UNIVERSIDADE FEDERAL DOS VALES DO JEQUITINHONHA E MUCURI
Programa de Pós-Graduação Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente
Amanda Dias Araújo

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL EM ÁREA DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA/MG

Diamantina
2017

Amanda Dias Araújo

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL EM ÁREA DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA/MG

Dissertação apresentada ao Programa de Pós Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente da Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, como requisito para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Lúcio do Carmo Moura
Coorientador: Prof. Dr. Hernando Baggio Filho

Diamantina

2017

Ficha Catalográfica – Sistema de Bibliotecas/UFVJM
Bibliotecária: Jullyele Hubner Costa CRB-6/2972

A663c Araújo, Amanda Dias.
Caracterização geoquímica e ambiental em área de garimpo no município de Diamantina/MG / Amanda Dias Araújo – Diamantina, 2017.
108 p. : il.

Orientador: Lúcio do Carmo Moura
Coorientador: Hernando Baggio Filho

Dissertação (Mestrado Profissional - Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente) –Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri.

1. Areinha. 2. Metais pesados. 3. Mineração. 4. Rio Jequitinhonha. 5. Sedimentos. I. Moura, Lúcio do Carmo. II. Baggio Filho, Hernando. III. Título.

CDD 551.9

Elaborada com os dados fornecidos pela autora.

AMANDA DIAS ARAÚJO

CARACTERIZAÇÃO GEOQUÍMICA E AMBIENTAL EM ÁREA DE GARIMPO NO MUNICÍPIO DE DIAMANTINA/MG

Dissertação apresentada ao PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO E M S A Ú D E, S O C I E D A D E E AMBIENTE - STRICTO SENSU, nível de MESTRADO como parte dos requisitos para obtenção do título de MAGISTER SCIENTIAE EM SAÚDE, SOCIEDADE E AMBIENTE

Orientador: Prof. Dr. Lúcio do Carmo Moura
Coorientador: Prof. Dr. Hernando Baggio Filho

Data de aprovação: 14/08/2017

Prof.ª Dr.ª ROSANA PASSOS CAMBRAIA – UFVJM

Prof.ª Dr.ª ARLETE BARBOSA DOS REIS – UFVJM

Prof.Dr. BERNAT VINOLAS PRAT – UFVJM

Prof.Dr. LUCIO DO CARMO MOURA - UFVJM

DIAMANTINA

À minha mãe, Maria Aparecida,
e a minha tia e madrinha,
Maria das Dores (in memoriam),
pelo apoio, esforço diário e a
confiança em mim depositada,
dedico.

AGRADECIMENTOS

A Deus.

Aos meus queridos, pais e irmã, por todo amor, dedicação e compreensão.

Ao meu orientador, Prof. Lúcio do Carmo Moura, pelos conhecimentos transmitidos e oportunidades disponibilizadas.

Ao meu coorientador Prof. Hernando Baggio, pela paciência e por ter ajudado na condução dessa pesquisa, além da orientação de forma tão especial.

Agradeço a Profa. Rosana Cambraia pelos momentos de apoio e esclarecimentos de diversas dúvidas que surgiram durante a caminhada.

Profa. Arlete Reis, pela disposição e apoio, não é todo dia que uma pessoa de outro departamento nos recebe de braços abertos e auxilia de todas as formas em nossa pesquisa.

Gostaria de agradecer, especialmente, ao Abraão Silva, técnico do LIPEMVALE, que sempre foi muito prestativo.

À Cooperativa de Garimpeiros de Diamantina, por aceitar e apoiar a pesquisa, em um momento tão delicado de Licenciamento Ambiental, que estão vivendo. Obrigada pelo apoio no deslocamento e por apresentar a área.

À PRPPG/UFVJM pelo financiamento da bolsa de estudos.

Agradeço também ao Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente pelo fornecimento de apoio estrutural e pedagógico. À Fundação de Apoio à Pesquisa do Estado de Minas Gerais.

A minha querida companheira de projeto, de pesquisa, de congressos, de trabalhos de campo, laboratório e amiga, Mariana, pelo companheirismo durante todos esses anos.

Aos meus amigos de Diamantina e Ipatinga, que sempre me apoiaram.

Aos da Geografia, em especial, Lidiane, Átila, Marcos, Isadora, Mariana Brant e Thaísa. Aos colegas de laboratório, em especial, Welberth.

Além de tantos outros que contribuíram de alguma forma para a realização deste trabalho.

E por fim, ao Igor, por ser um grande companheiro, conselheiro, e par. Sempre serei grata, pelas vezes que escutou, que leu, e opinou sobre esse trabalho. A sua amizade, respeito e carinho em todos os momentos foram essenciais.

Muito obrigada!

O rio Jequitinhonha, que tem o seu nascimento ao norte das serras de Santo Antônio e Itambé da Vila do Príncipe, é o tesouro mais precioso destas Minas; não só o Jequitinhonha, mas todos os mais rios e ribeiros que nele se metem, desde o seu nascimento.

(José Joaquim da Rocha, Geografia Histórica da Capitania de Minas Gerais, 1781)

Julgue-se do prazer que experimentei quando, fatigado de tanta monotonia, avistei um belo rio, o Jequitinhonha, cujas águas límpidas correm com lentidão e majestade. Suas margens, cobertas da mais fresca vegetação, contrastavam com as matas vizinhas despojadas de folhagem, e o que talvez não tivesse acontecido em nenhuma outra parte do mundo, tinha ao mesmo tempo sob os olhos a imagem do inverno e a dos dias mais deliciosos da primavera.

(Saint-Hilaire, 1822)

RESUMO

O garimpo denominado Areinha está inserido na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, cujas águas drenam áreas de garimpos que influenciam diretamente na qualidade do recurso hídrico. A área de pesquisa possui uma extensão de aproximadamente 9 quilômetros, área que está sob os cuidados da Cooperativa Regional de Garimpeiros de Diamantina. A pesquisa avalia os parâmetros para os metais cádmio, cobre, ferro, manganês, níquel, chumbo e zinco, analisando a concentração e a posterior comparação com a legislação do CONAMA 344/04. Foram analisados parâmetros físico-químico potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura da água, e comparadas com o CONAMA 357/05, visando inferir um alerta sob os riscos à saúde que da exposição direta a esses metais pode causar na população. Foram coletadas um total de 13 amostras, analisados pela técnica da espectrometria de absorção atômica por chama. A quantificação de cádmio não apresentou concentrações que estão acima dos Níveis I e II do CONAMA 344/04. O cobre, os valores obtidos ultrapassam o Nível I, no Ponto 3 Extra (84,3 mg/kg), e o Ponto 1 Extra (362,78 mg/kg), excedendo o Nível II. Para o ferro e manganês, o CONAMA 344/04 não apresenta valores guia. O níquel, dos 13 pontos amostrados, apenas um ultrapassa a legislação, são eles o Ponto 3 Extra (18,4 mg/kg), ultrapassando o Nível I. Para o chumbo, seis pontos estão entre o Nível I (35,0 mg/kg) e o Nível II (91,3 mg/kg), e um ponto ultrapassa o Nível II. Para o zinco nenhum dos treze pontos violou a legislação vigente. Nas áreas em que os pontos ultrapassam a legislação, geralmente, encontram-se em bacias de retenção de rejeitos, o que ocasiona a deposição de sedimentos ao logo do tempo, aumentando, assim, esse valor. Os valores encontrados para pH e temperatura foram comparados à Resolução do CONAMA 357/05 e indicam um ambiente dentro da faixa da Resolução (pH de 6,0 a 0,9), e temperatura abaixo dos 40 °C. A modificação nas atividades de garimpo, de manuais para mecanizadas, intensificou o impacto ambiental negativo nessa região, devido a necessidade de removerem grandes quantidades de sedimentos para a extração do ouro e diamante. Os pontos citados acima localizam-se em bacias de retenção de rejeitos, ambientes considerados frágeis, já que qualquer enchente no leito do rio, pode ocasionar o rompimento da mesma, e a distribuição desse material no curso d’água.

Palavras chave: Areinha. Metais pesados. Mineração. Rio Jequitinhonha. Sedimentos.

ABSTRACT

The mining called Areinha is inserted in the area of the Jequitinhonha river, whose waters drain mining areas that directly influence the quality of the water resource. The research area has an extension of approximately 9 kilometers, an area that is under the care of the "*Cooperativa Regional de Garimpeiros de Diamantina*". The research evaluates the parameters for the metals cadmium, copper, iron, manganese, nickel, lead and zinc, analyzing the concentration and the subsequent comparison with the legislation of CONAMA 344/04. Physical-chemical parameters were analyzed for potential hydrogenation (pH) and water temperature, and compared to CONAMA 357/05, aiming to infer an alert under the health risks that direct exposure to these metals can cause in the population. A total of 13 samples were collected, analyzed by flame atomic absorption spectrometry. The quantification of cadmium did not present concentrations that are above Levels I and II of CONAMA 344/04. Copper values exceed Level I at Point 3 Extra (84.3 mg / kg) and Point 1 Extra (362.78 mg/kg), exceeding Level II. For iron and manganese, CONAMA 344/04 does not present guide values. Nickel of the 13 points sampled, only one exceeds the legislation, they are Point 3 Extra (18.4 mg/kg), exceeding Level I. For lead, six points are between Level I (35.0 mg/Kg) and Level II (91.3 mg/kg), and one point exceeds Level II. For zinc, none of the thirteen points violated the current legislation. In areas where points exceed legislation, they are usually found in tailings retention basins, which causes the deposition of sediment over time, thereby increasing the value. The values found for pH and temperature were compared to the Resolution of CONAMA 357/05 and indicate an environment within the Resolution range (pH 6.0 to 0.9) and temperature below 40 °C. The change in mining activities from manuals to mechanized intensified the negative environmental impact in this region due to the need to remove large amounts of sediment for the extraction of gold and diamond. The points mentioned above are in retention basins of rejects, environments considered fragile, since any flood in the river bed, can cause the breakage of the same, and the distribution of this material in the watercourse.

Key-words: Areinha. Mining. Heavy metals. Jequitinhonha river. Sediments

LISTA DE ILUSTRAÇÕES - ATUALIZAR

Figura 1. Alojamento dos garimpeiros. 39
Figura 2. Caminhos pelos quais elementos traços entram no corpo humano. 45
Figura 3. Dragas de alcatruzes em operação no depósito aluvionar no rio Jequitinhonha, ("Maria Bonita", à esquerda), tendo à frente (à direita) a draga de sucção do recobrimento arenoso estéril (foto cedida pela MRN). 52
Figura 4. A. Formação de bancos de deposição de material detríticos na região do meandro Saco do Otávio. B. Visão panorâmica de uma porção a área de garimpo, clareira nas margens do rio Jequitinhonha). 54
Figura 5. A. e B. Bacias de retenção nas margens do rio Jequitinhonha. 58
Figura 6. A. e B. Alterações na morfologia ao longo do canal fluvial do rio Jequitinhonha no segmento garimpo Areinha. 59
C. Processo de garimpagem com draga. 59
D. Alterações na morfologia do canal. Fotografia panorâmica representando a área de garimpo, na faixa percebe-se a formação de uma "ilha", provavelmente proveniente do aumento da deposição do material detrítico. 60
E. Depósito de sedimentos (visada direita) ao longo do canal fluvial. 60
Figura 7. A. Esquema do rio Jequitinhonha, nas proximidades do alto curso (Distrito de Milho Verde - Serro), até o declive de seu gradiente (Distrito de Mendanha – Diamantina). B. Seção transversal à calha do rio em seu médio curso, nas proximidades da área de estudo. 61
Figura 8. Fluxograma metodológico. 64
Figura 9. Procedimento de secagem das amostras em temperatura ambiente. 70
Figura 10. Peneira de separação de granulometria para solos e sedimentos. 71
Figura 12. Espectrômetro de absorção atômica por chama. 75
Gráfico 1. Valores médios de precipitação e temperatura em Diamantina, MG. 62
Gráfico 2. Níveis de pH nos pontos amostrados. 77
Gráfico 3. Níveis de temperatura nos pontos amostrados. 78
Gráfico 4. Níveis de Cobre (Cu) nos pontos amostrados. 80
Gráfico 5. Níveis de Ferro (Fe) nos pontos amostrados 82
Mapa 1. Mapa de localização da bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais e das Unidades de planejamento e gestão definidas pela Deliberação Normativa CERH-MG nº6, de 04/10/2002.

Mapa 2. Mapa geológico simplificado da região nordeste da Serra do Espinhaço Meridional, no segmento fluvial do Rio Jequitinhonha.....56
Mapa 3. Localização da área de estudo.....66
Mapa 4. Localização dos pontos de amostragem.....69
Mapa 5. Concentração de Cu nos pontos de amostragem.....81
Mapa 6. Concentração de Fe nos pontos de amostragem. 83
Mapa 7. Concentração de Mn nos pontos de amostragem.....85
Mapa 8. Concentração de Ni nos pontos de amostragem. 87
Mapa 9. Concentração de Pb nos pontos de amostragem. 90
Mapa 10. Concentração de Zn nos pontos de amostragem.....93

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Pontos de amostragem. 68
Tabela 2. Resultados para as concentrações de pH e temperatura. 77
Tabela 3. Condições de operação do aparelho Varian Spectraa 50B. 106
Tabela 4. Resultados para as concentrações dos metais pesados nos sedimentos..... 107

LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
BA	Bahia
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
Cd	Cádmio
CeGeo	Centro de Geociências
CERH	Conselho Estadual de Recursos Hídricos
cm	Centímetro
Co	Cobalto
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COOPERGADI	Cooperativa Regional de Garimpeiros de Diamantina
COPAM	Conselho Estadual de Política Ambiental
Cr	Cromo
Cu	Cobre
DNA	Ácido Desoxirribonucleico
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
EPA	*Environmental Protection Agency*
FAAS	*Flame Atomic Absorption Spectrometry*
Fe	Ferro
FEAM	Fundação Estadual do Meio Ambiente
g	Grama
°c	Graus Celsius
GPS	*Global Positioning System*
Hg	Mercúrio
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ICT	Instituto de Ciência e Tecnologia
IEF	Instituto Estadual de Florestas
IGAM	Instituto Mineiro de Gestão das Águas
INPE	Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
kg	Quilograma
km	Quilômetro
L	Litro
LGA	Laboratório de Geoquímica Ambiental
LIPEMVALE	Laboratório Integrado de Pesquisa Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
m	Metros
MG	Minas Gerais
ml	Mililitro
mm	Milímetro

µg	Micrograma
µm	Micrometro
Mn	Manganês
Mo	Molibdênio
MRN	Mineração Rio Novo
Ni	Níquel
ONGs	Organizações Não-Governamentais
Pb	Chumbo
PCA	Plano de Controle Ambiental
pH	Potencial Hidrogeniônico
PNHR	Plano Nacional de Recursos Hídricos
PPGSaSA	Programa de Pós-Graduação em Saúde, Sociedade e Ambiente
PRAD	Plano de Recuperação de Áreas Degradadas
SdE	Serra do Espinhaço
SdEM	Serra do Espinhaço Meridional
SEMA	Secretaria Especial de Meio Ambiente
SIG	Sistema de Informações Geográficas
SUS	Sistema Único de Saúde
UFVJM	Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri
UPGRH	Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos
URSS	União Soviética
TIS	Sistema de Identificação de Tag
WHO	*World Health Organization*
Zn	Zinco

SUMÁRIO - ATUALIZAR

1 INTRODUÇÃO 21
1.1 Objetivos 24
1.1.1 Objetivos gerais 24
1.1.2 Objetivos específicos 24

2 JUSTIFICATIVA 25

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 27
3.1 Geoquímica ambiental e geoquímica de paisagem 28
3.2 Recursos hídricos e qualidade da água 31
3.3 Legislação sobre os recursos minerais e hídricos e os sedimentos 32
3.3.1 Resolução nº 344 de 2004 34
3.3.2 Resolução nº 357 de 2005 35
3.4 Geografia da saúde 35
3.5 Garimpo e mineração 37
3.6 sedimentos e metais pesados nos sedimentos 40
3.7 Efeitos dos metais pesados na saúde humana 43

4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA 48
4.1 Localização 48
4.2 Antecedentes 50
4.3 Geologia 54
4.4 Geomorfologia e geomorfologia fluvial 57
4.5 Clima 62

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS 63
5.1 Primeira etapa: Planejamento da pesquisa 65
5.1.1 Delimitação da área de estudo 65
5.1.2 Elaboração dos mapas de localização e de concentração dos elementos 67
5.2 Segunda etapa: Campanha de campo e coleta das amostras 67
5.2.1 Procedimento de coleta e conservação das amostras 70
5.2.2 Tratamento, secagem das amostras e análise granulométrica 70

5.2.3 Coleta dos dados dos parâmetros pH e temperatura *71*
5.3 Terceira etapa: Geoquímica analítica dos sedimentos **72**
5.3.1 Abertura química por digestão *72*
5.4 Espectrometria de absorção atômica em chama e tabulação dos dados **74**

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO **76**
6.1 Cádmio (Cd) **78**
6.2 Cobre (Cu) **79**
6.3 Ferro (Fe) **82**
6.4 Manganês (Mn) **84**
6.5 Níquel (Ni) **86**
6.6 Chumbo (Pb) **88**
6.7 Zinco (Zn) **91**

7 CONCLUSÕES **94**
7.1 Considerações **94**

8 REFERÊNCIAS **96**

APÊNDICE A - TABELA COM CONDIÇÕES DE OPERALIZAÇÃO DO APARELHO **106**

APÊNDICE B - TABELA COM OS VALORES ABSOLUTOS DOS ELEMENTOS **107**

1 INTRODUÇÃO

Metais pesados são manipulados pelo homem há milhares de anos, e, embora a exposição aos metais esteja aumentando, há muito se conhecem os efeitos nocivos à saúde. Avanços recentes no setor agrícola e industrial contribuíram abundantemente para a contaminação dos solos e dos recursos hídricos por metais pesados em particular nos países subdesenvolvidos (SHOKR *et al.*, 2016). Dessa forma, desenvolveu-se em torno da contaminação por metais pesados um particular interesse no âmbito das pesquisas em geoquímica ambiental.

A atividade de mineração causa uma desfiguração do terreno e alteração da paisagem pelos elementos visuais da linha, forma, textura, escala, complexidade e cor que compõem a paisagem (SOUZA, 1997 *apud* RIBEIRO *et al.*, 2006). Como consequência, ocasionam impactos topográficos, vegetativos e hídricos na área de influência direta do empreendimento de extração mineral (RIBEIRO *et al.*, 2006).

A alteração do ambiente natural pelas atividades de mineração tem como consequência a liberação de metais para o ambiente. Conforme Ribeiro *et al.*, (2012), "os metais pesados referem-se a um grupo de elementos com densidade específica e, principalmente, características de toxidade particulares". O processo de exploração mineral, quando feito de forma desordenada e com baixo controle tecnológico, provoca grande impacto nas áreas de extração:

> A atividade de extração do garimpo no estado de Minas Gerais é considerada um problema ambiental de grande relevância, pois, apesar de os impactos causados serem pontuais, na sua maioria, eles são intensivos e alteram negativamente o ambiente através de diversas formas de impactos e, quando as técnicas utilizadas são artesanais, expõem os garimpeiros ao contato direto com os rejeitos e reagentes da mineração, o que pode causar danos à sua saúde (ARAÚJO, 2015).

O enriquecimento dos minerais pode causar impactos ambientais, pois, além das modificações das características do ambiente natural, pode haver grande quantidade de rejeitos gerados. Estes, por sua vez, são despejados nos cursos d'água por meio do escoamento superficial, descarga de esgotos, efluentes industriais e das atividades de mineração e de garimpo alterando a sua qualidade ambiental (MORAES; JORDÃO, 2002; BONUMÁ, 2006; RIBEIRO, 2010; DUARTE, 2014; SHOKR *et al.*, 2016). Devido a persistência e volatilidade desses elementos, os cursos d'água que desaguam nos rios, lagos ou reservatórios os transportam a longas distâncias, fornecendo a água contaminada com metais pesados para a população a jusante (MIRANDA, 2007)

Dito isso, entende-se a poluição dos cursos d'água como uma preocupação global, por ser um recurso essencial para a vida humana e estar se tornando limitado devido ao crescimento populacional e à degradação pelas ações indevidas do homem (MORAES; JORDÃO, 2002; RIBEIRO, 2004; BAGGIO, 2008; SHOKR *et al.*, 2016). Desse modo, é necessário que os recursos hídricos sejam avaliados e protegidos, uma vez que as bacias hidrográficas têm sido as mais afetadas pela exploração mineral.

Dessa forma, as pesquisas nessa área são imprescindíveis, visando o conhecimento das questões socioambientais, que abordem as modificações naturais e tecnógenas. Portanto, aborda-se nesse estudo as questões ambientais em relação à saúde humana, buscando criar uma ferramenta que sirva de alerta para as populações envolvidas. Os metais pesados que representam maiores ameaças para a saúde humana são: o chumbo (Pb), o cádmio (Cd), o cobre (Cu), o molibdênio (Mo), o zinco (Zn), o níquel (Ni), o cobalto (Co), o cromo (Cr), o mercúrio (Hg) e outros. Muitos destes elementos são utilizados nas indústrias em larga escala e, por isso, são mais visados em estudos toxicológicos (LEMES, 2001; SHOKR *et al.*, 2016).

Esses metais pesados, diferentemente dos poluentes orgânicos, não passam pelo processo de biodegradação, sendo acumulados continuamente por muitos anos no meio ambiente, processo conhecidos como bioacumulação e biomagnificação, o que aumenta suas concentrações acima dos níveis considerados normais (LEMES, 2001; MIRANDA, 2007). Esses metais, ao entrar na cadeia alimentar, representam grandes riscos a fauna e flora, além da saúde humana. Nas plantas os metais pesados podem causar danos a grupos essenciais de enzimas, substituindo íons metálicos de biomoléculas, acarretando a redução do crescimento, diminuindo as taxas fotossintéticas e os teores de clorofila (BAIRD, 2002; SARWAR *et al.*, 2010).

É importante salientar que a presença dos metais pesados no ecossistema se dá não só pelas atividades antropogênicas, mas também de maneira natural. Em alguns tipos de solo esses metais são oriundos do seu processo de formação (intemperismo das rochas e solos), por estarem presentes no material parental, constituindo fonte primária de metais pesados (BAGGIO, 2008).

A partir do atual contexto de degradação do ambiente surge a necessidade de se explorarem áreas de contaminação por metais pesados, a fim de se explorar a interação entre os conhecimentos geográficos e médicos, evidenciando a importância no surgimento e distribuição

de determinadas doenças relacionadas à exploração mineral (LACAZ, 2003 *apud* ARAÚJO, 2006).

Este estudo tem como foco a análise dos sedimentos, e, como apontam Siqueira e Aprile (2013):

> [...] o compartimento sedimento pode funcionar como "*pool*" de substâncias tóxicas introduzidas no ambiente aquático, com potencial para liberar para coluna de água, a qualquer momento, compostos químicos extremamente tóxicos acumulados por décadas ou centenas de anos, que passarão a ser incorporados a cadeia trófica.

Para elaboração deste trabalho, utilizou-se do conceito de geografia da saúde, que, de acordo com Araújo (2006), utiliza-se dos elementos da Geografia Médica (espacialização das doenças) e da Geologia Médica (espacialização das anomalias geoquímicas e saúde da população local).

Na área de abrangência deste estudo, região de Diamantina em Minas Gerais (MG), o desenvolvimento econômico e o crescimento das atividades de exploração mineral vêm acelerando o processo de degradação dos recursos hídricos. No entanto, as atividades de mineração e de garimpo são essenciais para o crescimento da economia, pois a exploração do ouro e do diamante servem como fonte de renda expressiva para a população regional. Conforme Bonumá (2006) essa relação de dependência gera um conflito com os reflexos gerados pela degradação das áreas de exploração mineral.

As patologias causadas pela atividade do garimpo já foram descritas na literatura pela relação entre o uso de mercúrio e outros metais para obtenção dos minerais, sendo que, conforme Ratnaike (2003) há evidências disso para "neoplasias (câncer) de pele [...], pulmão, fígado, rim, baço, cavidade nasal, medula óssea, laringe, intestino e estômago".

Numerosas são as dificuldades com relação à elaboração de diagnósticos sobre as condições dos recursos hídricos, o que ocorre devido às informações esparsas ou inexistentes, bem como à ausência de parâmetros para comparação de amostras e à rede de monitoramento deficiente, o que torna esse problema um desafio ambiental para o Brasil (ARAÚJO, FREITAS; BAGGIO, 2016). Sendo assim, para esses diagnósticos a análise dos sedimentos é de importância para o ambiente aquático, pois são resultado dos processos de interação que ocorrem nas bacias hidrográficas e representam a forma e a intensidade dos impactos aos quais o ambiente circundante ao leito foi submetido.

Desta maneira, devem-se buscar alternativas e ações governamentais cabíveis, através de medidas preventivas que devem ser adotadas de imediato para que ocorra uma recuperação e conservação dos recursos naturais (SOUZA *et al.*, 2008). Então, justifica-se esta pesquisa pela permanência da atividade mineral de diamante e ouro na região do garimpo

Areinha, em Diamantina (MG). Pode ser considerada como alerta sobre a deterioração do rio Jequitinhonha, em decorrência das atividades garimpeiras, que atualmente encontram-se em fase de regularização ambiental.

Esta pesquisa tem como fundamentação a medida dos teores de metais pesados presentes em segmento do rio Jequitinhonha, necessário para determinação das fontes desses metais, servindo de alerta aos trabalhadores e moradores diretamente ligados à bacia sobre os efeitos nocivos à saúde humana com o intuito de melhorar a qualidade de vida.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivos gerais

Esta pesquisa busca caracterizar a qualidade geoquímica dos sedimentos na seção escolhida da bacia do rio Jequitinhonha, com o intuito de determinar a concentração de metais pesados de origem antrópica provocada pela atividade de garimpo manual e mecanizado.

1.1.2 Objetivos específicos

1. Avaliar os parâmetros químicos para sedimentos dos seguintes metais: Cd, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn indicando a concentração e distribuição desses metais;
2. Analisar os parâmetros físico-químicos: pH e temperatura que indicam influencia no processo de adsorção dos metais nos sedimentos;
3. Comparar os resultados encontrados com os vlores de referência, de modo apontar quando a concentração se encontra acima do limite preconizado;
4. Gerar mapas para os elementos encontrados nos sedimentos de corrente.

2 JUSTIFICATIVA

Este trabalho justifica-se pela necessidade de compreensão do cenário ambiental, social e da saúde no qual estão inseridas as populações e os trabalhadores ligados à extração de ouro e diamante, direta ou indiretamente, locados na área no garimpo Areinha, no município de Diamantina (MG). Pode-se justificar a pesquisa por meio da necessidade de estudos sobre a qualidade ambiental na bacia do rio Jequitinhonha, tanto em sua porção mineira quanto na baiana.

Durante a realização da pesquisa, percebeu-se que as referências bibliográficas acerca do tema são insuficientes, restringindo-se apenas a alguns estudos dos órgãos ambientais governamentais, e mesmo assim com grande espaço cronológico entre eles. De certo, a bacia em questão exerce um grande papel de desenvolvimento para a região do Vale do Jequitinhonha, região marcada pelo contraste, por um lado parte da população em situação de pobreza e o ambiente sistematicamente agredido pelas atividades mineradoras e de carvoaria, em contraposição, são notórias as riquezas dessa região de Minas Gerais, onde os recursos minerais são abundantes, além do patrimônio histórico-cultural, que serve de referência para o estado e o Brasil.

A proposta desse estudo é analisar o estado atual da bacia, na secção de estudo, para contribuir com a tentativa de um diagnóstico ambiental e social para a comunidade envolvida com essa atividade, pois estudos direcionados visam um melhor dimensionamento dos reflexos positivos e/ou negativos que a atividade mineral tem promovido na região, voltado para o ambiente e a qualidade de vida das populações dos municípios afetados pela atividade garimpeira.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Há muito tempo, percebe-se que os impactos ambientais provocados pelas ações antrópicas ou modificações naturais precisam ser discutidos nas diversas esferas da ciência, apontando a necessidade de uma interação entre especialistas em áreas distintas que devem interagir entre si. Tibiriçá (2006) aponta a multidisciplinaridade e a interdisciplinaridade como meios para resolver essa interação, como a necessidade de se entenderem fatores alheios à geografia e à geologia levou ao crescente interesse pela Geologia Média e a Geografia da Saúde. Essas duas ciências colaboram para a compreensão de um impacto ambiental inter-relacionando os ambientes físico e social.

O ambiente social engloba as intervenções antrópicas, como a própria urbanização, os desmatamentos, a agricultura, a pecuária, as atividades industriais e de mineração, entre outras. Por sua vez, o Ambiente Físico é relacionado ao relevo, à composição das rochas, ao clima, à vegetação e à hidrografia. A relação entre esses dois ambientes é contemplada em quatro tópicos: o ciclo geológico, o ciclo hidrogeológico, as intervenções humanas e os focos de poluição (TIBIRIÇÁ, 2006).

