas águas pluviais (SÖRME, 2001). Para Lagerwerff *et al.* (1970) o zinco também pode ser encontrado como aditivo, antioxidante no óleo lubrificante e no processo de galvanização dos tanques e condutéis dos veículos. O metal zinco é adicionado a óleos lubrificantes como aditivo multifuncional, desempenhando as funções antioxidantes, inibidor de corrosão, antidesgaste, detergente e extrema-pressão. Portanto, o óleo lubrificante contém uma quantidade razoável de zinco como um complexo organometálico (SILVEIRA *et al.*, 2010). A origem do zinco pode estar associada à proximidade com a BR-367.

4. CONCLUSÕES

As análises das frações granulométricas permitiram observar um aumento não sistemático nas áreas onde a atuação das atividades do garimpo é intensa. Observa-se que no segmento fluvial após o ponto P07, no qual o garimpo atua de forma intensa, áreas onde ocorre um aumento das frações areia fina, silte e argila. Este aumento pontual é decorrente da falta de controle na separação do solo superficial que poderia ser reutilizado para recuperação da vegetação, evitando o lançamento direto na calha do rio Jequitinhonha, favorecendo o aumento destas frações e aumentando a probabilidade de concentração de alguns metais. Um controle de estoque deste solo superficial, destinando o mesmo para propósito futuro de recuperação ambiental, pode ser cogitado para minimizar o passivo ambiental existente.

As concentrações dos elementos analisados apresentaram variação sazonal. As maiores variações, incidiram nos elementos como Cr e Pb. O Cr apresentou maiores concentrações durante o período úmido, enquanto para o elemento Pb, os maiores teores encontrados ocorreram durante o período seco.

Dos metais com maior probabilidade de trazer problemas para a saúde humana e os

ambientes naturais (Cr, Pb e Zn) apenas o Pb e o Cr ultrapassaram o nível 2 de contaminação estabelecidos pela Resolução CONAMA 454 de 2012 no segmento fluvial do rio Jequitinhonha, onde a presença da atividade de extração mineral ocorre.

O fator de porcentagem do enriquecimento apresentou um aumento para os elementos Cu, Zn e Pb. Esta variação foi observada durante as duas campanhas de campo, nos períodos seco e úmido. O índice de geoacumulação demonstra que os elementos Cr, Cu, Zn e Pb apresentam um aumento das concentrações em relação ao ponto de referência.

Nos pontos P04 e P05 é possível observar um aumento nas concentrações de Zn e Pb. Saliente-se que estas concentrações se situam abaixo do nível 2 do CONAMA 454 de 2012. Esta área encontra-se antes do segmento afetado pela atividade de extração mineral, não sendo influenciada diretamente por esta. Uma provável causa no aumento das suas concentrações pode estar associada à contribuição das drenagens que escoam por baixo da rodovia BR-367 e à presença de postos de combustível próximos a estes pontos. Esta contaminação também é observada com

um aumento pontual no índice de geoacumulação.

O ponto de amostragem P11 no rio Caeté-Mirim, um dos principais afluentes do rio Jequitinhonha, apresentou, no período úmido, quantidades de cromo superiores ao estabelecido para o nível 2 da Resolução CONAMA 454 de 2012. O Pb está presente acima do nível 1 para ambos os períodos, enquanto, o Ni está presente acima do nível 1 apenas durante o período úmido. Ao correlacionar os dados de uso e ocupação da terra do IBGE de 2016 é possível identificar áreas classificadas como pastagem com manejo e mosaico de ocupações em áreas florestais. Sendo que esta última está associada ao distrito de Diamantina - Inhaí e outras pequenas comunidades urbanas e rurais. A atividade mineral também pode ser encontrada no rio Caeté-Mirim em pequenos garimpos e minas de diamantes.

Alguns contaminantes, como o Ni, Pb e Zn, encontrados nas áreas afetadas pela atividade do garimpo podem estar associados diretamente a combustíveis e óleos

5. AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - Brasil (CAPES) -

lubrificantes ou ao desgaste de partes dos motores, particularmente Cr e Pb. Estes contaminantes têm sua origem na utilização de máquinas pesadas como pás carregadeiras, escavadeiras e bombas para dragagem, comuns nestas atividades. Estes equipamentos, geralmente, têm suas manutenções realizadas sem os cuidados necessários para evitar a contaminação com óleos e combustíveis, e ocorrem no próprio local de utilização, podendo apresentar vazamentos destes produtos, o que é muito comum de acontecer.

