

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA**  
**INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS**  
**PROGRAMA DE PÓS - GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA**

**GEISIMARA ALVES DE OLIVEIRA**

**AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS ATUAIS DE MERCÚRIO TOTAL EM ÁREA  
CONTAMINADA NO MUNICÍPIO DE DESCOBERTO - MG**

**JUIZ DE FORA**

**2014**

GEISIMARA ALVES DE OLIVEIRA



PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM GEOGRAFIA

INSTITUTO DE CIÊNCIAS HUMANAS

AVALIAÇÃO DOS NÍVEIS ATUAIS DE MERCÚRIO TOTAL EM ÁREA  
CONTAMINADA NO MUNICÍPIO DE DESCOBERTO - MG

ORIENTADOR: Prof. Dr. Geraldo César Rocha

COORIENTADOR: Prof. Dr. Jorge Antonio Barros de Macedo

Dissertação apresentada ao  
Programa de Pós-Graduação em  
Geografia, área de concentração:  
Espaço e Ambiente, da  
Universidade Federal de Juiz de  
Fora, como requisito parcial à  
obtenção do grau de mestre.

JUIZ DE FORA

2014

Ficha catalográfica elaborada através do Programa de geração automática da Biblioteca Universitária da UFJF, com os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

Oliveira, Geisimara Alves de.  
Avaliação dos níveis atuais de mercúrio total em área contaminada no município de Descoberto - MG. / Geisimara Alves de Oliveira. -- 2014.  
95 f.

Orientador: Geraldo César Rocha  
Coorientador: Jorge Antonio Barros de Macedo  
Dissertação (mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Juiz de Fora, Instituto de Ciências Humanas. Programa de Pós-Graduação em Geografia, 2014.

1. Contaminação. 2. Mercúrio. 3. Solos . 4. Sedimentos. I. Rocha, Geraldo César , orient. II. Macedo, Jorge Antonio Barros de , coorient. III. Título.





*Dedico este trabalho a minha filha Milena.*

## **AGRADECIMENTOS**

Ao curso de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal de Juiz de Fora por acreditar nesse projeto.

Ao Centro de Tecnologia Mineral - CETEM pelo apoio com a realização das análises de mercúrio total em solos e sedimentos.

À Universidade Federal de Juiz de Fora pela concessão da bolsa monitoria.

Ao meu orientador Geraldo César Rocha e coorientador Jorge Antonio Barros de Macedo pelo profissionalismo, disponibilidade e seriedade no desenvolvimento desse trabalho.

Aos bolsistas do Núcleo de Pedologia Leonardo, Thayane, Ricardo e Kelvin pelo grande auxílio prestado nos trabalhos de campo e laboratório.

À Prefeitura Municipal de Descoberto pelas informações fornecidas e aos funcionários pela colaboração nos trabalhos de campo realizados.

Aos meus pais Vilma e Jacy pelo incentivo e amor incondicional.

As minhas irmãs Suaní, Maize e Maira pelo carinho e atenção em todos os momentos.

Ao meu companheiro Matheus pelo amor e motivação.

Aqueles que por escolha tornei meus amigos nessa caminhada Monique, Emerson e Evandro, que transformaram esse trajeto mais gratificante e enriquecedor.

À Deus pela vida e proteção constante.

*“Devemos aceitar com serenidade as coisas que não podemos modificar ter coragem para modificar as que podemos e sabedoria para perceber a diferença.”*

*Francisco de Assis*

## RESUMO

Em dezembro de 2002 foi observado afloramento de mercúrio metálico na localidade da Serra da Grama, zona rural do município de Descoberto – MG. O metal surgiu no local após as correções realizadas por retro-escavadeira na estrada de acesso à área. Na região foram desenvolvidas atividades de garimpo de ouro a partir de 1824 até meados do século XX. O mercúrio (Hg) é utilizado na fase final do garimpo para a separação do ouro de outros minerais e concentração do metal. O presente trabalho avaliou a concentração atual de mercúrio total na área contaminada no município de Descoberto – MG. Tendo como objetivos específicos: avaliar os níveis de mercúrio total ao longo de perfis de solos; avaliar a concentração de mercúrio total nos sedimentos fluviais; analisar a variabilidade da concentração do mercúrio nas estações seca e chuvosa e comparar a concentração de mercúrio encontrado com os níveis permitidos pela legislação brasileira e com pesquisas já realizadas na área. A metodologia proposta consistiu na coleta de amostras de solos e sedimentos em locais definidos através de visitas de reconhecimento, levantamento de dados históricos existentes e resultados obtidos em outras pesquisas já realizadas no local. A quantificação de mercúrio total em solos apresentou valores entre 0,03 e 16,55 mg/kg. Os resultados obtidos na avaliação de mercúrio total em sedimentos comprovaram contaminação dos sedimentos fluviais entre 0,03 e 1,67 mg/kg. Com relação à variabilidade da concentração de mercúrio na estação seca e chuvosa comprovou-se aumento dos níveis de mercúrio nos solos e sedimentos no período chuvoso. Conclui-se que a contaminação por mercúrio se mantém na área não ocorrendo a diminuição da mesma com o tempo como demonstram os resultados obtidos nesse trabalho. O significativo aumento da concentração de mercúrio em sedimentos e solos no período chuvoso se justifica como consequência do transporte de materiais de solos e sedimentos contaminados, devido ao grande volume de água que caracteriza essa estação. Os pontos até então escolhidos como referência apresentaram concentração de mercúrio. Esses novos focos de contaminação podem estar relacionados à disseminação do contaminante pela atmosfera já que o mercúrio metálico possui alta volatilidade. O local se encontra completamente abandonado pelas autoridades responsáveis e não é verificada nenhuma ação efetiva por parte do poder público com relação à remediação do local. Os resultados mostram a possibilidade de transferência do mercúrio às populações do entorno, além da contaminação extrapolar a área inicialmente avaliada pelos órgãos ambientais.

**Palavras – Chave:** mercúrio, contaminação, solos, sedimentos.

## ABSTRACT

In December 2002 outcrop of metallic mercury was observed in the town of Serra of Gramma, rural municipality of Descoberto - MG. The metal came in place after the corrections made by backhoe on the access road to the area. In the region of gold mining were developed from 1824 until the mid- twentieth century. Mercury (Hg) is used in the final stage of mining for separating gold and other minerals metal concentration. This study aims to evaluate the current concentration of total mercury in the contaminated area in the municipality of Descoberto - MG. Having specific objectives: to assess the levels of total mercury over soil profiles; evaluate the concentration of total mercury in river sediments; analyze the variability of the mercury concentration in the dry and rainy seasons and compare the concentration of mercury found with levels allowed by Brazilian law and with previous studies in the area. The proposed methodology consisted of collecting samples of soil and sediment at sites defined by reconnaissance visits, survey of existing historical data and results obtained in other studies already conducted on site. Quantification of total mercury in soils showed values between 0.03 and 16.55 mg / kg. The results obtained in the evaluation of total mercury in sediments bought contamination of river sediments between 0.03 and 1.67 mg / kg. Regarding the variability of the mercury concentration in the dry season and rainy noticed an increase in mercury levels in soils and sediments in the rainy season. It is concluded that mercury contamination remains in the area not happening its reduction with time as shown by the results obtained in this work. The significant increase in the concentration of mercury in sediments and soils in the rainy season is justified as a consequence of the transport of soil and sediment contaminated materials due to the large volume of water that characterizes this season. Points previously chosen as a reference showed mercury concentrations. These new outbreaks may be related to the spread of the contaminant in the atmosphere since the metallic mercury has high volatility. The place is completely abandoned by the authorities and is not verified any effective action by the government in relation to the remediation of the site. The results shows the possibility of transfer of mercury to the surrounding population, contamination extrapolate beyond the area initially assessed by environmental agencies.

Key – words: mercury, contamination, soils, sediments.

## LISTA DE FIGURAS

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1:</b> Foto com detalhe do mercúrio .....  | 44 |
| <b>Figura 2:</b> Foto de mercúrio no solo.....   | 44 |
| <b>Figura 3:</b> Material cascalhento encontrado no conduto ou canoa.....  | 45 |
| <b>Figura 4:</b> Mercúrio total presente no solo de Descoberto – MG.....   | 46 |
| <b>Figura 5:</b> Mapa de localização do município de Descoberto, no contexto da Zona da Mata a sudeste de MG.....  | 53 |
| <b>Figura 6:</b> Zoneamento climático da Zona da Mata Mineira, conforme classificação climática de koppen & Geiger.....  | 60 |
| <b>Figura 7:</b> Solos da Zona da Mata de Minas Gerais.....  | 61 |
| <b>Figura 8:</b> Mapa Geológico da região de Descoberto com localização aproximada da área contaminada (círculo vermelho).....                                 | 62 |
| <b>Figura 9:</b> Perfil ( PD1) de solo estudado (faca com 15 cm).....  | 64 |
| <b>Figura 10:</b> Esquema com a distribuição dos perfis dos solos estudados.....   | 65 |
| <b>Figura 11:</b> Draga utilizada em campo para coleta de sedimentos.....  | 67 |
| <b>Figura 12:</b> Mapa dos pontos de amostragem de sedimentos fluviais coletados na Bacia do Ribeirão do Grama com área contaminada demarcada em vermelho..... | 68 |
| <b>Figura 13:</b> Equipamento LUMEX, com corretor Zeeman.....  | 70 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1:</b> Dados da relação dose – resposta do mercúrio no sangue.....  | 30 |
| <b>Tabela 2:</b> Valores orientadores para qualidade do solo relativos ao mercúrio.....   | 35 |
| <b>Tabela 3:</b> Valores orientadores para qualidade do solo relativos ao mercúrio no Estado de São Paulo.....                  | 35 |
| <b>Tabela 4:</b> Amostras coletadas para determinação de valores normais (background) para a região de Descoberto – MG.....     | 36 |
| <b>Tabela 5:</b> Valores orientadores para qualidade de sedimentos.....   | 37 |
| <b>Tabela 6:</b> Níveis de mercúrio determinados em amostras de solos coletadas em diferentes regiões.....                      | 42 |
| <b>Tabela 7:</b> Concentração de mercúrio no solo na região do Baixo Tapajós.....   | 43 |
| <b>Tabela 8:</b> Concentração de mercúrio total nos solos verificado por Tinôco, 2008.  | 48 |
| <b>Tabela 9:</b> Valores citados na literatura e usados como referência para concentração de mercúrio em sedimentos de rio..... | 50 |
| <b>Tabela 10:</b> Concentração de mercúrio total em sedimentos verificado em Descoberto – MG.....                               | 52 |
| <b>Tabela 11:</b> Dados das amostras de solos coletadas.....  | 66 |
| <b>Tabela 12:</b> Dados das amostras de sedimentos coletadas.....   | 69 |
| <b>Tabela 13:</b> Concentração de mercúrio total em solos.....  | 72 |
| <b>Tabela 14:</b> Concentrações de mercúrio total em solos verificados em pesquisas realizadas em Descoberto MG.....            | 74 |
| <b>Tabela 15:</b> Concentração de mercúrio total nos sedimentos estudados.....  | 76 |

|  |    |
|--|----|
| <b>Tabela 16:</b> Concentrações de mercúrio total em sedimentos fluviais verificados em Descoberto – MG..... | 77 |
|--|----|



## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| <b>Gráfico 1:</b> Mercúrio total nos solos estudados.....      | 73 |
| <b>Gráfico 2:</b> Mercúrio total nos sedimentos estudados..... | 78 |

## LISTA DE QUADROS

|  |    |
|--|----|
| <b>Quadro 1:</b> Forma química, propriedades características e aplicações do mercúrio..... | 23 |
|--|----|

## LISTA DE SIGLAS

- Au** - símbolo do ouro na tabela periódica
- CDTN** - Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
- CERH** - Conselho Estadual de Recursos Hídricos
- CETEM** - Centro de Tecnologia Mineral
- CETESB** - Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CH<sub>3</sub> Hg<sup>+</sup>** - metilmercúrio
- [(CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Hg]** - dimetilmercúrio
- COMIG** - Companhia Mineradora de Minas Gerais
- CONAMA** – Conselho Nacional de Meio Ambiente
- COPAM** - Conselho Estadual de Política Ambiental
- CPRM** - Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
- FEAM** - Fundação Estadual do Meio Ambiente
- Hg** – mercúrio
- Hg<sub>2</sub><sup>2+</sup>** - íon mercurioso
- Hg<sup>2+</sup>** - íon mercúrico
- Hg<sup>0</sup>** - mercúrio elementar
- HgT** - mercúrio total
- IBGE** - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- LEMA** - Laboratório de Especificação de Mercúrio Ambiental
- pH** - potencial hidrogeniônico
- VI** - Valor de Investigação
- VP** - Valor de Prevenção
- VRQ** - Valor de Referência de Qualidade