O ciclo geológico envolve os processos de sedimentação, metamorfismo e fusão das rochas, que resultam na formação dos solos e das rochas. Segundo Tibiriçá (2006), os processos externos que colaboram para o ciclo geológico são: meteorização, fatores exodinâmicos que alteram as rochas química ou mecanicamente; transporte de materiais; erosão, seja pela ação mecânica, do vento, da água ou do gelo; sedimentação, deposição de minerais de fragmentos de rochas para a formação de sedimentos; e diagênese, processo de formação das rochas a baixas temperaturas.

O ciclo hidrogeológico descreve o trajeto da água no ar, no solo e nas rochas. No ar a água é lançada pelo processo de evapotranspiração, que engloba a evaporação e a transpiração, além da precipitação, seja pelo orvalho, chuva, granizo ou neve. Nos solos e nas rochas ocorrem os processos de escoamento superficial, pelo qual a água escoa sobre a superfície terrestre por gravidade, e infiltração, que leva ao acúmulo de água subterrânea através da passagem da água superficial pelos poros das rochas e dos solos.

Com relação ao ambiente social, têm-se os focos de poluição e as intervenções antrópicas, que causam impactos no meio ambiente, sejam positivos ou negativos. Os impactos positivos estão relacionados à produção de alimento, geração de emprego e moradias. Por sua vez, os impactos negativos incluem o desmatamento, a utilização de defensivos agrícolas e a

mobilização para instalação de minas e indústrias. Os Focos de Poluição são os reflexos das Intervenções Antrópicas e englobam o despejo de efluentes domésticos e industriais em locais inadequados, assoreamento de rios, intensificação dos processos de erosão, extinção de espécies nativas, comprometimento da qualidade da água e do solo e outros (TIBIRIÇÁ, 2006).

3.1 Geoquímica ambiental e geoquímica de paisagem

Para melhor interpretação dos dados sobre os teores geoquímicos dos elementos em sedimentos é necessário o entendimento dos conceitos de *Background*, Nível de Base (*Baseline*), Anomalia Geoquímica e Limiar (*Thresholds*).

O conceito de *Background* para os estudos geológicos é dado como o teor ou abundância normal de um elemento em materiais geológicos sem a interferência antrópica ou antropogênica. Sua variação está ligada aos materiais e às influências ambientais, sem que tenha atuado qualquer agente contaminante (ROHDE, 2008, p. 44).

Nível de Base ou *Baseline* é um intervalo de dois desvios-padrão em relação à média dos valores de concentração em alguns pontos de amostragem. Ou seja, considerando uma distribuição probabilística normal, a *baseline* corresponde a 95% dos valores esperados para as concentrações de determinados elementos e substâncias (ROHDE, 2008, p. 44).

Anomalia Geoquímica, segundo Rohde (2008, p. 39) e Guedes (2012), está relacionada ao desvio dos padrões geoquímicos considerados normais com *background*, geralmente estando ligada à existência de contaminação ambiental. Tem-se, desta forma, anomalias significativas e não-significativas, sendo estas originadas de processos naturais (mineralizações ou outras concentrações), não apresentando consequências ambientais. Por sua vez, as anomalias significativas estão relacionadas às intervenções humanas (diretas ou indiretas) e apresentam grandes danos ambientais (CARVALHO, 1989; ROHDE, 2008, p. 45).

No que lhe diz respeito, Limiar ou *Thresholds* é tido como um valor superior à oscilação da *baseline* acima do qual o teor é considerado anômalo (LICHT, 1998 *apud* GUEDES, 2012; ROHDE, 2008, p. 44).

Carvalho (1989) define a Geoquímica como o ramo das ciências naturais que se ocupa com a qualidade de vida dos homens e o equilíbrio natural, onde se buscam compreender as propriedades dos elementos e íons, seu comportamento sob as condições termodinâmicas e físico-químicas. Segundo Rohde (2008, p. 39), a Geoquímica Clássica é o ramo que:

> [...] dividiu a realidade em compartimentos que vão desde o cosmo até os solos,

> passando pelas rochas. [...]. A integração destes compartimentos [...] é feita pelo ciclo geoquímico, em que – em última análise – tudo é referido às diferenciações do manto terrestre que deram origem às demais geosferas hoje existentes: litosfera, pedosfera, hidrosfera, criosfera, atmosfera, biosfera e antroposfera.

Ao se analisar o planeta Terra sob uma ótica sistêmica, pode-se expressar as relações entre a existência, disponibilidade e mobilidade dos elementos naturais de um ambiente para outro como sendo um ciclo geoquímico (LICHT, 2001). No ciclo geoquímico são considerados dois ambientes principais: o ambiente subsuperficial ou profundo compreende as camadas inferiores da crosta continental e dos oceanos, do manto e do núcleo terrestre; o superficial abrange o que está acima da crosta superior e oceânica. Este está associado aos processos de transformação por erosão e sedimentação, bem como os processos biológicos e antrópicos, e aquele aos processos magmáticos e metamórficos onde ocorrem cristalização de minerais e a formação e transformação de diversos tipos de rochas (BAGGIO, 2008; ROHDE, 2008, p.5).

Licht (2001) destaca ainda a importância de se analisar o ciclo geoquímico além da ótica aplicada exclusivamente à prospecção mineral, como também a consideração das variáveis antrópicas e biológicas como agregadoras, captoras e mobilizadoras de elementos químicos.

Assim, Guedes (2012) define a paisagem natural como um reflexo dos processos geológicos de modificação das rochas pré-existentes, associados aos intemperismos físicos e químicos que alteram a topografia do local e criam novas paisagens. Por sua vez, o homem também é responsável por essas alterações na paisagem natural, o que muitas vezes não se dá de forma benéfica ao meio ambiente.

A geoquímica tradicional é utilizada na prospecção de minerais e, principalmente, na distribuição dos elementos químicos terrestres e seus valores limites. Algumas vezes as concentrações desses elementos estão acima desses valores limite de concentração em rochas, essa anomalia é estudada pela Geoquímica Ambiental, que objetiva a verificação quantitativa das anomalias e seus reflexos nos processos biogeoquímicos e na saúde humana (CARVALHO, 1989). Quando os níveis de alguns minerais indicam certa abundância desses elementos, pode-se definir o enriquecimento geológico dos mesmos, indicando o local como propício a prospecções geoquímicas.

O paradigma ambiental pressupõe o homem como capaz de realizar uma intervenção artificial (Rohde, 1966 *apud* Rohde, 2008, p. 41) baseada no uso de combustíveis fósseis e na introdução de substâncias sintéticas (pesticidas, plásticos, clorofluorcarbonos, isótopos radioativos, elementos químicos artificiais etc.) (CARVALHO, 1989). Desta forma, a

Geoquímica Ambiental analisa os processos geoquímicos da antroposfera, compartimento terrestre geoquímico onde é visível a atuação dos seres humanos (ROHDE, 2008, p. 42), refletindo a preocupação geoquímica com as formas de desequilíbrio da natureza, advinda dos problemas sociopolíticos de superpopulação, urbanização e industrialização (CARVALHO, 1989; TIBIRIÇÁ, 2006).

A concentração de elementos químicos poluentes e prejudiciais à saúde humana, sobretudo os metais pesados, estão associados a fontes naturais, em terrenos onde se percolam a drenagem (SILVÉRIO, 2003; GUEDES, 2012). Entretanto, quando há alterações antrópicas, com a presença de urbanização ou atividades industriais, de mineração ou fazendas, é muito provável que se encontrem excessos desses elementos em água, em sedimentos e em suspensão (CARVALHO, 1989). Esses processos antrópicos que acontecem no ambiente superficial refletem a influência das atividades humanas, sendo os recursos hídricos, objeto de análise deste trabalho, um dos sistemas naturais que mais sofrem problemas ambientais pela interação com o homem.

Para análise da qualidade dos recursos hídricos têm-se como princípios básicos os parâmetros aceitáveis para consumo humano. Segundo (GUEDES, 2012) “existem leis, regulamentos ou normas que procuram enquadrar a qualidade ambiental, com base em teores mínimos e máximos para os parâmetros físico, químicos, biológicos e de metais em solos e sedimentos”. Os indicadores apresentados nesses regulamentos são úteis para se revelar um diagnóstico atual da área de estudo. Na análise química dos recursos hídricos tem-se a hidrogeoquímica que, conforme Rohde (2008, p. 46) e Duarte (2014), avalia a qualidade das águas superficiais e subterrâneas e dos sedimentos de corrente, relacionando com os tipos de rochas e com as atividades humanas no entorno da bacia.

Por sua vez, dentro dos estudos geoquímicos, a geoquímica das paisagens é dada pela associação dos elementos químicos que constituem a crosta terrestre e a sua distribuição nos diversos compartimentos (GUEDES, 2012). Definem-se assim, assinaturas de metais pesados em algumas localidades restritas, simplificando a inferência sobre os processos intempéricos que atuaram em um determinado local, como a detecção de certos metais em ambientes de mineração.

Torna-se então necessário que se conheçam os ambientes geológicos e que se aprofunde o estudo da geoquímica de paisagem, sobretudo pela associação da presença dos metais pesados e outros elementos químicos com a saúde humana, pois há uma linha tênue que define a dose e o valor essencial para o bem-estar do corpo, sendo que os teores não podem

faltar nem ser absorvidos em excesso (GUEDES, 2012). Dessa maneira, deve-se considerar a geodisponibilidade de um elemento no material geológico do local (rocha, solo e sedimento), que é passível de ser liberado na superfície dado qualquer processo, seja químico, físico ou biológico, tomando-a como dependente da susceptibilidade do material litológico ao intemperismo (LIMA, 2008).

3.2 Recursos hídricos e qualidade da água

Recursos hídricos, sejam águas superficiais ou subterrâneas, são utilizados para distintas finalidades, entre as quais se destacam o abastecimento de água potável à população, a geração de energia (hidrelétrica), a irrigação, a navegação, a aquicultura e a composição paisagística.

No entanto, as características da água não permanecem sem alteração ao longo dos anos, pelo contrário, são alteradas por processos naturais e antrópicos afetando a sua qualidade. Segundo Tucci (2001, p. 47):

> A qualidade das águas depende das condições geológicas e geomorfológicas e de cobertura vegetal da bacia de drenagem, do comportamento dos ecossistemas terrestres e de águas doces e das ações do homem. As ações do homem que mais podem influenciar a qualidade da água são: (a) lançamento de cargas nos sistemas hídricos; (b) alteração do uso do solo rural e urbano; (c) modificações no sistema fluvial.

Sendo assim, a real qualidade da água em uma bacia hidrográfica reflete as condições ambientais, e, quando se tem conhecimento das características de qualidade dos corpos hídricos, amplia-se a possibilidade e o conhecimento ecológico de todo ecossistema, possibilitando a detecção das alterações causadas pela atividade humana. Dessa forma, a água tem-se tornado objeto de preocupação global, principalmente, devido à crise de disponibilidade da água doce, o que, segundo Baggio (2008), torna imprescindível que se examinem suas condições de modo que se estabeleça um modelo de gestão dos recursos naturais que considere e quantifique as interferências antropogênicas nos compartimentos ambientais.

Os rios, quando possuem águas e sedimentos contaminados, podem passar a ter funções negativas, como apontado por Holder (2008, p. 220):

a) impactos sobre a saúde humana ocorrendo pela ingestão de peixes contaminados, pela ingestão da água ou mesmo pela travessia e atividades de natação;

b) impactos ecológicos diretos sobre a vida silvestre e espécies aquáticas;

c) prejuízos à pesca recreativa ou profissional;

d) custos elevados de tratamento de água potável; além

e) da perda de práticas culturais de populações tradicionais e indígenas, que geralmente, desenvolvem suas atividades próximas ao leito dos rios.

Sousa (2014) cita como degradação dos mananciais o uso e ocupação inadequado do solo pela atividade humana e o lançamento de efluentes domésticos e industriais, o que leva à alteração da qualidade e disponibilidade deste recurso para consumo, além da veiculação de doenças, como a cólera e a hepatite. Desta forma, quando há intervenção antrópica de degradação ao meio ambiente, o mesmo passa a ser denominado como ambiente de risco.

Segundo Lemes (2001) e Ribeiro (2010), a qualidade das águas é representada por variáveis ligadas às características naturais, como a geologia do terreno e a cobertura vegetal, e, principalmente, ao uso e ocupação adequados do solo na bacia hidrográfica, sendo que a noção de qualidade, na maioria das vezes, está relacionada apenas às características organolépticas, como sabor, odor e cor; fatores estes que estão conectados apenas à sensibilidade humana, podendo muitas vezes não revelar a real situação de comprometimento da qualidade das águas. Assim, no âmbito legal, os rios são classificados quanto ao uso que se dá para suas águas e a qualidade que deve ser mantida em função desse uso, sendo as reservas ecológicas e as destinadas ao abastecimento público os alvos de maiores exigências (LEMES, 2001).

Quanto à qualidade dos recursos hídricos, a contaminação por metais pesados, conforme Baggio (2008), deve ser tomado como um importante objeto de investigação devido à ausência de uma política de investigação ambiental e a falta ou precariedade de tratamento destes resíduos. Haja vista que a demanda pelos recursos hídricos e a degradação dos mesmos tem-se intensificado ao longo dos anos, embora tenham se concentrados esforços para melhorar seu uso e o manejo.

3.3 Legislação sobre os recursos minerais e hídricos e os sedimentos

Quanto às legislações sobre a qualidade da água e dos sedimentos, as melhorias se deram nas décadas de 1960 e 1970 com o fortalecimento do ambientalismo evidenciada nos acontecimentos internacionais como a Conferência de Estocolmo (1972) ou nacionais como, em 1973, quando foi criada a Secretaria Especial de Meio Ambiente (SEMA), que estabeleceu padrões de qualidade para o ar e para as águas, e, em 1976, com a criação dos Comitês de

Estudos Integrados de Bacias, que atuam em prol da proteção e conservação dos recursos hídricos.

Na década de 1980, o Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES) para fornecer financiamentos passou a analisar impactos ambientais dos projetos submetidos e exigir que fossem enquadrados com licenciamento ambiental (ANDRADE, MARINHO e KIPERSTOK, 2001). Na década de 1990, com a criação do Plano Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), houve uma melhor orientação da gestão das águas no Brasil, com vasta mobilização e participação social. Matta (2006) destaca ainda a importância de Organizações Não-Governamentais (ONGs) na influência das ações dos governos e das empresas quanto às estratégias ambientais e da Conferência das Nações Unidas, no Rio de Janeiro em 1992, onde se apresentaram novos rumos para a gestão ambiental.

A partir da evolução das discussões ambientais, cada vez mais se discute a diminuição da poluição e a produção limpa, onde os custos de produção sejam diminuídos, bem como haja otimização e regularização do uso de recursos naturais e geração de resíduos, isto é, a política ambiental passou a se focar além do controle da poluição (ANDRADE, MARINHO; KIPERSTOK, 2001).

A Constituição Federal, de 1988 (BRASIL, 1988), por sua vez expressa o cuidado que o Estado deve apresentar quanto à saúde e o meio ambiente: o artigo 196 descreve saúde como direito de todos e dever do Estado, que deve garantir mediante políticas sociais e econômicas a redução do risco de doença e de outros agravos e o acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação; o artigo 200, incisos II e VIII, que atribuem ao Sistema Único de Saúde (SUS) a execução de ações de vigilância sanitária e epidemiológica, bem como as de saúde do trabalhador e colaboração na proteção do meio ambiente; e o artigo 225 que dá a todos o direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defende-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A Constituição também dispõe acerca da exploração dos recursos minerais: no artigo 20, item IX, apresenta-os como bens da União, inclusive os de subsolo; nos artigos 21 e 22 define como competência da União “estabelecer as áreas e as condições para o exercício da atividade de garimpagem” e legislar sobre “jazidas, minas, outros recursos minerais e metalurgia”; no artigo 49, onde dá ao Congresso Nacional a competência exclusiva de “autorizar em terras indígenas, a exploração e o aproveitamento de recursos hídricos e a pesquisa e lavra de riquezas minerais”. Quanto aos garimpeiros, no artigo 174, § 3°, está

descrito que “o Estado favorecerá a organização da atividade garimpeira em cooperativas, levando em conta a proteção do meio ambiente e a promoção econômico-social dos garimpeiros”. Sobretudo, no artigo 225, § 2°, a Constituição salienta que “aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com a solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da Lei”. Mesmo assim, Chaves *et al.*, (2001) aponta a evolução da legislação brasileira como apresentando ainda uma defasagem temporal em cerca de dez anos.

Em 2005, o CONAMA publicou a Resolução nº 357 que classifica e divide em 13 classes as águas de acordo com parâmetros de qualidade considerando os usos a que os cursos d’água se destinam. Essa resolução do CONAMA e a de número 344/04 são utilizadas como instrumentos de monitoramento da qualidade da água.

No entanto, os níveis seguros dos elementos químicos no ambiente são alterados frequentemente com novas pesquisas e descobertas e com o avanço de técnicas de análise (DUARTE, 2014), além da variação quanto aos órgãos de controle, como o CONAMA, a EPA (*Environmental Protection Agency*, EUA) e WHO (*World Health Organization*, ONU) devido às diferenças do potencial toxicológico dos metais e da qualidade ambiental em cada país (LEMES, 2001). Desta forma, este trabalho segue a resolução vigente do CONAMA de n° 344 de 25 de março de 2004, que define os níveis aceitáveis de metais pesados em sedimentos.

3.3.1 Resolução nº 344 de 2004

A resolução nº 344/04 do CONAMA estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos para o gerenciamento de materiais dragados em águas sob jurisdição nacional, sendo o material dragado aquele retirado ou deslocado do leito dos cursos d’água. Estabelece-se também que a disposição final do material dragado deve ser em local onde possa permanecer por tempo indeterminado e não prejudique a navegação, o meio ambiente e (ou) a saúde humana.

O material dragado é classificado de acordo com critérios de qualidade a partir de dois níveis limite (itens I e II, Art. 3º) definidos abaixo e apresentados no Quadro 1 resumido com os metais analisados neste trabalho:

- Nível 1: abaixo do valor definido por este nível tem-se baixa probabilidade de efeitos nocivos à biota;
- Nível 2: acima deste valor preveem-se prováveis efeitos nocivos à biota.

Quadro 1. Níveis de classificação do material dragado.

POLUENTES		NÍVEIS DE CLASSIFICAÇÃO DO MATERIAL DRAGADO (em unidade de material seco)	
		ÁGUA DOCE	
		NÍVEL 1	NÍVEL 2
Metais Pesados	Cádmio (Cd)	0,6	3,5
	Chumbo (Pb)	35	91,3
	Cobre (Cu)	35,7	197
	Cromo (Cr)	37,3	90
	Níquel (Ni)	18	35,9
	Zinco (Zn)	123	315

Fonte: Adaptado de Fonte: CONAMA nº344/04.

3.3.2 Resolução nº 357 de 2005

A resolução nº 357/05 do CONAMA estabelece as disposições sobre o enquadramento, condições e padrões de lançamento de efluentes nos cursos d'água. A resolução define cinco classes de usos, e mais de cem parâmetros para definir a qualidade das águas, já que é necessário um conjunto de condições e padrões de qualidade de água para atender a população atual e o uso futuro. Os padrões adotados servem como base de comparação e análise de corpos d'água.

O rio Jequitinhonha, na área de estudo, enquadra-se na classe 2, cujas águas tem destinos como:

> "a) ao abastecimento para consumo humano, após tratamento convencional; b) à proteção das comunidades aquáticas; c) à recreação de contato primário, tais como natação, esqui aquático e mergulho, conforme Resolução CONAMA no 274, de 2000; d) à irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; e e) à aquicultura e à atividade de pesca." (CONAMA, 2005).

3.4 Geografia da saúde

Muitas doenças estão relacionadas à qualidade do ambiente ao qual uma população está exposta e, há muito, conhecem-se os efeitos da degradação dos recursos naturais para o surgimento de fatores ambientais de risco (SOUSA, 2014). Os agentes nocivos presentes no ar,

água, solo e alimentos são aos maiores causadores de doenças graves e mortes pelo mundo, sendo que boa parte delas poderia ser prevenida com a manutenção da boa qualidade ambiental.

O art. 3º da Lei Federal 8.080/90 explicita bem a relação entre a saúde humana e o meio ambiente ao definir os fatores que influenciam nos níveis de saúde de uma população:

> A saúde tem como fatores determinantes e condicionantes, entre outros, a alimentação, a moradia, o saneamento básico, o meio ambiente, o trabalho, a renda, a educação, o transporte, o lazer e o acesso aos bens e serviços essenciais; os níveis de saúde da população expressam a organização social e econômica do país.

A Geografia é a ciência que estuda as relações entre a natureza e a sociedade e, dentro desta área de conhecimento, tem-se o campo chamado Geografia da Saúde. A Geografia da Saúde pode ser definida como o campo de estudo geográfico que engloba a análise da saúde ambiental, onde se discute a relação entre os problemas resultantes dos efeitos do meio ambiente e o bem-estar físico e mental do homem (TIBIRIÇÁ, 2006; ALIEVI e PINESE, 2010; SANTOS, 2010). Estuda-se neste campo os efeitos nocivos à saúde coletiva, como exemplo as doenças de veiculação hídrica, e o contexto socioeconômico e cultural da população que vive no ambiente estudado (DUARTE, 2014). Isto é, a Geografia da Saúde exerce papel crucial no estudo dos efeitos promovidos pelo meio externo na saúde e bem-estar de uma sociedade, bem como a espacialização das doenças e, no que tange este trabalho, a espacialização da contaminação por metais pesados.

A Geografia Médica, diferentemente da Geografia da Saúde, é focada no enfermo e tem por objetivo a análise da influência dos fatores geográficos na disseminação de doenças, como o clima, composição e poluição dos solos, chuvas, ventos etc., estudando a notificação das mesmas doenças em ambientes geográficos distintos e sua relação com fatores geológicos (BARCELLOS e MACHADO, 1998; SELINUS, 2004; SANTOS, 2010).

Desde a antiguidade, a relação entre enfermidade e ambiente é percebida, no entanto, a partir do século XX, com a maior evolução da produção industrial e do crescimento desordenado da urbanização, há uma maior preocupação com a poluição dos solos e contaminação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Licht (2001) aponta o início do uso de técnicas geoquímicas por pesquisadores da ex-União Soviética (URSS) na década de 30 em investigações voltadas à localização de jazidas minerais, quando houve uma rápida disseminação por outros países, graças ao sucesso das técnicas. Na década de 80, diversos países iniciaram estudos geoquímicos mais abrangentes, como forma de mensurar variações na composição litológica, a fim de se estudarem aumentos da fertilidade e produtividade agrícola; variações naturais ou antropogênicas no solo, nos cursos d’água ou na biota; e focos de poluição seja industrial, agrícola ou doméstica para monitoramento e fiscalização ambiental.

Por fim, começou-se a considerar a dinâmica espacial da sociedade no ambiente, focando na componente territorial, dando mais importância ao lugar com a utilização de ferramentas de geoprocessamento como os Sistemas de Informação Geográfica (SIG), possibilitando uma visão mais abrangente dos sistemas naturais e identificando cada vez mais efeitos à saúde provocados por essas condições ambientais e socioculturais, uma vez que muitas das variáveis indicadoras de qualidade de vida são localizáveis no espaço (BARCELLOS; MACHADO, 1998; LICHT, 2001; DUARTE, 2014). A utilização do SIG permite ainda que se integrem a composição química das águas superficiais ou subterrâneas ao perfil socioeconômico e de saúde pública da população local, possibilitando a evidenciação das relações de causa e efeito dos processos naturais ou antropogênicos (LICHT, 2001).

Portanto, o objetivo central da Geografia da Saúde é a compreensão do papel dos fatores ambientais no aparecimento e desenvolvimento de doenças no espaço geográfico, sendo principais os fatores biológicos, físicos, químicos, psicológicos e acidentes causados ou não pela resposta à ação antrópica sobre o espaço geográfico (ALIEVI; PINESE, 2010; DUARTE, 2014), focando não no enfermo em si, mas nas enfermidades e sua relação com a situação econômica, social e ambiental em que o indivíduo está inserido, levando em conta a impossibilidade de se isolar o enfermo do seu ambiente, pois este pode ser a causa enfermidade ou mesmo a cura (BARCELLOS; MACHADO, 1998; RIBEIRO, 2004; SANTOS, 2010). Ainda é necessário que se estude também a evolução das doenças em uma região ao longo dos anos, para que se definam os melhores meios de minimizar e prevenir essas doenças (DUARTE, 2014; SANTOS, 2010).

Neste trabalho, a análise geográfica da saúde tem como foco a gestão dos recursos hídricos, os quais são os maiores propagadores de doenças, seja pela ingestão de alimentos ou pelo contato direto com a água contaminada. Tomando a importância dos estudos em Geografia da Saúde pela adição ao conhecimento científico e a implementação de políticas públicas quanto aos fatores geográficos e sua interação com a saúde humana, visando a melhoria na qualidade de vida e da sustentabilidade ambiental.

3.5 Garimpo e mineração

Lemes (2001) aponta como fonte antrópicas básicas de metais no ambiente a utilização agrícola de fertilizantes e pesticidas, irrigação com água contaminada e queima de biomassa na zona rural, bem como a combustão a carvão, óleo e derivados de petróleo e a

incineração de resíduos urbanos e industriais, apontando, no entanto, como a principal fonte dos metais a mineração, a fundição e o refinamento, com a mobilização de metais pesados presentes nos depósitos naturais. Segundo Licht (2001), também os processos de intemperismo naturais sobre as jazidas minerais promovem um aumento na concentração do conteúdo metálico dos solos e das águas superficiais e subterrâneas.

A atividade de mineração é, em geral, desenvolvida pela indústria extrativa de minérios de jazidas naturais, que envolve a transformação de recursos naturais em bens econômicos, gerando impactos ambientais e sociais, devidos ao desmatamento e modificações da topografia e às condições muitas vezes insalubres das minas. O garimpo, forma artesanal de se extrair minério, é relacionado às atividades minerais e seu impacto social e ambiental é, para a maioria dos envolvidos, negativo, pois está atrelado ao desmatamento intenso e a condições de trabalho muito precárias. Os impactos positivos dessa atividade estão na geração de renda e o enriquecimento de alguns envolvidos, mas este faturamento é restrito a poucas pessoas (TIBIRIÇÁ, 2006).

Como destaca Matta (2006), os impactos da mineração e do garimpo são pontuais, tendo um pequeno raio de atuação em comparação a outros setores, como a agricultura e a pecuária, no entanto, devem ser analisados com muito cuidado, considerando o potencial poluídor dessas atividades, dada a intensa alteração da paisagem, os problemas causados à fauna e à flora local e o lançamento de rejeitos em cursos d'água que, muitas vezes, servem para abastecimento de populações a jusante. Mesmo porque, muitas vezes essas atividades são realizadas de maneira ilegal, ou seja, não possuem compromisso com a recuperação da área degradada.

No Brasil há um abismo entre a relação do país com a mineração profissional, executada por empresas de grande e médio porte, e com a mineração artesanal, feita por garimpeiros e empresas de pequeno porte. Sendo a mineração profissional vista como necessária ao desenvolvimento da sociedade e grande geradora de riquezas e a garimpagem, como um problema socioeconômico e com pouca geração de valores, o que muitas vezes se relaciona com a lavra clandestina e extração rudimentar (MATTA, 2006; TIBIRIÇÁ, 2006; MARTINS, 2009).

Barreto & Damasceno (2000 *apud* MATTA, 2006) define o garimpo como sendo uma atividade de extração mineral simplificada de depósitos a pequenas e médias profundidades até 50 m. No entanto, o garimpo tradicional que utilizada equipamentos manuais, como a bateia (que consiste em um recipiente de metal, onde o cascalho, minério ou aluvião

são revolvidos), vem sendo substituído, em muitos locais, pela lavra ilegal, que utiliza de equipamentos pesados, como dragas, tratores, escavadeiras etc. o que aumenta muito o volume de sedimentos removidos e despejados nos leitos dos rios.

Os impactos ambientais causados pelas atividades garimpeiras envolvem desmatamento, queimadas e poluição dos cursos d'água, resultados da queima de mercúrio sem utilização de equipamentos adequados, de processos erosivos, assoreamento e mobilizações de terra e das alterações na cor da água, turbidez, odor e sabor. Já os impactos socioeconômicos se relacionam com as condições precárias de saúde e educação para os garimpeiros e suas famílias, haja vista a organização do local de garimpo, onde residem os garimpeiros em barracos mal construídos, sem serviço de abastecimento de água ou recolhimento de esgoto e lixo, em situações completamente insalubres (Figura 1).

Figura 1. Alojamento dos garimpeiros.

Fonte: ARAÚJO, 2016.