O impacto negativo das atividades minerais junto às margens do rio Jequitinhonha pode ser classificado como uma fonte pontual contínua de contaminação antrópica. Porém, além das mudanças na química dos sedimentos, outros fatores devem ser levados em conta, como a alteração no relevo, com a modificação da morfologia e dinâmica fluvial do rio Jequitinhonha, aumento da fração fina dos sedimentos e alteração de suas cores. Impactos estes, que estão associados diretamente à remobilização, classificação e nova deposição dos solos e sedimentos.

Código de Financiamento 001. Ao laboratório de Geoquímica Ambiental – LGA/UFVJM, onde foram executadas as etapas analíticas.

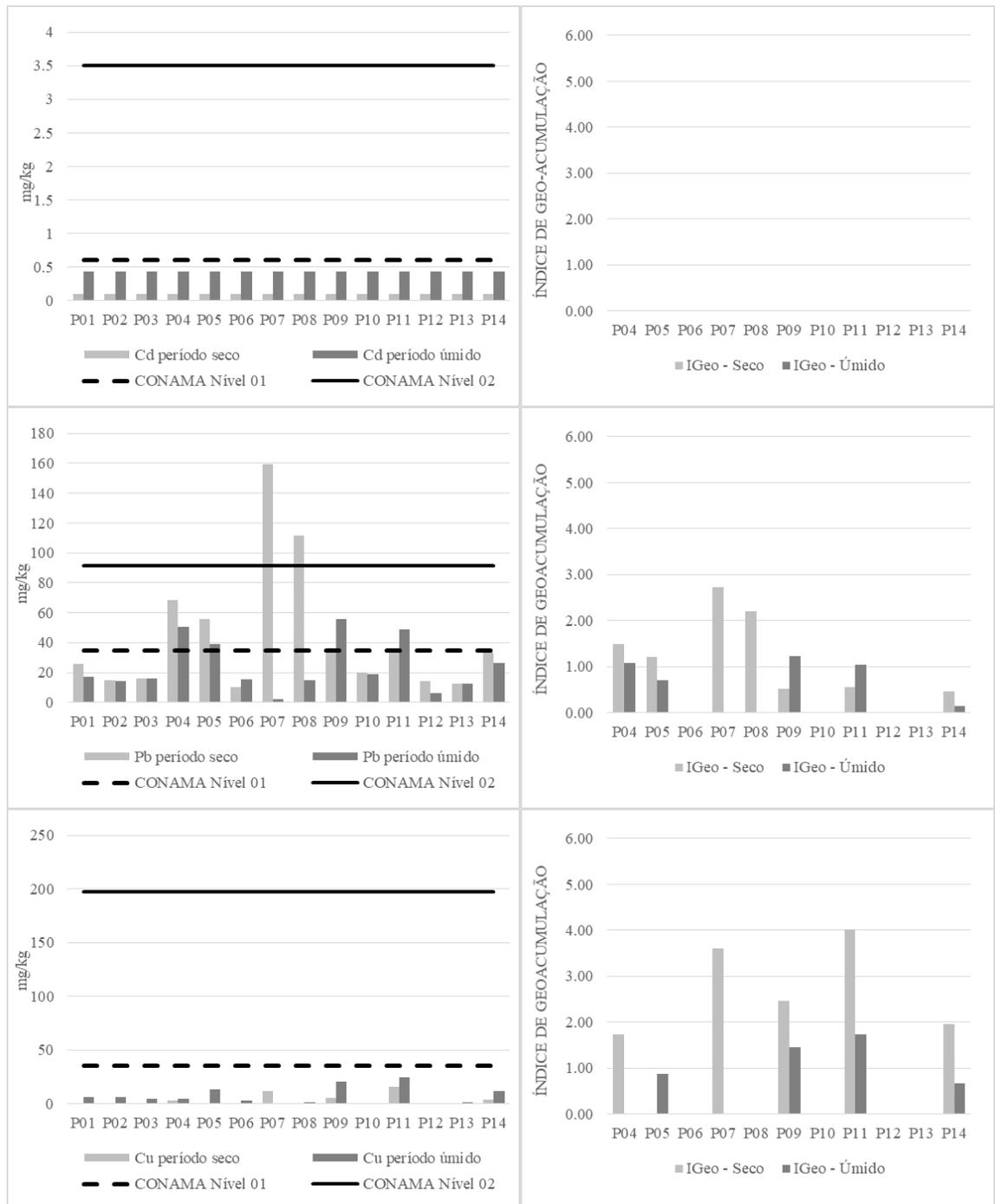


Figura 6
 Comparação entre as análises de concentração dos metais pesados Cd, Pb, Cu com os limites estabelecidos pelo CONAMA 454/2012 e o Índice de Geoacumulação (*Igeo*).