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO.....</b>   | <b>17</b> |
| 1.1 . Objetivos.....  | 20        |
| 1.1.1 Objetivo Geral.....   | 20        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos.....  | 20        |
| <b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>  | <b>21</b> |
| 2.1. O mercúrio: propriedades e características gerais.....                 | 21        |
| 2.2.O metimercúrio (metilHg).....   | 24        |
| 2.3. Toxicologia do mercúrio.....   | 26        |
| 2.4. Efeitos da exposição humana ao mercúrio.....                           | 28        |
| 2.5. O uso do mercúrio nos garimpos de ouro.....                            | 31        |
| 2.6. Legislação e valores de referência para solos e sedimentos.....        | 32        |
| 2.6.1 Valores orientadores para qualidade de solo.....                      | 34        |
| 2.6.2. Valores de referência para qualidade de sedimentos.....              | 37        |
| 2.7. Contaminação de solos por mercúrio.....                                | 38        |
| 2.7.1. Solos.....   | 38        |
| 2.7.2. Comportamento do mercúrio no solo.....                               | 39        |
| 2.7.3. Estudos de caso de contaminação de solos por mercúrio.....           | 40        |
| 2.7.4. Contaminação dos solos por mercúrio em Descoberto – MG.....          | 44        |
| 2.8. Contaminação de sedimentos por mercúrio.....                           | 49        |
| 2.8.1. Comportamento do mercúrio nos sedimentos e estudos de casos.....     | 49        |
| 2.8.2. Concentração de mercúrio total em sedimentos em Descoberto – MG..... | 51        |

|  |           |
|--|-----------|
| 2.9. Localização e características da área de estudo.....  | 53        |
| 2.10. Caracterização do Meio Físico.....                   | 54        |
| <b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>                         | <b>63</b> |
| 3.1. Metodologia.....                                      | 63        |
| 3.1.1. Metodologia de Amostragem.....                      | 63        |
| 3.1.1.1. Amostragem de Solos.....                          | 63        |
| 3.1.1.2. Amostragem de Sedimentos.....                     | 67        |
| 3.1.2. Metodologia de Análise Química.....                 | 70        |
| <b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                      | <b>71</b> |
| 4.1. Análise de mercúrio total em solos.....               | 71        |
| 4.2. Análise de mercúrio total em sedimentos fluviais..... | 75        |
| <b>5. CONCLUSÕES.....</b>                                  | <b>79</b> |
| <b>6. SUGESTÕES DE PESQUISA.....</b>                       | <b>81</b> |
| <b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....</b>                  | <b>82</b> |
| <b>8. ANEXOS.....</b>                                      | <b>88</b> |

## 1. INTRODUÇÃO

Os processos de produção têm criado volumes crescentes de resíduos em todo o mundo. Em muitos casos, insumos e produtos finais contêm substâncias com várias características de toxicidade ao meio ambiente e à saúde humana. Diversos problemas de contaminação ainda não completamente entendidos e muito menos controlados, estão afetando cada vez mais um maior número de pessoas. Existem diversos vazios e desconhecimentos no campo da contaminação química do ambiente, insuficiências essas que limitam as correlações de diversos fatores. Dessa forma, torna-se importante o desenvolvimento de atitudes práticas que contribuam para estabelecer medidas de prevenção e controle de contaminação (OBREGÓN, 1985; OPS et al., 2007) .

A interação entre poluente e meio receptor resulta em efeitos cuja natureza, escala e importância, bem como a sua variação ao longo do tempo, denotam a complexidade do tema. Ao considerar a destinação de resíduos, há que se pensar que estes materiais, são resultantes de qualquer processo de operação destinado ao seu desuso e/ou destruição. Subentende-se então que estes não vão ser reutilizados, recuperados ou reciclados. Portanto, quando alocados inadequadamente ficarão disponíveis em algum compartimento da natureza ou permanecerão no ambiente até a sua disposição final (BRILHANTE, CALDAS, 1999).

Em dezembro de 2002 foi observado afloramento de mercúrio metálico na localidade da Serra da Grama, zona rural do município de Descoberto - MG. Segundo FEAM, CDTN, CPRM, (2005) o metal surgiu no local após as correções realizadas por retro-escavadeira na estrada de acesso à área. O local do afloramento fica a aproximadamente 20 m do córrego Rico, que deságua no ribeirão da Grama. O ribeirão da Grama pertence à sub-bacia do rio Pomba, afluente da bacia do Paraíba do Sul.

Segundo relatos históricos, na região de Descoberto – MG foram desenvolvidas atividades de garimpo de ouro a partir de 1824 até meados do século XX (FEAM, CDTN, CPRM, 2005). O mercúrio (Hg) é utilizado na fase final do garimpo para a separação do ouro de outros minerais e concentração do metal. Tal elemento é dentre os metais contaminantes, aquele que apresenta a maior toxicidade, além de ser o único metal capaz de sofrer biomagnificação em quase todas as cadeias alimentares, isto é, sua concentração aumenta

conforme aumenta o nível trófico da espécie. Isso resulta em exposição ambiental via cadeia alimentar bastante alta para consumidores de níveis tróficos elevados, incluindo o homem (AZEVEDO, 1994; LACERDA, MALM, 2008).

De acordo com o diagnóstico de contaminação elaborado pela FEAM, CDTN, CPRM (2006) a área contaminada é de aproximadamente 700 m<sup>2</sup>. Foram observados valores elevados de mercúrio nas gramíneas que cobrem essa área, além de alterações das concentrações de mercúrio nas águas superficiais e nos sedimentos dos cursos de água que drenam a área em estudo. Entretanto, não foi verificada a presença de teores anômalos de mercúrio nas águas subterrâneas, possivelmente devido a forte adsorção desse metal aos constituintes do solo e ao fato de sua presença estar restrita a porção superficial do solo.

Em estudo realizado no município de Descoberto – MG, Alexandre (2006) relata que das quarenta e uma amostras de água analisadas, em quatorze foi identificada concentração de mercúrio acima do valor máximo permitido para conservação do equilíbrio natural definido pela Resolução CONAMA n ° 357 (0,2 µg/L) (BRASIL, 2005), que se relacionam com as águas doces superficiais. Sendo que em sete foi verificada concentração maior que o limite para o consumo humano estabelecidos pelo Ministério da Saúde (0,001mg/L) segundo Portaria MS 2914 (12/12/2011) (BRASIL, 2011). A autora ainda ressalta a detecção de um teor de mercúrio igual a 2,8 µg/L onde é realizada a captação de água para abastecimento do município de Descoberto – MG.

O mercúrio é altamente tóxico para a saúde humana, representando uma ameaça particular para o desenvolvimento da criança no útero e no início da vida. A exposição humana à altas concentrações de Hg metálico, orgânico e inorgânico podem danificar permanentemente o cérebro, rins, e comprometer o desenvolvimento fetal. A absorção, distribuição, metabolismo, excreção e, conseqüentemente, a toxicidade dependem do seu estado de oxidação e da forma química no organismo (HACON, AZEVEDO, 2006; WHO, 2003) .

Conforme relatório preliminar elaborado pela Diretoria Regional de Saúde - DRS/JF (2003), no período de 2000 a 2002 foram observados no município nove óbitos com patologias de insuficiência renal crônica e neoplasias diversas. Transtornos neuropsiquiátricos foram freqüentes em suas anamneses. Foram confirmados óbitos por insuficiência renal, pré natal em gestante com feto anencéfalo e parto recente de criança com focomelia. Ainda de

acordo com o relatório, o Secretário Municipal de Saúde em exercício em 2003 relatou a ocorrência de quatro casos de anencefalias. Ao se relacionar a presença do contaminante no ambiente com a existência de possíveis danos a saúde é identificado um problema ambiental complexo. Esse estudo propõe a avaliação dos níveis atuais de mercúrio total em solos e sedimentos fluviais na área contaminada no município de Descoberto – MG, em solos e sedimentos fluviais, visando proporcionar subsídios suficientes para a tomada de decisão por parte do poder público com relação a área.

## **1.1 . OBJETIVOS**

### **1.1.2. Objetivo Geral**

Avaliar a concentração atual de mercúrio total na área contaminada no município de Descoberto – MG.

### **1.1.3. Objetivos Específicos**

- Avaliar os níveis de mercúrio total ao longo de perfis de solos;
- Avaliar a concentração de mercúrio total nos sedimentos fluviais;
- Analisar a variabilidade da concentração do mercúrio nas estações seca e chuvosa;
- Comparar a concentração de mercúrio encontrado com os níveis permitidos pela legislação brasileira e com pesquisas já realizadas na área.



## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 2.1. O Mercúrio: propriedades e características gerais

Na antiguidade o mercúrio era utilizado para fins terapêuticos. Os chineses acreditavam que o mesmo poderia prolongar a vida; já os antigos hindus atribuíam ao mercúrio propriedades afrodisíacas. Na Idade Média usava-se o mercúrio em processos de amalgamação, porém seu uso mais comum era na alquimia. Até meados do século XVIII o mercúrio, por sua natureza líquida, não era classificado como metal e suas propriedades físico-químicas ainda eram desconhecidas. O seu potencial tóxico não era totalmente ignorado, tanto que na Roma Antiga trabalhadores de minas de extração de mercúrio eram considerados como condenados devido à possibilidade de contaminação (GUILHEN, 2009).

O mercúrio, elemento químico de número atômico 80, tem o símbolo Hg e é derivado da palavra "Hidrargyros" (do grego hydor, elemento de composição com o sentido de água, mais árgyros = prata; no latim: argentum = prata; daí o termo hidrargirismo para explicitar sua intoxicação a longo prazo), cuja análise etimológica já revela algumas propriedades do metal, isto é, a de ser um líquido prateado à temperatura ambiente ou nas condições normais de temperatura e pressão. Encontra-se amplamente distribuído, em baixas concentrações, por toda a crosta terrestre. Na forma elementar ( $\text{Hg}^0$ ) ocupa a 16ª posição em relação à abundância na natureza e suas reservas são avaliadas em cerca de 30 bilhões de toneladas (AZEVEDO, 1994; SOUZA, BARBOSA, 2000) .

Juntamente com o cádmio e o zinco, ele encontra-se no grupo II b da Tabela Periódica. Seu átomo apresenta cinco níveis eletrônicos completos (2, 8, 18, 32, 18) e um incompleto com 2 elétrons, exibindo uma valência de  $2^+$ . O mercúrio que existe nos diferentes compartimentos ambientais pode se apresentar como inorgânico e/ou orgânico. Na forma inorgânica pode ser apresentado sob três diferentes estados de oxidação: o Hg elementar ( $\text{Hg}^0$ ), o qual se encontra principalmente na forma de gás, o íon mercurioso ( $\text{Hg}_2^{2+}$ ) forma pouco estável em sistemas naturais, e o íon mercúrico ( $\text{Hg}^{2+}$ ). Na forma orgânica, o íon mercúrico apresenta-se ligado covalentemente ao um radical orgânico, sendo o metilmercúrio

( $\text{CH}_3 \text{Hg}^+$ ) e o dimetilmercúrio [ $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$ ] os mais comuns, ou ainda com ligantes orgânicos naturais (AZEVEDO, 1994; MICARONI, BUENO, JARDIM, 2000) .

O ciclo biogeoquímico do mercúrio é caracterizado pelas várias rotas que este elemento e seus derivados podem seguir no ambiente. Dentre elas destaca-se sua liberação do solo e/ou da água para atmosfera, seu transporte nesta seguido da deposição atmosférica das espécies de mercúrio na água e solo. Quando em contato com o solo ou sedimento, pode ocorrer sorção do mercúrio na forma insolúvel seguida de metilação/desmetilação. O ciclo é completado pelas rotas de precipitação, bioconversão em formas voláteis ou solúveis, reinteração deste na atmosfera ou bioacumulação na cadeia alimentar aquática ou terrestre (BISINOTI, JARDIM, 2004). Na tabela 1, são apresentadas as formas químicas do mercúrio, bem como suas propriedades características e aplicações.

Existem dois ciclos de distribuição e transporte do mercúrio no ambiente. O ciclo de alcance global que envolve a emissão natural de mercúrio devida à gaseificação da crosta terrestre, evaporação natural de corpos d'água e erupções vulcânicas. De acordo com Andrade; Bueno (1989) em certas áreas como no Havaí ou na Islândia, a atividade vulcânica pode dar origem a níveis de Hg no ar cerca de 100.000 vezes maiores que em áreas contaminadas apenas por ação antropogênica.

Já o ciclo local é favorecido pelas atividades antrópicas, sendo as principais: a mineração de ouro e prata, indústrias cloro-álcali, combustíveis fósseis, produção de aço, cimento e fosfato, e a utilização de fungicidas mercuriais. Estimativas indicam 200.000 toneladas de mercúrio emitidas para a atmosfera desde 1890, sendo que em torno de 95% permanecem no solo, 3% nas águas oceânicas superficiais e 2% na atmosfera (AZEVEDO, NASCIMENTO, CHASIN, 2001; SOUZA, BARBOSA, 2000; WHO, 2003). Segundo a Environmental Protection Agency - EPA (2009) dados indicam que as emissões globais de mercúrio chegam a 7.500 toneladas por ano, considerando fontes naturais e antropogênicas.

O mercúrio é utilizado ainda em termômetros, barômetros, lâmpadas que produzem raio ultravioleta, lâmpadas fluorescentes, na preparação de amálgamas utilizados por dentistas, aparelhos eletroanalíticos e na preparação industrial do alumínio. O uso de lâmpadas fluorescentes em larga escala exige cuidado visto que a maioria desses produtos contém uma grande quantidade desse elemento. A concentração de mercúrio em uma lâmpada

de 40W em 1985 alcançava valores de até 48,2 mg/kg . Em 2000 o conteúdo de mercúrio se encontrava em 20 mg/kg, valor ainda alto levando em consideração a toxicidade de tal elemento (MACEDO, 2011).

Admite-se que as emissões naturais de mercúrio sejam da ordem de 25 mil a 125 mil toneladas/ano. A crosta terrestre é fonte importante para a contaminação de corpos aquáticos naturais. Uma parcela do mercúrio encontrado na água é de origem natural, embora possa ser parcialmente de origem atmosférica e assim ter sido gerado, também, por atividade antrópica. É difícil avaliar quantitativamente as contribuições relativas à atividade antropogênica e à natural em relação aos compostos de mercúrio que sofrem lixiviação do solo para a água (HACON, AZEVEDO, 2006).