Chaves *et al*., (2001) aponta instrumentos que podem servir para reduzir os impactos negativos da mineração e do garimpo de modo a tornar essas atividades mais sustentáveis, podendo ser através da legalização da atividade por meio de licenciamento ambiental, dos incentivos econômicos governamentais e caução ambiental e pelo incentivo ao desenvolvimento técnico de novas tecnologias de extração e manutenção da qualidade ambiental.

3.6 sedimentos e metais pesados nos sedimentos

Sedimentos são compostos por materiais sólidos insolúveis e desagregados, originados da alteração das rochas e solos e assentados por gravitação. Os sedimentos de fundo da rede hidrográfica tornaram-se assunto de interesse para as investigações ambientais devido à presença de contaminantes em meio as partículas dos sedimentos, muitas vezes por intervenções antrópicas na região.

As alterações antrópicas produzem impactos nos ambientes claramente identificáveis nos sedimentos de fundo nos rios, lagos e oceanos, uma vez que o transporte e deposição fazem com que haja acúmulo de metais pesados nos cursos hídricos (LICHT, 2001). No entanto, a presença de metais pesados na superfície terrestre e nos sedimentos se dá não apenas com as atividades de indústria, mineração etc., mas também de maneira natural, em pequenas concentrações na constituição das rochas (elementos traços), de maneira decrescente nas rochas ígneas, metamórficas e sedimentares, e também podem chegar aos rios pelo transporte físico das águas, ventos, gelo e ações antrópicas (BAGGIO, 2008; TRINDADE, 2010). Segundo Carvalho *et al*., (2000), a sedimentação envolve processos de erosão, transporte e deposição de partículas sólidas, auxiliando no modelamento do relevo. Quando o ambiente sofre interferências humanas, as taxas de erosão podem ser 100 vezes maiores do que as influenciadas pelo tempo geológico. Como consequência, as características hidráulicas da bacia podem ser modificadas com a alteração de feições morfológicas.

Portanto, devem-se analisar os processos de origem natural (geológicos, mineralógicos, hidrológicos e biológicos) e os processos antropogênicos para quantificar corretamente os níveis de metais nos sedimentos (LEMES, 2001). Sendo assim, os sedimentos são tomados como os destinos finais de fixação de possíveis fontes poluidoras, sobretudo os metais pesados, que são fixados nos sedimentos de fundo, mas que não permanecem solubilizados e que podem ser liberados para o curso d'água quando ocorre alguma alteração ambiental, como variações de pH, de salinidade e outros (LEMES, 2001, BAIRD, 2002, p. 447). E a grande importância de se analisarem os sedimentos para detecção dos teores de metais pesados está na capacidade físico-química dos sedimentos de acumularem nas bacias de drenagem esses elementos por processos de precipitação, assimilação biológica e, principalmente adsorção (TRINDADE, 2010; LIMA, 2008).

A adsorção é o processo mais importante de acúmulo de metais pesados nos sedimentos. Esse processo é tanto mais influente quanto menor for a dimensão das partículas

dos sedimentos, uma vez que a fração fina (<63 μm) é eletricamente ativa e possui grande capacidade de adsorver metais. De maneira oposta, as partículas maiores (>63 μm), essencialmente areia, os teores de nutrientes e metais pesados decrescem linearmente. Logo, em processos de amostragem e análise, é preferível a utilização de frações de grãos finos (<63 μm) quimicamente ativas para uma avaliação histórica da poluição do curso d'água (LEMES, 2001; LICHT, 2001; LIMA, 2008).

Os metais estão associados a fontes naturais, como lixiviação de solos e intemperização de rochas, e, sobretudo, a causas antropogênicas, como os efluentes e resíduos domésticos, industriais e da agricultura, sobretudo a partir do século XX. No momento em que são descarregados nos ambientes aquáticos, os resíduos sofrem uma segregação entre a água e os particulados suspensos, onde parte deste material é metabolizado pela biota (animal e vegetal), o restante tem como destino os sedimentos (BAIRD, 2002, p. 447; BAGGIO, 2008; SILVÉRIO, 2003)

Os sedimentos são um dos maiores poluidores da água, mas também têm papel de catalisar outros agentes poluidores, podendo degradar a qualidade da água para consumo humano, uso industrial, infraestruturas de hidroelétricas e vida aquática (CARVALHO *et al*., 2000). O sedimento sozinho representa um cenário de degradação da qualidade da água, seja para consumo humano, recreação, consumo industrial, infraestruturas hidroelétricas ou ecossistemas aquáticos. Dessa forma, as partículas de sedimento agem como um potencializador dos problemas causados por pesticidas, agentes químicos decorrentes dos resíduos solidos, resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias patogênicas, vírus etc. Sendo assim, é necessária a coleta de amostras de sedimentos para que se definam as características químicas e físicas e para se avaliar a contaminação do meio ambiente aquático, sendo utilizadas na detecção de contaminantes insolúveis em águas superficiais, como os metais pesados (LEMES, 2001; LITCH, 2001).

Tem-se, no âmbito brasileiro, um conceito legal de meio ambiente que o caracteriza como "o conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite, abriga e rege a vida em todas as suas formas" (art. 3º, I, da Lei nº. 6.938/81). Assim, a qualidade ambiental de uma paisagem ou de um recurso hídrico se dá pela observância dos teores mínimos e máximos tolerados para sedimentos e elementos químicos e seus efeitos nocivos à saúde humana.

Rohde (2008, p. 46) define como Hidrogeoquímica, a área de estudo que busca avaliar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas e também os sedimentos, que são os

objetos de estudo deste trabalho. Os sedimentos de corrente são formados pelas partículas sólidas e aquosas originadas dos processos intempéricos em rochas, solos ou outras matérias orgânicas de decomposição, assim, pode-se dizer, que seus teores representam a geologia de montante (GUEDES, 2012).

A gestão e análise de sedimentos de corrente contaminados pode ser muito complexa devido às propriedades químicas que resultam na presença em partículas de sedimento, pois os metais pesados e outros poluentes não passam pelo processo de biodegradação, ou seja, sofrem bioacumulação através da cadeia alimentar, e tendem a ter baixa volatilidade e solubilidade, caracterizando uma certa mobilidade (HOLDER, 2008, p. 220). Graças a isso, áreas contaminadas podem apresentar múltiplas fontes de contaminação, uma vez que os sedimentos são carreados corrente abaixo.

Para estudo dos teores aceitáveis de elementos químicos nos sedimentos é necessário que se tenha conhecimento sobre os *backgrounds* locais, pois enquanto elevados teores de determinados elementos podem ser considerados altos em alguns locais, o mesmo teor pode ser considerado como normais em outros ambientes. Assim, não há consenso entre pesquisadores quanto aos limites máximos aceitáveis (GUEDES, 2012) e o Brasil também não possui legislação específica acerca da qualidade dos sedimentos que leve em consideração os efeitos nocivos da presença dos metais pesados à biota. Assim, utiliza-se de balizamentos para as pesquisas no Brasil a Resolução 344/04 do CONAMA, que define os procedimentos e as diretrizes gerais para avaliação dos sedimentos.

Conforme Trindade (2010), essa resolução tem como referência a legislação canadense, portanto seus valores guia são embasados em informações químicas e toxicológicas dos sedimentos dessa região, deixando clara a necessidade de que sejam feitos estudos no Brasil para determinação dos valores guias em clima tropical.

Dito isso, toma-se a análise dos sedimentos como fator fundamental para preservação e monitoramento da qualidade, avaliação da poluição e gerenciamento global dos recursos hídricos, pois se comportam como destino de muitos elementos químicos solúveis ou insolúveis, sobretudo os metais pesados, refletindo a qualidade do sistema aquático, além de os metais apresentarem na coluna de água menor variação espacial e temporal do que os sedimentos, onde, normalmente, apresentam concentrações mais elevadas do que na forma solubilizada (LEMES, 2001, BAIRD, 2002, p. 447). Tornam-se assim, os sedimentos, uma maneira mais realista de se analisar o problema de contaminação por metais pesados em água, pois esta indica a presença do metal apenas no momento da coleta, enquanto o sedimento reflete

a situação cronológica da situação ambiental no local da coleta (ANDRADE; ANDRADE; ALVES, 2006 *apud* BAGGIO, 2008).

3.7 Efeitos dos metais pesados na saúde humana

Elementos químicos com densidade superior a 5 g/cm³ são denominados metais pesados. Observa-se que o termo engloba, além dos metais, os semimetais e até metaloides (MALAVOLTA, 1994 *apud* TRINDADE, 2010). Dependendo de seu teor nos compartimentos disponíveis aos seres humanos (solo, água e ar), os metais pesados podem causar muitos danos à saúde humana em função de sua toxicidade (BAGGIO, 2008; RIBEIRO, 2010; ARAÚJO e SOUZA, 2012), já que podem causar desestabilidade nos ecossistemas, podendo alterar DNA (Ácido Desoxirribonucleico) dos mamíferos levando a efeitos tóxicos agudos (STEINKELLNER *et al.*, 1998).

Os metais pesados (imunotóxicos) constituem a principal preocupação da sociedade em função dos seus efeitos ao ambiente e à saúde humana, pois, não sendo biodegradáveis, são maléficos quando a capacidade de absorção no organismo e recuperação no ambiente forem maiores que a concentração permitida (ARAÚJO, 2006). A presença dos metais pesados no ambiente não se dá apenas como um impacto ambiental negativo, pois vários processos fisiológicos e bioquímicos no organismo de plantas e animais dependem da presença desses metais ditos essenciais, como é o caso de alguns elementos que participam das reações enzimáticas como ativadores (TRINDADE, 2010). Entretanto, quando esses elementos químicos essenciais à manutenção e ao equilíbrio da saúde, estiverem em excesso, eles acabam se tornando nocivos ao ambiente comprometendo o bem-estar dos organismos (SPERLING, 1993 *apud* MORAES; JORDÃO, 2002; DUARTE, 2014).

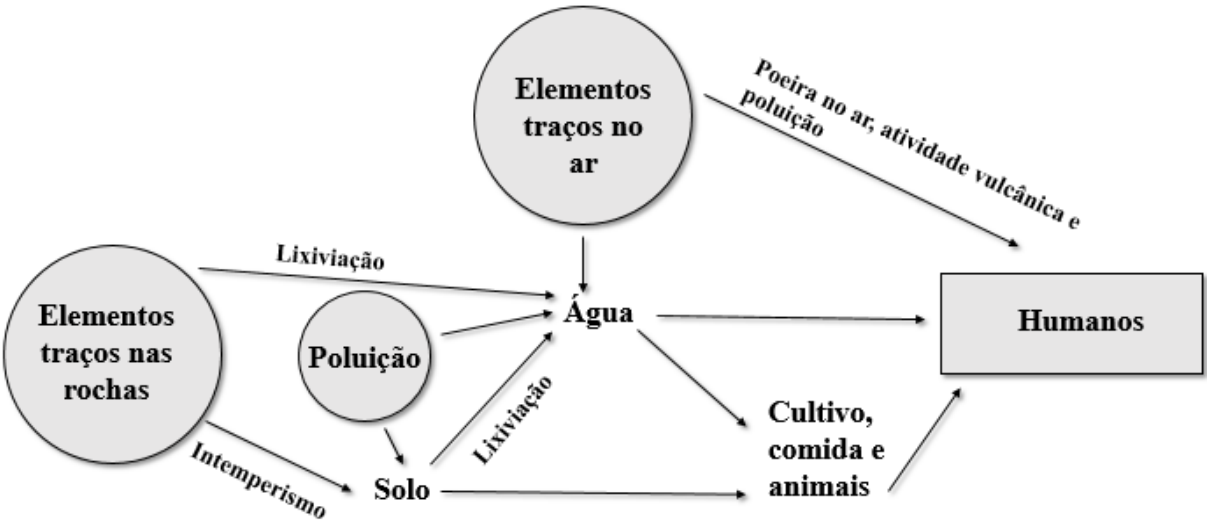
Segundo Lemes (2001), “toxicidade é a propriedade dos agentes tóxicos de promoverem efeitos nocivos às estruturas biológicas, através de interações físico-químicas”. Há várias formas de exposição de um organismo a agentes tóxicos no meio ambiente em geral, seja pela presença no alimento ou na água, para estes agentes, como os metais pesados, existe um potencial tóxico mínimo, haja vista que, durante a evolução da vida, os animais e as plantas desenvolveram certa resistência. Como, por exemplo, no caso do alumínio, ferro e manganês que apresentam pouca toxicidade em indivíduos normais, mas outros metais menos abundantes como chumbo e mercúrio, apresentam alta toxicidade.

A poluição por mercúrio e outros metais são comuns em áreas de garimpo, afetam diversas regiões no Brasil, e em diversos casos as técnicas são rudimentares e com menor caráter técnico-operacional. De acordo com Ratnaike (2003), a derme funciona como barreira entre o meio ambiente e o organismo, mas está exposta a uma série de agentes tóxicos, e, conforme estudos, tem-se demonstrado a atividade carcinogênica dos metais sobre a pele humana.

Os metais são classificados em duas categorias: essenciais e não-essenciais. Os metais essenciais incluem cobre (Cu), zinco (Zn), níquel (Ni), ferro (Fe) e outros, são também chamados de micronutrientes ou oligonutrientes por serem necessários ao corpo humano em quantidades extremamente pequenas. Estes metais têm grande importância como reguladores em vários processos biológicos (TRINDADE, 2010; SARWAR *et al.*, 2017; SALEM *et al.*, 2000), e também integram moléculas importantes para o organismo, como o ferro na hemoglobina. Entretanto, em altos níveis mesmos os essenciais são prejudiciais à saúde humana. Os metais ditos não-essenciais oferecem grandes riscos aos processos biológicos por substituírem os metais essenciais nas estruturas das biomoléculas (SARWAR *et al.*, 2010), o que causa alteração ou inibição do funcionamento destas, além de causarem sérios danos à membrana e outras organelas celulares (SARWAR *et al.*, 2017). Portanto, os efeitos nocivos dos metais pesados aos organismos se dão tanto em altas concentrações quanto em deficiências alimentares (TRINDADE, 2010).

A contaminação por metais pesados se dá, principalmente através da ingestão de água contaminada ou de peixes e outros animais que sofreram bioacumulação desses metais, e da inalação de ar contaminado com fumaça industrial, como pode ser visto na Figura 2. A toxicidade dos metais está relacionada à dose ou tempo de exposição, além das características do elemento e da forma de absorção (LEMES, 2001).

Figura 2. Caminhos pelos quais elementos traços entram no corpo humano.



Fonte: Adaptado de SELINUS, 2004.

Muitos são os riscos que alguns metais pesados oferecem à saúde das pessoas, a seguir estão expostos os efeitos dos metais que foram mensurados neste trabalho:

- Cádmio (Cd): metal mutagênico e carcinogênico. Em baixas concentrações traz sintomas como tosse, dores de cabeça e vômitos, além de afetar órgãos reprodutores de alguns animais (SALEM *et al.*, 2000; LEMES, 2001). Em maiores quantidades se acumula no fígado e nos rins e causa perturbação no metabolismo do cálcio (hipercalciúria), o que pode levar à aparição de distúrbios ósseos, falha renal e anemia severa, além de causar também doenças cardiovasculares (SALEM *et al.*, 2000; LEMES, 2001; SHOKR *et al.*, 2016). As emissões de cádmio estão ligadas à queima de combustíveis fósseis, aplicação de fertilizantes, eliminação de esgoto, corrosão de tubos galvanizados e ao lançamento de despejos industriais, de mineração e metalurgia do zinco, chumbo e cobre. (SALEM *et al.*, 2000; LEMES, 2001; MORAES, 2010).
- Chumbo (Pb): um elemento danoso mesmo em baixas concentrações. O chumbo está ligado à contaminação por efluentes industriais ou de minas (LEMES, 2001) e pode entrar no corpo humano por inalação de poeira contaminada ou de gases residuais da gasolina e também por ingestão de alimentos que contenham esse metal, principalmente peixes de águas contaminadas. O corpo humano expele boa quantidade de chumbo na urina, diminuindo o risco de bioacumulação, no entanto, ainda existe risco, particularmente em crianças. Chumbo, assim como o cádmio, pode causar falhas renais, além de doenças cardiovasculares (hipertensão) e

neurológicas permanentes, como perda de memória de curto prazo, problemas de coordenação, concentração (hiperatividade) e de audição, dores de cabeça, crescimento lento, problemas reprodutivos e digestivos, dores musculares e articulares, podendo levar à morte ou danos permanentes ao sistema nervoso central (SALEM *et al.*, 2000; LEMES, 2001; SHOKR *et al.*, 2016). Estudos recentes conectam a presença de chumbo no organismo à propensão de se cometer algum crime e ao comportamento antissocial em crianças (USGAO, 2000 *apud* SALEM *et al.*, 2000).

- Cobre (Cu): o cobre é um metal essencial ao corpo humano, sua falta provoca anemia, inibição do crescimento e problemas circulatórios (SELINUS, 2004). Por outro lado, altos níveis de cobre no corpo humano também podem resultar em anemia crônica, dor abdominal, vômitos, dor de cabeça, náuseas, irritação intestinal e diarreia, além de causar danos graves nos rins, cirrose hepática (SALEM *et al.*, 2000; SHOKR *et al.*, 2016) e Doença de Wilson (LEMES, 2001; SELINUS, 2004; MIRANDA, 2007).
- Níquel (Ni): está relacionado à rápida queda de cabelo. A inalação e (ou) ingestão deste metal pode causar câncer de pulmão, garganta e estômago. É imunotóxico, neurotóxico, genotóxico e hepatotóxico, além de estar sendo estudada a relação entre a exposição ao níquel e irritação dérmica (SALEM *et al.*, 2000; LEMES, 2001). O aumento de sua concentração nos cursos d'água está relacionado com a contaminação por efluentes industriais ou minas, além da corrosão de canalizações que contenham este metal (LEMES, 2001).
- Ferro (Fe): extremamente comum na natureza, sendo encontrado no solo e nos minerais na forma insolúvel e também em águas na forma solúvel. Pode ocorrer em maiores concentrações em áreas de mineração e com lançamento de efluentes industriais de metalurgia, e sua presença confere sabor e coloração avermelhada à água (LEMES, 2001). É essencial aos processos fisiológicos de todos os organismos. Nos seres humanos e nos animais, o ferro está presente nas hemoglobinas e em certas enzimas, e sua deficiência causa anemia. No entanto, apenas uma pequena quantidade de ferro é utilizada realmente pelo organismo e, quando há deficiência, é necessária ingestão por um longo período (MINEROPAR, 2001). Por outro lado, altas concentrações de ferro em águas potáveis podem promover a proliferação de ferrobactérias que, por sua vez, causam vômito e

prejudicam o fígado e os rins (LEMES, 2001). No organismo, excesso de ferro pode ser carcinogênico e causar hemocromatose, que corresponde ao acúmulo de ferro em alguns órgãos como o fígado, o que prejudica o funcionamento de suas células (SELINUS, 2004; MIRANDA, 2007).

- Manganês (Mn): também é um micronutriente essencial a todos os seres vivos e muito abundante em quase todos os solos (LEMES, 2001), sendo necessário para o desenvolvimento ósseo normal, reprodução e funcionamento do sistema nervoso central e, para flora, é essencial à produção de clorofila (LICHT, 2001). Sua deficiência está ligada a dificuldades reprodutivas e anomalias esqueléticas. O excesso de manganês, por sua vez, é teratogênico (malformações congênitas) e carcinogênico. Sua presença está ligada a solos ácidos, onde está disponível para o consumo e pode atingir concentrações perigosas, e, em solos alcalinos, ocorre em menores concentrações e sob a forma de complexos solúveis (LICHT, 2001; MINEROPAR, 2001).
- Zinco (Zn): o zinco é um dos oligonutrientes mais essenciais ao organismo, tendo funções catalisadoras, reguladoras e estruturais em algumas proteínas (CHASAPIS *et al.*, 2012), além de estar relacionado ao metabolismo do ácido nucléico, à reprodução e à maturidade sexual (MINEROPAR, 2001). Porém, em altas concentrações pode causar fadiga, tontura (HESS; SCHMID, 2002 *apud* SARWAR *et al.*, 2017), febre e diarreia (SELINUS, 2004), além de causar irritações à pele e estar ligado ao câncer de pulmão em áreas de emissões industriais (MINEROPAR, 2001).

Em suma, os principais sintomas de qualquer intoxicação química por metais pesados envolvem enfraquecimento do sistema imunológico, deixando todo o corpo exposto a falhas e doenças.

4 BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO JEQUITINHONHA

A intensificação do processo de exploração dos recursos naturais, tem aumentado a pressão sobre as bacias hidrográficas, elevando, assim os índices de contaminação. A gestão ineficaz desses recursos, associada ao aumento intensivo do uso da água, diminui a qualidade e disponibilidade desses recursos.

A bacia hidrográfica, sendo utilizada como unidade básica de planejamento, tem sido cada vez mais adotada em estudos socioeconômicos e ambientas, já que essa abordagem pode ser aplicada no planejamento e como possibilidade de expansão econômica de uma determinada região (ESPÍNDOLA, 2000 *apud* PINTO, 2010)

Espíndola (2000) *apud* Pinto (2010), afirma que:

> [...] a bacia hidrográfica tem sido adotada como unidade físico-territorial básica para o planejamento e a gestão de recursos naturais, principalmente hídricos. Sendo a água de um manancial o resultado da drenagem de sua bacia, sua qualidade e, portanto, suas características físicas, químicas, biológicas e ecológicas encontram-se sempre na dependência direta das ações (uso e ocupação) que se realizam no solo dessa bacia.

Sendo assim, a bacia hidrográfica acaba tornando-se excelente unidade de estudo e planejamento, voltada para a qualidade ambiental e sustentabilidade do sistema. Os projetos de uso, sustentabilidade e proteção dos recursos hídricos devem ser voltados para condições amplas, já que, a interação desse sistema perpassa em aspectos éticos, culturais e econômicas, ou seja, a interação o social, construído e natural (PINTO, 2010).

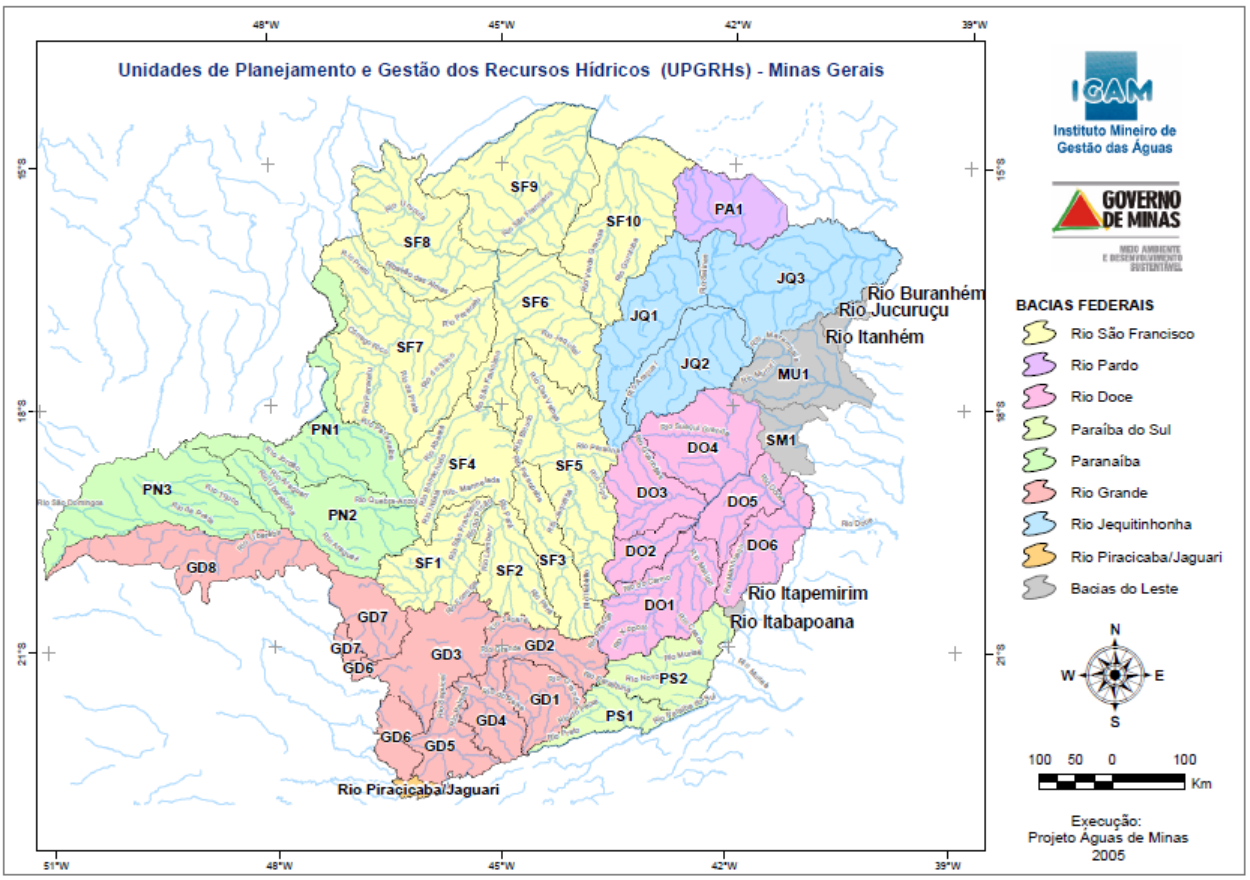
4.1 Localização

O rio Jequitinhonha, com 1004 km de extensão, é o principal curso d'água da bacia hidrográfica que recebe seu nome. Sua bacia possui 65.751 km² de área em território de Minas Gerais e 4.564 km² no estado da Bahia, totalizando 70.315 km², abrangendo população de aproximadamente 977.800 pessoas. A nascente do rio Jequitinhonha está localizada no município de Serro (MG), na Serra do Espinhaço Meridional. A partir daí percorre a porção nordeste de Minas Gerais, abrangendo 63 municípios, até sua foz no estado da Bahia, onde percorre 7 municípios, até Belmonte na Bahia (BA), desaguando no Oceano Atlântico (IGAM, 2015; IGAM, 2016).

No estado de Minas Gerais a bacia é subdividida em três Unidades de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH), segundo o IGAM (2016), como está representado no Mapa 1 1, sendo as unidades de planejamento:

- JQ1: Alto rio Jequitinhonha (19.855 km²), abrange da nascente à confluência com o rio Salinas, e um total de dez municípios;
- JQ2: Rio Araçuaí (16.280 km²), abrange 21 municípios; e
- JQ3: Médio e baixo rio Jequitinhonha (29.617 km²), compreende a área após a JQ1 até a divisa do estado, com exceção da bacia do rio Araçuaí, e um total de 29 municípios.

Mapa 1. Mapa de localização da bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais e das Unidades de planejamento e gestão definidas pela Deliberação Normativa CERH-MG nº6, de 04/10/2002.



Fonte: IGAM, 2005.

A área de estudo abrange pequena porção da bacia do rio Jequitinhonha, às margens desse rio, denominada garimpo Areinha. Esta área encontra-se à nordeste do município de Diamantina (MG), a cerca de 300 km de distância da capital do estado, Belo Horizonte. A extensão da área é de 9 km, referenciada pelas coordenadas geográficas -17°54’21’’S; -43°30’01’’O e -17°57’19’’S; -43°31’18’’O. O acesso ao local, partindo de Diamantina, percorre-se pela BR-367 por 30 km até o distrito de Mendanha, desse local, segue-se por uma estrada vicinal por mais 30 km até o local do garimpo.

4.2 Antecedentes

A extração mineral é uma atividade milenar, e, no Brasil, essa atividade serviu de guia para o processo de colonização, sobretudo com as expedições bandeirantes para o interior do país. Porém, segundo Matta (2006), as áreas de exploração mineral mais antigas se utilizavam de técnicas inadequadas de lavra e não possuíam qualquer plano de recuperação ou controle de impacto ambiental, uma vez que as ideias de controle ambiental e os princípios de sustentabilidade surgiram apenas nas décadas mais recentes.

Os garimpos representam a maior parte da exploração mineral de gemas nas regiões norte e nordeste de Minas Gerais e, sendo executada, em sua maioria, por garimpeiros de baixa escolaridade, há muito desperdício de bens minerais, como quartzo, feldspatos potássicos, micas, albita, berilo não-gemológico, ambligonita, espodumênio etc., que são descartados ou acumulados indevidamente no local (TAVARES, CASTAÑEDA; SOARES, 2007).

No início do século XVIII, com a descoberta oficial do diamante no ano de 1729, atribuída a Bernardo da Fonseca Lobo, as atividades de garimpo se intensificaram na região de Diamantina (CHAVES; SVISERO, 1999; OLIVEIRA; VIEIRA, 2012) e, no final desse século, a expansão bandeirante deu ao estado de Minas Gerais relevância nacional, devido à grande quantidade de ouro e diamante. O município de Diamantina, inicialmente conhecido como Arraial do Tijuco, surgiu nesse contexto de expansão e exploração intensa, mantendo por mais de três séculos a exploração mineral nos alúvios, com rápido e desordenado aumento populacional (PEREIRA, 2005).