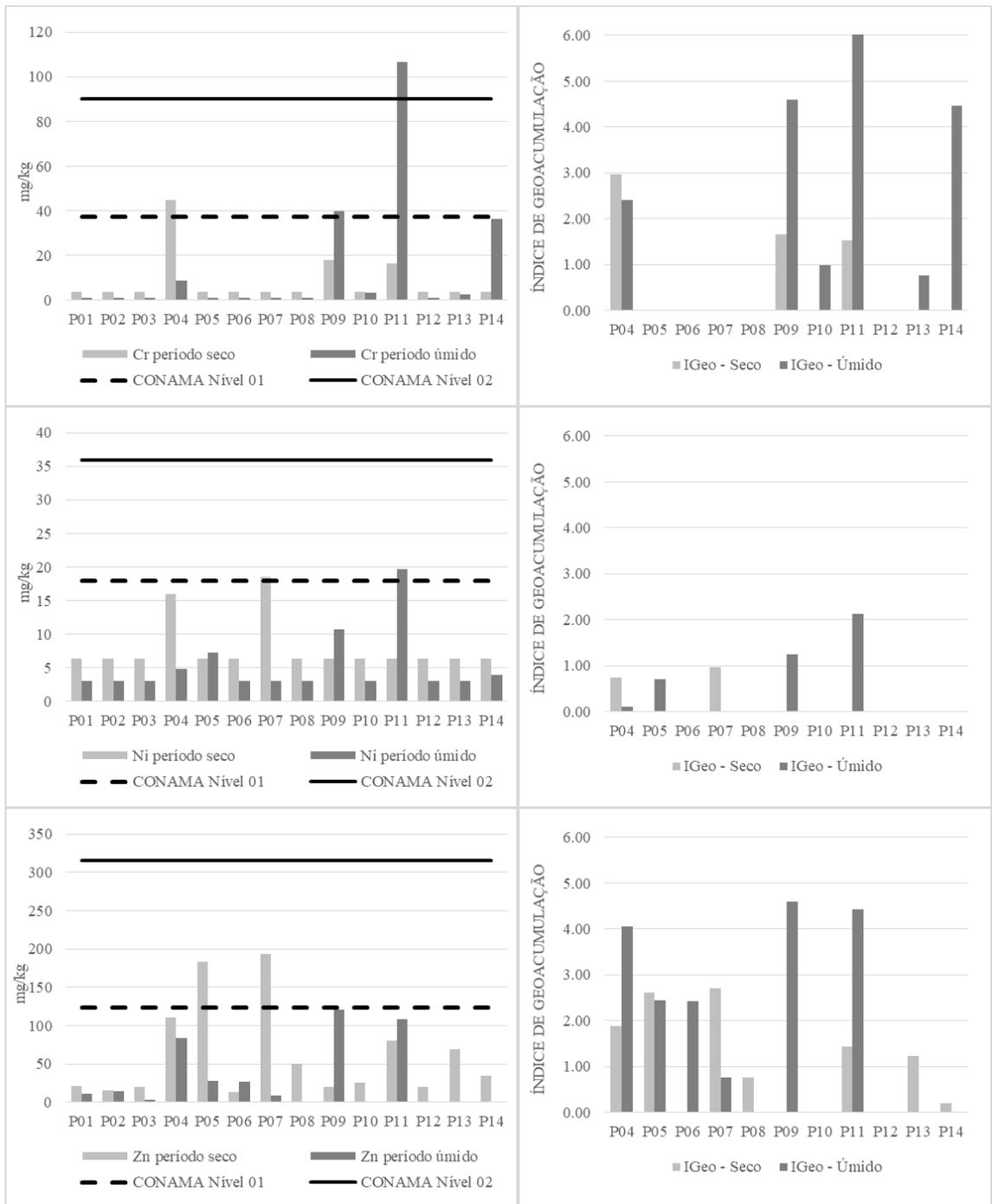


Figura 7
 Comparação entre as análises de concentração dos metais pesados Cr, Ni e Zn com os limites estabelecidos pelo CONAMA 454/2012 e o Índice de Geoacumulação (Igeo).