Quadro 1: Forma química, propriedades características e aplicações do mercúrio

| <b>Forma Química</b>         | <b>Propriedades características</b>  | <b>Aplicações</b>  |
|------------------------------|--|--|
| <b>Metal</b>                 | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Líquido a temperatura ambiente, expansão volumétrica uniforme em ampla faixa de temperatura, alta tensão superficial, não aderência a superfícies vítreas.</li> <li>-Baixa resistência elétrica e alta condutividade térmica.</li> <li>- Alto potencial de oxidação em relação ao hidrogênio.</li> <li>- Facilidade de formação de amálgamas com outros metais.</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>-Aparelhos de medição de pressão e temperatura: termômetros, barômetros e manômetros</li> <li>-Materiais elétricos e eletrônicos, agente resfriante</li> <li>-Operações eletroquímicas: indústrias de cloro e soda</li> <li>-Metalurgia, odontologia, processos extrativos (garimpo)</li> </ul> |
| <b>Compostos Orgânicos</b>   | - Poder de assepsia por oxidação da matéria orgânica;  | Inseticidas, bactericidas, fungicidas  |
| <b>Compostos Inorgânicos</b> | - Alta estereoespecificidade;  | Catálise na indústria de polímeros sintéticos.   |

Fonte: Adaptada de Micaroni, Bueno, Jardim (2000).

Uma característica muito importante do mercúrio é a de ser volátil. Sua pressão de vapor é suficiente para fornecer concentrações perigosas de seus vapores nas temperaturas

comuns encontradas nos ambientes (internos ou externos), sob a maioria das condições climáticas. À medida que aumenta a temperatura de um ambiente que contém mercúrio, cresce sua concentração atmosférica. A concentração de vapores de mercúrio no ar pode ser influenciada, além da temperatura, pela pressão atmosférica, pela ventilação e pela área de mercúrio exposta (WHO, 2003) .

O mercúrio é um metal de variada aplicação em atividades produtivas e econômicas e são várias as denúncias e discussões, quanto a seu uso inadequado do ponto de vista ambiental, no garimpo do ouro. Por isso mesmo, prossegue o interesse dos toxicólogos em mais investigar e conhecer as propriedades nocivas deste elemento e de seus compostos. (AZEVEDO, 1994; LACERDA, MALM, 2008).

## **2.2. O metimercúrio (metilHg)**

O metilHg é a espécie mais tóxica do mercúrio, sendo um composto orgânico com grande estabilidade química, o que aliado a sua alta afinidade por lipídios (membranas biológicas) o conduz a um trânsito preferencial e estável pela biota. Apresenta o fenômeno de biomagnificação (aumento da concentração ao longo dos níveis tróficos) de forma mais eficiente que qualquer outro poluente metálico. Nos sedimentos o metilHg é consideravelmente mais tóxico que o mercúrio inorgânico, apesar de representar, em média, apenas cerca de 1,5% do mercúrio total (MALM, 1993).

O interesse no entendimento do ciclo do mercúrio tem aumentado nas últimas décadas e surgiu após o incidente de Minamata, no Japão no ano de 1956. A atenção é dada devido à elevada toxicidade do metilHg para os seres humanos e animais, seu acúmulo na biota e sua biomagnificação na cadeia alimentar aquática. O conhecimento da concentração, transporte e dinâmica do mercúrio e metilHg no ambiente é necessário para prever o impacto potencial sobre os seres humanos, bem como avaliar a qualidade de vida (BISINOTI, JARDIM, 2004) .

Ainda segundo Bisinoti, Jardim (2004) os sedimentos de rios, lagos e oceanos poluídos com mercúrio são perigosos porque o mercúrio confinado pode permanecer ativo como substrato para a metilação por cerca de 100 anos, mesmo quando a fonte é eliminada. A

distribuição do mercúrio nos sedimentos está relacionada com o conteúdo de carbono orgânico, argila, ferro, fósforo, potencial redox e enxofre, dentre outros. Os agentes orgânicos complexantes solúveis em água, tais como humatos e fulvatos, podem quelar as espécies solúveis e insolúveis na água; os últimos precipitam-se diretamente da solução para o sedimento. O pH ácido favorece a adsorção do mercúrio pelo húmus. No entanto, em pH básico o mercúrio tem maior afinidade pela fração mineral, desfavorecendo a formação do metilHg.

O mercúrio inorgânico pode ser metilado em condições aeróbias e anaeróbias por dois mecanismos distintos: o biológico, mediado por microrganismos e fungos, principalmente pela reação com ametilcobalamina; e o químico, ou abiótico, que pode ocorrer por três caminhos principais: (1) via reação de transmetilação; (2) por meio da radiação ultravioleta na presença de compostos orgânicos doadores do grupo metila e (3) por reação com os ácido fúlvico e húmico. A formação de metilHg e sua subsequente bioacumulação na cadeia trófica aquática depende de uma série de fatores tais como temperatura, concentração de bactérias presentes no meio, pH, tipo de solo ou sedimento, concentração de sulfeto, condições de óxi-redução do meio, além de variações sazonais (BISINOTI, JARDIM, 2004) .

Uma vez formado, o metilmercúrio entra na cadeia alimentar através de rápida difusão e forte ligação com proteínas da biota aquática, atingindo sua concentração máxima em tecidos de peixes do topo da cadeia alimentar aquática devido à biomagnificação. O acúmulo de mercúrio nas cadeias aquática e terrestre resulta em alto risco para o homem, principalmente pelo consumo de peixes de águas contaminadas, particularmente os predadores, como atum, peixe-espada e outros peixes de água salgada – mesmo se pescados distantes da região costeira; frutos do mar como mariscos, além de pássaros e mamíferos que se alimentam de peixes e ovos de pássaros (MICARONI, BUENO, JARDIM, 2000; WHO, 2003).

Os peixes absorvem o Hg com facilidade e o acumulam em seus tecidos, principalmente na forma de metilmercúrio, mesmo se expostos ao Hg inorgânico. A metilação bacteriana do Hg inorgânico, além de se dar no ambiente, pode ocorrer por meio das bactérias encontradas nas guelras, superfície ou intestinos do peixe. A eliminação do metilmercúrio de organismos aquáticos e em peixes é lenta, podendo levar meses ou anos. A perda de Hg

inorgânico é mais rápida, e assim a maior parte é retida como metilmercúrio (AZEVEDO, NASCIMENTO, CHASIN, 2001).

O metilmercúrio é a forma mais perigosa para a saúde. Sérios incidentes de exposição humana ao metilmercurio têm demonstrado seus efeitos tóxicos, dentre eles a neurotoxicidade. No homem os efeitos do metilmercúrio diferem em termos de dose-resposta e sintomas. Os grupos mais vulneráveis à exposição ao metilmercurio são as crianças, o feto e a gestante (HACON, AZEVEDO, 2006).

A principal forma de exposição do homem ao metilHg é através da dieta, onde este é absorvido rapidamente e eliminado lentamente se comparado às outras formas mercuriais. No entanto, o ar e a água, dependendo do nível de concentração, podem contribuir significativamente para o aumento do nível de Hg total no organismo humano. Após ser absorvido, o metilHg é distribuído para todos os tecidos do corpo, em processo que pode demorar até 6 dias. A dinâmica do metilHg no ambiente não está totalmente esclarecida, muito embora haja diversos trabalhos na literatura centrados na dinâmica de geração e consumo do metilHg em variadas matrizes ambientais (BISONOTI, JARDIM, 2004; HACON, AZEVEDO, 2006).

### **2.3. Toxicologia do mercúrio**

A toxicologia de uma substância está principalmente associada à sua ação bioquímica, às alterações fisiológicas e metabólicas que provoca, mas também à estabilidade química e ao tempo de residência nos órgãos e organismos alvos. O Hg pode ser considerado o metal mais tóxico, e por suas características físico-químicas, dos mais intrigantes. Várias de suas formas químicas de importante ocorrência ambiental são voláteis, permitindo tanto outras vias não usuais de exposição ao homem, como também, que seja transportado a longas distâncias (MALM, 1993).

Durante a última década do século XX, cientistas, legisladores, políticos e o público em geral tomaram maior conhecimento com relação a poluição causada pelo Hg. As emissões

antropogênicas permitiram o aumento da contaminação por Hg em escala local, regional e global (AZEVEDO, NASCIMENTO, CHASIN, 2001) .

O mercúrio inorgânico, ao sofrer o processo de alquilação, ganha lipossolubilidade, condição indispensável para o fácil transporte através de membranas celulares e para sua bioacumulação nos tecidos de um organismo. Dá-se tal fenômeno com invertebrados, peixes e mamíferos, sendo também possível ocorrer em plantas aquáticas. A capacidade das espécies inorgânicas do metal (excluindo-se o mercúrio elementar) e do metilmercúrio de reagir com ligantes intracelulares parece explicar o alto grau de acumulação desses compostos (WHO, 1989).

De acordo com Azevedo, Nascimento, Chasin (2001) toda vez que um organismo contaminado por mercúrio estiver em nível inferior numa cadeia trófica, seu predador absorverá aquele mercúrio orgânico, mas revelará concentrações comparativamente aumentadas (biomagnificação). Em estudo de avaliação da presença de Hg em diversos tipos de peixes em ambiente contaminado, observou-se que o metal se concentrava mais intensamente à medida que se evoluía na cadeia trófica.

A introdução do mercúrio no ambiente pode levar a acidentes ecológicos graves, dependendo da forma química e dos níveis de concentração deste elemento; portanto é importante ressaltar a ocorrência de espécies de mercúrio com toxicidade variável. O primeiro caso relatado de óbito por intoxicação com o composto organomercurial ocorreu em 1863, quando dois químicos tentaram determinar o número de oxidação do composto dimetilHg. A publicidade em torno deste assunto foi grande, porém a comprovação da causa na classe médica somente ocorreu em 1940 (ANDRADE, BUENO, 1989; BISINOTI, JARDIM, 2004).

Já o primeiro desastre de repercussão mundial causado por contaminação por mercúrio aconteceu em 1956, na baía de Minamata, no sudoeste do Japão. Os indivíduos foram acometidos dos seguintes sintomas: enfraquecimento muscular, perda de visão, danos cerebrais e paralisias eventuais, que em diversos casos resultaram em coma e óbito. Essa doença ficou conhecida como “Doença de Minamata” e após muitos estudos, em 1959, verificou-se que a causa estava no consumo de peixes e crustáceos contaminados por metilmercúrio, oriundos de efluentes da indústria Chisso Co., fabricante de plásticos de PVC (ANDRADE, BUENO, 1989) .

Segundo Bisinoti, Jardim (2004) em 1960, o nível de mercúrio no lodo próximo ao canal de drenagem da indústria Chisso Co. apresentava um valor de 2010 mg/kg em peso seco. Na vida marinha, os níveis de mercúrio também foram elevados: 35,7 mg/kg nos caranguejos e 5,61 mg/kg nas ostras. Nas pessoas que morreram da doença, os valores de mercúrio em seus organismos foram altos (fígado: de 22,0 a 70,5 mg/kg , cérebro: de 2,6 a 24,8 mg/kg e rins: de 21,2 a 140,0 mg/kg). Ficou oficialmente reconhecido que 2.252 pessoas foram diretamente contaminadas pelo metilHg, sendo que 1.043 óbitos ocorreram e um total de 12.127 pessoas provaram ter a doença.

Outros registros por envenenamento por este metal constam na literatura, como o causado pela ingestão de sementes de trigo e milho tratadas com fungicidas mercuriais na década de 70, no Iraque, Paquistão, Gana e Guatemala. No Iraque, mais de 6.900 pessoas foram hospitalizadas e pelo menos 459 morreram. Em 1969, nos Estados Unidos, foram relatados casos de intoxicação causada pela ingestão de carne de porcos alimentados com grãos tratados com fungicidas organomercuriais (ANDRADE, BUENO, 1989; BISINOTI, JARDIM, 2004).

São observados vários casos de contaminação com mercúrio que vão desde a quebra de termômetros em hospitais e lares até a contaminação de lagos e rios por atividades industriais. No Brasil um dos casos mais recentes ocorreu em Sorocaba a 62 km da cidade de São Paulo, na Rede Ferroviária Federal S. A., quando um vazamento de mercúrio contaminou 10 adolescentes com idades entre 13 e 17 anos. O mercúrio metálico era proveniente de um reator elétrico desativado, avariado por saqueadores de sucata de cobre (BISINOTI, JARDIM, 2004).

#### **2.4. Efeitos da exposição humana ao mercúrio**

O mercúrio é altamente tóxico para a saúde humana, representando uma ameaça particular para o desenvolvimento da criança no útero e no início da vida. Todas as formas têm toxicidades e implicações diferentes para a saúde , bem como existem medidas para evitar a exposição. A exposição humana à altas concentrações de Hg metálico, orgânico e inorgânico podem danificar permanentemente o cérebro, rins, e comprometer o desenvolvimento fetal. A absorção, distribuição, metabolismo, excreção e,



consequentemente, a toxicidade dependem do seu estado de oxidação e da forma química no organismo (HACON, AZEVEDO, 2006; WHO, 2003).

As mais importantes formas de contaminação pelo metal consideradas são o contato dérmico acidental com líquido ou sais empregados na manipulação de componentes eletrônicos; a inalação do vapor, por exemplo, em exposição ocupacional; e pela ingestão alimentar, destacadamente a dieta piscívora. Desde a antiguidade, se reconhece a ação tóxica na exposição ocupacional. Em alguns ambientes laborais, os riscos são maiores, como é o caso de hospitais, que utilizam mercúrio elementar em vários equipamentos (VECCHIO, 2005).

O mercúrio sob forma líquida é muito pouco absorvido pelo trato gastrointestinal. Portanto, ele não é considerado nocivo se ingerido. Por outro lado, seus vapores, quando inalados, podem facilmente atravessar a membrana alveolar até atingir a circulação sanguínea. No sangue, fígado e rins o mercúrio é oxidado à forma divalente (mercúrio iônico) pelo complexo chamado hidrogênio peróxido catalase. Este tipo de mercúrio representa a maior fonte de intoxicação verificada em laboratórios industriais e de pesquisa (CARDOSO et al., 2001) .