Segundo Martins (2009), com essa descoberta do diamante, as autoridades portuguesas se viram forçadas a criar mecanismos de controle e fiscalização da mineração de gemas nessa região, de maneira a evitar que os mercados europeus ficassem inundados com esses minerais, afetando seu preço. Quando a coroa criou o Regime dos Contratos (1739-1771), o garimpo ficou proibido, sendo considerado atividade ilegal e os garimpeiros foram perseguidos e aprisionados.

Mesmo assim, no século XIX, a região da antiga Demarcação Diamantina ainda era movimentada pelos intensos serviços de lavra e pela exploração diamantífera, sendo os garimpeiros os responsáveis pelos achados de diamante, rapidamente tomados pelos grandes mineradores (MARTINS, 2009; MARTINS, 2012). Os rios Jequitinhonha, Araçuaí, Piauí e Itacambirucu, ricos em ouro, diamante e pedras preciosas despertaram grande interesse em

brasileiros e estrangeiros desde o século XIX às décadas iniciais do século XX (MARTINS, 2008).

Diamantina possuía, entre as décadas de 1860 e 1870, o registro das principais áreas de mineração da região que englobavam: Rio Pardo Pequeno, Caldeirões, Jequitinhonha, Córrego do Quilombo, Bambá, Serrinha, Datas, Riacho das Varas, Rio das Pedras e Caeté-Mirim. Sendo o distrito de Mendanha, situado a cerca de 30 km ao norte de Diamantina, um dos principais centros de mineração da região (MARTINS, 2012).

Após a expansão do garimpo nessas áreas, Diamantina passou a ser considerada como a maior lavra de pedras preciosas do mundo ocidental, e os diamantes que saíam da região distribuíam riquezas pelo país e pelo mundo. Com a grande importância destas áreas para o setor econômico, em meados do século XX, foram introduzidas bombas nos garimpos, que faziam com que as atividades passassem de exclusivamente manuais para semi-mecanizadas.

A área de garimpo, situada na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, próxima ao município de Diamantina, é denominada Areinha e constitui uma das principais áreas de extração e lavra da região. Segundo a Cooperativa Regional Garimpeira de Diamantina (COOPERGADI, 2013), o garimpo Areinha é explorado por cerca de quatro mil homens ligados direta ou indiretamente às atividades minerárias.

As primeiras extrações mecanizadas no garimpo Areinha datam de 1962, com a fundação da empresa Tejucana S.A, e, no ano de 1988, com o início da extração de diamante e ouro nos aluviões pela empresa Mineração Rio Novo (MRN) do Grupo Andrade Gutierrez (SCLIAR, 2006). A operação de grandes dragas de alcatruzes e de sucção (Figura 3) se deu na região do médio curso do Jequitinhonha, onde os aluviões são mais largos, sendo este tipo de maquinário responsável pela extração dos sedimentos do rio, fazendo com que a atividade fosse realizada de maneira ainda mais intensa, o que aumentou muito a turbidez e o assoreamento do rio Jequitinhonha desde então (MARTINS, 2008). Em contrapartida, o alto curso do rio Jequitinhonha se apresenta em vales mais estreitos, com formação de *canyons* entalhados sobre as rochas quartzíticas, raramente excedendo 20 m de largura, portanto, nesta porção do rio, apenas atividades garimpeiras se mostram viáveis (CHAVES, CHAMBEL, 2004).

Figura 3. Dragas de alcatruzes em operação no depósito aluvionar no rio Jequitinhonha, ("Maria Bonita", à esquerda), tendo à frente (à direita) a draga de sucção do recobrimento arenoso estéril (foto cedida pela MRN).

Fonte: CHAVES; CHAMBEL, 2004.

A MRN desenvolveu um programa de lavra com o Projeto Domingas, realizando a extração ao longo de 28 km do rio Jequitinhonha, entre os municípios de Couto de Magalhães de Minas e Diamantina. Dentre as concessões, a MRN desenvolveu a lavra com base em Licenças de Operação concedidas pelo Conselho Estadual de Política Ambiental (COPAM), nos Processos Administrativos Nº 090/85/04/88 e 090/85/08/93, tendo como base os estudos realizados pelo Plano de Controle Ambiental (PCA) e Plano de Recuperação de Áreas Degradadas (PRAD), aprovados pela Fundação Estadual do Meio Ambiente (FEAM) em 1990.

No ano de 1989, o Instituto Brasileiro e Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) interditou as atividades realizadas na região, de acordo com a Lei Federal 6.938/81 e com o decreto 88.351/83, devido ao estado crítico de poluição em que se encontrava o rio Jequitinhonha e a necessidade de abastecimento de água nos municípios a jusante do rio. Dois meses depois, no entanto, as atividades foram retomadas aos poucos, asseguradas pela assinatura de termos de compromisso entre os garimpeiros e a FEAM (MARTINS, 2009).

Buscando regulamentar a situação do garimpo na região de Diamantina, segundo Martins (2007), em 1989, formou-se em Diamantina a COOPERGADI, com as metas principais de obtenção de concessões para a pesquisa e lavra de jazidas garimpáveis, promoção econômico-social dos garimpeiros e aperfeiçoamento da legislação de acordo com os interesses dos garimpeiros. Os membros eram compostos pelos proprietários de bombas e de garimpos.

Ao longo dos anos, o Ministério Público de Diamantina denunciou graves ações contra os garimpeiros, que envolviam processos de degradação ambiental, sonegação fiscal e exploração do trabalho infantil. Novamente, as frentes de lavra foram suspendidas e, em 1995, desencadeou-se a "Operação Jequitinhonha", articulada pela Polícia Florestal, Instituto Estadual de Florestas (IEF), FEAM e pelo IBAMA, quando diversas lavras no rio Jequitinhonha, entre Maria Nunes e Caçaratiba, foram embargadas (MARTINS, 2007). Em 2006, a MRN, considerando inviável a permanência e extração no garimpo Areinha, encerrou suas atividades no local, deixando um passivo ambiental considerável na área.

A atividade de extração dos garimpos no estado de Minas Gerais é considerada problema socioambiental de relevância, pois as técnicas utilizadas, quando artesanais, expõem os garimpeiros ao contato direto com os rejeitos e possíveis reagentes utilizados nos processos de extração, podendo causar problemas à saúde dos trabalhadores e da população envolvidos no processo, além dos prejuízos para a fauna e flora expostas na região. Conforme Martins (2009), em 2001, estimava-se que haviam 30 mil pessoas envolvidas com as atividades garimpeiras na região de Diamantina, e sua renda média mensal era de 2,5 salários mínimos.

A COOPERGADI propõe para a manutenção e preservação do ambiente e do desenvolvimento socioeconômico da região do rio Jequitinhonha não a restrição da extração garimpeira, mas a criação de leis que tornem legais essas atividades, com a regulamentação das atividades existentes, para que haja, por meio do licenciamento, a instituição e exigência dos instrumentos de conservação e restauração do ambiente degradado (COOPERGADI, 2013).

3.3 Vegetação e mata ciliar

A vegetação na bacia do rio Jequitinhonha está relacionada à composição do solo na região que, segundo Ferreira (2007), apresenta classes de solos predominantes compostas por Cambissolos, Latossolos, e em especial na região do Supergrupo Espinhaço com ocorrência de manchas de Neossolos, afloramentos rochosos, areias quartzozas e solos aluviais. De uma forma geral, alguns solos da região são de baixa produtividade e quando degradados a recuperação fica inviável economicamente.

Nas margens do rio Jequitinhonha e dos seus principais afluentes, principalmente nas áreas mais planas, tem-se a mata ciliar composta por vegetação mais exuberante. Segundo Lacerda (2005), a vegetação das áreas mais elevadas, onde predominam Litossolos, apresentam-se com "troncos tortuosos, ramos retorcidos, cascas espessas e folhas grossas",

além de raízes profundas, chegando a mais de quinze metros no subsolo, importante para alcançarem o lençol freático, características estas que formam o ecossistema dos campos rupestres.

Em algumas áreas da região de Diamantina, tem-se alto endemismo para algumas diversidades de flora. Segundo Costa (2005, p.141) nessa região:

> As condições de clima, relevo e solo, favorecem o desenvolvimento de uma flora típica, com várias fitofisionomias: floresta estacional semidecidual, cerrado ralo, cerradão, cerrado rupestre, campo limpo, campo limpo úmido e campo rupestre, apresentando uma fauna de repteis, mamíferos, avifauna e animais aquáticos.

Entretanto, a vegetação na região vem sendo agredida com a retirada para a abertura de cavas, com isso o prejuízo é visível, pois se faz necessária a retirada da vegetação ciliar/galeria para abrir e limpar os locais onde estão sendo realizadas as extrações, como é possível observar na Figura 4 (A-B).

Figura 4. A. Formação de bancos de deposição de material detríticos na região do meandro Saco do Otávio. B. Visão panorâmica de uma porção a área de garimpo, clareira nas margens do rio Jequitinhonha).

Fonte: ARAÚJO, 2016.

4.3 Geologia

A área de estudo compreende a geologia das unidades da Serra do Espinhaço (SdE), que abriga as nascentes do rio Jequitinhonha. A SdE perpassa os limites da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha e estende-se até o estado da Bahia, surgindo uma sequência de serras de 1000 km de extensão e entre 50 e 100 km de largura. A formação dessa cadeia rochosa está associada aos movimentos geológicos responsáveis pela junção e fragmentação de continentes ao longo do tempo geológico, Lacerda (2005) afirma que:

> A espinha dorsal formada por essas serras é uma evidência da dinâmica geológica que suturou, no meio do continente, uma antiga área de contato de placas tectônicas. A antiga cordilheira do Espinhaço se formou em torno dos limites convergentes de placas tectônicas há 650 m.a. (milhões de anos). A faixa de colisão de placas

> ocasionou o mergulho de uma sob a outra em uma zona de intenso magmatismo a partir de processos de fusão parcial da crosta que soergueu e gerou uma das mais intensas atividades geológicas do planeta: a orogênese (TASSINARI, 2000 *apud* LACERDA, 2005).

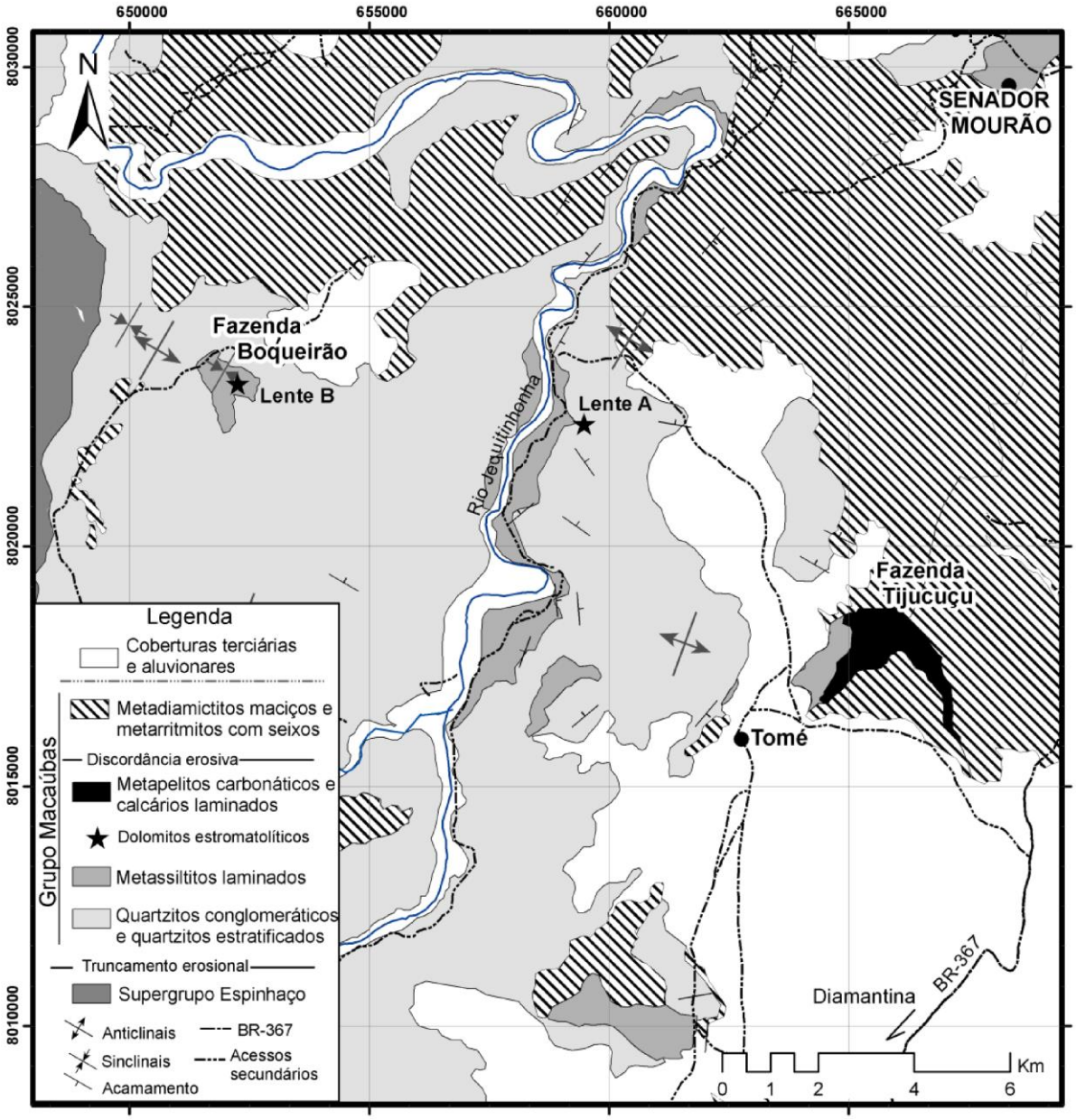
Pode-se caracterizar a Serra do Espinhaço pela predominância absoluta de quartzitos, que compõem uma cobertura rígida, mas com a presença de fraturas e cisalhamentos em toda a sua extensão:

> As formas de relevo resultantes de sua esculturação pela dissecação fluvial são representadas, majoritariamente, por cristas, escarpas e vales profundos adaptados às direções tectônicas estruturais. Ressalta-se que a evolução geomorfológica da Serra do Espinhaço foi condicionada pelos fatores estruturais, morfoestruturais, morfotectônicos e paleoclimáticos. As superfícies de aplainamento paleogênicas encontram-se representadas pelos planaltos com alinhamentos de cristas e com monadnocks quartzíticos (SAADI, 1995).

A Serra do Espinhaço Meridional (SdEM), é uma porção dessa área, uma faixa orogênica que limita o sudeste do Cráton do São Francisco, e se estende em direção nordeste até a Faixa Araçuaí. A SdEM, estende-se por 300 km, da direção N-S, desde o Quadrilátero Ferrífero até a cidade de Olhos d'Água. Toda região Meridional é edificada pelas rochas quartzíticas, filíticas, conglomerados e vulcânicas (básicas e ácidos) (ALMEIDA ABREU, 1995).

O substrato rochoso da área compõe-se a partir de quartzitos e metaconglomerados da Formação Sopa-Brumadinho e quartzitos finos da Formação Galho do Miguel, sendo essas encontradas na porção oeste da SdE. Ali essas formações se misturam às rochas metassedimentares basais do Grupo Macaúbas, que estão presentes também na porção nordeste da SdE, onde se agrupam na Formação Duas Barras (metassedimentos siliciclásticos) ou na Formação Domingas (metapelitos e dolomitos) (Mapa 2) (FRAGA, 2013).

Mapa 2. Mapa geológico simplificado da região nordeste da Serra do Espinhaço Meridional, no segmento fluvial do Rio Jequitinhonha.



Fonte: FRAGA, 2013.

Ferreira (2007), ainda afirma que a composição estratigráfica do Grupo Macaúbas se dá a partir de:

> Rochas xistosas do Grupo Macaúbas ocorrem em uma vasta área da bacia do Jequitinhonha, desde os flancos da serra do Espinhaço à região ocupada pelos municípios de Novo Cruzeiro, Araçuaí, Coronel Murta, Rubelita e Salinas. Estão dispostas discordantemente sobre diversas unidades arqueanas e, secundariamente, sobre rochas do Supergrupo Espinhaço. Conforme já mencionado, expressivas áreas de rochas xistosas estão cobertas pelas coberturas detríticas cenozoicas.

Por sua vez, a formação de sedimentação de material na região é explicada pelo processo de formação geológica. Como afirma Lacerda (2005), os conglomerados da região foram formados há 1,7 bilhões de anos, durante o Proterozóico Médio, quando se formou o Supergrupo Espinhaço. Neste período, com a formação de um mar continental, houve deposição de materiais sedimentares no fundo, bem como os diamantes. Mais tarde, há 1,2 bilhões de anos, esse mar se retraiu dando lugar as rochas vulcânicas e arenitos, os quais sofreram, no Proterozóico Superior (550 milhões de anos), altas pressões e temperaturas, transformando-se nos quartizitos da região.

A região elevada do planalto do Espinhaço divide as depressões que formam as bacias do rio São Francisco, do rio Doce e do Jequitinhonha. Essa elevação se deu pela ação de forças internas do manto terrestre que levantaram a crosta, o que fez com que os rios cavassem vales profundos para chegar até a região de desague. Durante esse processo, os arenitos foram empurrados nas direções leste/oeste, o que explica a caracterização do relevo com escarpas e cristais imponentes apontando para o oeste (LACERDA, 2005).

4.4 Geomorfologia e geomorfologia fluvial

Na região de estudo, que compõe a Serra do Espinhaço, existe a predominância de falhas, fraturas e dobramentos. A bacia do rio Jequitinhonha apresenta relevos associados às características geológicas, e os agentes que moldam a região estão divididos em três formações, segundo Ferreira (2007):

1. Serra do Espinhaço: cristas, picos e colinas alinhados nas direções norte e sul, de 1000 a 1400 m de altitude. As encostas são bastante íngremes e os vales são profundos e encaixados, dividindo as bacias do rio Jequitinhonha e do rio São Francisco.
2. Planaltos do rio Jequitinhonha: situado na região alta e grande parte da região média da bacia. Há a presença de chapadas com 800 a 1100 m de altitude e pouca rede de drenagem.
3. Depressão do Jequitinhonha: área baixa ao longo do vale do rio Jequitinhonha e de alguns de seus afluentes com altitudes de 150 a 400 m.

O garimpo Areinha está localizado no compartimento geomorfológico denominado Espinhaço Meridional (SdEM), mais especificamente na depressão do rio Jequitinhonha. No

canal fluvial do rio Jequitinhonha, próximo à nascente, o fluxo se mostra com maior turbulência e com maior transporte de sedimentos, pois é esta área que apresenta maior declividade. No decorrer do médio e baixo curso, o trecho apresenta características de fluxo laminar.

Devido à intensa atividade antrópica grande parte do canal original encontra-se alterado, modificando a dinâmica fluvial. Os prejuízos topográficos são evidenciados devido à escavação dos canais, há deposição de material próximo às catas. Diante disso, a topografia original, bem como a configuração geomorfológica da área, está sendo intensamente alterada, como pode ser visto nas Figura 5 (A-B) e Figura 6 (A-B-C-D-E), o que acaba, também, por favorecer a aceleração dos processos erosivos e de deposição de sedimentos.

Figura 5. A. e B. Bacias de retenção nas margens do rio Jequitinhonha.

Fonte: ARAÚJO, 2015.

Figura 6. A. e B. Alterações na morfologia ao longo do canal fluvial do rio Jequitinhonha no segmento garimpo Areinha.

Fonte: ARAÚJO, 2015.

C. Processo de garimpagem com draga.

Fonte: ARAÚJO, 2016.

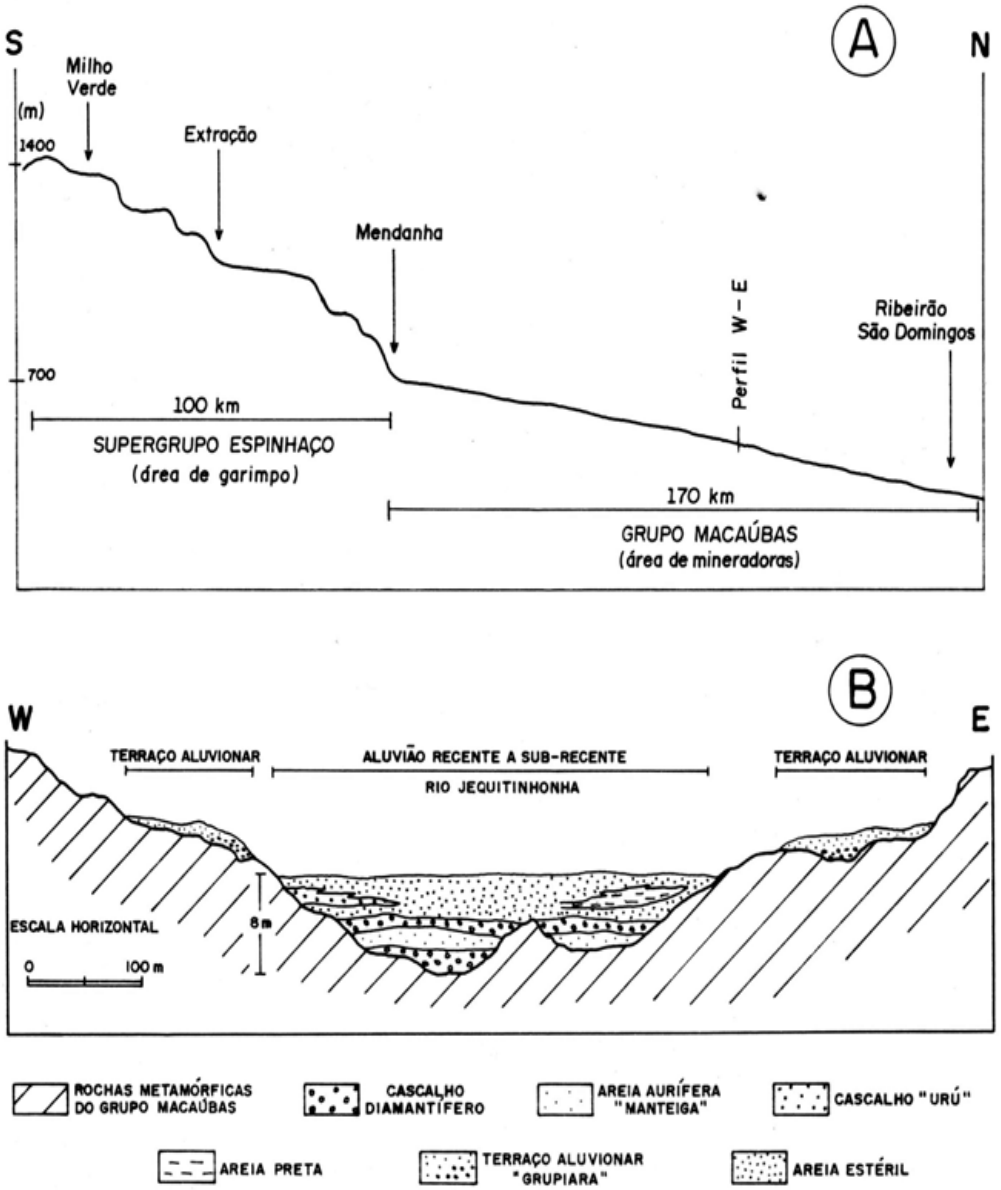
D. Alterações na morfologia do canal. Fotografia panorâmica representando a área de garimpo, na faixa percebe-se a formação de uma "ilha", provavelmente proveniente do aumento da deposição do material detrítico.

E. Depósito de sedimentos (visada direita) ao longo do canal fluvial.

Fonte: DIAS, 2016.

O perfil topográfico da região de mineração é caracterizado pela expressiva queda no gradiente do rio Jequitinhonha de 1400-1200 m para 700-600 m, concentrando os diamantes nesse trecho (Figura 7 A-B). Nesta área localidade, o rio se desenvolve em aluviões largos, com até um quilômetro de largura, com cascalhos de espessura média de até 4 m (CHAVES e CHAMBEL, 2004).

Figura 7. A. Esquema do rio Jequitinhonha, nas proximidades do alto curso (Distrito de Milho Verde - Serro), até o declive de seu gradiente (Distrito de Mendanha – Diamantina). B. Seção transversal à calha do rio em seu médio curso, nas proximidades da área de estudo.



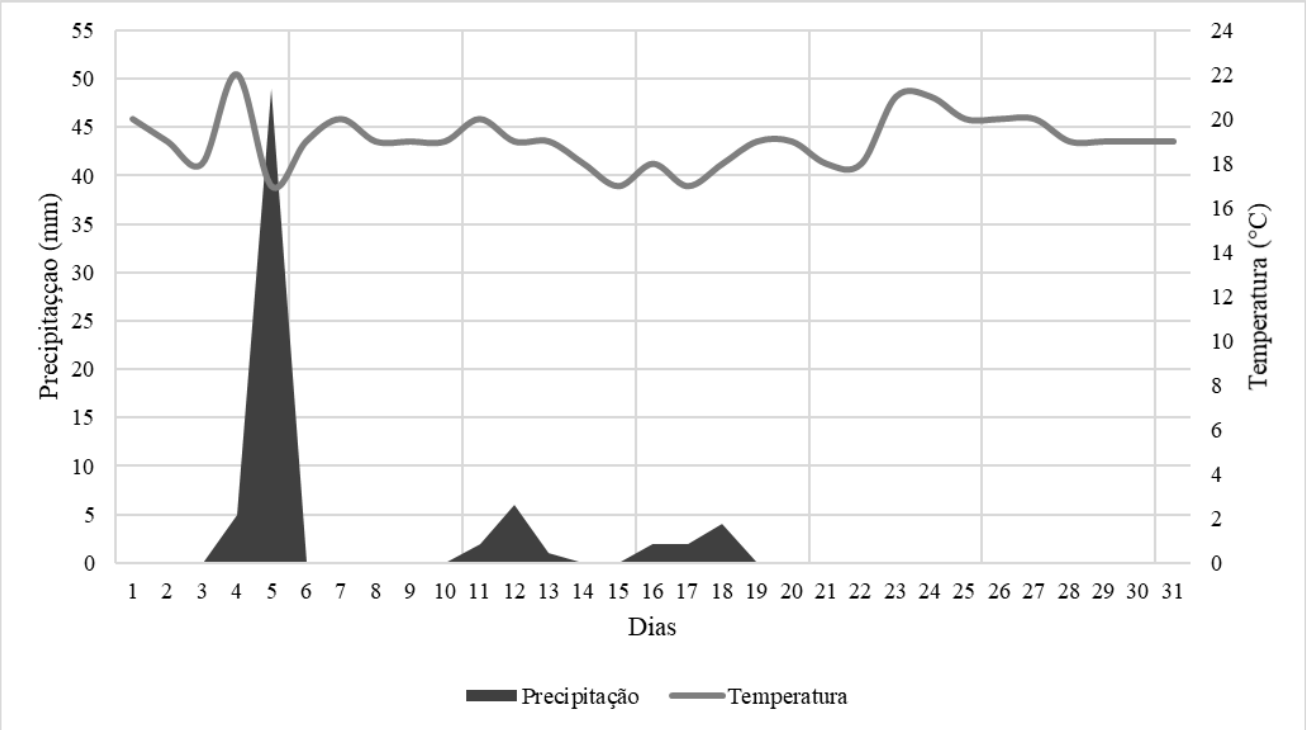
Fonte: CHAVES e CHAMBEL, 2004.

4.5 Clima

O clima da área de pesquisa é classificado como CWb Tropical de Altitude com invernos secos e chuvas no verão. O regime térmico é caracterizado por temperaturas médias mensais: janeiro em torno de 24°C a 23°C, junho e julho 18°C a 17°C, a média pluviométrica anual é aproximadamente de 1300 mm a 1500 mm (NEVES; ABREU; FRAGA, 2005, p. 48).

Mesmo com o regime de chuvas intensas e exposição ao intemperismo por milhares de anos a Serra do Espinhaço apresenta as maiores altitudes do Vale do Jequitinhonha, e com a influência da altitude, os ventos, vindos de leste, da região litorânea, elevam-se nas barreiras naturais das serras, ocasionando as chuvas orográficas. Quanto aos dados pluviométricos, a maior parte da região apresenta concentração da precipitação média anual de 1518 mm (LACERDA, 2005). O Gráfico 1 demostra os valores da precipitação e da temperatura em Diamantina, durante os dias do mês de março de 2016.

Gráfico 1. Valores médios de precipitação e temperatura em Diamantina, MG.