6. REFERÊNCIAS

- ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M.O.; MOURA, L. C.; BAGGIO, H.; CAMBRAIA, R.P. 2017. Avaliação geoquímica ambiental do garimpo areinha: estudo da concentração e distribuição de metais pesados nos sedimentos e os danos à saúde humana. *Hygeia*, 13(26), p. 98-113.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7181: SOLO – Análise granulométrica. Rio de Janeiro, 1984.
- BAGGIO, H. 2008. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em água superficial e sedimento de corrente na bacia do rio do Formoso, município de Buritizeiro (MG). Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 234 p.
- BAGGIO, H. 2013. Fonte, distribuição e características geoquímicas dos sedimentos de corrente do Rio do Formoso–MG. *Unimontes Científica*, v.15, n.1, p.11-17.
- BRADL, H. B. 2005. Sources and origins of heavy metals. *Interface Science and Technology*. In: BRADL, H. B. (Org.) *Heavy metals in the environment: origin, interaction and remediation*. Vol. 6. Elsevier, p. 1–27.
- BRANDÃO, C. J.; BOTELHO, M. J. C.; SATO, M. I. Z.; LAMPARELLI, M. C. (Org.). 2011. Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos. AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. Brasília: ANA, 326p.
- CALVERT, S. E. 1976. The mineralogy and geochemistry of near-shore sediments. *Chemical oceanography*, v.6, p.187-280.
- CARVALHO, C. N. 1989. Geoquímica Ambiental- Conceitos, métodos e aplicações. *Geochimica Brasiliensis*, v.3, n.1, p.17-22.
- CESAR, R.; COLONESE, J.; SILVA, M.; EGLER, S.; BIDONE, E.; CASTILHOS, Z.; LIVANOV, H. 2011. Distribuição de mercúrio, cobre, chumbo, zinco e níquel em sedimentos de corrente da bacia do Rio Piabanha, Estado do Rio de Janeiro. *Geochimica Brasiliensis*, Ouro Preto, v.25, n.1, p35-45.
- CHAVES, M. L. S. C.; CHAMBEL, L. 2004. Diamantes do médio rio Jequitinhonha, Minas Gerais: Qualificação gemológica e análise granulométrica. *Revista Escola de Minas*, Ouro Preto, v. 57, n. 4, p. 267-275.
- CHAVES, M. L. S. C.; UHLEIN, A. 1991. Depósitos diamantíferos da região do Alto/Médio Jequitinhonha, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C. *et alii*. (eds.), *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. v.IV-A. Brasília: CPRM/DNPM. p.117-138.
- CHRISTOFOLETTI, A. 1981. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Ed. Blucher, v.1, 313 p.
- CLARKE F. W. 1911. *The data of geochemistry*, Second edition. Department of the interior United States Geological Survey, bulletin 491. US Government Printing Office, 765p.
- CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 454, de 1 de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=693>>. Acessado em: 06 fev. 2019.
- COSTA, C.; ARAUJO, E.; OLIVIERI, R. D.; RIBEIRO, M. I. F. C. A.; LUCENA, R. 2012. Casos paradigmáticos sobre contaminação provocada por chumbo em várias regiões do mundo. Projeto Santo Amaro: aglutinando ideias, construindo soluções, CETEM-Centro de Tecnologia Mineral/MCTI. Brasil, p.191-221.
- DIAS, N. M. P.; ALLEONI, L. R. F.; CASAGRANDE, J. C.; CAMARGO, O. A. 2001. Isotermas de adsorção de cádmio em solos ácidos. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.5, n.2, p.229-234.
- DEBARRY, P. A. 2004. *Watersheds: Processes, Assessment and Management*. Wiley, 720p.
- DUPONT, H. 1991. Jazida aluvionar de diamante do rio Jequitinhonha (MG). In: SCHOBENHAUS, C. (Ed.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, v.IV-A. Brasília: CPRM/DNPM, p.139-148.
- FERREIRA, V. O. 2011. Unidades de paisagem da bacia do rio Jequitinhonha, em minas gerais: subsídios para a gestão de recursos hídricos. *Caminhos de Geografia*, [S.l.], v. 12, n. 37.
- GALUSZKA, A. A review of geochemical background concepts and an example using data from Poland. *Environmental Geology*, v.52(5), p.861-870, 2007.
- GONÇALVES, R. N. 1997. Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha: diretrizes gerais para a ordenação territorial. IBGE, Diretoria de Geociências IBGE, Salvador, 64p.
- GOUGH L. P. 1993. Understanding our fragile environment; Lessons from geochemical studies. US Geological Survey. Report, circular n.1105, 34p.
- GROSSI-SAD, J. H.; ROQUE, N. C.; KNAUER, L. G.; NOCE, C. M.; FONSECA, E. 1997. Geologia da Folha Carbonita. In: GROSSI-SAD, J. H.; LOBATO, L. M.; PEDROSA-SOARES, A. C.; SOARES-FILHO, B. S. (Ed.). *PROJETO ESPINHAÇO EM CD-ROM* (textos, mapas e anexos). Belo Horizonte, COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais, p.1251-1371.
- HAN, F. X.; BANIN, A.; SU, Y.; MONTS, D. L.; PLODINEC, J. M.; KINGERY, W. L.; TRIPLETT, G. E. 2002. Industrial age anthropogenic inputs of heavy metals into the pedosphere. *Naturwissenschaften*, 89(11), p.497-504.

- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. 2018. Monitoramento da cobertura e uso da terra do Brasil, 2014 – 2016. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. Diretoria de Geociências. Coordenação de Recursos Naturais e Estudos Ambientais. Rio de Janeiro, 32p.
- INSTITUTO METEOROLÓGICO DO BRASIL – INMET. Normais climatológicas do Brasil, período 1981 – 2010. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 26 Out. 2018.
- JESUS, C. A. G. 2001. Zinco. In: Balanço Mineral Brasileiro, DNPM, Brasília. 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-zinco>>. Acesso em: 26 Out. 2019.
- LAGERWERFF, J. V.; SPECHT, A. W. 1970. Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, nickel, lead, and zinc. *Environmental Science & Technology*, v.4.7, p.583-586.
- MASLENNIKOVA, S.; LARINA, N.; LARIN, S. 2012. The effect of sediment grain size on heavy metal content. *Lakes Reservoirs and Ponds*. v.6. p.43-54.
- MATSCHULLAT, J.; OTTENSTEIN, R.; REIMANN, C. 2000. Geochemical background - can we calculate it?. *Environmental Geology*, v.39, p. 990-1000.
- MUNSELL SOIL COLOR CHARTS. 2000. Revised Washable Edition. Munsell® Soil Color Charts. Munsell Color Company, Gretag Macbeth, New Windsor, New York, 35 p.
- NAVA, I. A.; GONÇALVES JUNIOR, A. C.; NACKE, H.; GUERINI, V.L.; SCHWANTES, D. 2011. Disponibilidade dos metais pesados tóxicos cádmio, chumbo e cromo no solo e tecido foliar da soja adubada com diferentes fontes de NPK+Zn. *Ciência e Agrotecnologia*, v.35, n.5, p.884-892.
- NEVES, S. C.; HORN, A. H.; FRAGA L. M. S. 2008. Geoquímica ambiental da sub-bacia hidrográfica do Ribeirão das Pedras, Diamantina, MG. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, v.16, n.2, p. 63-68.
- NOCE, C. M. 1997. Geologia da Folha Curimataí, Minas Gerais. In: Grossi-Sad, J.H., Lobato, L.M., Pedrosa-Soares, A.C., Soares-Filho, B.S. (Org.). Projeto Espinhaço em CD-ROM. 1ed. Belo Horizonte: Companhia Mineradora de Minas Gerais, p. 1199-1250.
- POLETO, C.; MARTINEZ, L. L. G. 2011. Sedimentos Urbanos: Ambiente e água. *Holos Environment*, v.11, n.1, p.1-15.
- REZA, R.; SINGH, G. 2010. Heavy metal contamination and its indexing approach for river water. *International Journal of Environmental Science & Technology*, v.7, n.4, p.785-792.
- RODRIGUES, A. S. L.; NALINI JUNIOR, H. A. 2009. Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais. *Rev. Esc. Minas, Ouro Preto*, v.62, n.2, p. 155-165.
- ROHDE, G. M. 2008. *Geoquímica Ambiental e Estudos de Impacto*. 3. Ed. São Paulo: Signus Editora, 184p.
- SAADI, A. 1995. A geomorfologia da serra do espinhaço em minas gerais e de suas margens. *Revista Geonomos*, v.3, n.1, p.41-63.
- SAMPAIO, J. A.; ANDRADE, M. C.; PAIVA, P. R. P. 2008. CROMITA. In: LUZ, A. B.(Ed.); LINS, F. A. F.(Ed). *Rochas & minerais Industriais: usos e especificações*. 2.Ed. Rio de Janeiro: CETEM/MCT, 990p.
- SANTOS, A. S.; SILVA R. G. 2015. Garimpo de Areinha: Espaço de convivência, cultura histórica, exclusão e esperança. Por um processo de cidadania e direitos humanos, um dilema. *Anais do II Simpósio de História do Direito – Democracia, Cidadania e Direitos Humanos*, Diamantina: Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Diamantina, p. 25-34.
- SANTOS, J. F. 1868. *Memórias do districto diamantino da comarca do Sêro Frio (Província de Minas Gerais)*. Rio de Janeiro: Tipografia Americana, 413p.
- SILVA, C. S. Níquel. 2001. In: Balanço Mineral Brasileiro, DNPM, Brasília. 2001. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/dnpm/paginas/balanco-mineral/arquivos/balanco-mineral-brasileiro-2001-niquel>> Acesso em: 26 Out. 2019.
- SILVEIRA, E. L. C.; CALAND, L. B.; MOURA, C. V. R.; MOURA, E. M. 2006. Determinação de contaminantes em óleos lubrificantes usados e em esgotos contaminados por esses lubrificantes. *Quím. Nova [online]*, v.29, n.6, p. 1193-1197
- SILVEIRA, E. L. C.; COELHO, R. C.; MOITA NETO, J. M.; MOURA, C. V. R.; MOURA, E. M. 2010. Determinação de metais em óleos lubrificantes, provenientes de motores de ônibus urbano, utilizando a FAAS. *Química Nova*, 33(9), p.1863-1867.
- SÖRME, L.; BERGBÄCK, B.; LOHM, U. 2001. Goods in the anthroposphere as a metal emission source a case study of Stockholm, Sweden. *Water, air and soil pollution: Focus*, 1.3-4: p.213-227.
- SÖRME, L.; LAGERKVIST, R. 2002. Sources of heavy metals in urban wastewater in Stockholm. *Science of the Total Environment*, 298.1-3 p. 131-145.
- THORNE, L. T.; NICKLESS, G. 1981. The relation between heavy metals and particle size fractions within the severn estuary (U.K.) intertidal sediments. *Science of the Total Environment*, 19(3), p. 207-213.
- TRINDADE, W. M. 2010. Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos

- do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 126p.
- TRINDADE, W. M.; HORN, A. H.; RIBEIRO, E. V. 2012. Concentrações de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora-MG: geoquímica e classificação de risco ambiental. *Revista Geonomos*, 20.1, p.64-75.
- UEBEL, A.; MÜLLER, M. P.; NIELAND, M. L.; DALLAZEN, M. C.; KUHN, D.; MAFIOLETI, J. P.; RIBEIRO, R.; VETTORELLO, G.; HOEHNE, L. 2017. Processos de remediação do solo contaminado com chumbo. *Caderno pedagógico, Lajeado*, v. 14, n. 1, p. 63-71.
- UHLEIN A.; TROMPETTE R.; EGYDIO-SILVA M. 1995. Rifteamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton São Francisco. *Geonomos*, 3 (1), p. 99-107.
- WARREN, L. J. 1981. Contamination of sediments by lead, zinc and cadmium: a review. *Environmental Pollution Series B, Chemical and physical*, 2.6, p. 401-436.
- WUANA, R. A.; OKIEIMEN, F. E. 2011. Heavy metals in contaminated soils: a review of sources, chemistry, risks and best available strategies for remediation. *International Scholarly Research Network. Isrn Ecology*, v.2011, 20p.
- ZONTA, R.; ZAGGIA, L.; ARGESE, E. 1994. Heavy metal and grain-size distributions in estuarine shallow water sediments of the Cona Marsh (Venice Lagoon, Italy). *Science of the Total Environment*, 151(1), p. 19-28.