Os compostos orgânicos são os mais tóxicos e mais facilmente absorvidos no trato gastrointestinal. A forma metilada é solúvel em lipídios, difundindo-se facilmente através das interfaces biológicas, como sangue-placenta, e sangue-cérebro. Devido a alta afinidade do metil-Hg com os grupos sulfidril, este atinge uma rápida incorporação nos órgãos críticos. O principal órgão crítico para o metil-Hg é o sistema nervoso central (WHO, 1989) .

O mercúrio metálico é absorvido principalmente pela via respiratória. A inalação do Hg vapor está associada com a toxicidade sistêmica em humanos e animais. Cerca de 80% do Hg vapor é absorvido pelos pulmões e atinge rapidamente a corrente sanguínea, devido a sua alta difusibilidade e liposolubilidade, sendo distribuído no organismo. A exposição crônica aos vapores de Hg tem como órgãos críticos os rins e o sistema nervoso central. A exposição aguda atinge diretamente os aparelhos respiratório, cardiovascular e gastrointestinal. Os efeitos conhecidos da exposição aos vapores de Hg são restritos a atividades ocupacionais, onde a magnitude, a intensidade da exposição e as condições microambientais são conhecidas (HACON, AZEVEDO, 2006) .

Azevedo (1994) salienta que os antecedentes de exposição ao mercúrio, seja de origem ocupacional, ambiental, medicamentosa, inadvertida, ou acidental são de grande valia para o diagnóstico da intoxicação. As primeiras manifestações da intoxicação a longo prazo por mercúrio metálico e por alquilmercuriais podem se confundir com outros quadros "psicológicos", o que dificulta o diagnóstico. Quando houver a suspeita de uma intoxicação mercurial é necessário voltar cuidadosamente a atenção para o sistema nervoso central, o periférico e a função renal, a fim de ultimar seu diagnóstico. As relações dose-efeito e dose-resposta constituem o eixo básico e principal da ciência toxicológica. O seu conhecimento permite prever os tipos de lesões causadas por exposições excessivas, segmentar a exposição segundo zonas de risco de produzir intoxicações, e permite, assim, sugerir e estabelecer limites de segurança para o grau de exposição. Na tabela 2 são apresentados dados da relação dose-resposta para exposição ao mercúrio.

Tabela 1: Dados da relação dose – resposta do mercúrio no sangue

| <b>Mercúrio<br/>no<br/>sangue<br/>(ug/dl)</b> | <b>Casos com sintomas %</b> |        |                       |           |                         |       |
|---|-----------------------------|--------|-----------------------|-----------|-------------------------|-------|
|   | Parestesia                  | Ataxia | Alterações<br>Visuais | Disartria | Alterações<br>Auditivas | Morte |
| <b>10-50</b>                                  | 5                           | 0      | 0                     | 5         | 0                       | 0     |
| <b>50-100</b>                                 | 42                          | 11     | 21                    | 5         | 5                       | 0     |
| <b>100-200</b>                                | 60                          | 47     | 53                    | 24        | 5                       | 0     |
| <b>200-300</b>                                | 79                          | 60     | 56                    | 25        | 13                      | 0     |
| <b>300-400</b>                                | 82                          | 100    | 58                    | 75        | 36                      | 17    |
| <b>400-500</b>                                | 100                         | 100    | 83                    | 85        | 66                      | 28    |

Fonte: Adaptado klaassen (1986) apud Azevedo (1994).

## 2.5. O uso do mercúrio nos garimpos de ouro

De acordo com Lacerda (1997) o ouro foi descoberto pela primeira vez no Brasil em 1552; no entanto sua exploração comercial se iniciou somente por volta de 1700, com a descoberta de ricos filões na região central do país. Por volta de 1800 o Brasil havia produzido cerca de 830 toneladas, correspondentes a cerca de 60% da produção global deste metal. Após a exaustão das reservas mineradas neste primeiro ciclo, o mercúrio foi introduzido na extração de ouro de minérios de baixo teor.

A utilização de mercúrio para exploração do ouro é conhecida como processo de pátio, onde as partículas mais pesadas do sedimento (normalmente aluviões de pequenos rios) são separadas com a batéia (espécie de bacia cônica) e é então acrescentado o mercúrio inorgânico no estado líquido, que se fixa às partículas de ouro formando um aglomerado (amálgama) , o chamado “ouro amalgamado” que é facilmente separado. O amálgama é então queimado a céu aberto utilizando maçaricos em panelas ou frigideiras e o mercúrio se volatiliza, ficando apenas as partículas de ouro (COUTO,CÂMARA,SABROZA, 1988; WASSERMAN, HACON, WASSERMAN, 2001).

O aporte do mercúrio no ambiente, através do seu uso cada vez mais crescente e indiscriminado no processo de amalgamação com ouro nas áreas de garimpo, tem sido uma preocupação crescente de ambientalistas. O método de extração de ouro com mercúrio não é o mais adequado e nem o de maior rendimento. Durante o processo de amalgamação a relação Au:Hg utilizada varia entre 1:3 a 1:5, de tal modo que para cada quilograma de ouro produzido, pelo menos 1,32 kg de mercúrio são perdidos para o ambiente (ANDRADE, BUENO, 1989).

Ainda segundo Andrade; Bueno (1989) deste total estima-se que cerca de 55% são lançados para a atmosfera através do processo de sublimação e o restante , aproximadamente 45% na forma de mercúrio metálico, fica nos sedimentos de fundo de cursos d'água. A possibilidade de metilação deste mercúrio metálico retido nos sedimentos depende de fatores que criem condições propícias para a forma oxidada do metal ( $Hg^{2+}$ ).

Para Pfeiffer (1993) a simplicidade do processo, seu baixo investimento e a alta recuperação do ouro, particularmente das partículas finas, torna-se um grande atrativo para garimpos de pequeno porte, onde danos à saúde e ao ambiente não são levados em conta pelos garimpeiros.

Em áreas de garimpo o principal dano ambiental está relacionado com o vapor metálico liberado para a atmosfera, durante o processo de queima de amálgama. Este vapor de mercúrio pode ser facilmente oxidado pelo oxigênio do ar e tem chances reais de ser levado a participar da cadeia alimentar do homem. O mercúrio metálico, quando inalado apresenta um elevado poder de toxicidade, pois pode ser convertido à forma metilada nos pulmões (ANDRADE, BUENO, 1989; BISINOTI, JARDIM, 2004).

As populações mais afetadas seriam os próprios garimpeiros e os trabalhadores em lojas de compra de ouro, que estariam severamente expostos durante o processo de queima do amálgama ouro-mercúrio através da aspiração de vapores de mercúrio (mercurialismo). Indiretamente, as populações que vivem exclusivamente da pesca estariam sendo afetadas através de sua alimentação, poluída por elevadas doses de metil - mercúrio ( HACON, AZEVEDO, 2006).

Lacerda (1997) relata que as emissões de mercúrio no Brasil nos últimos 200 anos não devem ter atingido 500 toneladas. O aumento expressivo do preço internacional do ouro, entretanto, deflagrou uma segunda corrida do ouro não só no Brasil, como em outros países da America Latina, África e Ásia. No Brasil, a amalgamação com mercúrio era responsável pela produção de apenas 5.9 toneladas de ouro em 1973, enquanto que em 1988 a produção de ouro por amalgamação foi de mais de 100 toneladas.

## **2.6. Legislação e valores de referência para solos e sedimentos**

Atualmente registram-se aproximadamente 80 documentos, entre leis, decretos, portarias, instruções normativas e resoluções, abordando o “tema” mercúrio nas suas diversas formas: mercúrio em produtos e em processos, emissões, agrotóxicos, medicamentos, serviços de saúde, resíduos e mineração. Ressalta-se que, além da legislação federal, existem inúmeros

documentos nos âmbitos estaduais e municipais. A legislação ambiental e de saúde nem sempre trata o assunto mercúrio isoladamente. Na maior parte dos casos o Hg é arrolado em conjunto com outros metais e contaminantes químicos, em legislação de preservação de qualidade de águas e do meio ambiente em geral. Há diferentes leis estaduais relativas ao uso do Hg no garimpo, e portarias ministeriais banindo certas substâncias mercuriais de determinadas atividades, como por exemplo, o uso de fungicidas mercuriais em agricultura. Desta forma, também não há um sistema de informação geral específico para o Hg, embora as bases de dados dos diferentes ministérios forneçam dados de comercialização, uso e produtos contendo Hg (MMA, 2013).

Nos Estados Unidos é possível observar uma maior abrangência e integração da legislação relativa ao mercúrio, sendo o mesmo controlado em diversos âmbitos: a Agência de Proteção Ambiental (EPA) controla o teor de mercúrio em pesticidas e a emissão para o ambiente através do ar, água e disposição em aterros; a Administração de Alimentos e Medicamentos (FDA) controla o teor de mercúrio em cosméticos, alimentos e produtos odontológicos e a Administração de Segurança Ocupacional e Saúde (OSHA) rege a exposição ao mercúrio em locais de trabalho (MICARONI, BUENO, JARDIM, 2000).

As regras relativas ao controle da contaminação por mercúrio no Brasil são desenvolvidas por diferentes instituições governamentais do Poder Executivo e Legislativo criando um sistema complexo de instâncias legais pelo uso de diferentes instrumentos e competências legais. São evidenciadas contradições ao estabelecerem abordagens diferentes para o mesmo objeto de regulamentação, enquanto falham em regulamentar outros aspectos importantes que ainda não possuem cobertura regulatória. Alcançar um amplo consenso nacional é um dos principais desafios nos esforços para construir uma Política Nacional de Mercúrio (SOHN, NYCZ, 2010).

Com relação à legislação sobre o mercúrio no Brasil, a principal referência utilizada neste trabalho é o conjunto da Legislação Federal Brasileira, levando em consideração que as legislações estaduais podem ser mais restritivas, mas nunca mais permissivas. A abordagem de legislação aplicada estará restrita aos padrões estabelecidos para solos e sedimentos, visto que são os focos de discussão propostos.

### 2.6.1 Valores orientadores para qualidade de solo

O gerenciamento de áreas contaminadas foi objeto de regulamentação federal através da Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009). A adoção de valores orientadores é uma tendência mundial, onde são apresentados valores de referência de qualidade, de alerta e de investigação, como uma primeira etapa nas ações de monitoramento da qualidade, prevenção à poluição e diagnóstico de áreas suspeitas de contaminação (CASARINI, 2001). Na tabela 2 são descritos os valores orientadores para mercúrio nos solos estabelecidos pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA para áreas contaminadas.

Como se vê na tabela 2 de acordo com a Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL 2009) os parâmetros referenciais para a avaliação da qualidade de solo são os seguintes:

- Valor Referência de Qualidade – VRQ: concentração de determinada substância que define a qualidade natural do solo.
- Valor de Prevenção – VP: concentração limite de determinada substância no solo, tal qual ele seja capaz de sustentar suas principais funções.
- Valor de Investigação – VI: concentração de determinada substância no solo ou na água subterrânea, acima da qual existem riscos à saúde humana.

Segundo a Legislação Federal, os Valores de Referência de Qualidade do solo (VRQs) para substâncias químicas naturalmente presentes serão estabelecidos pelos órgãos ambientais competentes de cada estado em até 04 anos após a publicação da Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009). O Estado de Minas Gerais estabeleceu através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH - MG nº 02 (MINAS GERAIS, 2010) que até que sejam estabelecidos os VRQs dos solos para o estado serão utilizados aqueles estabelecidos na lista de Valores Orientadores da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental - CETESB, publicada na Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E (SÃO PAULO, 2005) ou em suas atualizações, descritos na tabela 3.

Tabela 2 - Valores orientadores para qualidade do solo relativos ao mercúrio

| <b>Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009)</b>        |                                  |                    |              |             |            |
|--|----------------------------------|--------------------|--------------|-------------|------------|
| <b>Hg no Solo (mg.kg<sup>-1</sup> de peso seco )</b> |                                  |                    |              |             |            |
|  | Valor de Referência de Qualidade | Valor de Prevenção | Investigação |             |            |
|  |                                  |                    | Agrícola     | Residencial | Industrial |
| <b>Mercúrio</b>                                      | * E                              | 0,5                | 12           | 36          | 70         |

Fonte: BRASIL (2009). Nota: \* (E) a ser definido pelo Estado

É possível observar que os valores orientadores para qualidade de solos adotados pela Legislação Federal e pela CETESB são idênticos, sendo deixados apenas os VRQs como atribuição dos Estados. É notória a utilização dos valores estabelecidos pela CETESB como referência em diversos trabalhos acadêmicos avaliados.

Tabela 3 - Valores orientadores para qualidade do solo relativos ao mercúrio no Estado de São Paulo

| <b>CETESB - Decisão de Diretoria Nº 195-2005- E</b>                   |  |                         |                  |             |            |
|---|--|-------------------------|------------------|-------------|------------|
| <b>Hg no Solo (mg.kg<sup>-1</sup> de peso seco) (SÃO PAULO, 2005)</b> |  |                         |                  |             |            |
|   | Valor de Referência de qualidade (VRQ) | Valor de Prevenção (VP) | Intervenção (VI) |             |            |
|   |  |                         | Agrícola         | Residencial | Industrial |
| <b>Mercúrio</b>   | 0,05                                   | 0,5                     | 12               | 36          | 70         |

Fonte: SÃO PAULO (2005).

Com base em amostragens realizadas na região de Descoberto – MG foi definido pela FEAM, CDTN, CPRM (2005) que o Valor de Referência de Qualidade (VRQ) para concentração de mercúrio no solo da região é de 0,3 mg/kg de Hg. Para determinação dos valores normais (background) de mercúrio no solo na região, foram coletadas duas outras amostras da camada superficial do solo (0 a 20 cm de profundidade), cada uma dessas duas amostras foi composta por três sub amostras. Também foram consideradas duas amostras de solo coletadas pelo Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares (IPEN). As concentrações obtidas nas amostras são verificadas na tabela 4.