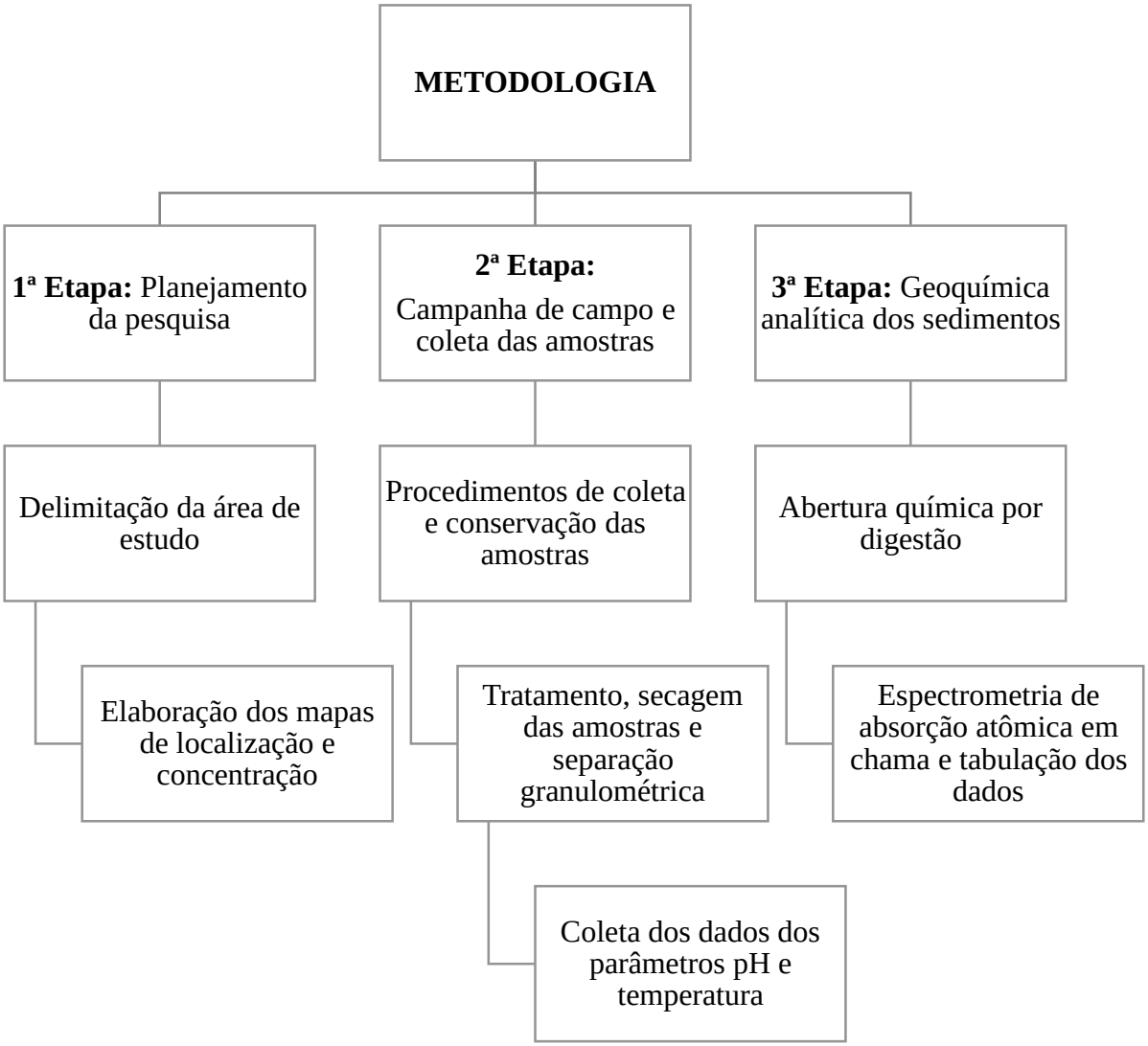
Fonte: Dados do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), 2017.

5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Os procedimentos utilizados para esta pesquisa consistiram em caráter exploratório observacional e se caracterizaram pela abordagem de caráter qualitativo e quantitativo. Quantitativo, por mensurar os níveis dos elementos químicos presentes nos sedimentos do trecho assinalado do rio Jequitinhonha e compará-los com os valores de referência das legislações vigentes. E qualitativo pela compreensão associada da contaminação ambiental associado ao impacto à saúde da população. O planejamento da pesquisa para a área da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha envolveu procedimentos aplicados em metodologias para determinação de metais pesados nos sedimentos.

Com o objetivo de nortear a pesquisa, algumas atividades são importantes para o desenvolvimento do projeto, as quais estão divididas em três etapas principais: 1ª etapa com o planejamento da pesquisa, delimitação da área de estudo e elaboração de mapas de localização e concentração; a 2ª etapa consistiu na campanha de campo, procedimentos de coleta e conservação; e na 3ª etapa, onde foi realizada a geoquímica analítica dos sedimentos, a abertura química por digestão, a leitura dos metais por espectrometria de absorção atômica por chama e a tabulação de dados e análise estatística, como pode ser observado na Figura 8.

Figura 8. Fluxograma metodológico.



O desenvolvimento da pesquisa contou com a colaboração de membros e técnicos da COOPERGADI, que proporcionaram apoio técnico, com a apresentação da área de garimpo. O deslocamento para as campanhas de campo contou com o apoio do PPGSaSA. Para as análises das amostras coletadas em campo, contou-se com apoio do Laboratório de Geoquímica Ambiental (LGA), localizado no Centro de Geociências (CeGeo), onde as amostram foram secadas e peneiradas. No Laboratório de Bioprocessos e Tecnologia Ambiental do curso de Engenharia Química do Instituto de Ciência e Tecnologia (ICT), foi realizada a abertura química por digestão das amostras de sedimento, e as leituras das amostras no espectrômetro de absorção atômica em chama (*Flame Atomic Absorption Spectrometry - FAAS*) foram

realizadas no Laboratório Integrado de Pesquisa Multiusuário dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri **(**LIPEMVALE), todos situados no Campus JK da UFVJM, em Diamantina (MG).

5.1 Primeira etapa: Planejamento da pesquisa

Na primeira fase da pesquisa foram realizados os levantamentos bibliográficos, cartográficos e os estudos sobre contaminação com metais pesados e os possíveis riscos à saúde humana. A revisão bibliográfica sobre os aspectos da saúde influenciados pelo ambiente físico foi abordada nessa fase de pesquisa, associando com o contexto de caráter socioeconômico e ambiental da área pesquisada, para dar suporte à discussão sobre os resultados obtidos no estudo.

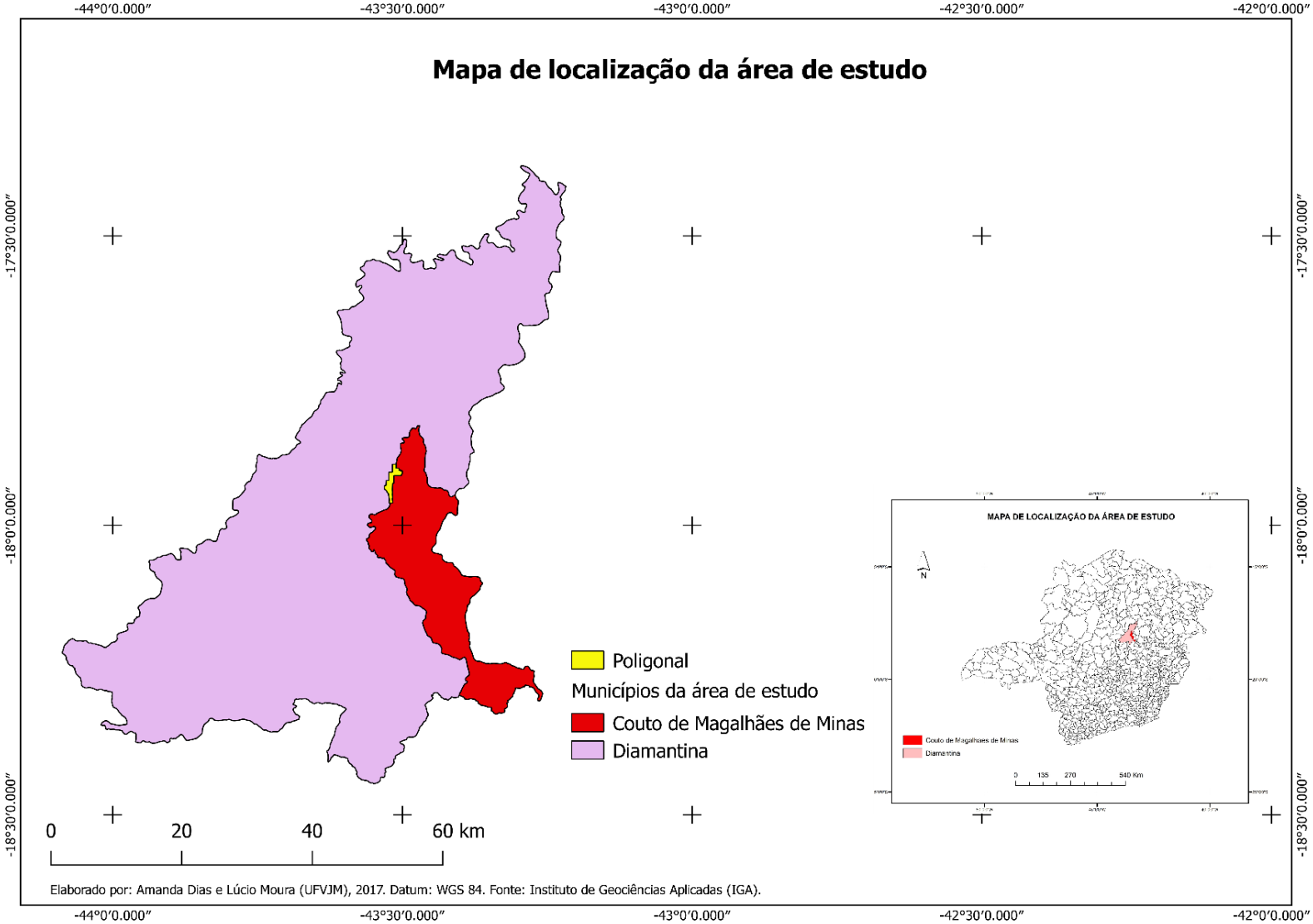
Os pontos de coleta seguiram a metodologia proposta por Baggio (2008) onde as técnicas utilizadas para escolha dos pontos tendem a observar e considerar o eixo principal de drenagem do rio, abrangendo as variações na paisagem que refletem nos diferentes tipos de unidades litológicas e materiais de origem, os compartimentos geomórficos com suas variações topográficas e as diferentes formações vegetacionais, além do tipo, uso e ocupação do solo.

5.1.1 Delimitação da área de estudo

A área para coleta das amostras, foi delimitada em parceria com a COOPERGADI, e se restringiu à área de abrangência da cooperativa que encontra-se em fase de licenciamento ambiental. A área está cadastrada no Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM), sob o registro n°. 830663/2013 para fins de licenciamento ambiental, que se encontrava, nesta fase de elaboração do trabalho, nas fases de tramitação legal.

A área registrada possui 9 km de extensão (Mapa 3), e os pontos inseridos no interior da poligonal distribuídos ao longo do canal fluvial, nas entradas de pequenos afluentes e nas bacias de retenção, totalizando 13 pontos de coletas. Todos os pontos amostrados foram georreferenciados com o *Global Position Sytem* (GPSmap 76csx) da marca Garmin®, a fim de posteriormente serem referenciados nos mapas de amostragem.

Mapa 3. Localização da área de estudo.



5.1.2 Elaboração dos mapas de localização e de concentração dos elementos

As bases cartográficas utilizadas foram as cartas topográficas Curimataí Folha SE-23-X-C-VI e Carbonita Folha SE-X-D-IV, ambas com escala de 1:100.000 do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), impressão 1977 e Datum Córrego Alegre.

Foi elaborado um mapa de localização da área de estudo com a utilização de bases de dados disponíveis em sites como o Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), onde localizaram-se as bases dos municípios de Diamantina e Couto Magalhães de Minas.

O mapa de localização dos pontos de amostragem, tem como base os dados coletados em campo pelo GPS, e a imagem de satélite do Landsat 8 (orbita 218/Ponto 072/Diamantina), datada do dia 23/12/2016, que se encontra disponível no site do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Os mapas com os níveis de concentração dos elementos químicos, foram elaborados por meio dos resultados obtidos das análises geoquímicas, e posteriormente, foram especializadas de acordo com a localização dos pontos de coleta. Todos os mapas citados foram construídos utilizando o *software* Quantum Gis® 2.14.16.

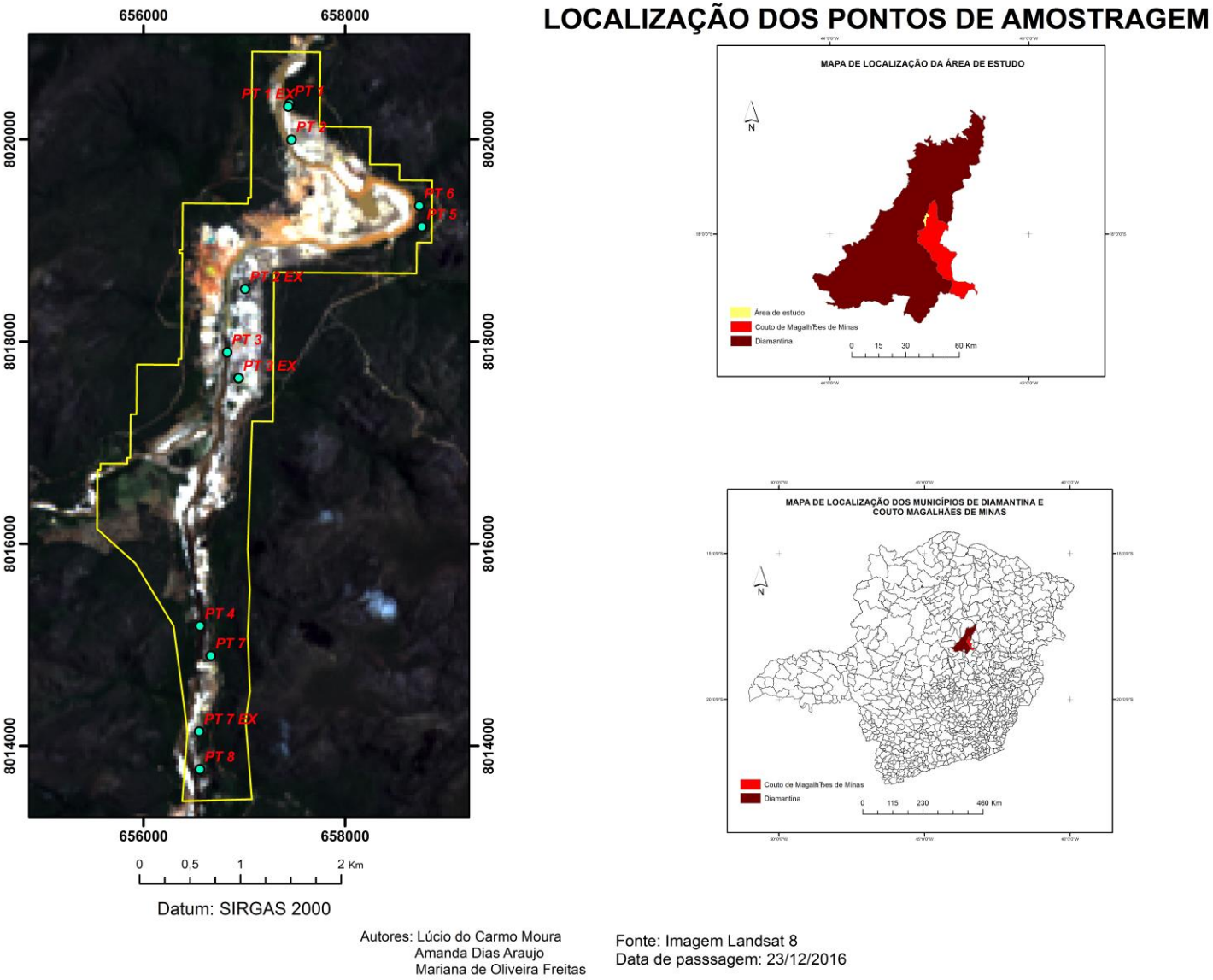
5.2 Segunda etapa: Campanha de campo e coleta das amostras

Na área ambiental, os trabalhos de campo são fundamentais para os desenvolvimentos das pesquisas na medida em que possibilita a identificação dos pontos de coleta. Nesta pesquisa, o campo foi essencial para conhecimento da área da poligonal da COOPERGADI. Conforme mostra a Tabela 1, os pontos foram selecionados no trecho principal do rio Jequitinhonha, em ponto com afluente do rio, nas bacias de retenção e um ponto fora da poligonal da Cooperativa, nas proximidades da entrada para o distrito de Mendanha, as margens da rodovia BR-367. Na segunda etapa foi realizada a campanha de campo para as coletas das amostras e a preparação do material coletado para as análises totalizando 13 amostras de sedimentos, como representa o Mapa 4.

Tabela 1. Pontos de amostragem.

Pontos	Y-UTM	X-UTM	Altitude (m)	Comentário
Ponto 1	8020352	657452	655	Trecho do rio Jequitinhonha e final da poligonal da COOPERGADI.
Ponto 1 Extra	8020323	657436	653	Bacia de retenção.
Ponto 2	8019995	657469	655	Trecho do rio Jequitinhonha.
Ponto 2 Extra	8018519	657009	658	Trecho com matéria inorgânica.
Ponto 3	8017887	656831	658	Trecho do rio Jequitinhonha.
Ponto 3 Extra	8017640	656938	663	Bacia de retenção.
Ponto 4	8015187	656564	665	Trecho do rio Jequitinhonha, próxima a sede da COOPERGADI.
Ponto 5	8019137	658762	652	Afluente do rio Jequitinhonha.
Ponto 6	8019343	658737	652	Trecho do rio Jequitinhonha.
Ponto 7	8014890	656666	637	Trecho do rio Jequitinhonha.
Ponto 7 Extra	8014135	656553	637	Bacia de retenção.
Ponto 8	8013761	656559	653	Trecho do rio Jequitinhonha e início da poligonal da COOPERGADI.
Ponto 9	7996733	656263	667	Proximidade com o entroncamento para entrada do distrito de Mendanha.

Mapa 4. Localização dos pontos de amostragem.



Autores: Lúcio do Carmo Moura
Amanda Dias Araujo
Mariana de Oliveira Freitas

Fonte: Imagem Landsat 8
Data de passsagem: 23/12/2016

5.2.1 Procedimento de coleta e conservação das amostras

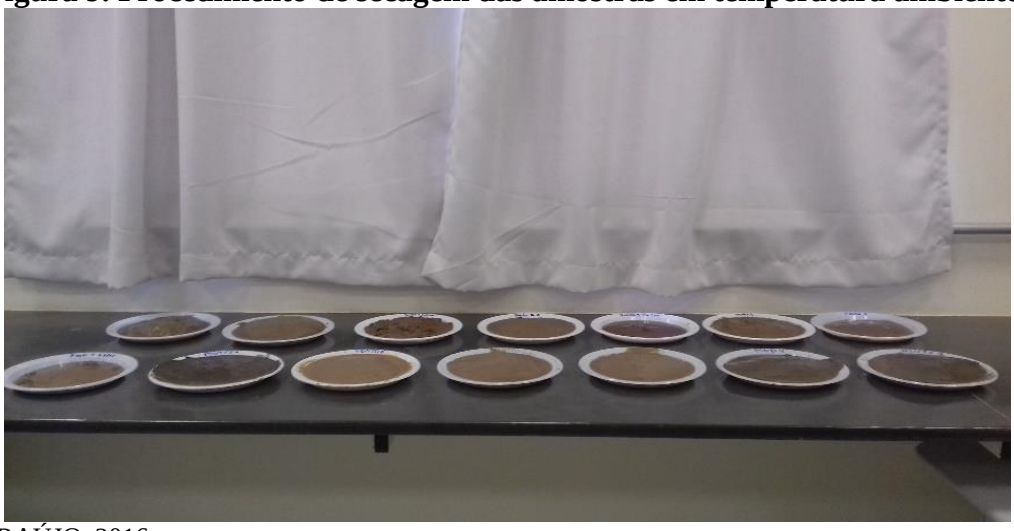
Em campo procedeu-se a coleta das amostras de sedimentos para cada ponto (Tabela 1), em média de 1 kg em cada ponto, coletados manualmente por um coletor de aço inox com a distância de 30 cm da margem direita e a 10 cm de profundidade. O material foi identificado, acondicionado em sacos plásticos, conservado em caixa térmica com gelo, em campo e, posteriormente, em geladeira, à temperatura de 4ºC.

Nessa fase, deu-se importância aos protocolos de coleta, como explicita a ANA (2011, p. 54), onde a forma de seleção dos frascos e de condicionamento das amostras devem reduzir a volatilidade ou precipitação dos constituintes de maneira a retardar a modificação dos compostos químicos e preservando o material com todas suas características originais.

5.2.2 Tratamento, secagem das amostras e análise granulométrica

No Laboratório de Geoquímica (LGA), foram realizados procedimentos de quantificação analítica. Os sedimentos foram submetidos à decantação e posterior separação da água e material, evitando a perda de material sólido. Após esse processo as amostras foram colocadas em tabuleiros plásticos descontaminados e expostas sobre a bancada, com o objetivo de secarem os sedimentos em temperatura ambiente e à sombra, para não haver perdas por volatilização, como mostra a Figura 9.

Figura 9. Procedimento de secagem das amostras em temperatura ambiente.



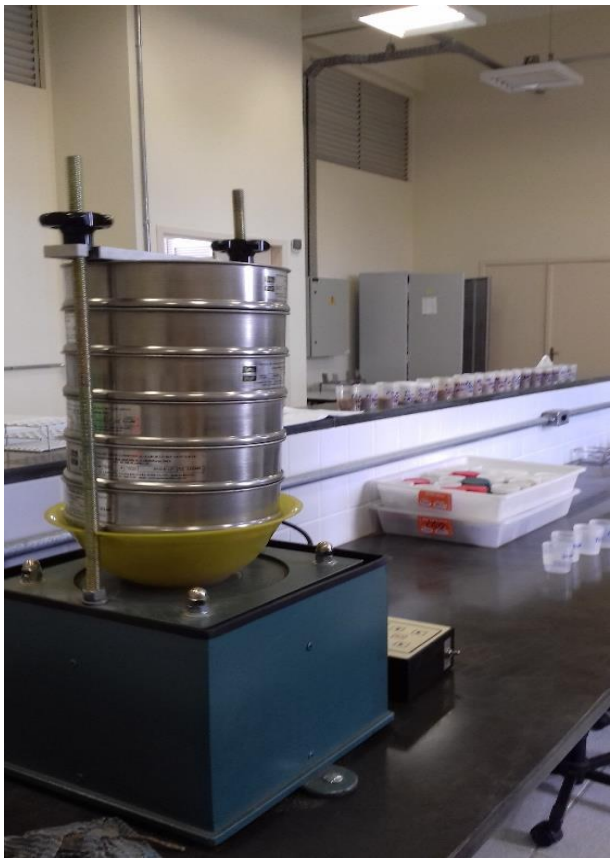
Fonte: ARAÚJO, 2016.

A desagregação e homogeneização das amostras foi realizada por meio do uso do almofariz e pistilo, que consiste em um utensilio de laboratório que quebra os agregados contidos no sedimento. O material com que é fabricado esse utensílio (porcelana) não

desagrega, e preserva a integridade da composição das amostras, nessa fase retiram-se restos de raízes, folhas e cascalhos que podem aparecer no material.

Para a quantificação dos metais em sedimentos, a utilização da fração mais fina (<0,177 mm) foi destacada, devido à relação da área específica dos sedimentos com a capacidade de adsorver os metais pesados. A separação granulométrica foi elaborada a partir da pesagem de 500 g da amostra e separação mecânica por 30 minutos, com a utilização de um agitador de peneiras para análise granulométrica (da marca Abma 0800) (Figura 10) (e seis peneiras nas malhas 20 mesh (850 µm) até 80 mesh (180 µm).

Figura 10. Peneira de separação de granulometria para solos e sedimentos.



Fonte: ARAÚJO, 2016.

5.2.3 Coleta dos dados dos parâmetros pH e temperatura

Para realizar uma melhor análise, foram mensurados parâmetros físico-químicos, como potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura, onde, segundo Trindade (2010), os metais pesados em sedimentos apresentam maior capacidade de adsorção em condições ambientais específicas.

Tais parâmetros foram determinados através de leitura direta utilizando a sonsa multiparâmetros Hanna – modelo HI 9828, que mensura até treze parâmetros físico-químicos na água. O aparelho funciona com o Sistema de Identificação de Tag (TIS), que tem como função discriminar números diferentes para cada ponto de amostragem. A sonda ainda possui um visor, que permite a visualização dos dados no momento da coleta em campo (HANNA, 2006).

5.3 Terceira etapa: Geoquímica analítica dos sedimentos

A terceira etapa do projeto metodológico engloba a fase analítica realizada nos laboratórios de Processos e Tecnologia Ambiental e LIPEMVALE, bem como o tratamento estatístico dos dados geoquímicos.

5.3.1 Abertura química por digestão

Os procedimentos analíticos para a determinação da concentração de metais pesados em sedimentos através de espectrometria de absorção atômica em chama necessitam de digestão prévia das amostras. No presente trabalho foi adotado o método de digestão ácida utilizando bloco digestor inserido em capela de exaustão de gases (

Figura 11 - A) devido a eficiência na expulsão dos gases gerados durante o aquecimento do material.

Após se obterem as amostras peneiradas, pesou-se em balança analítica Shimadzu (modelo AUY220) (Figura 11 - B) a quantidade de 0,005 g da fração mais fina (80 mesh – 180 µm) das amostras, juntamente com 3 ml de ácido nítrico (HNO_3) e 9 ml de ácido clorídrico (HCl). Esse material foi transferido para tubos de digestão e levados à digestão ácida em bloco digestor, com monitoramento de temperatura. O aquecimento é realizado de forma gradual do bloco digestor (30 °C a cada 20 minutos - temperatura de rampa) e estabilização da temperatura a 180 ºC, até a digestão da amostra. Ao término da programação e resfriamento procedeu-se a transferência para balões volumétricos de 50 ml com adição de água deionizada, para completar o volume, e, posteriormente, levadas ao laboratório LIPEMVALE.

Figura 111. Procedimentos de abertura química por digestão e pesagem das amostras.
A. Capela de exaustão de gases.

B. Balança analítica de precisão.

Fonte: ARAÚJO, 2016.

5.4 Espectrometria de absorção atômica em chama e tabulação dos dados

Conforme descrito por Lemes (2001), Krug, Nóbrega e Oliveira (2004) a técnica instrumental analítica mais indicada para a determinação dos elementos em nível de traço (0,01-100 μg/L) é a espectrometria de absorção atômica com chama (FAAS). Este procedimento é caracterizado pela eficiência e pela simplicidade no tratamento das amostras, não sendo necessária a utilização de reagentes custosos ou perigosos. Nessa técnica, a conservação das amostras é eficiente quanto às perdas de materiais por contaminação e volatilidade (ALVES *et al.*, 2001).

Assim, a medição dos níveis dos elementos químicos neste trabalho se deu com a utilização de equipamentos de FAAS, que envolvem a medida da absorção da intensidade de radiação eletromagnética de átomos gasosos no estado fundamental, e que também são utilizados para determinar a presença de metais, semimetais e não metais em solos, água, minérios, plantas e até mesmo em materiais biológicos, como tecidos e fluidos.

O funcionamento da técnica de leitura no FAAS, se dá pela presença de lâmpadas de cátodo oco específicas para cada elemento químico, relacionadas à intensidade de radiação associada ao comprimento de onda característico de cada elemento. A leitura final, que corresponde à quantidade de energia absorvida pelo metal da amostra, representa a concentração deste metal. As condições do aparelho estão dispostas no Apêndice A. Após a abertura química, as amostras foram levadas ao laboratório LIPEMVALE para serem lidas no espectrômetro da marca Varian®, modelo Spectraa 50B (Figura 12).

Figura 12. Espectrômetro de absorção atômica por chama.

Fonte: ARAÚJO, 2016

O método é bastante utilizado na construção de diagnósticos ambientais baseados na investigação dos teores de metais pesados em solos e sedimentos, e apresenta-se de acordo com o que determina a CONAMA n° 344/2004. Os resultados encontrados foram tabulados em programa de informática Microsoft Excel (Office®), onde foram realizados os gráficos de concentração, bem como as análises estatísticas de médias aritmética e desvio padrão da média.

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados encontrados neste trabalho representam os valores para os elementos selecionados Cd, Cu, Ni, Pb e Zn, que foram comparadas com a Resolução CONAMA 344/04, levando em consideração a classificação de acordo com critérios de qualidade a partir de dois níveis limite (itens I e II, Artigo 3º). Nível 1: valor abaixo do definido apresenta baixa probabilidade de efeitos nocivos à biota; e Nível 2: acima deste valor preveem-se prováveis efeitos nocivos à biota; os valores totais estão representados no Apêndice B.

Desta maneira, os elementos analisados neste trabalho apresentam uma estreita relação com as atividades antrópicas encontradas na área de estudo. Com exceção dos elementos Fe e Mn analisados em virtude de serem elementos suporte e atuarem diretamente na adsorção de outros elementos. Para a análise dos valores de concentração do elemento Fe, o mesmo foi comparado com uma fonte alternativa de referência, e o Mn não foi comparado a nenhum valor guia para sedimentos, já que a legislação do CONAMA não possui valores de limites para ambos.

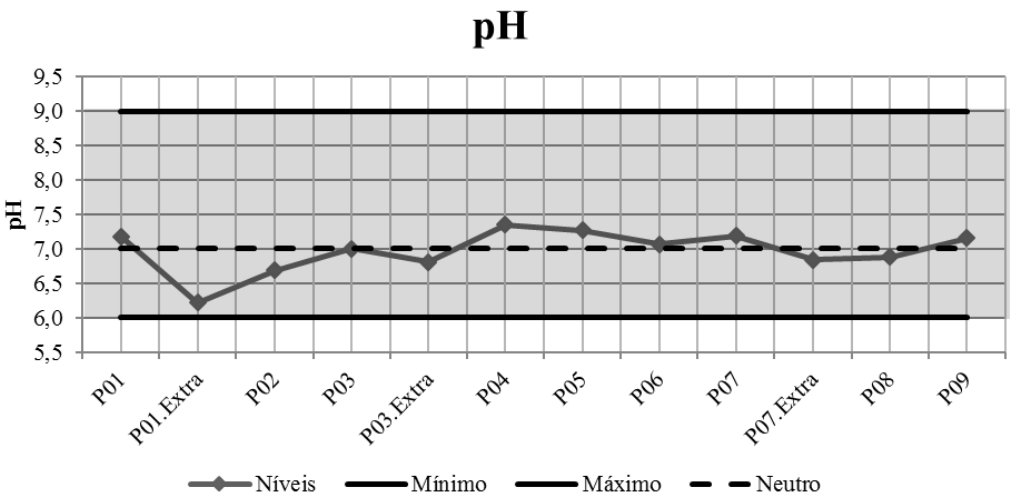
Além das concentrações de metais nos sedimentos, neste trabalho se analisaram as alterações físico-químicas, pH e temperatura, no local do leito do rio onde foram feitas as coletas. Essa análise é importante uma vez que esses parâmetros auxiliam na remobilização dos metais pesados dos sedimentos de maneira a torná-los biodisponiveis, onde a alta concentração de hidrogênio (material ácido) acarreta maior dissolução e mobilidade dos elementos em sua forma iônica e sua baixa concentração (material básico) possibilita a precipitação dos metais em forma de hidróxidos e carbonatos, tornando-os menos solúveis (MORAES, 2010; RIBEIRO, 2010; TRINDADE, 2010).

Os valores encontrados para pH e temperatura foram comparados à Resolução do CONAMA Nº 357 de 2005 e indicam um ambiente dentro da faixa da Resolução (pH de 6,0 a 0,9), de maneira geral, tomado como quase neutro (média de pH 6,97) com desvio padrão pouco expressivo (0,31), como representa a Tabela 2 e o Gráfico 2.

Tabela 2. Resultados para as concentrações de pH e temperatura.

Determinação dos valores fisico-quimicos pH e temperatura		
Pontos	**ph**	**Temperatura (°C)**
Ponto 1	7,18	25,83
Ponto 1 Extra	6,22	29,14
Ponto 2	6,69	26,24
Ponto 3	7,00	27,65
Ponto 3 Extra	6,81	34,78
Ponto 4	7,35	27,99
Ponto 5	7,27	28,54
Ponto 6	7,07	28,24
Ponto 7	7,19	29,23
Ponto 7 Extra	6,84	32,54
Ponto 8	6,88	30,13
Ponto 9	7,16	28,61
CONAMA 357	6,0 a 9,0	40°C
Mínimo	6,22	23,83
Máximo	7,35	34,78
Média	**6,97**	**29,08**
Desvio Padrão	**0,31**	**2,5**

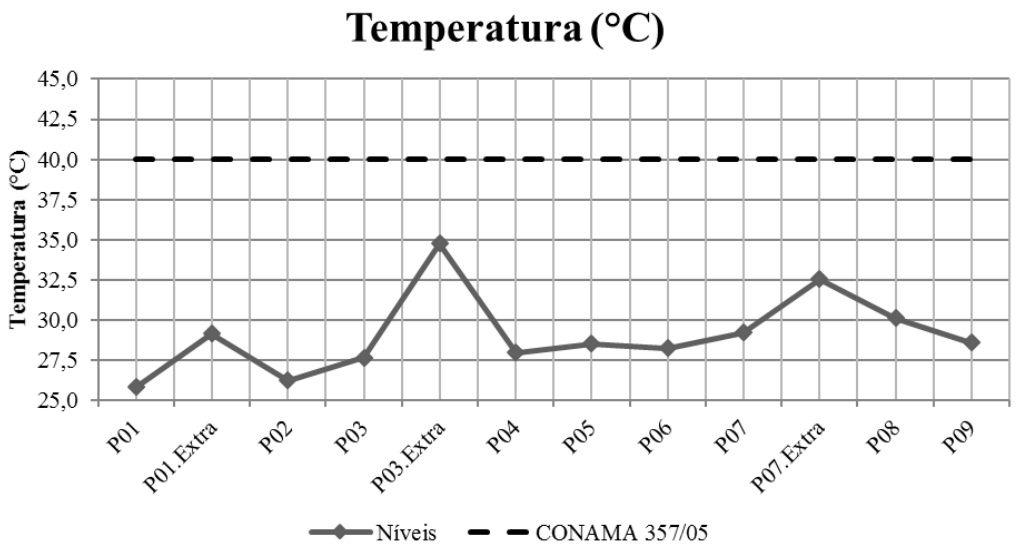
Gráfico 2. Níveis de pH nos pontos amostrados.



Por sua vez, a temperatura tem influência nos processos biológicos e nas reações químicas, aumentando a solubilidade dos minerais e diminuindo a solubilidade dos gases dissolvidos (MIRANDA, 2007; BAGGIO, 2008). Os valores de temperatura, são importantes indicadores ambientais, já que "mede-se a intensidade do calor naturalmente originado a partir dos processos da radiação, condução e convecção na atmosfera terrestre e solo'' (RIBEIRO, 2010). Os valores encontrados para a temperatura da água mostraram-se em concordância com o valor que preconiza o CONAMA 357/05, de 40 °C, pois os valores máximo e mínimo são

34,78 e 23,83, respectivamente. As maiores temperaturas são observadas nas bacias de retenção, caracterizadas pelo recebimento de rejeito do processo de extração mineral e por ser um ambiente lêntico.

Gráfico 3. Níveis de temperatura nos pontos amostrados.



A seguir são descritos e avaliados os resultados para cada metal pesado analisados neste trabalho.

6.1 Cádmio (Cd)

O cádmio é um metal volátil de coloração branco-azulada, com característica dúctil, maleável e não essencial ao organismo humano, sendo relativamente pouco abundante e com alta toxicidade. Pode ser absorvido no estômago ou intestino através da ingestão de água e alimentos e levado à corrente sanguínea ou também ser absorvido da atmosfera pelos pulmões. A presença de cádmio se dá pela queima de combustíveis fosseis e carvão, fertilizantes, esgoto, corrosão de tubos galvanizados, despejos industriais e atividades de mineração e metalurgia de Zn, Pb e Cu (MORAES, 2010; TRINDADE, 2010).

A quantificação de Cd na área de influência do garimpo não apresentou concentrações que estão acima dos níveis I e II do CONAMA n° 344/04. Os valores de concentração do elemento não foram detectados na técnica de FAAS, entretanto isso pode ser devido às condições de operação do aparelho e alta volatilidade do elemento, o que não significa que o elemento não está disponível no ambiente.

6.2 Cobre (Cu)

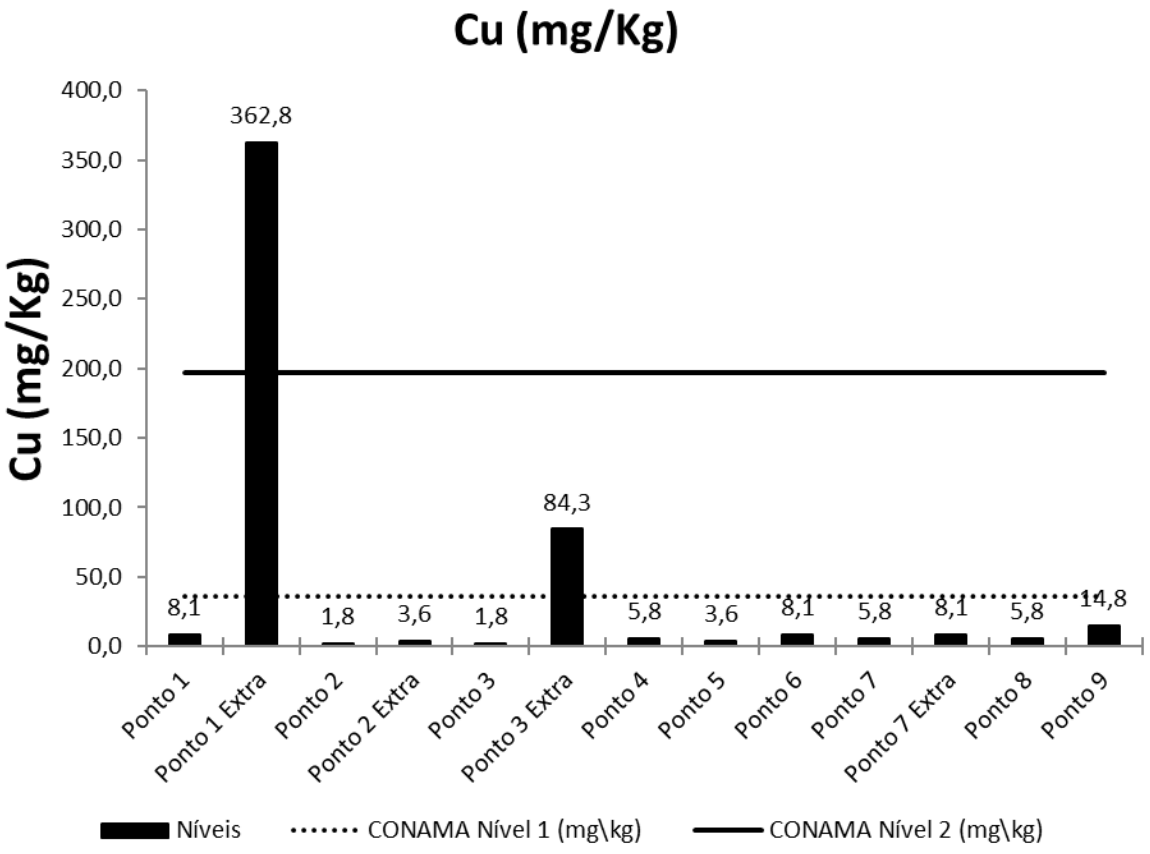
O cobre, metal pesado de coloração marrom avermelhada, é essencial para o organismo por ser constituinte de enzimas oxidantes atuantes no metabolismo energético, além de estar presente na síntese da hemoglobina e outros processos envolvendo sua relação com queratina e outras proteínas de pigmentação, entretanto sua bioacumulação do corpo humano, principalmente no fígado, nos rins, no coração e no cérebro, acarreta grandes prejuízos à saúde.

O cobre é um dos poucos metais que ocorre na natureza em estado puro, e, nos minerais, o cobre é encontrado, em especial na calcocita, bornita, calcopirita e cuprita, já nas rochas, as maiores concentrações são nos argilitos marinhos, folhelhos, cabornatos e granitos feldspáticos. Sua presença está relacionada à corrosão de tubulações de latão, descarga de efluentes de fontes industriais, mineração, fundições, refinarias de petróleo, indústria têxtil a seu uso em algicidas, pesticidas e inseticidas o que, com o manejo inadequado ocasiona a acidificação das águas e do solo quando se dá o processo de lixiviação e solubilização (MORAES, 2010; TRINDADE, 2010).

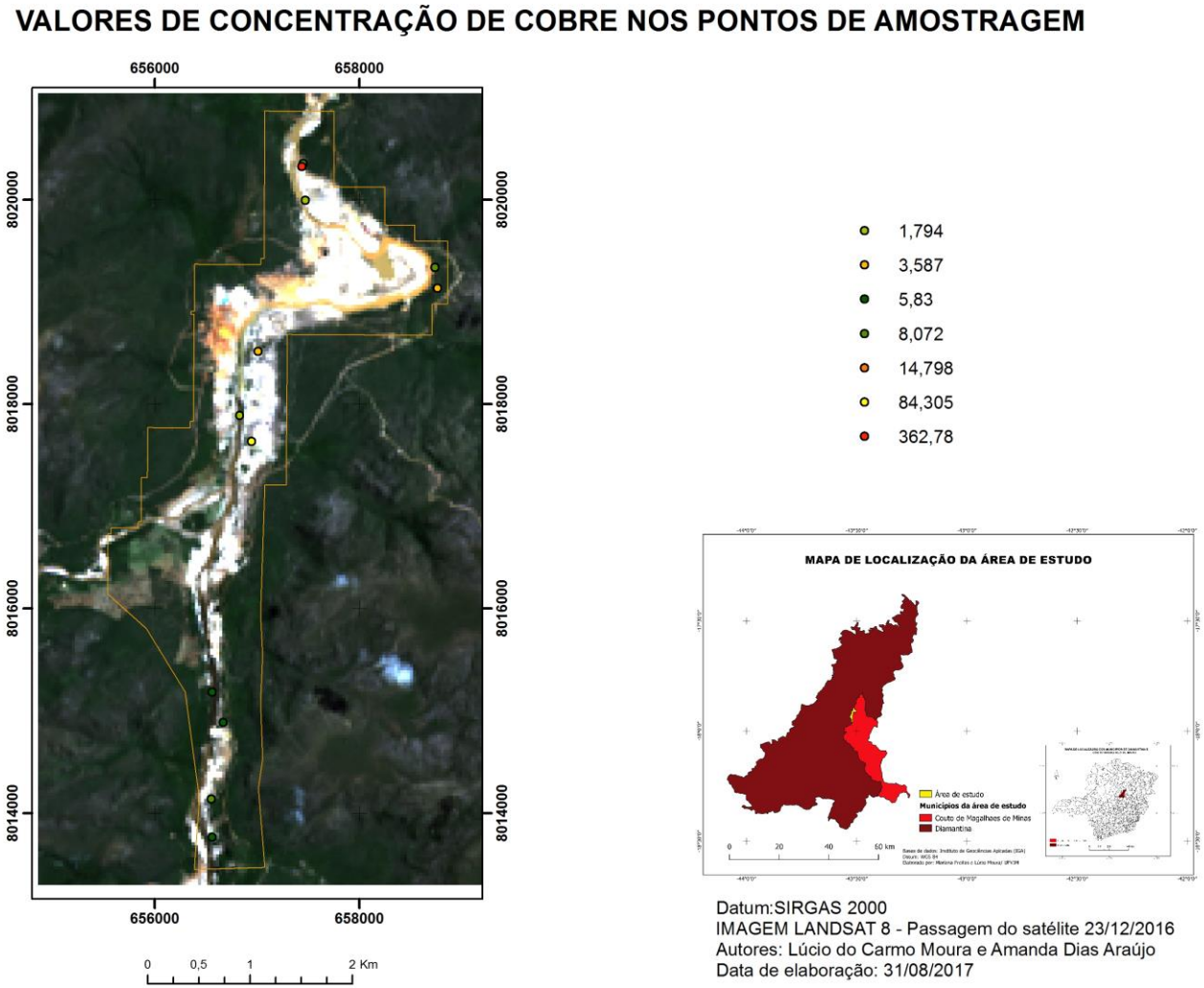
Para sedimentos, a CONAMA n° 344/04 define como nível I (limiar abaixo do qual não se observa efeito adverso à biota) a concentração de 35,7 mg/kg, e para o nível II (valor acima do qual provavelmente se observa efeito adverso à biota), a concentração de 197 mg/kg. Dos pontos analisados para Cu, o Mapa 5 apresenta a concentração para os treze pontos amostrados.

Os valores obtidos foram: mínimo de 1,794 mg/kg e máximo de 362,780 mg/kg. Os valores observados apontam, o Ponto 3 Extra (84,3 mg/kg) ultrapassando o Nível 1, e o Ponto 1 Extra (362,7 mg/kg), excedendo o limite do Nível 2 do CONAMA. Os pontos citados acima localizam-se em bacias de retenção de rejeitos, localizadas ao lado do segmento do curso do rio Jequitinhonha. Essas bacias são consideradas frágeis, já que qualquer enchente no leito do rio, pode ocasionar o rompimento da mesma, e a distribuição desse material no curso d’água, como representa o Gráfico 4.

Gráfico 4. Níveis de Cobre (Cu) nos pontos amostrados.



Mapa 5. Concentração de Cu nos pontos de amostragem.

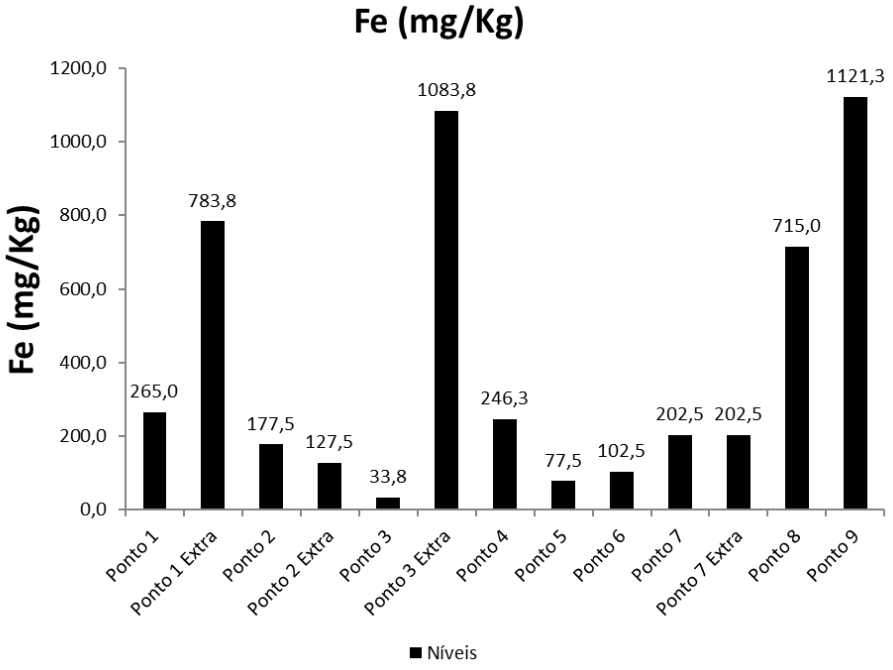


6.3 Ferro (Fe)

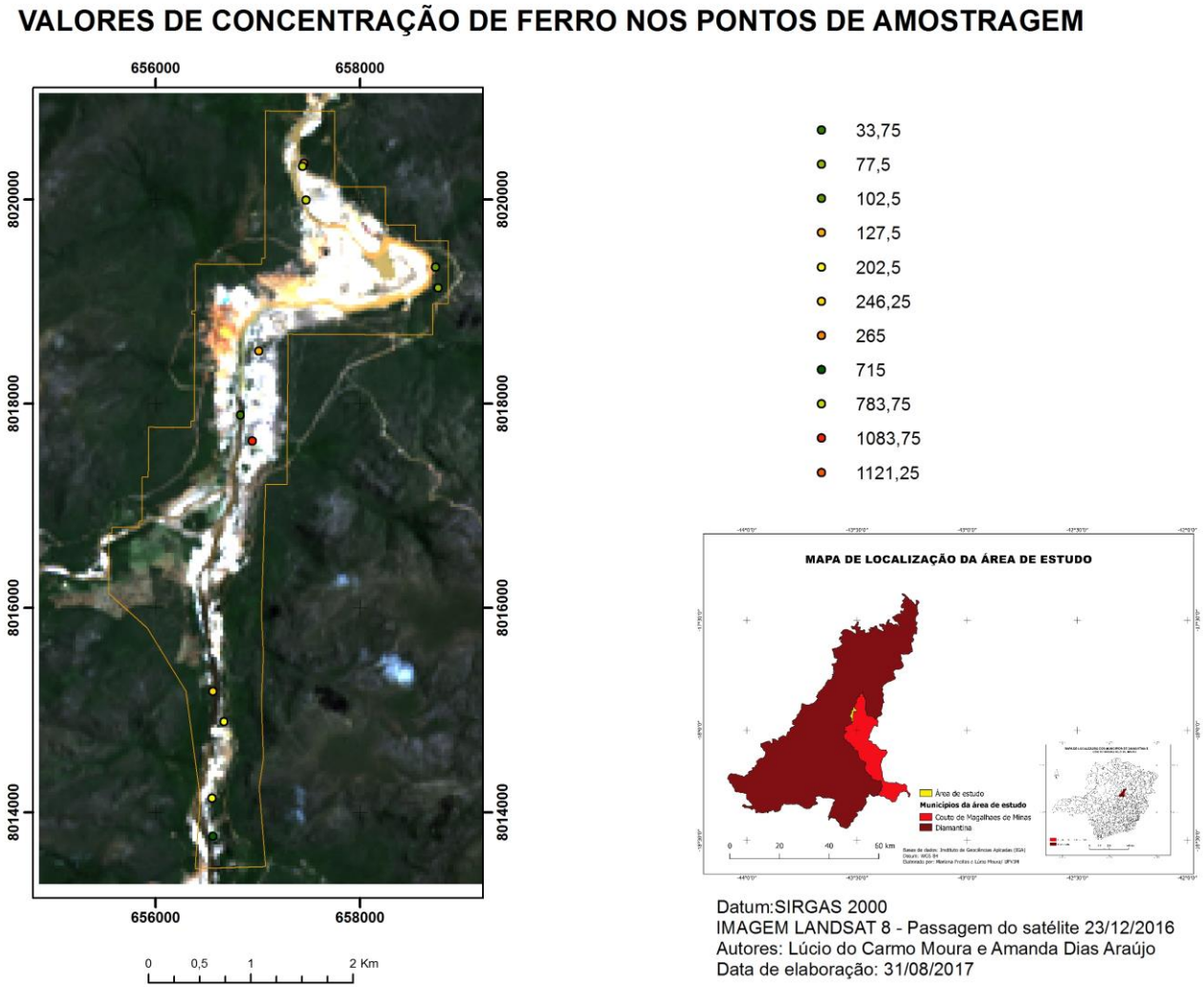
O ferro é encontrado abundantemente na crosta terrestre, e os principais minerais que contém o elemento são de origem sedimentar como a hematita, goethita e pirita (TRINDADE, 2010). Os problemas relacionados à concentração de ferro são mais ligados à sua deficiência que a seu excesso, uma vez que é um dos elementos essenciais para todos os seres vivos, sobretudo pela sua função de transporte de oxigênio na composição da hemoglobina (MIRANDA, 2007).

A legislação do CONAMA nº 344/04 não apresenta valores estabelecidos para as concentrações de ferro nos sedimentos. Entretanto, sugere-se que em concentrações inferiores a 17.000 mg/kg de ferro os sedimentos podem ser considerados como não poluídos, salvas as ocorrências naturais; e em concentrações de 17.000 a 25.000 mg/kg encontram-se moderadamente poluídos e acima de 25.000 mg/kg, muito poluídos (Gráfico 5) (THOMAS, 1987 *apud* TRINDADE, 2010). Sendo assim, nenhum dos pontos amostrados encontram-se fora dos padrões dessa referência (Mapa 6). Este mapa representa as concentrações do elemento Fe, para os respectivos pontos de coleta.

Gráfico 5. Níveis de Ferro (Fe) nos pontos amostrados



Mapa 6. Concentração de Fe nos pontos de amostragem.

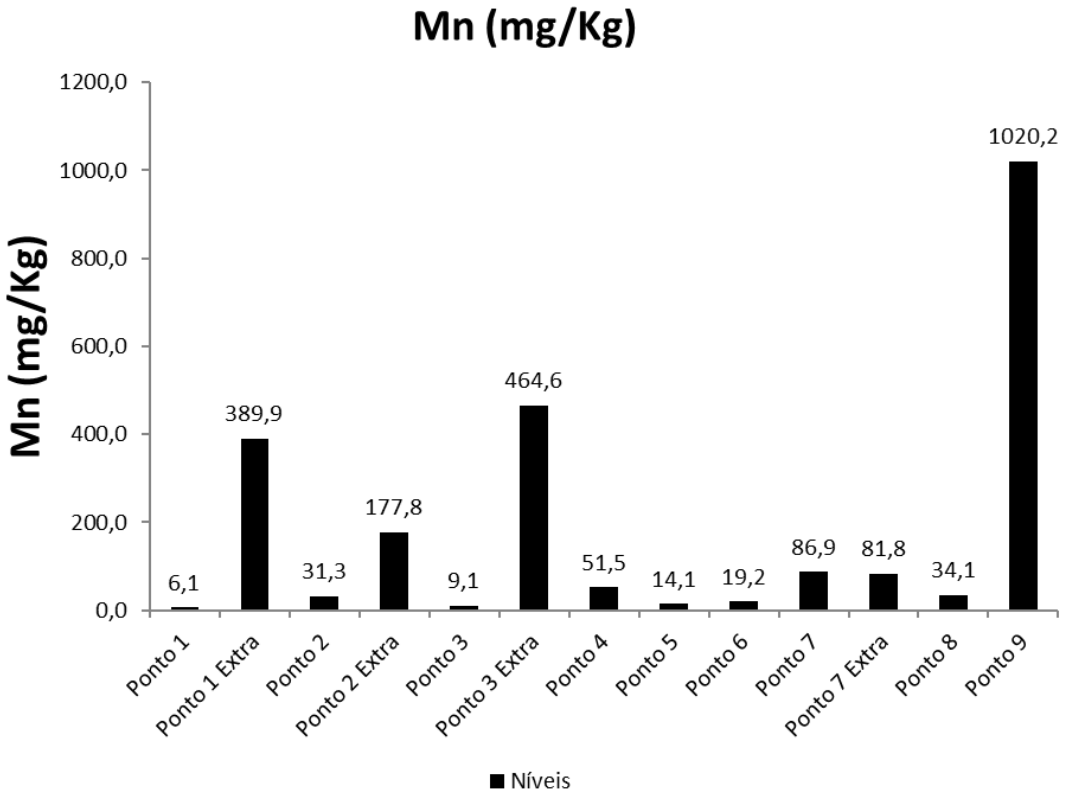


6.4 Manganês (Mn)

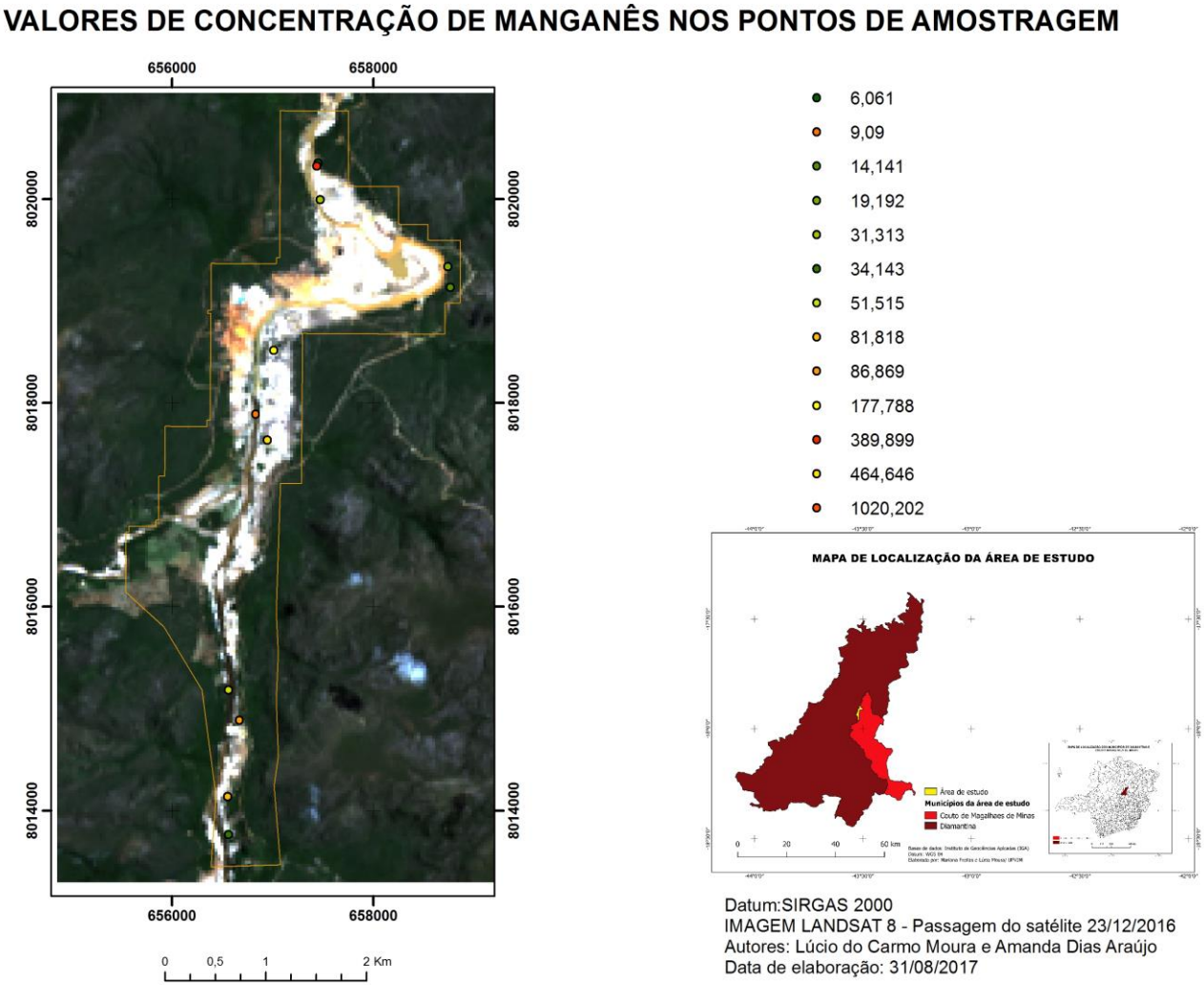
Assim como o ferro, o manganês é essencial para os seres vivos, sendo componente da clorofila, portanto muito importante para os processos ligados à fotossíntese. Entretanto altas concentrações de Mn podem causar distúrbios mentais, emocionais e outros problemas graves. O Mn pode ser encontrado em altas concentrações na litosfera, com teores variando de 350 mg/kg a 2000 mg/kg (KABATA-PENDIAS; PENDIAS 1992 *apud* TRINDADE, 2010). É utilizado em pilhas, esmaltes, fertilizantes e outros produtos, sendo constituinte importante de aços, ligas de alumínio etc. (MIRANDA, 2007).