Tabela 4: Amostras coletadas para determinação de valores normais (background) para a região de Descoberto - MG

| <b>Ponto de amostragem</b> | <b>Profundidade de coleta (cm)</b> | <b>Hg total (mg/kg)</b> | <b>Data da coleta</b> |
|----------------------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------------|
| V0                         | 0 a 20                             | 0,196                   | Outubro/2003          |
|                            | 40 a 60                            | 0,141                   |                       |
| V1                         | 0 a 20                             | 0,323                   | Outubro/2003          |
|                            | 40 a 60                            | 0,224                   |                       |
| V2                         | 0 a 20                             | 0,336                   | Outubro/2003          |
|                            | 40 a 60                            | 0,400                   |                       |
| V3                         | 0 a 20                             | 0,226                   | Outubro/2003          |
|                            | 40 a 60                            | 0,229                   |                       |
| V4                         | 0 a 20                             | 0,245                   | Outubro/2003          |
|                            | 40 a 60                            | 0,298                   |                       |
| Platô                      | 0 a 20                             | <0,020                  | Outubro/2003          |
|                            | 40 a 60                            | 0,184                   |                       |
| BG-1                       | 0 a 20                             | 0,35                    | Fevereiro/2004        |
| BG-2                       | 0 a 20                             | 0,26                    | Fevereiro/2004        |
| PT L                       | 0 a 20                             | 0,37                    | Setembro/2003         |
|                            | 40 a 60                            | 0,33                    |                       |
| PT LP                      | 0 a 20                             | 0,39                    | Setembro/2003         |
|                            | 40 a 60                            | 0,37                    |                       |

Fonte: Adaptado FEAM, CDTN, CPRM (2005).

Segundo FEAM, CDTN, CPRM (2005) considerando todas as amostras coletadas nas duas profundidades, dos pontos BG- 1 e BG- 2 , a média das concentrações de mercúrio no solo é de 0,267 mg/kg, enquanto a mediana é de 0,271 mg/kg. A concentração média das amostras compostas coletadas para determinação do valor normal de mercúrio da região é de 0,305 mg/kg. É importante distinguir o que seriam níveis normais da concentração e aqueles relacionados a fontes antropogênicas de poluição, o que não foi considerado no diagnóstico realizado na área. Nota-se que o VRQ estabelecido para a área é consideravelmente superior ao estabelecido pela CETESB - 0,05 mg/kg, prejudicando dessa maneira efetivas ações de controle na área contaminada. Questiona-se dessa maneira o valor background estabelecido pela FEAM, CDTN, CPRM (2005) para a região.



## 2.6.2. Valores de referência para qualidade de sedimentos

Os valores orientadores adotados como referência para qualidade de sedimentos levam em consideração o disposto na Resolução CONAMA n° 454 (BRASIL, 2012), que estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional.

Os resultados da caracterização química devem levar em consideração os valores orientadores propostos pela Resolução CONAMA, como disposto na tabela 5. Esses valores são baseados na legislação canadense que define duas concentrações limite: Nível 1 - 0,17 mg / kg (concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos à biota); e Nível 2 - 0,486 mg / kg (acima da qual esses efeitos são freqüentemente observados) (ENVIRONMENTAL CANADA, 2002).

A ocorrência de efeitos biológicos adversos não pode ser precisamente prevista a partir de dados de concentração isolados. A probabilidade desses efeitos que ocorrem em resposta à exposição ao Hg num local em particular depende da sensibilidade do indivíduo e os parâmetros analisados. O comportamento de Hg nos sedimentos, bem como sua biodisponibilidade para os organismos aquáticos é dependente de um número de fatores físico-químicos, incluindo o pH, potencial redox e temperatura (ENVIRONMENTAL CANADA, 2002).

Tabela 5: Valores Orientadores para Qualidade de Sedimentos segundo Resolução CONAMA n° 454 (BRASIL, 2012)

| <b>Substâncias</b>    | <b>Níveis de classificação do material a ser dragado (em unidade de material seco) (BRASIL, 2012).</b> |                  |
|-----------------------|--|------------------|
| <b>Metais e Semi</b>  | Água doce  |                  |
| <b>Metais (mg/kg)</b> |  |                  |
| <b> Mercúrio</b>      | Nível 1<br>0,17  | Nível 2<br>0,486 |

Fonte: BRASIL (2012).

## **2.7. Contaminação de solos por mercúrio**

### **2.7.1. Solos**

Solos são corpos naturais, constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos, formados por materiais minerais e orgânicos, contendo matéria viva e ocupando a maior porção do manto superficial das extensões continentais do planeta. O território brasileiro se caracteriza por uma grande diversidade de tipos de solos, correspondendo, diretamente, à intensidade de interação das diferentes formas e tipos de relevo, clima, material de origem, vegetação e organismos associados, os quais, por sua vez, condicionam diferentes processos formadores dos solos (EMBRAPA, 2002).

Na área contaminada do município de Descoberto – MG predominam Latossolos (FEAM, CDTN, CPRM, 2005). De acordo com EMBRAPA (2002) os Latossolos são os solos mais representativos do Brasil, ocupando 38,7% da área total do país e distribuindo-se em praticamente todo território nacional. Na fração argila predominam minerais nos últimos estágios de intemperismo (caulinitas e óxidos de ferro e alumínio), sendo a fração areia dominada por minerais altamente resistentes ao intemperismo. São de textura variável, de média a muito argilosa, geralmente muito profundos, porosos, macios e permeáveis apresentando pequena diferença no teor de argila ao longo do perfil. Por estarem normalmente floculados, comportam-se como de textura arenosa, aumentando sua permeabilidade

Segundo FEAM, CDTN, CPRM (2006) na superfície do local contaminado até cerca de 60 cm de profundidade predominam solos de cor escura, contendo raízes, húmus e detritos orgânicos. Trata-se da porção do solo onde são desenvolvidas as atividades agropecuárias da região, portanto sua avaliação e proteção são importantes do ponto de vista econômico e ambiental. Abaixo dessa profundidade geralmente ocorre uma camada de solo de cor marrom, com cerca de 40-50 cm de espessura e com características morfológicas semelhantes. A partir de aproximadamente 100 cm de profundidade e até cerca de 600 cm normalmente encontra-se o horizonte C contendo minerais quase sempre alterados da

rocha original, predominantemente quartzo e minoritariamente microclina, sillimanita, albita e moscovita .

Ainda de acordo com FEAM, CDTN, CPRM (2006) a textura dos solos da área contaminada é constituída em média por 40% argila, 15% silte e 45% areia, sendo classificados como argilo arenosos. O mercúrio encontra-se mais retido na fração silte+argila dos solos, correspondendo a tamanhos dos grãos menores que 0,062mm. Como os solos da área contaminada são predominantemente argilo arenosos fica evidente a que os mesmos são granulometricamente apropriados para reter o mercúrio. Outro fator que evidencia a capacidade de retenção de mercúrio no solo da área é o pH que varia entre 5,3 a 7,9, com o valor médio de 5,8. Esses valores indicam a boa capacidade de adsorção de metais que os solos da região possuem, reterdo o mercúrio na fase sólida, tolhendo sua mobilidade.

### **2.7.2. Comportamento do mercúrio no solo**

A presença de metais pesados nos solos, definidos como os elementos químicos com densidade maior que  $5\text{g.cm}^{-3}$ , tem sido objeto de muitos estudos devido ao fato destes elementos permanecerem no solo por um tempo indefinido, e dessa forma causar perigo à saúde humana ou animal ao entrarem na cadeia alimentar. Apesar da possibilidade de mobilização dos metais no perfil dos solos, normalmente os maiores teores são encontrados nos horizontes superficiais, nos quais também ocorre maior acúmulo de matéria orgânica. Embora a solubilidade dos metais pesados dependa da forma como se encontram no solo, o pH do solo é uma das características do solo que mais afeta a solubilidade destes. A medida que o pH aumenta, a solubilidade do Cd, Cu, Hg, Ni e Zn diminui ( EMBRAPA,2002) .

A distribuição dos metais no solo depende do potencial redox, pH, drenagem e outros fatores. As formas metálicas e iônicas apresentam baixa mobilidade e, em grande parte, são adsorvidas por diferentes humatos e minerais. É notado que os solos possuem alta capacidade de retenção e armazenamento de mercúrio devido a forte interação com seus constituintes, principalmente os orgânicos, sendo esta capacidade bastante pronunciada em solos argilosos,

onde o metal pode ficar armazenado por muitos anos. Os teores naturais de Hg em solos de florestas são maiores em detrimento da menor perda deste elemento na interface solo-atmosfera, uma vez que a maior concentração de matéria orgânica é responsável pela maior imobilização do mercúrio. No entanto mudanças no uso da terra podem reduzir drasticamente esse tempo para alguns dias a meses, como a criação de área de pastagens (BASTOS, LACERDA, 2004; FELISBERTO, 2009).

As substâncias húmicas na água, no solo e em sedimentos agem como barreiras para a mobilidade do mercúrio no sistema, uma vez que têm a capacidade de formar complexos estáveis com este metal. Na superfície, o mercúrio pode mover-se pela formação de compostos organometálicos estáveis, mas seu comportamento e distribuição ao longo do perfil do solo é principalmente determinado pelo tipo de complexo orgânico formado, o que está relacionado com a capacidade de dissolução e de adsorção dos mesmos (FELISBERTO, 2009).

A capacidade de complexação controla em grande parte a mobilidade do mercúrio no solo que geralmente encontra-se ligado à massa de matéria orgânica, podendo ser movimentado por escoamento quando ligado ao húmus do solo em suspensão. Por estas razões, o mercúrio tem um longo tempo de permanência no solo e, por conseguinte, pode continuar a ser lançado em águas superficiais e outros meios (PNUMA, 2002).

### **2.7.3. Estudos de caso de contaminação de solos por mercúrio**

A bacia superior do Rio Madeira, foi a segunda mais importante região produtora de ouro de garimpo na Amazônia durante as duas últimas décadas do século passado. Estudos indicam que na área os solos de floresta apresentam concentração de Hg de 0,03 mg/kg a 0,34 mg/kg, sendo os valores mais altos encontrados em seções de rios onde havia mineração intensa. Solos diretamente afetados por fontes pontuais, como garimpos propriamente ditos, apresentam concentrações de Hg até duas ordens de grandeza superiores aos valores encontrados em solos florestais (BASTOS, LACERDA, 2004).

Estudo realizado em Paracatu – MG, onde há registros históricos do emprego de Hg metálico em antigos garimpos e atualmente exploração de ouro, demonstrou concentração de Hg em solos entre 0,0047 a 0,3585 mg/kg. Os valores obtidos estão abaixo do Valor de Prevenção ambiental estabelecido pela CETESB (2005) - 0,5 mg/kg. Os mais elevados teores foram obtidos em área afetada pela mineração e em área urbanizada que conta a abundância de solos construídos, que podem conter remanescentes de Hg metálico (SENDEROWITZ, CESAR, 2011).

Oliveira et al. (2007) avaliaram a distribuição de mercúrio em diferentes solos da Bacia do Médio Rio Negro-AM . De acordo com os autores, embora seja uma região sem histórico de atividades de garimpo, as concentrações de mercúrio determinadas nas amostras coletadas nos diferentes solos da bacia são comparáveis àquelas de solos considerados impactados por atividades de mineração e maiores que os valores médios globais citados na literatura. As amostras de solos coletadas em maiores profundidades (20 - 60 cm), caracterizadas pelo menor teor de material húmico, apresentaram menor capacidade de reter Hg, indicando forte influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio. As concentrações de Hg encontradas nessa bacia hidrográfica apresentaram valores entre 0,079 e 0,326 mg/kg. Na tabela 6 são apresentadas as concentrações encontradas na área e comparadas com solos considerados impactados por atividades de mineração, além de valores médios globais citados na literatura.

Felisberto (2009) propôs a determinação do teor total de mercúrio em solos representativos do Rio Grande do Sul, em sua condição original de vegetação e uso, e a verificação de sua relação com o material de origem e atributos físico-químicos de solos. De modo geral, os teores de mercúrio determinados nos solos foram baixos. Os teores variaram de 0,03 a 0,127 mg/kg . O teor médio de mercúrio obtido para os solos como um todo foi de 0,058 mg/kg . Os valores médios obtidos para as diferentes classes de solo foram: cambissolos 0,068 mg/kg, neossolos 0,064 mg/kg, chernossolos 0,064 mg/kg e latossolos 0,057 mg/kg. De acordo com a autora pela ocorrência generalizada de baixos valores e pequena amplitude de variação para o teor de mercúrio dos solos, existe a limitação para a determinação de significância de diferenças de valores entre grupos de solos, bem como de melhores coeficientes de correlação ou de determinação nas análises de correlação e regressão com outros atributos.