Os valores obtidos foram: mínimo de 6,061 mg/kg e máximo de 1020,202 mg/kg, representados no Gráfico 6 e no Mapa 7. Os valores observados apontam uma grande amplitude entre os resultados. Entretanto, a legislação vigente não estabelece valores guia para análise do Mn nos sedimentos. Esse fato deve ser observado, já que a legislação falha no monitoramento deste elemento.

Gráfico 6: Níveis de Manganês (Mn) nos pontos amostrados.



Mapa 7. Concentração de Mn nos pontos de amostragem.

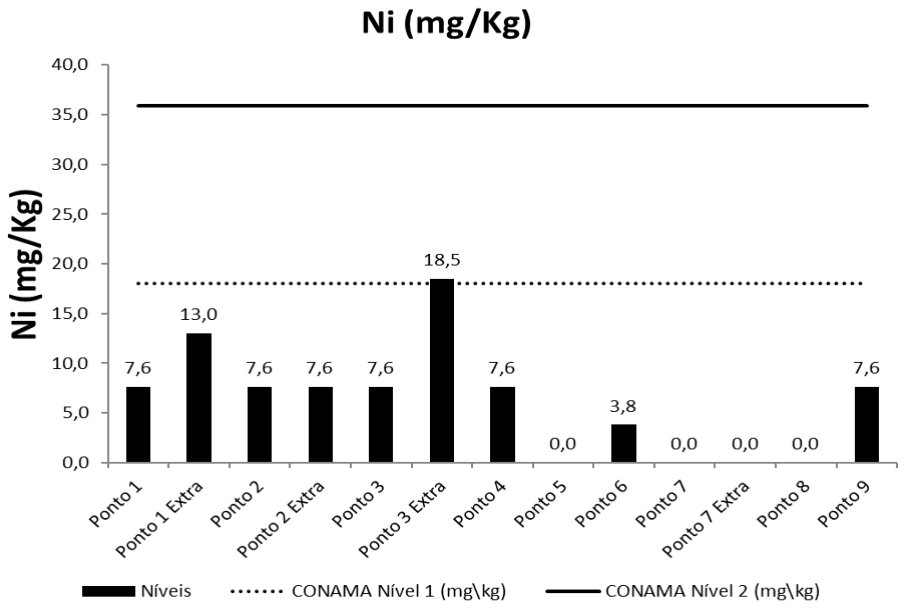


6.5 Níquel (Ni)

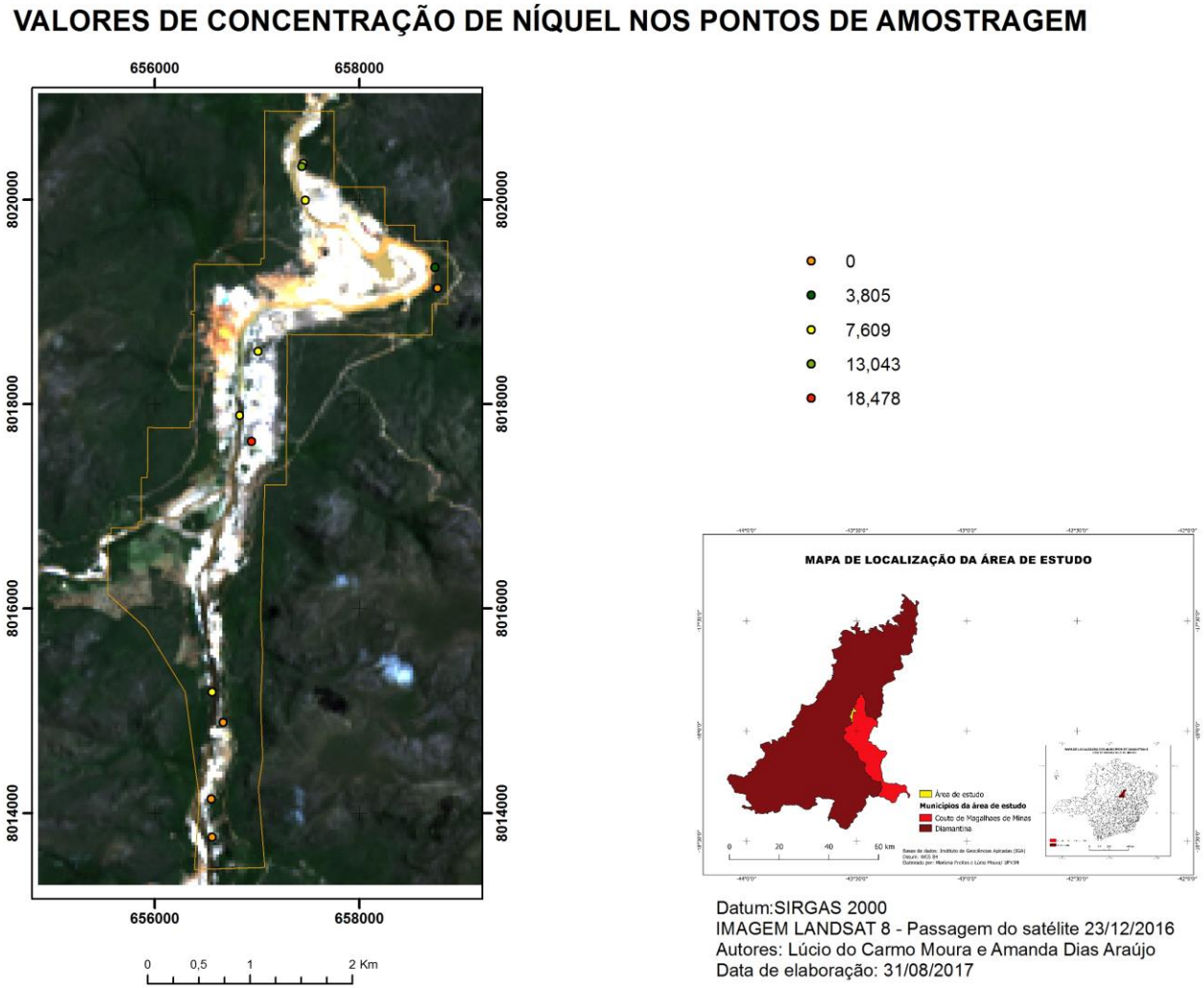
O níquel também é um micronutriente essencial com características similares ao ferro, e apresenta-se na natureza em estado pura na coloração branca prateada. É bastante utilizado na agricultura, na fabricação de aço inoxidável austênico, em superligas e outras ligas metálicas, baterias recarregáveis, cunhagens de moedas, revestimentos metálicos, fundição e em refinarias (MIRANDA, 2007; MORAES, 2010). Alguns minerais são utilizados para a obtenção do níquel, entre eles a pentlandita, polidimita, nicolita, cloantita, gersdorfita, bravoíta, pirrotita e garnierita (TRINDADE, 2010).

A observação dos valores de níquel (Ni) (Gráfico 7 e Mapa 8) dos treze pontos amostrados indica que o valor obtido foi o mínimo de 0,0 mg/kg, e máximo de 18,4 mg/kg. Os valores observados apontam, o Ponto 3 Extra (18,4 mg/kg), ultrapassando o Nível 1 (18,0 mg/kg) estabelecido pela legislação, que preconiza que este valor apresenta baixa probabilidade de efeitos nocivos à biota. Nessa área localiza-se uma bacia de retenção de rejeitos, o que ocasiona a deposição de sedimentos ao logo do tempo, aumentando, assim, esse valor. Apesar de apenas um dos treze pontos amostrados violar os valores orientadores para níquel, esses deverão ser observados com atenção, uma vez que se localizam em áreas ambientalmente frágeis.

Gráfico 7: Níveis de Níquel (Ni) nos pontos amostrados.



Mapa 8. Concentração de Ni nos pontos de amostragem.

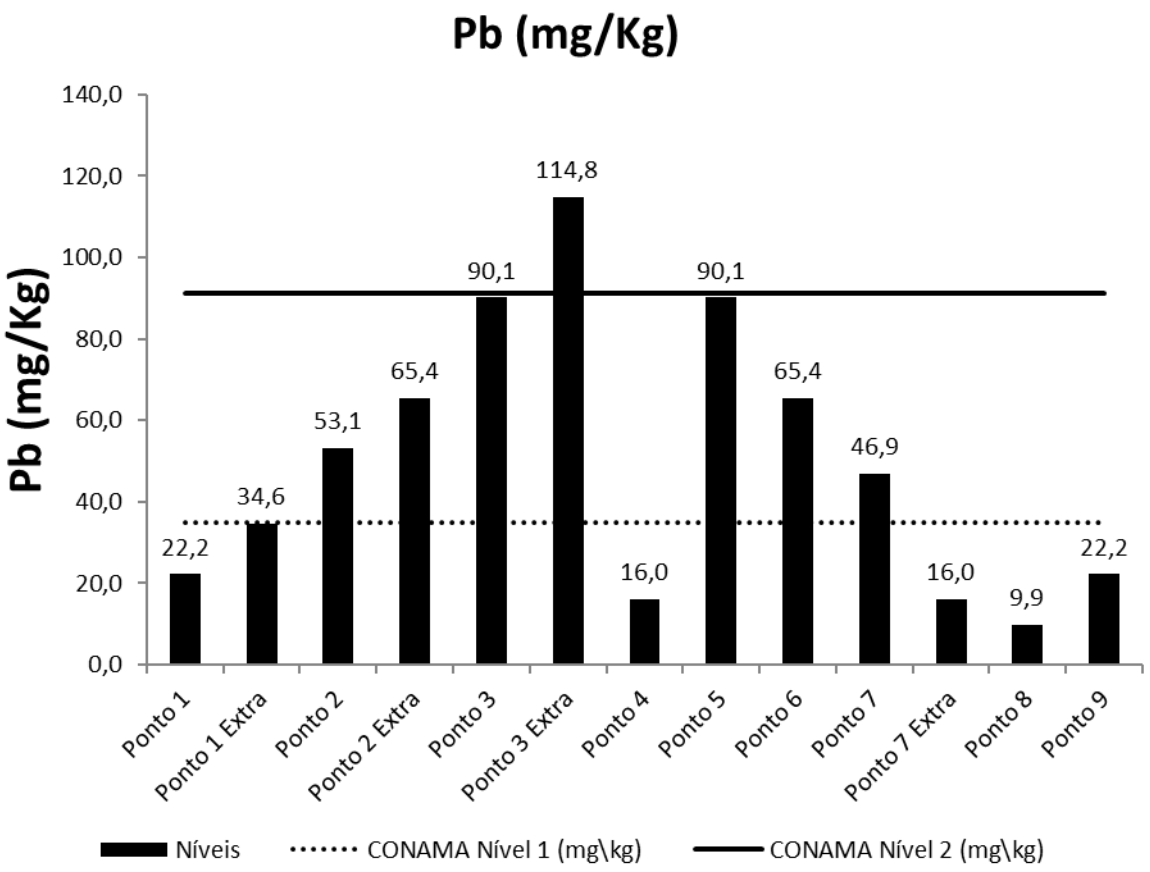


6.6 Chumbo (Pb)

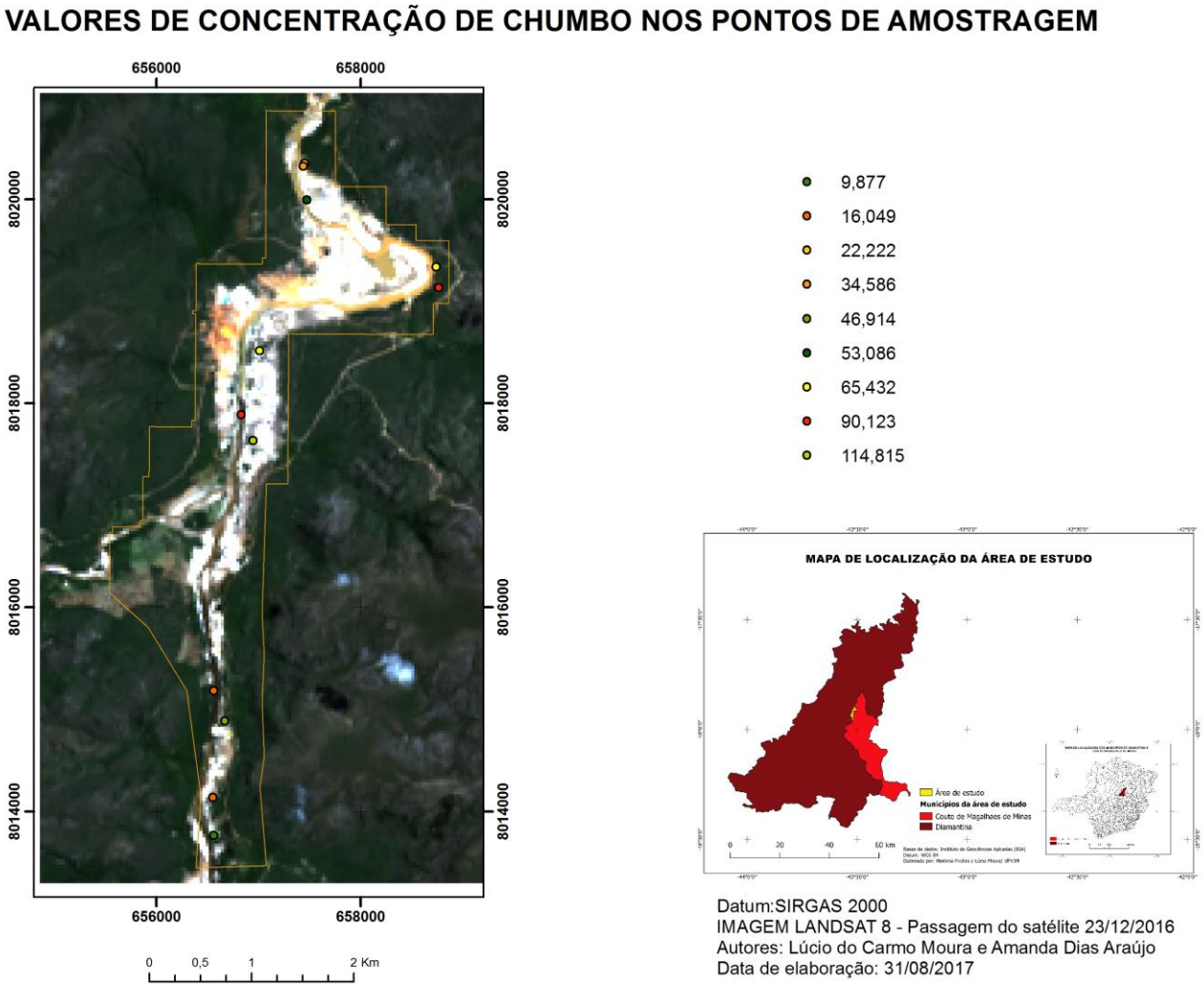
O chumbo é encontrado em concentrações muito baixas na natureza e não é considerado um elemento essencial. Desta forma, sua presença mesmo em baixos níveis representa um risco à saúde, sendo absorvido pela ingestão e inalação, podendo afetar quase todos os órgãos, sobretudo o sistema nervoso central. Na natureza, o chumbo é extraído principalmente da galena e, secundariamente, da cerussita, anglesita, boulangerita, bournonita, piromorfita, jamesonita e wulfenita (BRANCO, 1982 *apud* TRINDADE, 2010). Em rochas sedimentares, a distribuição do Pb é controlada pela presença de minerais detríticos (tais como o fedlspato, micas e sulfetos) e argilominerais. Em sedimentos de drenagem, as principais fases são os feldspatos potássicos, as micas, os plagioclásios e os silicatos ferromagnesianos (TRINDADE, 2010).

Segundo a CONAMA n° 344/04, os níveis I e II para chumbo nos sedimentos são, respectivamente, 35 mg/kg e 91,3 mg/kg. Os valores encontrados nos treze pontos para chumbo (Pb), percebe-se que a concentração dos teores totais desse metal foi mínima de 9,877 mg/kg e a máxima de 114,815 mg/kg, representados no Gráfico 8 e Mapa 9. Os pontos 2 (53,0 mg/kg), 2 Extra (65,4 mg/kg), 3 (90,1 mg/kg), 5 (90,1 mg/kg), 6 (65,4 mg/kg) e 7 (46, 9 mg/kg) apresentaram concentrações acima do Nível I. Os seis pontos que estão acima do Nível 1, que apresenta baixa probabilidade de efeitos nocivos à biota, devem ser observados, já que foram encontrados em bacias de retenção e no trecho do rio Jequitinhonha. Nota-se que os pontos 3 e 5 apresentam apenas 0,2 mg/kg, a menos do que a concentração permitida no nível I, os mesmos quase enquadram-se no Nível II. O Ponto 3 Extra (114,8 mg/kg), que está acima do valor, apresentando prováveis efeitos nocivos à biota, deve ser monitorado, demonstrado a efetiva contribuição da atividade garimpeira na composição química dos sedimentos.

Gráfico 8: Níveis de Chumbo (Pb) nos pontos amostrados.



Mapa 9. Concentração de Pb nos pontos de amostragem.

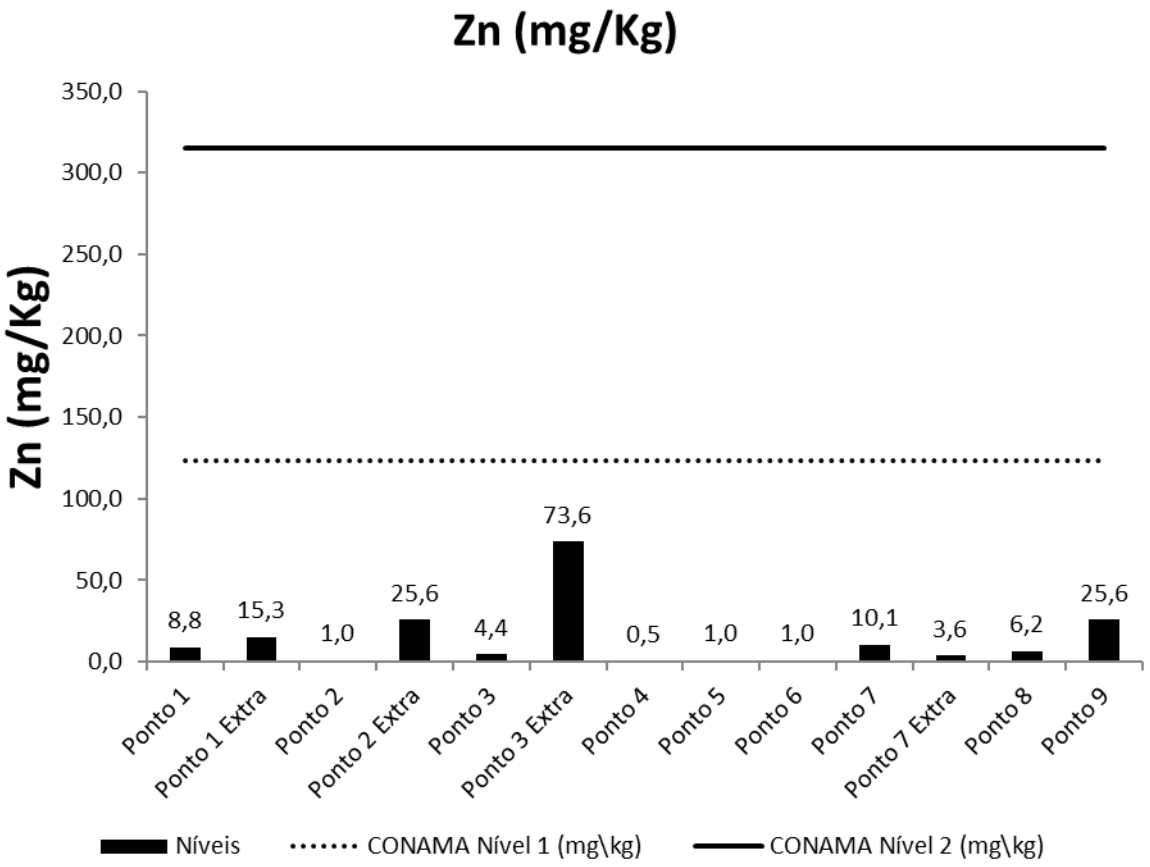


6.7 Zinco (Zn)

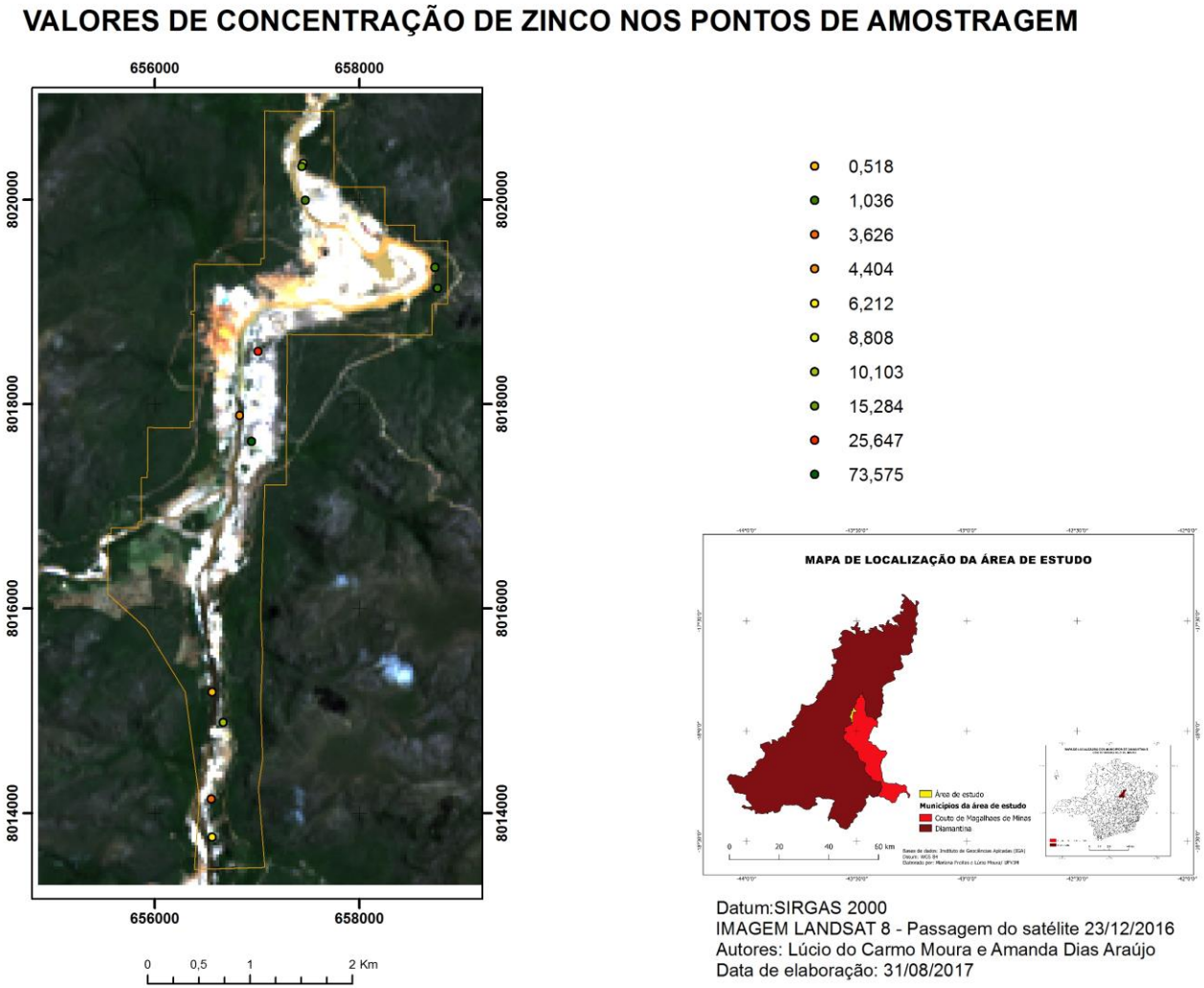
O zinco, metal de coloração branco azulada, apesar de pouco abundante, apresenta papel importante em diversas atividades do corpo humano, sendo encontrado em todos os tecidos e fluidos. Entretanto, sabe-se que em altas concentrações pode causar convulsões estomacais, vômitos, náusea, anemia e decréscimo do nível de colesterol. Na natureza, as rochas sedimentares, tem associação com o Zn, e sua distribuição é controlada pela abundância de silicatos ferromagnesianos, magnetita e argilominerais (WEDEPOHL, 1978 *apud* TRINDADE, 2010). As principais fontes antrópicas de zinco são a produção de zinco puro, combustão de madeira, indústrias de metalurgia, siderurgia, elétricas, galvanizadoras, mineradoras, efluentes domésticos e práticas agrícolas (MORAES, 2010; TRINDADE, 2010).

Em termos legais, o CONAMA n° 344/04 define como nível I (limiar abaixo do qual não se observa alterações na biota) a concentração de 123 mg/kg, para o nível II (valor acima do qual se observa alterações na biota), é recomendado que as concentrações de Zn nos sedimentos não ultrapassem 315 mg/kg. O Gráfico 9 e o Mapa 10 apresenta a concentração dos teores totais de zinco (Zn) nos treze pontos amostrados. Os valores obtidos apresentam o mínimo de 0,5 mg/kg e máximo de 73,6 mg/kg. Nenhum dos treze pontos amostrados violou os valores de referência estabelecidos pela Resolução. O ponto que apresenta a maior concentração, 3 Extra (73,6 mg/kg), que apresenta a maior concentração de zinco, está localizado em uma bacia de retenção. Apesar dos teores totais de zinco se encontrarem abaixo do valor orientador para sedimentos, todos os pontos amostrados deverão ser monitorados.

Gráfico 9: Níveis de Zinco (Zn) nos pontos amostrados.



Mapa 10. Concentração de Zn nos pontos de amostragem.



7 CONCLUSÕES

A avaliação geral dos metais pesados analisados nos sedimentos de fundo do trecho do garimpo Areinha, e os dados apresentados revelaram que alguns dos metais analisados apresentaram concentrações acima do permitido em alguns pontos e baixas noutros. Alguns pontos apresentaram valores não detectados, o que não significa que estes elementos não estejam presentes, mas que sua concentração está abaixo do limite de detecção do equipamento utilizado.

Os pontos com as mais altas concentrações estão localizados nas áreas de influência direta da área de garimpo. Esses locais recebem diretamente os resíduos gerados e descartados durante o processo de exploração do ouro e diamante, e acabam sendo depositados em cavas, ou logo, são transportados pelas águas pluviais em direção aos cursos d'água. Os pontos em que as concentrações dos metais são mais altas localizam-se a partir do segmento médio e baixo curso do trecho do rio.

Os resultados obtidos confirmaram a presença de metais pesados e(ou) traços desses elementos nos sedimentos. Conclui-se então que a presença desses metais no compartimento sedimento possui uma forte correlação da exploração mineral na área ao longo de anos.

As características ambientais e do uso da terra da área de estudo permitem a segmentação do trecho do rio Jequitinhonha em três setores distintos. A existência do garimpo Areinha, limite central do segmento estudado, funciona como principal ponto de contaminação das águas, de modo que, conhecendo os contaminantes desse local, é possível verificar a introdução de metais pesados a partir daquele ponto. Já o limite norte é caracterizado pela existência de pequenas instalações de empreendimentos de extração de areia, garimpos manuais de pequeno porte, e o lançamento de efluentes domésticos no leito do rio. No limite sul do segmento, estão situadas cidades e comunidades ribeirinhas de importante interesse social para a região do Alto Jequitinhonha.

7.1 Considerações

Os países em desenvolvimento, sobretudo o Brasil por possuir de uma das maiores bacias hidrográficas do planeta, devem cuidar dos recursos hídricos em escala federal, de modo a garantir o abastecimento e a qualidade da água para o futuro próximo. No entanto, pouco se sabe sobre a qualidade das águas brasileiras, seja por desconhecimento por parte dos órgãos

ambientais municipais, estaduais e federais ou por falta de incentivos para pesquisas voltadas para análise geoquímica ambiental.

No que se diz respeito ao controle ambiental de uma bacia hidrográfica, esses resultados podem se agravar em qualquer momento, elevando os níveis de degradação, por esse motivo devem ser objetos de atenção pública e privada. A atividade de garimpo, é carregada de fatores negativos como a carência de serviços de saneamento, lançamento de efluentes brutos na drenagem, remoção da vegetação natural, e essas consequências são conhecidas pelo poder público e devem ser da melhor forma minimizadas. O processo erosivo decorrente das áreas de garimpo do Alto Jequitinhonha, provocam o carreamento de grandes volumes de material que, consequentemente, ocupam a calha do rio, principalmente do médio e baixo vale do Jequitinhonha.

Ressalta-se, ainda, que os valores-guias do CONAMA 344 e 357, devem ser utilizados como avaliação inicial para pesquisa, pois os mesmos foram estabelecidos a partir de dados e informações químicas e toxicológicas referentes a áreas da América do Norte, além de tantos elementos químicos que as mesmas não contemplam. Visando uma melhor interpretação de dados em áreas tropicais, necessita-se de uma legislação guia, que contemple informações específicas, somente desta forma, os diagnósticos ambientais poderão estabelecer a real qualidade dos sedimentos para o Brasil.

Ao finalizar esta pesquisa nota-se que, para uma completa análise e melhor caracterização do local fazem-se necessários estudos mais específicos e a elaboração do *background* regional para esta região de estudo.

Dados os resultados deste trabalho quanto aos teores de metais pesados encontrados nos sedimentos, espera-se somar a comunidade científica mais informações sobre a qualidade da bacia do rio Jequitinhonha e a influência das ações antrópicas na região, sobretudo as relacionadas ao garimpo. Ficou evidente o potencial de risco à saúde das populações à jusante e, embora os teores de metais pesados foram relativamente baixos, deve-se intensificar a atenção às atividades na região.

8 REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidas.** Carlos J. Brandão, Márcia J. C. Botelho, Maria I. Z. Sato, Marta C. Lamparelli (Org.). Brasília: ANA, 2011. 326 p.

ALIEVI, A. A.; PINESE, J. P. P. **Aproximações entre Geografia da Saúde e Saúde Ambiental: O papel dos recursos hídricos nos agravos à Saúde Coletiva**. Anais do XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, jul. 2010. ISBN 978-85-99907-02-3.

ALMEIDA ABREU, P. A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): O rifte, a bacia e o orógeno. **Revista Geonomos, Belo Horizonte, n.** 3, v. 1, p. 1-18, 1995.

ALVES, F. L.; JARDIM, W. F.; CADORE, S.; ARRUDA, M. A. Z.; SMICHOWSKI, P.; MARRERO, J. Emprego da amostragem de suspensão na determinação de Cu e Zn em Lapa Antártica e Ni em sedimento de rio por espectrometria de absorção atômica com chama. **Revista Química Nova.** São Paulo, v. 24, n. 6, p. 756-760, 2001.

ANDRADRE, R. S. G.; ANDRADE, M. R.; ALVES, J. P. H. Determinação de Pb e Cu do estuário do rio Japaratuba – SE. I Congresso de Pesquisa e Inovação da Rede Norte e Nordeste de Educação Tecnológica. Natal, 2006 *apud* BAGGIO, H**. 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).** 234 f. 2008. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

ANDRADE, J.C.S.; MARINHO, M.M.O.; KIPERSTOK, A. Uma política nacional de meio ambiente focada na produção limpa: Elementos para discussão. **Revista Bahia Análise e Dados.** Salvador, v. 10, n. 4, p. 326-332, mar. 2001.

ARAÚJO, A.D. **Impactos ambientais negativos do garimpo Areinha: Abordagem histórica e perspectivas futuras.** Artigo (Licenciatura em Geografia), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 14 p. 2015. Disponível em: < https://drive.google.com/file/d/0B6PnM7okI6kVaTdkajhJbEdFOUk/view>.

ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O.; BAGGIO, H. Qualidade ambiental da água superficial do Córrego Quatro Vinténs no município de Diamantina (MG). **Revista Cerrados,** Montes Claros, v.14, n. 1, p.77-95, jun. 2016.

ARAÚJO, J. A.; SOUZA, R. F. Aporte antropogênico de metais pesados em sedimentos de corrente de áreas de lixão, urbanizadas e agrícola, em Parelhas-RN, região semiárida do Brasil. **Revista Geografia.** Londrina, v. 21, n. 3.p. 5-22, dez. 2012.

ARAÚJO, P. R. **Interação hidrogeoquímica e geografia da saúde na bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia, zona norte de Londrina-PR.** 138 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2006.

BAGGIO, H**. 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).** 234 f. 2008. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2008.

BAGGIO, H.; SOUZA, F. C. R.; TRINDADE, W. M. Morfologia cárstica do maciço quartzítico da Gruta do Salitre, Diamantina – MG. **Revista Caminhos de Geografia.** Uberlândia, v. 13, n. 43, p. 102–113, out. 2012.

BAIRD, C. **Química ambiental**. 2. ed. Bookman, Porto Alegre. 2002. 622 p.

BARCELLOS, C.; MACHADO, J. M. H. A organização espacial condiciona as relações entre ambiente e saúde: o exemplo da exposição ao mercúrio em uma fábrica de lâmpadas fluorescentes. **Revista Ciência e Saúde Coletiva**. Rio de Janeiro, v. 3, n. 2, p. 103-113. 1998.

BARRETO, M. L. Garimpo de ouro no Brasil: Desafios da legalização. Tese (Doutorado em Engenharia de Minas), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000 *apud* MATTA, P.; M. **O garimpo na Chapada Diamantina e seus impactos ambientais: uma visão histórica e suas perspectivas futuras**. 214 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2006.

BONUMÁ, N. B. **Avaliação da qualidade da água sob impacto das atividades de implantação de garimpo no município de São Martinho da Serra.** 107 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2006.

BRANCO, P. M. **Dicionário de mineralogia**. 264 f., Editora Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1982 *apud* TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos.** 126 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

BRASIL. Lei 6.938, de 31 de agosto de 1981. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L6938.htm> Acesso em: 3 de mar. 2017.

BRASIL. Constituição (1988). **Constituição da República Federativa do Brasil**. Brasília/DF, 1988.

BRASIL. Lei 8.080, de 19 de setembro de 1990. **Diário Oficial da União,** Brasília, DF, 20 set. 1990. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L8080.htm> Acesso em: 3 de mar. 2017.

CARVALHO, N, O.; FILIZOLA JÚNIOR, N, P.; SANTOS, P, M, C.; LIMA, J, E, F, W. **Guia de práticas sedimentométricas.** Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). 2000. 116 p.

CARVALHO, C. N. Geoquímica Ambiental – Conceitos, métodos e aplicações. **Revista Geochimica Brasiliensis.** Niterói, v. 3, n. 1, p. 17-22. 1989.

CHASAPIS, C. T.; LOUTSIDOU, A. C.; SPILIOPOULOU, C. A.; STEFANIDOU, M. E. Zinc and human health: An update. **Archives of Toxicology.** Pratas, v, 86. p. 521-534. 2012.

CHAVES, M. L. S. C.; CHAMBEL, L. 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, out/dez. 2004.

CHAVES, A. P.; JOHNSON, B.; FERNANDES, F.; SIROTHEAU, G. J. C.; LIMA, M. H. R.; BARRETO, M. L.; BÔAS, R. C. V.; NAHASS, S. **Mineração e desenvolvimento sustentável: Desafios para o Brasil.** Maria Laura Barreto (Org.). Centro de Tecnologia Mineral – CETEM, Ministério da Ciências e Tecnologia. 215 p. 2001.

CHAVES, M. L. S. C.; SVISERO, D. P. Diamantes de Minas Gerais: Qual terá sido o caminho das pedras?. **Revista Ciência Hoje**. v. 25, n. 150, jul. 1999.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº344, 25 de março de 2004. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, Brasília, DF. 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=445>. Acesso em: 2 fev. 2017.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº357, 17 de março de 2005. **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**. Brasília, 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, DF. 2004. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 2 fev. 2017.

CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CERH). Deliberação Normativa nº 6, de 6 de outubro de 2002. **Diário Executivo de Minas Gerais**, Belo Horizonte, MG, 5 out. 2002. Disponível em: < http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=5704> Acesso em: 3 mar. 2017.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS (CNRH). Lei nº 9.433/97, de 8 de janeiro de 1997. **Diário Oficial da União**, Poder Executivo, Brasília, DF, 176º da Independência e 109º da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9433.htm> Acesso em: 3 mar. 2017.

COOPERATIVA REGIONAL DE GARIMPEIROS DE DIAMANTINA. **Parecer jurídico sobre o rio Jequitinhonha sob a vigência da Lei Estadual Mineira 15.082\2004.** COOPERGADI: Diamantina, 2013. 155 p.

COSTA, F. N. Campos Rupestres. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes**. O Lutador, 2005, p. 271.

DISTRITO FEDERAL (Estado). Decreto nº 88.351/83, de 6 de junho de 1990. **Distrito Federal**, Brasília, 6 junho 1990. 169.° da Independência e 102.° da República. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/decreto/Antigos/D99278.htm> Acesso em: 3 mar. 2017.

DUARTE, D. A. B. G. G**eografia da saúde nos municípios Lindeiros das margens paranaense e sul-mato-grossense do alto Rio Paraná e a hidrogeoquímica das ilhas**

Japonesa e Floresta (PR – MS). 161 f. 2014. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Estadual de Londrina. Londrina. 2014.

ESPÍNDOLA, E. L. G. A Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolinho. Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000 *apud* PINTO, A. L. A água como indicador principal de sistemas ambientais. **Revista Okara: Geografia em Debate,** João Pessoa, v. 4, n. 1, p. 25-40, 2010.

FERREIRA, V. O. **Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na bacia do rio Jequitinhonha em Minas de Gerais.** 313 f. 2007. Tese (Doutorado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.

FRAGA, L. M. S. **Análise estratigráfica do Grupo Macaúbas no domínio meridional da Serra do Espinhaço, Minas Gerais.** 203 f. 2013. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2013.

GOVERNMENT ACCOUNTABILITY OFFICE**. Health effect of lead in drinking water**. General Accounting Office Reports. USGAO: Washington, 2000 *apud* SALEM, H. M.; EWEIDA, E. A.; FARAG, A. **Heavy metals in drinking water and their environmental impact on human health.** The International Conference for Environmental Hazards Mitigation. Cairo, p. 542-556, sep. 2000.

LICHT, O. A. B. **Prospecção geoquímica: princípios, técnicas e métodos**. CPRM: Rio de Janeiro, 1998 *apud* GUEDES, J, A. Geoquímica e meio ambiente. **Revista Geotemas**. Pau dos Ferros, v. 2, n. 1, p. 145-151, jun. 2012.

GUEDES, J, A. Geoquímica e meio ambiente. **Revista Geotemas**. Pau dos Ferros, v. 2, n. 1, p. 145-151, jun. 2012.

HANNA INSTRUMENTS**. Manual de instrução: HI9829 Multiparâmetros**. Brasil, 2006.

HESS, R.; SCHMID, B. Zinc supplement overdose can have toxic effects. **Journal of Pediatric Hematology/Oncology,** v. 24, p. 582–584, 2002 *apud* SARWAR, N.; IMRAN, M.; SHAHEEN, M. R.; ISHAQ, W.; KAMRAN, A.; MATLOOB, A.; REHIM, A.; HUSSAIN, S. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. **Chemosphere**. v. 171, p. 710-720, mar. 2017.

HOLDER, J. Seleção de uma alternativa de remediação efetiva para sedimentos contaminados baseada em risco levando em consideração o uso atual do terreno e potencial revitalização. In: MOERI, E. N.; RODRIGUES, D.; NIETERS, A. (Ed (s)). **Áreas contaminadas remediação e revitalização: Estudos de casos nacionais e internacionais**. São Paulo: Instituto Ekos Brasil, p. 219-233. 2008.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório monitoramento das águas superficiais na bacia do rio Jequitinhonha em 2004.** Belo Horizonte: IGAM, 2005, 167 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Relatório anual de gestão e situação dos recursos hídricos de Minas Gerais, 2014**. Belo Horizonte: IGAM, 2015, 142 p.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. **Qualidade das águas superficiais de Minas Gerais em 2015: Resumo executivo.** Belo Horizonte: IGAM, 2016. 179 p.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Gráfico das estações automáticas.** Disponível em: < http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home%2Fpage&page=rede_estacoes_auto_graf> Acesso em: 30 de mar. 2017.

ROCHA, J. J. **Geografia histórica da Capitania de Minas Gerais, 1781**. RESENDE, M. E. L. (Ed.(s)). 226 p., Fundação João Pinheiro: Belo Horizonte, 1995.

LACAZ, C. S. **História da medicina tropical**. In: CIMERMAN, S.; CIMERMAN, B (Ed (s)). Medicina Tropical. São Paulo, Editora Atheneu, 2003 *apud* ARAÚJO, P. R. **Interação hidrogeoquímica e geografia da saúde na bacia hidrográfica do ribeirão Lindóia, zona norte de Londrina-PR.** 138 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Geografia, Meio Ambiente e Desenvolvimento), Universidade Estadual de Londrina. Londrina, 2006.

LACERDA, M. O. **Paisagem e potencial turístico no Vale do Jequitinhonha: Caracterização geral da unidade de paisagem.** 173 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

LEMES, M. J. L. **Avaliação de metais e elementos-traço em águas e sedimentos das bacias hidrográficas dos rios Mogi-Guaçu e Prado, São Paulo**. 210 f. 2001. Dissertação (Mestrado em Química), Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). São Paulo, 2001.

LIMA, E, A, M. **Avaliação da qualidade dos sedimentos e prognóstico geoquímico ambiental da zona estuarina do rio Botafogo, Pernambuco**. 208 f. 2008. Tese (Doutorado em Geociências). Universidade Federal de Pernambuco. Recife, 2008.

LICHT, O. A. B. **Geoquímica multielementar na gestão ambiental: Identificação e caracterização de províncias geoquímicas naturais, alterações antrópicas da paisagem, áreas favoráveis à prospecção mineral e regiões de risco para a saúde no estado do Paraná, Brasil.** 236 f. 2001. Tese (Doutorado em Geologia), Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001.

KABATA-PENDIAS, A.; PENDIAS, H. 1992. **Trace elements in soils and plants**. 315 f., 2. ed., London, 1992 *apud* TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos.** 126 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

KRUG, F. J.; NÓBREGA, J. A.; OLIVEIRA, P. V. **Espectrometria de Absorção Atômica: Parte 1 - fundamentos e atomização com chama.** Artigo Técnico. Centro de Energia Nuclear na Agricultura, Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 1-40, jun. 2004.

MALAVOLTA, E. **Fertilizantes e seu impacto ambiental: Micronutrientes e metais pesados, mitos, mistificações e fatos.** ProduQuímica, São Paulo, 1994 *apud* TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos.** 126 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

MARTINS, M. L. O Jequitinhonha dos viajantes, séculos XIX e XX: Olhares diversos sobre as relações sociedade – natureza no nordeste mineiro. **Revista Varia História.** Belo Horizonte, v. 24, n. 40, p. 707-728, dez. 2008.
MARTINS, M. L. As mudanças nos marcos regulatórios da mineração diamantífera e as reações dos garimpeiros: o caso da região do Alto Jequitinhonha. **Revista Geografias.** Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 37-49, jun. 2009.

MARTINS, M. L. **A mineração de diamantes e a administração geral dos terrenos Diamantinos: Minas Gerais, décadas de 1830-1870.** XV Seminário sobre a Economia Mineira. Diamantina, 23 p., ago. 2012.

MARTINS, M. L. **Mineração, identidade garimpeira e meio ambiente: os conflitos em torno da extração de diamantes no Alto Jequitinhonha, 1989 – 1995**. XXIV Simpósio Nacional de História. São Leopoldo, 10 p., jul. 2007.

MATTA, P.; M. **O garimpo na Chapada Diamantina e seus impactos ambientais: uma visão histórica e suas perspectivas futuras**. 214 f. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana), Universidade Federal da Bahia. Salvador, 2006.

MINERAIS DO PARANÁ S.A. **Atlas geoquímico do estado do Paraná: Geoquímica das águas superficiais e geoquímica dos sedimentos de fundo**. Otávio Augusto Boni Licht (Org.). Curitiba: MINEROPAR, 80 p., 2001.

MIRANDA, L. H. S. **Análise dos metais pesados e sua relação com o meio ambiente e a saúde na bacia do ribeirão Anicuns**. 156 f. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais e Saúde. Universidade Católica de Goiás. Goiânia, 2007.

MORAES, P. P. F. **Análise geoquímica-ambiental dos solos de veredas da bacia do rio do formoso, município de Buritizeiro, Minas Gerais, Brasil**. 203 f. Dissertação, (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 35, n. 6, p. 370-374, 2002.

NEVES, S. C.; ABREU, P. A. A.; FRAGA, L. M. S. Fisiografia. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes**. O Lutador, 2005, p. 271.

OLIVEIRA, W.; VIEIRA, V. C. A condição social e econômica do garimpeiro da cidade de Diamantina: Uma história contada por seus protagonistas. **Revista Vozes dos Vales**. Diamantina, v. 1, n. 2, p. 1-20, 2012.

PEREIRA, M. A. A. Domínio histórico-social. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.). **Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes**. O Lutador, 2005, p. 271.

PINTO, A. L. A água como indicador principal de sistemas ambientais. **Revista Okara: Geografia em Debate,** João Pessoa, v. 4, n. 1, p. 25-40, 2010.

RATNAIKE, R. N. Acute and chronic arsenic toxicity. **Postgraduate Medical Journal,** United Kingdom, v. 79, p. 391-396. 2003.

RIBEIRO, H. Saúde pública e meio ambiente: evolução do conhecimento e da prática, alguns aspectos éticos. **Revista Saúde e Sociedade.** Belo Horizonte, v. 13, n. 1, p. 70-80, abr. 2004.

RIBEIRO, E. V. **Avaliação da qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora – MG: metais pesados e atividades antropogênicas**. 198 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

RIBEIRO, E, V.; MAGALHÃES JR., A. P.; HORN, A. H.; TRINDADE, W. M. Metais pesados e qualidade da água do rio São Francisco no segmento entre Três Marias e Pirapora - MG: índice de contaminação. **Revista Geonomos**. Belo Horizonte, v. 20, n. 1, p. 49–63, 2012.

ROHDE, G. M. **Geoquímica ambiental e estudos de impacto.** 3ª ed. São Paulo: Signus, 184 p. 2008.

SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. **Revista Geonomos,** Belo Horizonte, n. 3, v. 1, p. 41-63, 1995.

SAINT-HILAIRE, A. Viagem pelas províncias do Rio de Janeiro e Minas Gerais, 1822. Trad. Vivaldi Moreira. Belo Horizonte: Itatiaia, São Paulo: Universidade de São Paulo, 110 p., 1975.

SALEM, H. M.; EWEIDA, E. A.; FARAG, A. **Heavy metals in drinking water and their environmental impact on human health.** The International Conference for Environmental Hazards Mitigation. Cairo, p. 542-556, sep. 2000.

SANTOS, F. O. Geografia médica ou geografia da saúde? Uma reflexão**. Caderno Prudentino de Geografia,** Presidente Prudente, n. 32, v. 1, p. 41-51, jun. 2010.

SARWAR, N.; MALHI, S. S; ZIA, M. H.; NAEEM, A.; BIBI, S.; FARID, G. Role of mineral nutrition in minimizing cadmium accumulation by plants. **Journal of the Science of Food Agriculture.** v. 90, n. 1, p. 925–937, 2010.

SARWAR, N.; IMRAN, M.; SHAHEEN, M. R.; ISHAQ, W.; KAMRAN, A.; MATLOOB, A.; REHIM, A.; HUSSAIN, S. Phytoremediation strategies for soils contaminated with heavy metals: modifications and future perspectives. **Chemosphere**. v. 171, p. 710-720, mar. 2017.

SCLIAR, C. Dotação mineral, meio ambiente e desenvolvimento no Alto Jequitinhonha. **Revista Geonomos.** Belo Horizonte, v. 3, n.1, p. 65-75, 2006.

SELINUS, O. Medical geology: an emerging speciality. **Revista Terrae,** Campinas, v. 1, n. 1 p. 8-15, 2004.

SHOKR, E. A. M.; ALHAZEMI, A.; NASER, T.; ZUHAIR, T. A.; ZUHAIR, A. A.; ALSHAMARY, A. N.; ALANAZI, T. A.; ALANAZI, H. A. Chronic renal failure associated

with heavy metal contamination of drinking water in Hail, KSA**. Journal of Medicine and Medical Sciences**, Dubai, v. 5, n. 1, p. 06-13, jan. 2016.

SILVÉRIO, P. F. **Bases técnico-científicas para a derivação de valores-guias de qualidade de sedimentos para metais: Experimentos de campo e laboratório.** 145 f. 2003. Tese (Doutorado em Ciências da Engenharia Ambiental), Universidade de São Paulo. São Carlos, 2003.

SIQUEIRA, G. W.; APRILE, F. Avaliação de risco ambiental por contaminação metálica e material orgânico em sedimentos da bacia do rio Aurá, Região Metropolitana de Belém – PA. **Revista Acta Amazônica,** Manaus, v. 43, n. 1, p. 51-62, 2013.

SOUSA, J. C. L. **Geografia da Saúde: Indicadores de saúde e aspectos socioambientais na qualidade de vida de três comunidades quilombolas da Serra do Espinhaço Meridional**. 110 f. 2014. Dissertação (Mestrado Interdisciplinar em Saúde, Sociedade e Ambiente), Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri. Diamantina, 2014.

SOUZA, L. C. D; CARVALHO, A. C. M; CORRÊA, B. S; SILVA, M. P. Consequências da atividade garimpeira nas margens do rio Peixoto de Azevedo no perímetro urbano do município de Peixoto de Azevedo – MT. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, São Cristóvão, v. 8, n. 2, p. 220-231, 2008.

SOUZA, J. A. **Avaliação das estratégias de recuperação de áreas degradadas pela mineração de bauxita em Poços de Caldas (MG).** 104 f. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Lavras. Lavras, 1997 *apud* RIBEIRO, A. I.; LONGO, R. M.; TEIXEIRA FILHO, A.; MELO, W.J. Diagnóstico de uma área compactada por atividade minerária, na floresta amazônica, empregando métodos geoestatísticos à variável resistência mecânica à penetração do solo. **Revista Acta Amazônica,** Manaus, v. 36, n. 1, p. 83-90, 2006.

SPERLING, E. V. Considerações sobre a saúde de ambientes aquáticos. **Revista Bio**, v. 2, n. 3, p. 53-56, 1993 *apud* MORAES, D. S. L.; JORDÃO, B. Q. Degradação de recursos hídricos e seus efeitos sobre a saúde humana. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 35, n. 6, p. 370-374, 2002.

STEINKELLNER, H.; MUN-SIK, K.; HELMA, C.; ECKER, S.; MA, T, H.; HORAK, O.; KUNDI, M.; KNASMULLER, S. Genotoxic effects of heavy metals: Comparative investigation with plant bioassays. **Environmental and Molecular Mutagenesis**. v. 31, p. 183-191, 1998.

TANASSARI, C. C. G. Tectônica global. In: TEIXEIRA, W. Decifrando a Terra. São Paulo: Oficina de Textos, p. 97-112, 2000 *apud* LACERDA, M. O. **Paisagem e potencial turístico no Vale do Jequitinhonha: Caracterização geral da unidade de paisagem.** 173 f. 2005. Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2005.

TAVARES, S. T. P.; CASTAÑEDA, C.; SOARES, A. C. P. Análise sistêmica da exploração mineral e o seu contexto sócio-econômico no Médio Jequitinhonha, MG. **Revista Geonomos**. v. 15, n. 2, p. 59 – 63, 2007.

THOMAS, R. L. A protocol for the selection of process-oriented remedial options to control in situ sediments contaminants. **Hydrobiologia**, v. 149, p. 247-258, 1987 *apud* TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos.** 126 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

TIBIRIÇÁ, L. G. **Caracterização geoquímico-ambiental do garimpo do Tucano, Monte Alegre de Goiás-GO**. 52 f. 2006**.** Dissertação (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Goiás. Goiânia, 2006.

TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos.** 126 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

TUCCI, C. E. M. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156p.

WEDEPOHL, K. H. 1978. Handbook of Geochemistry. **Springer Verlag**, v. 2, 618p. Berlin, 1978 *apud* TRINDADE, W. M. **Concentração e distribuição de metais pesados em sedimentos do rio São Francisco entre Três Marias e Pirapora/MG: Fatores naturais e antrópicos.** 126 f. 2010. Dissertação (Mestrado em Geologia), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2010.

APÊNDICE A - TABELA COM CONDIÇÕES DE OPERALIZAÇÃO DO APARELHO

Tabela 3. Condições de operação do aparelho Varian Spectraa 50B.

Elemento	λ	Faixa de trabalho ug/ml	Corrente da lampada
Cd	228,8	0,2 - 3,0	4 mA
Cu	324,7	0,03 - 10,0	4 mA
Fe	248,3	0,06 - 15,0	5mA
Mn	279,5	0,02 - 5,0	5 mA
Ni	232,0	0,01 - 20,0	4 mA
Pb	217,0	0,01 - 30,0	5 mA
Zn	213,9	0,01 - 2,0	5 mA

APÊNDICE B - TABELA COM OS VALORES ABSOLUTOS DOS ELEMENTOS

Tabela 4. Resultados para as concentrações dos metais pesados nos sedimentos.

Determinação dos valores de metais nos sedimentos							
Pontos	Cd (mg/Kg)	Cu (mg/Kg)	Fe (mg/Kg)	Mn (mg/Kg)	Ni (mg/Kg)	Pb (mg/Kg)	Zn (mg/Kg)
Ponto 1	0,000	8,072	265,000	6,061	7,609	22,222	8,808
Ponto 2	0,000	1,794	177,500	31,313	7,609	**53,086**	1,036
Ponto 3	0,000	1,794	33,750	9,090	7,609	**90,123**	4,404
Ponto 4	0,000	5,830	246,250	51,515	7,609	16,049	0,518
Ponto 5	0,000	3,587	77,500	14,141	0,000	**90,123**	1,036
Ponto 6	0,000	8,072	102,500	19,192	3,805	**65,432**	1,036
Ponto 7	0,000	5,830	202,500	86,869	0,000	**46,914**	10,103
Ponto 8	0,000	5,830	715,000	34,143	0,000	9,877	6,217
Ponto 9	0,000	14,798	1121,250	1020,202	7,609	22,222	25,647
Média	**0,000**	**6,179**	**326,806**	**141,392**	**4,650**	**46,228**	**6,534**
Ponto 1 Extra	0,000	**362,78**	783,750	389,899	13,043	34,586	15,284
Ponto 2 Extra	0,000	3,587	127,500	177,788	7,609	**65,432**	25,647
Ponto 3 Extra	0,000	**84,305**	1083,750	464,646	**18,478**	**114,815**	73,575
Ponto 7 Extra	0,000	8,072	202,500	81,818	0,000	16,049	3,626
Média (Extras)	**0,000**	**114,686**	**549,375**	**278,538**	**9,783**	**57,721**	**29,533**
CONAMA Nível 1 (mg\kg)	0,600	35,700	-	-	18,000	35,000	123,000
CONAMA Nível 2 (mg\kg)	3,500	197,000	-	-	35,900	91,300	315,000