Tabela 6: Níveis de mercúrio determinados em amostras de solos coletadas em diferentes regiões

| <b>Localização</b>                          | <b>Descrição</b>                 | <b>Intervalo de concentração (mg/kg)</b> |
|---|----------------------------------|--|
| Média global                                | -                                | 0,05 - 0,100                             |
| Rio Madeira/Pará, Brasil                    | Floresta tropical 0-10 cm        | 0,017 - 0,128                            |
| Rio Madeira/Pará, Brasil                    | Floresta tropical, 50-60 cm      | 0,057 - 0,279                            |
| Próximo à cidade de Rio Branco/Acre, Brasil | Solos argilosos e ferruginosos   | 0,190 - 0,379                            |
| Rio Tapajós/Pará, Brasil                    | Horizonte mineral                | 0,050 - 0,210                            |
| Rio Negro/Amazonas, Brasil                  | -                                | Média 0,212                              |
| Rio Madeira/Roraima, Brasil                 | Floresta tropical                | 0,030 - 0,340                            |
| Rio Madeira/Pará, Brasil                    | Solos oxisols                    | 0,232 - 0,406                            |
| Rio Negro/Amazonas, Brasil                  | Floresta tropical                | 0,081 - 0,320                            |
| Serra do Navio/Amapá, Brasil                | Solo com cobertura argilosa      | 0,1 - 0,3                                |
| Sul da Amazônia                             | Solos de floresta                | 0,05 - 0,100                             |
| Sul da Amazônia                             | Solos de pastagem                | 0,01 - 0,05                              |
| EUA   | Solos agrícolas                  | Média 110                                |
| Europa                                      | Florestas de solos minerogênicos | 0,05 - 0,15                              |
| Europa                                      | Solos agrícolas                  | Média 100                                |
| Norte e Sudeste da Europa                   | -                                | <0,06                                    |
| Suécia                                      | Florestas com solos podzóis      | 0,007 - 0,25                             |
| Polônia                                     | -                                | Média 0,15                               |
| Hardwood/Michigan, EUA                      | Floresta temperada, 0-5 cm       | 0,006 - 0,1                              |
| Bacia do Médio Rio Negro - Amazonas, Brasil | Floresta tropical, 0-60 cm       | 0,079 - 0,326                            |

Fonte: Adaptado de Oliveira et al. (2007).

O município de Poconé – MT foi durante muitos anos uma das maiores áreas de exploração aurífera do país. Locais a jusante de áreas de garimpo e áreas de depósito de rejeitos dessa atividade após o seu abandono geralmente são incorporadas pastagens nas propriedades rurais ou mesmo para a criação de peixes em tanques escavados nestas áreas. Foram realizadas amostragens de solos de áreas influenciadas por essa atividade. Os resultados encontrados para a concentração de Hg em solos mostram teores de Hg aceitáveis para a prática das atividades agropecuárias. Quando comparado com o Valores de Referência estabelecidos pela CETESB (2005), nenhuma das médias de concentração de Hg em solo apresentaram valor superior a 0,5 mg/kg , Valor de Prevenção, que é a concentração em que pode ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo. As concentrações se encontram no intervalo de 0,0056 a 0,009 mg/kg (EICKHOF et al., 2010).

Tagliari (2009) avaliou as perdas de solo e mercúrio em uma pequena bacia hidrográfica do baixo-Tapajós na Amazônia brasileira (tabela 7) . A escolha do local se deu devido a identificação da ligação entre o manejo inadequado do solo e a contaminação por mercúrio das águas, peixes e população locais sob os diferentes usos e manejos do solo desta região. De acordo com a autora perdas de solo e de mercúrio variaram conforme o uso e manejo do solo. Os resultados demonstram que as perdas de mercúrio estão associadas ao desmatamento e ao manejo inadequado do solo, e que o caminho preferencial do mercúrio para os leitos dos rios se dá através da erosão dos solos. Com relação a concentração de mercúrio, foram encontrados valores coerentes para cada uso da terra avaliado, pois foi na floresta a maior concentração de mercúrio encontrada. Isso ocorre provavelmente devido a menor mobilidade de solo neste ambiente e à afinidade que o mercúrio tem com a superfície do solo, o que o fazem reter naturalmente este metal.

Tabela 7: Concentração de mercúrio em solos na região do Baixo Tapajós

|  | <b>Profundidade (cm)</b> | <b>Solo de capoeira</b> | <b>Solo de floresta</b> | <b>Solo de pasto</b> |
|--|--------------------------|-------------------------|-------------------------|----------------------|
| <b>Concentração de Hg em solos (mg/kg)</b> | 0-5                      | 0,067                   | 0,096                   | 0,070                |
|  | 20-25                    | 0,065                   | 0,098                   | 0,082                |
|  | 50-55                    | 0,072                   | 0,088                   | 0,089                |

Fonte: Adaptado de Tagliari (2009).

#### 2.7.4. Contaminação dos solos por mercúrio em Descoberto – MG

Em dezembro de 2002 foi observado afloramento de mercúrio metálico na localidade denominada Serra da Grama, zona rural do município de Descoberto, Minas Gerais. De acordo com moradores, o metal surgiu no local após correções realizadas por retro-escavadeira em estrada que dá acesso ao local, (figuras 1 e 2). Segundo relatos históricos, na região foram desenvolvidas atividades de garimpo de ouro no período de 1824 até meados do século XX. O mercúrio é utilizado na fase final no garimpo para a separação do ouro de outros minerais e concentração do metal. Após a confirmação da contaminação por mercúrio verificada no local, diversas pesquisas têm sido realizadas na área. Os primeiros resultados obtidos com relação à contaminação no local dizem respeito ao diagnóstico de contaminação apresentado pela FEAM, CDTN, CPRM (2005, 2006).



Figura 1: Foto com detalhe do mercúrio  
Fonte: Macedo (2009).



Figura 2: Foto de mercúrio no solo  
Fonte: Tinôco (2008).

A determinação da distribuição do mercúrio no solo se deu a partir da análise de 190 amostras, em diferentes profundidades. A porção superficial de 0-20 cm apresentou concentração de mercúrio entre 0,2 mg/kg e 8826 mg/kg. Por meio de interpolação das informações quantitativas da contaminação mercurial, o valor de 512 mg/kg é dado como representativo da concentração de mercúrio do solo na área contaminada. Esse valor é superior a 92% dos resultados de determinação de mercúrio obtidas nas



amostras de solo coletadas na área contaminada. Amostras de solo realizadas em profundidade indicaram que a contaminação está predominantemente restrita à porção superficial do solo até 20 cm (FEAM, CDTN, CPRM, 2006).

Ainda de acordo com FEAM, CDTN, CPRM (2006) em estreitas faixas localizadas nas estruturas denominadas condutos ou canoas, localizados em profundidades em torno de 50 cm, são verificadas as concentrações mais elevadas de mercúrio total, pontos onde o mercúrio está intimamente associado à presença de cascalho aurífero. Foram identificadas e delimitadas quatro dessas estruturas, (figura 3). Trata-se de fossas ou canais escavados no terreno, empregados no processo de concentração do minério aurífero, pelos antigos mineradores. A caracterização da contaminação mercurial presente nos cascalhos se deu através da análise de 20 amostras de solo agregado ao cascalho. Pode-se afirmar que essas estruturas de cascalhos possuem um teor médio de mercúrio da ordem de 980 mg/kg e as concentrações variam entre 0,2 a 8825,8 mg/kg. Em relação à distribuição de mercúrio na área contaminada verifica-se que não há contaminação abaixo dos 100 cm de profundidade.



Figura 3: Material cascalhento encontrado no conduto ou canoa. Fonte: FEAM, CDTN, CPRM (2006).

Estima-se que a área contaminada contenha um teor médio de 71 mg/kg de mercúrio. Desse total, aproximadamente 23% estão contidos nas estruturas denominadas canoas, adsorvidos ao cascalho e à sua matriz, a um teor médio de 980 mg/k. Os 77% do total restantes estão dispersos no solo que circunda as canoas, a um teor médio de 55 mg/kg. A

mancha de contaminação gerada pelo mercúrio disperso no solo perfaz uma área de cerca de 776 m<sup>2</sup>.

Resultados obtidos por Alexandre (2006) na zona rural do município de Descoberto, no vale do Ribeirão do Grama indicam a presença de mercúrio com concentrações superiores ao Valor de Referência de Qualidade (0,05 mg/kg) para solos agrícolas, mas abaixo do Valor de Prevenção (0,5 mg/kg) propostos pela CETESB . Considerando o valor natural (background) proposto pela FEAM, CDTN, CPRM (2005) para a região (0,3 mg/kg) apenas uma amostra apresentou concentração superior a tal, (gráfico 1) . A autora ressalta que esse valor de background é consideravelmente elevado se observado o Valor de Referência da Qualidade (0,05 mg/kg) sugerido pela CETESB para o Estado de São Paulo. As concentrações de mercúrio total em solos analisados se encontraram entre 0,003 e 0,34 mg/kg, (gráfico 1).

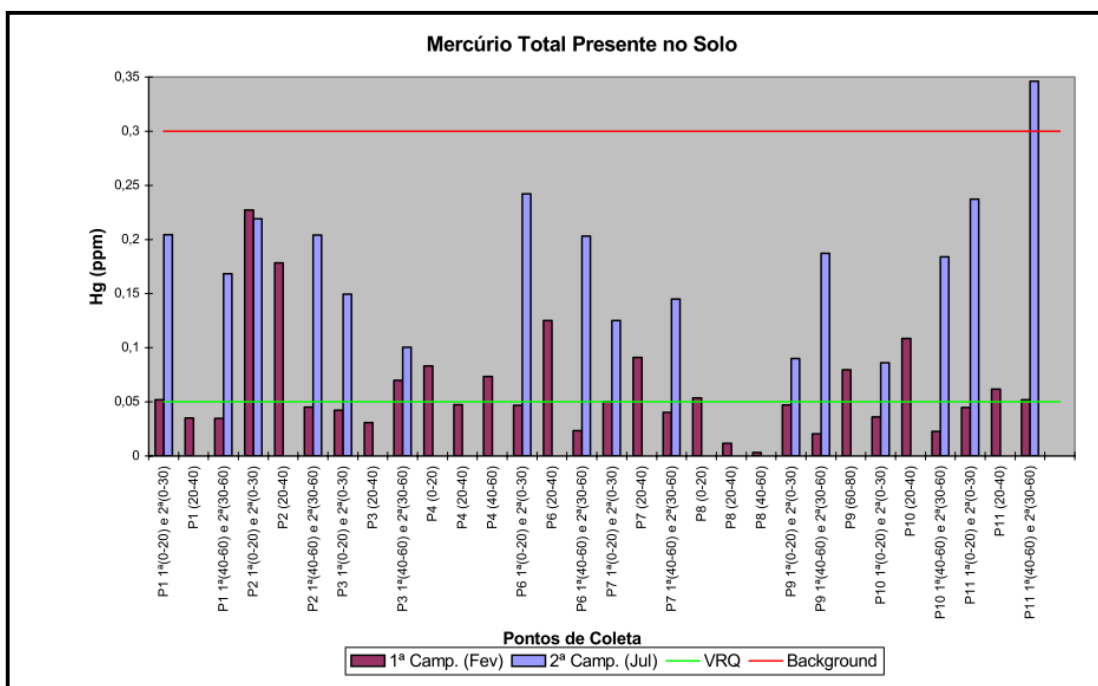


Figura 4: Mercúrio total presente no solo de Descoberto – MG. Fonte: Alexandre (2006).

Ramos, Castilhos, Egler (2007) realizaram a avaliação da toxicidade do solo contaminado em Descoberto – MG utilizando minhocas da espécie *Eisenia foetida*. De acordo com os autores as oligoquetas são utilizadas para avaliação da contaminação do solo por diversos motivos: ingestão de grande quantidade de solo, demonstram capacidade de

acumulação de poluentes presentes neste compartimento, representam cerca de 92% da biomassa de invertebrados presentes no solo e são importantes na reciclagem de nutrientes. Os resultados apontaram que no teste de ecotoxicidade realizado para avaliar os efeitos letais dos solos testados, não houve mortalidade. Porém, em todas as concentrações testadas foi observada visualmente uma mudança de coloração das oligoquetas, o que indica um possível efeito sub-letal causado pela presença de mercúrio no solo. Os resultados dos teores de mercúrio encontrados nas oligoquetas indicam que elas podem bioconcentrar mercúrio no solo, podendo ser utilizadas como organismos bioindicadores de contaminação de ecossistemas terrestres por metais.

Em trabalho realizado por Tinôco (2008) foram coletadas amostras de solo em três áreas no município, sendo elas: A - calha do Ribeirão do Grama; B - propriedade particular próxima ao perímetro urbano e cortada pelo Córrego Rico que deságua no Córrego das Pedras, afluente do Ribeirão do Grama e C- Ribeirão do Ronca. Foram observadas concentrações superiores aos Valores de Referência de Qualidade (0,05 mg /kg ) propostos pela CETESB, mas abaixo dos Valores de Prevenção (0,5 mg/kg ), exceto em área próxima ao Ribeirão do Ronca , em que se detectou, na quarta campanha, concentração de 0,55 mg/ kg . Considerando o Valor de Referência Local (background) estabelecido pela FEAM; CDTN; CPRM (2005) para a região (0,3 mg/ kg) com exceção da amostra coletada na propriedade particular próxima ao perímetro urbano , todas as concentrações foram superiores àquele. Tal pesquisa confirmou a poluição por mercúrio nos solos de 0,26 a 0,55 mg/kg, (tabela 8).

A avaliação da biodisponibilidade de mercúrio, zinco e cobre em distintas frações granulométricas de uma amostra de solo coletada na área crítica de contaminação de Descoberto - MG realizada por César et al. (2008) revelou elevadas concentrações, confirmando estudo previamente executado pela FEAM, CDTN, CPRM (2006) . De acordo com o padrão de qualidade de solos proposto por CETESB , o valor obtido na amostra in natura para HgT está enquadrado no limite de intervenção agrícola 0,5-2,5 mg/kg. O teor obtido para ZnT se encontra no intervalo de alerta ambiental 60-300 mg/kg, e o de CuT também está próximo deste intervalo 35 mg/kg. O autor ressalta que tais dados denotam a elevada magnitude da contaminação do solo estudado.

Tabela 8 : Concentração de mercúrio total nos solos verificado por Tinôco (2008)

| <b>Concentração de mercúrio total nos solos<br/>Tinôco (2008)</b> |                         |                         |
|---|-------------------------|-------------------------|
| Áreas   | 3 <sup>a</sup> campanha | 4 <sup>a</sup> campanha |
| A   | -                       | 0,33 ± 0,01 mg/kg       |
| B   | -                       | 0,26 ± 0,02 mg/kg       |
| C   | 0,40 ± 0,04 mg/kg       | 0,55 ± 0,03 mg/kg       |

Fonte: Adaptado Tinôco (2008) .

Em outro estudo realizado por César et al. (2009) foram estudadas a especiação geoquímica e extração seqüencial de Hg em amostras de solos e de sedimentos fluviais coletadas em um perímetro crítico de contaminação localizado na zona rural de Descoberto. A extração seqüencial de Hg em solos revelou a predominância de mercúrio elementar em todas as amostras estudadas, chegando a atingir, em relação ao total, a porcentagem média de  $95,2 \pm 5,5$  %. Esta constatação sugere que a maior parte do mercúrio presente no ambiente advém das antigas atividades de garimpo realizadas na área. De acordo com os autores, os elevados teores obtidos para mercúrio metálico, associados ao baixo teores logrados para as fases trocável e fortemente ligada (que corresponderam a  $2,1 \pm 2,8$  e  $1,0 \pm 1,3$  % do HgT, respectivamente) sugerem um baixo potencial de oxidação mercurial no ambiente. Esta observação está em concordância com os valores de pH (que margearam a neutralidade) e as baixas concentrações de matéria orgânica medidos nesses solos que, de fato, não favorecem a oxidação do mercúrio.

É ressaltado que em virtude da sua elevada densidade, a abundância de mercúrio elementar aponta para um baixo potencial de mobilidade do metal via lixiviação, e uma provável transferência do metal para a atmosfera, devido à alta volatilidade desta forma química metálica. O autor ainda sugere que em trabalhos futuros sejam realizadas medições do teor de mercúrio no ar, de forma a mensurar o papel deste compartimento.

## **2.8. Contaminação de sedimentos por mercúrio**

### **2.8.1. Comportamento do mercúrio nos sedimentos e estudos de casos**

Os sedimentos de fundo, também chamados de sedimentos de corrente, são formados por partículas minerais e orgânicas que se encontram em contato com a parte inferior dos corpos de água natural, como rios e lagos. Em razão da capacidade de armazenar materiais pouco solúveis, como é o caso da maioria dos compostos de mercúrio e de outros elementos-traço tóxicos e da sua característica de estar em equilíbrio físico e químico com as águas superficiais, os sedimentos possuem grande importância ambiental (BAIRD, 2002 apud FEAM, CDTN, CPRM, 2005).

No ambiente aquático, o compartimento considerado mais significativo na concentração de metais é representado pelos sedimentos, representando um receptáculo das substâncias no ambiente. São muito utilizados como material de amostragem, tanto em pesquisa de prospecção mineral como em estudos ambientais ao refletirem a qualidade do sistema e o desenvolvimento histórico de parâmetros hidrológicos e químicos (ROBAINA, FORMOSO, PIRES, 2002).

Em casos de contaminação por mercúrio em sistemas aquáticos, a quase totalidade do metal, aproximadamente 98%, se encontra nos sedimentos de corrente. Os metais pesados se ligam predominantemente ao material em suspensão e se acumulam finalmente nos sedimentos. As características biológicas e físico-químicas dos sedimentos provocam não somente a mineralização e acumulação do mercúrio, como também podem provocar a remobilização do mercúrio, tornando-o disponível para a cadeia trófica (SILVA, 1993).

O monitoramento da poluição de rios através de análises de sedimentos iniciou-se na Holanda em 1960. A avaliação dos níveis de mercúrio no sedimento de rios atualmente é um indicador amplamente generalizado, inclusive para áreas de importância ecológica. Tal indicador ganhou relevância após a demonstração da grande proporção de mercúrio encontrada em tecidos musculares de peixes e a capacidade que o sedimento tem de metilar o mercúrio a partir de formas inorgânicas (VIEIRA, ALHO, FERREIRA, 1995).

Em alguns casos uma espécie tóxica pode estar fortemente ligada a um mineral ou constituinte estável do sedimento, não oferecendo risco de contaminação dos organismos e água associados a este sedimento. Essa situação ocorre principalmente quando a espécie potencialmente tóxica está presente na região em razão de sua origem geológica. Essa situação difere daquelas em que o sedimento é contaminado por atividade antrópica (FEAM, CDTN, CPRM, 2005). Na tabela 9 são verificados alguns valores de referência para a concentração de mercúrio em sedimento.

Tabela 9: Valores citados na literatura e usados como referência para concentração de mercúrio em sedimentos de rio

| Origem            | Hg total (mg/kg) | Referência          | Região                    | Característica  |
|-------------------|------------------|---------------------|---------------------------|---|
| Rio Preto         | 0,12             | Ramos e Filho, 1996 | Bacia Paraíba do Sul - MG | Sedimento de área não contaminada                       |
| Rio Preto         | 0,65             | Ramos e Filho, 1996 | Bacia Paraíba do Sul - MG | Sedimento contaminado por área de garimpo               |
| Córrego Tripui    | 0,14             | FEAM, 1998          | Bacia do Rio Doce - MG    | Sedimento de área não contaminada                       |
| Rio do Carmo      | 0,20             | FEAM, 1998          | Bacia do Rio Doce - MG    | Sedimento contaminado por área de garimpo               |
| Córrego Tripui    | 0,28             | Cruz, 2002          | Bacia do Rio Doce - MG    | Não contaminada – presença de cinábrio                  |
| Rio Piracicaba    | 0,08             | Decina, 2003        | Bacia do Rio Doce - MG    | No município de Rio Piracicaba                          |
| Rio Piracicaba    | 0,25             | Oberdá, 1996        | Bacia do Rio Doce - MG    | Valores médios ao longo de todo o rio.                  |
| Rio Doce          | 0,34             | Oberdá, 1996        | Bacia do Rio Doce - MG    | No trecho a jusante do Rio Piracicaba até Belo Oriente. |
| Córrego Botafogo  | 0,70             | Cruz, 2002          | Bacia do Rio Doce - MG    | Não contaminada. Presença de cinábrio.                  |
| Córrego Matadouro | 0,30             | Trindade, 2002      | Bacia Rio Grande, MG      | Contaminada por curtume e esgoto doméstico.             |

Fonte: Adaptado de FEAM, CDTN, CPRM (2006).

### **2.8.2. Concentração de mercúrio total em sedimentos em Descoberto – MG**

Em estudo realizado por FEAM, CDTN, CPRM (2005) foram coletadas 13 amostras de sedimentos em trechos do Córrego Rico e Ribeirão da Grama no município de Descoberto – MG, nos meses de agosto, outubro e novembro de 2003. Os resultados obtidos para a concentração de mercúrio mostraram valores de 0,02 a 0,75 mg/kg. Das amostras totais analisadas quatro apresentaram concentração acima do Nível 1 - 0,147 mg/kg (concentração abaixo do qual espera-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota) e uma acima do Nível 2 - 0,486 mg/kg (concentração acima da qual espera-se um provável efeito adverso à biota). Em julho de 2005 foi realizada coleta de uma amostra de sedimento em caixa de sedimentação localizada no Ribeirão do Grama onde foi detectada 0,16 mg/kg de HgT.

Alexandre (2006) verificou valores de mercúrio total em sedimentos na área entre 0,02 e 0,510 mg/kg. As amostras foram coletadas na zona rural do município, no vale do Ribeirão do Grama, a montante da captação da COPASA nos meses de fevereiro, julho e novembro de 2005. De acordo com a autora foi possível verificar que na estação chuvosa ocorreu um aumento nos teores de mercúrio presentes nos sedimentos.

A concentração de mercúrio total nos sedimentos avaliada por Tinôco (2008) variou entre 0,13 e 0,61 mg/kg. As amostras foram coletadas no Córrego Rico, Ribeirão do Grama e Ribeirão do Ronca. Segundo a autora, verifica-se que a concentração de mercúrio na maioria das amostras situa-se na faixa definida entre os dois limites estabelecidos, no intervalo em que, ocasionalmente, esperam-se efeitos adversos aos organismos. Apenas uma amostra coletada no Ribeirão do Ronca apresentou concentrações acima do limite em que frequentemente ocorrem efeitos adversos à biota. Cesar et al. (2009) verificaram concentração de mercúrio entre 0,078 e 0,237 mg/kg no curso d'água denominado Córrego Rico que corta a área contaminada. O estudo foi realizado em junho de 2007 e foram coletadas onze amostras de sedimentos. Na tabela 10 são apresentados alguns valores de concentração de mercúrio verificados na área.

Tabela 10: Concentração de mercúrio total em sedimentos verificado em Descoberto- MG

| <b>Curso d'água</b> | <b>Referência</b>       | <b>HgT<br/>(mg/kg)</b> |
|---------------------|-------------------------|------------------------|
| Córrego Rico        | FEAM; CDTN; CPRM (2005) | 0,02 a 0,75            |
| Córrego Rico        | Tinôco (2008)           | 0,13 a 0,42            |
| Córrego Rico        | Cesar et al. (2009)     | 0, 078 e 0, 237        |
| Ribeirão do Grama   | FEAM; CDTN; CPRM (2005) | 0,02 a 0,16            |
| Ribeirão do Grama   | Alexandre (2006)        | 0,02 e 0, 510          |
| Ribeirão do Grama   | Tinôco (2008)           | 0,20 a 0,37            |
| Ribeirão do Ronca   | Tinôco (2008)           | 0,31 a 0,61            |

Fonte: FEAM, CDTN, CPRM (2005); Alexandre (2006); Tinôco (2008); Cesar et al. (2009).



## 2.9. Localização e características da área de estudo

O município de Descoberto – MG se localiza entre as coordenadas 21°27'36''S e 42°58'04''O e pertence à mesorregião da Zona da Mata Mineira e à microrregião de Juiz de Fora. Encontra-se a aproximadamente 297 km de Belo Horizonte e 75 km de Juiz de Fora, (figura 4). A área contaminada por mercúrio está situada na zona rural do município, na localidade denominada Serra do Grama a aproximadamente 10 km a nordeste do núcleo urbano. De acordo com o IBGE (2010) o município possui população total de residentes de 4.768 pessoas. A população total urbana é de 4069 pessoas e a rural de 699. Os homens totalizam 2.408 pessoas e mulheres 2.360. A área da unidade territorial é de 213, 168 km<sup>2</sup> e densidade demográfica de 22,3 hab / km<sup>2</sup>.

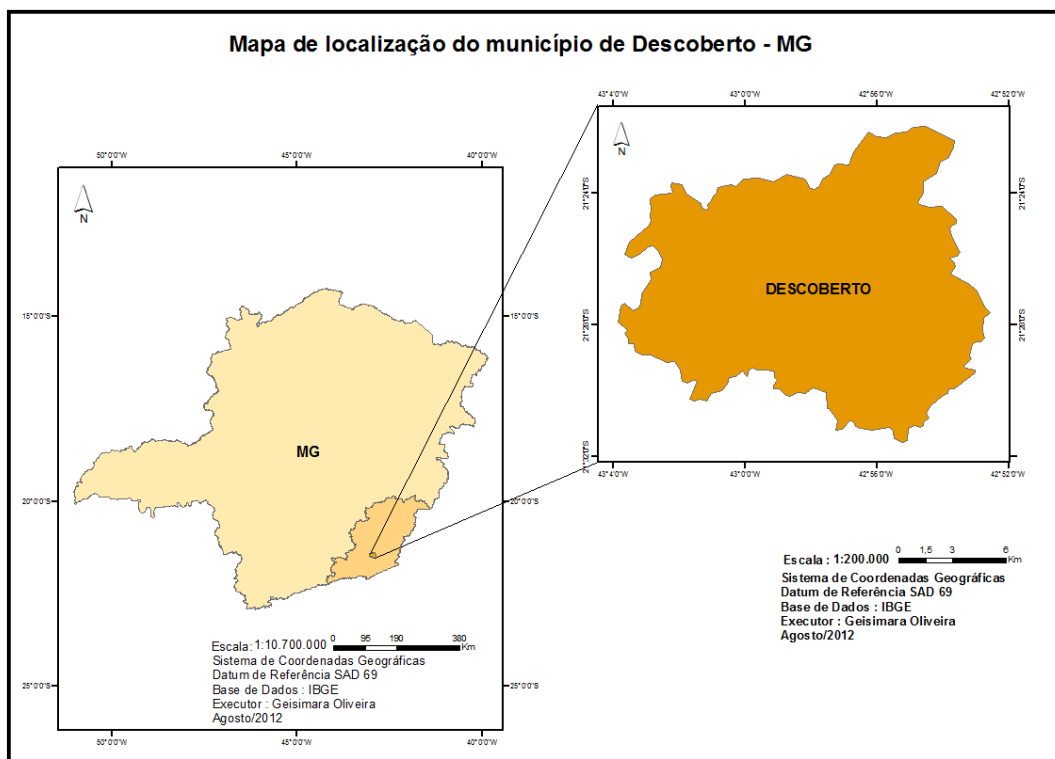


Figura 5: Mapa de localização do município de Descoberto, no contexto da Zona da Mata a sudeste de MG.

Fonte: Base de dados do IBGE

## **2.10. Caracterização do Meio Físico**

### **Clima**

O Brasil, por ser um país de grande extensão territorial, possui diferenciados regimes de precipitação e temperatura. De norte a sul encontra-se uma grande variedade de climas com distintas características regionais. O Estado de Minas Gerais, por sua localização geográfica, sofre a influência de fenômenos meteorológicos de latitudes médias e tropicais que conferem à região características de um clima de transição, onde duas estações bem definidas podem ser identificadas: uma seca e uma chuvosa (ABREU, 1998; QUADRO; ABREU, 1994).

Na Zona da Mata Mineira são observadas três classes climáticas segundo a classificação de Koppen & Geiger, são elas Aw, Cwa e Cwb. O local de estudo é caracterizado pela classe climática Cwa, Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, figura. A menor temperatura média é observada no mês de junho, 16,6 °C e a máxima no mês de janeiro, 23,5 °C. Observa-se a distribuição da precipitação dessa classe climática, concentrando-se principalmente nos meses de novembro, dezembro, janeiro, com precipitação superior a 200 mm mês, sendo responsáveis por 50 % da precipitação anual (SÁ JUNIOR, 2009).

### **Geologia**

O município de Descoberto está inserido nos domínios litológicos da Megassequência Andrelândia e do Complexo Juiz de Fora, COMIG (2002). A área contaminada encontra-se especificamente em terrenos da Megassequência Andrelândia, (figura 7). A Megassequência Andrelândia é essencialmente composta por gnaisses granatíferos de derivação pelítica a semipelítica. A composição mineralógica desses gnaisses é : plagioclásio, feldspato potássico, granada, quartzo e biotita, subordinadamente sillimanita e ortopiroxênio. Exibem

freqüentes intercalações de rochas calcissilicáticas, que podem atingir vários metros de espessura, constituídas principalmente de plagioclásio, piroxênio, quartzo e feldspato potássico.

Já o Complexo Juiz de Fora é composto por ortognaisses e metabasitos com paragêneses da fácies granulito, igualmente de idade paleoproterozóica. Os gnaisses enderbíticos são o litotipo característico do complexo, ocorrendo também nas lascas tectônicas dessa unidade. São rochas de granulação média, verde escura, exibindo bandeamento centimétrico e intercalações máficas boudinadas. Os gnaisses do Complexo Juiz de Fora podem exibir feições de migmatização, com a presença de leucossoma, de grão grosso, caracterizados pela presença de cristais de piroxênio bem desenvolvidos (COMIG, 2002).

A área de estudo está inserida na Bacia Hidrográfica do Ribeirão do Grama, onde é possível observar blocos e matacões de rochas gnaissicas na base e meia encosta das montanhas. Os afloramentos dessas rochas são mais comuns nas partes mais elevadas das serras ou no fundo dos vales dos ribeirões. Em toda extensão dessa bacia percebe-se o forte controle que as estruturas geológicas (fraturas, falhas) exercem sobre a drenagem local. O próprio ribeirão da Grama escoar num vale encaixado sobre litologias da Megasseqüência Andrelândia (FEAM, CDTN, CPRM, 2005).

O cenário geológico específico da área contaminada é o mesmo observado e descrito para a Bacia do Ribeirão do Grama. São comuns os blocos e matacões de rochas gnaissicas e charnockíticas, dispersos ao longo das vertentes das elevações que margeiam o córrego Rico. Ressalta-se que a presença desses matacões, aliada a forte declividade das vertentes das montanhas, indica que o local é passível de sofrer movimentos torrenciais nas encostas (FEAM, CDTN e CPRM, 2005).

## **Geomorfologia**

A área de estudo está inserida no Domínio morfoestrutural das Faixas de Dobramentos Remobilizados, em duas unidades geomorfológicas de acordo com RADAM (1983), são elas:

Unidade de Depressão Escalonada dos Rios Pomba - Muriaé e Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul. A Unidade de Depressão Escalonada dos Rios Pomba – Muriaé apresenta quadro morfológico muito relacionado a controle climático, com seu relevo dissecado pelas bacias dos Rios Pomba e Muriaé. Em sua continuidade espacial, acham-se inseridos residuais da Unidade Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul, divisores daquelas bacias. Está unidade geomorfológica apresenta um relevo escalonado, com cotas altimétricas que oscilam de entre 100 e aproximadamente 700m. Ocorrem de forma dominante as litologias do Pré - Cambriano Inferior a Médio: migmatitos associados a gnaisses, metabasitos, xistos, gnaisses charnoquíticos e rochas granulíticas, pertencentes ao Complexo Barbacena. Também registram-se granulitos , charnoquitos e gnaisses . Associadas a essas litologias desenvolvem-se formas de relevo predominantemente de dissecação diferencial, com aprofundamentos de 115 a 156 m. Aquelas litologias e as formas de relevo conduziram a formação de Latossolos Vermelho – Amarelo e de Podzólico Vermelho- Amarelo distrófico, hoje classificado como Argissolo, nas áreas de relevo mais dissecado. Esses solos dominantes estão cobertos por formação vegetal de Floresta Semidecidual. A rede de drenagem encontra-se representada pelas bacias do Rio Pomba e Muriaé.

A Unidade Alinhamentos de Cristas do Paraíba do Sul corresponde ao setor médio da bacia do Rio Paraíba do Sul , cujas feições refletem o alto controle geológico disposto em um conjunto de falhas e fraturas com orientação NE – SO. A área corresponde a um feixe de falhas denominada de Lineamento de Além - Paraíba. O quadro morfológico reflete fortemente a estrutura e as litologias locais com colinas orientadas e/ou aplanadas. Essa unidade acha-se litologicamente inserida no Grupo Paraíba do Sul , onde dominam migmatitos , gnaisses bandeados, quartzitos , granulitos, rochas carbonáticas , rochas intrusivas e depósitos aluvionares. Associadas a essas litologias as formas de relevo tipo colinas convexo – côncavas e formações superficiais que compreendem a sequência de manto coluvial no topo, seguido de linhas de pedra e finalmente blocos de rochas alteradas in situ. (RADAM, 1983)

## **Pedologia**

Na área de estudo predomina a classe dos Latossolos. Na figura 6 é possível visualizar as principais classes de solo da Zona da Mata de Minas Gerais. Tal classe compreende solos minerais, não hidromórficos com horizonte B latossólico. São normalmente muito profundos ou profundos, com sequência de horizontes A, B e C com transições entre os subhorizontes difusas e graduais, acentuadamente a bem drenados. Apresentam avançado estágio de intemperismo com predominância de minerais de argila do tipo 1:1, baixa quantidade de minerais primários e baixa reserva de elementos nutritivos para as plantas (FEAM, 2010).

Segundo FEAM, CDTN, CPRM (2005) à medida que se penetra no sub-solo se obtém, em geral, o seguinte perfil de solo: 0 a 20-30 cm, solo marrom escuro a negro, muito rico em matéria orgânica; 20-30 a 50 cm, solo marrom claro a vermelho-castanho, argilo-arenoso, localmente com grânulos e seixos de quartzo e de rocha alterada; a partir dos 50 cm predomina solo residual, argilo-arenoso com fragmentos de rocha. Em todos os compartimentos do solo estão presentes óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio, indicando que os gnaisses sofreram intenso intemperismo químico. A região possui jazidas de bauxita (minério de alumínio) exploradas pela Companhia Brasileira de Alumínio – CBA. Também apresenta ocorrências de ouro, provavelmente com gênese primária associada aos eventos geológicos termais resultantes do cisalhamento Cataguases-Miraí.

## **Hidrografia**

O município de Descoberto – MG é drenado por inúmeros cursos de água, destacando-se o Rio Novo, o Ribeirão da Grama e o seu principal afluente, o Córrego Pouso Alegre. O Ribeirão da Grama é um tributário da margem esquerda do Rio Novo, que pertence à sub-bacia do Rio Pomba e é formador da bacia do Rio Paraíba do Sul. As águas da bacia do Ribeirão da Grama são utilizadas para recreação, natação, pesca e dessedentação de animais, sendo o principal manancial de abastecimento para o núcleo urbano de Descoberto. A área da bacia do ribeirão da Grama é de 79,2 km<sup>2</sup>, enquanto a microbacia do

córrego Rico , que corta a área contaminada possui uma área de  $0,9 \text{ km}^2$  (FEAM, CDTN, CPRM, 2005) .

A zona rural do município é abastecida por águas provenientes das diversas nascentes existentes na região. No ponto de captação, as águas do Ribeirão do Grama também são destinadas para abastecimento do município de São João Nepomuceno. Em Descoberto, o tratamento e distribuição das águas são de responsabilidade da Prefeitura Municipal, enquanto que em São João Nepomuceno esses serviços são de concessão da Companhia de Saneamento de Minas Gerais - COPASA (FEAM, CDTN, CPRM, 2005) .

A estação pluviométrica que melhor representa a área em estudo está instalada na Usina Maurício localizada no Rio Novo. Esta estação representa uma área de drenagem de  $1889 \text{ km}^2$  e registra uma descarga específica média de  $19,0 \text{ l/s/km}^2$  , máxima de  $119,0 \text{ l/s/km}^2$  e mínima de  $3,9 \text{ l/s/km}^2$  . As avaliações das descargas específicas mensais nessa estação de controle mostram que as vazões históricas máximas ocorrem nos meses de janeiro e fevereiro e as mínimas nos meses de agosto e setembro (SOUZA, 1993).

## **Vegetação**

O nome Zona da Mata se relaciona com a fisionomia da vegetação natural da região, a maioria dos relatos leva à suposição de que o revestimento natural da área era de uma mata contínua. Porém o que se observa atualmente é que apenas alguns cumes possuem manchas de matas devido à devastação generalizada que ocorreu na região (VALVERDE, 1958).

O município de Descoberto está situado em região de Floresta Estacional Semidecidual. O conceito ecológico de tal formação está relacionado ao clima de duas estações, uma chuvosa e outra seca, que caracterizam uma estacionalidade foliar dos elementos arbóreos dominantes. As formações florestais estão adaptadas fisiologicamente à deficiência hídrica ou a baixa temperatura, durante certo tempo. Esses ambientes têm como característica a intensa ação do homem que praticamente substituiu sua cobertura vegetal original por pastagens, agricultura e vegetação secundária (RADAMBRASIL, 1983).

Atualmente predominam na paisagem da região as gramíneas formadoras das pastagens, ocorrendo algumas manchas da mata tropical, onde a topografia acidentada propiciou a sua conservação. Também podem ser vistos no município capoeiras e resquícios de matas ciliares que são preservadas devido à intensificação das exigências legais e às medidas incentivadoras de proteção ao meio ambiente (FEAM, CDTN , CPRM, 2005).

É notada no município a degradação de diversas áreas de mata secundária para exploração de bauxita pela Cia Brasileira de Alumínio – CBA. Apesar das medidas mitigadoras implementadas por tal empreendimento, fica evidenciada a alteração da paisagem natural da região, pois a recuperação de tais áreas não compreende a restauração de suas condições originais.

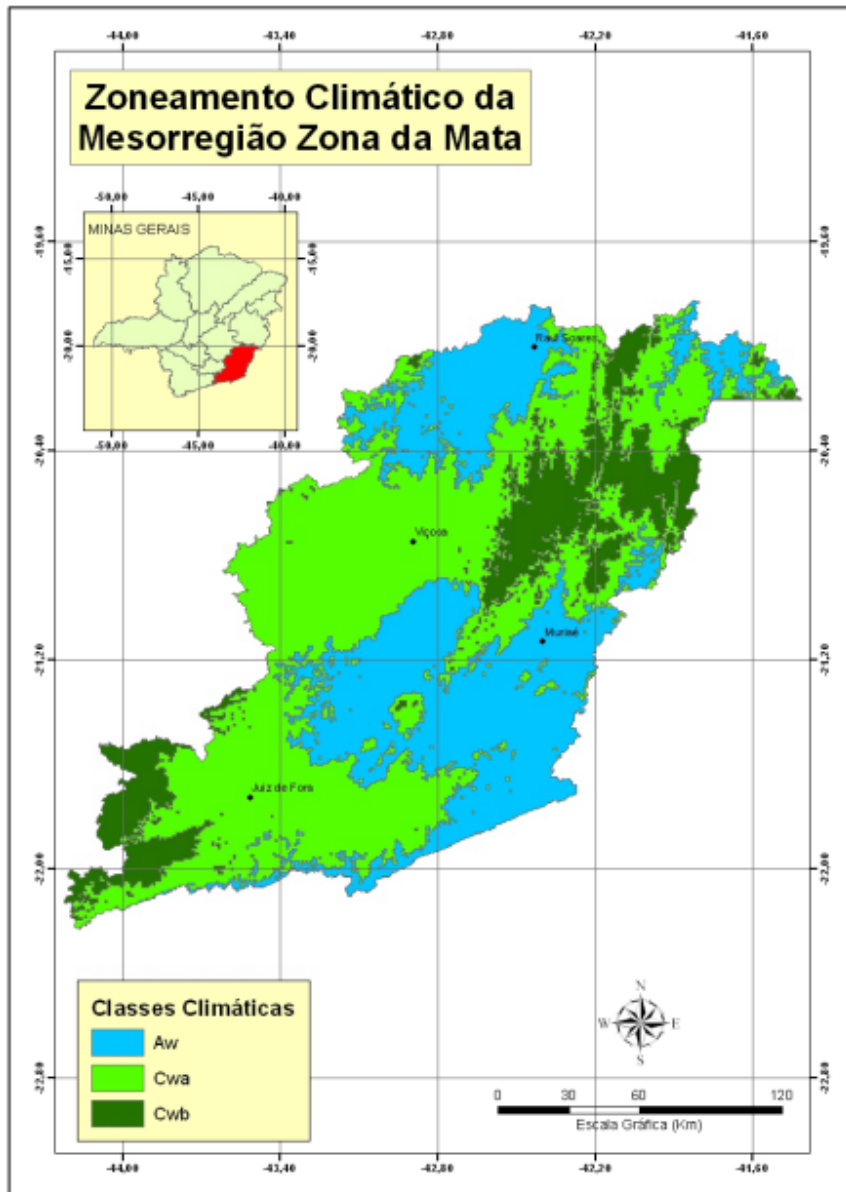


Figura 6: Zoneamento climático da Zona da Mata Mineira, conforme classificação climática de Köppen & Geiger. Fonte: Sá Júnior, (2009).



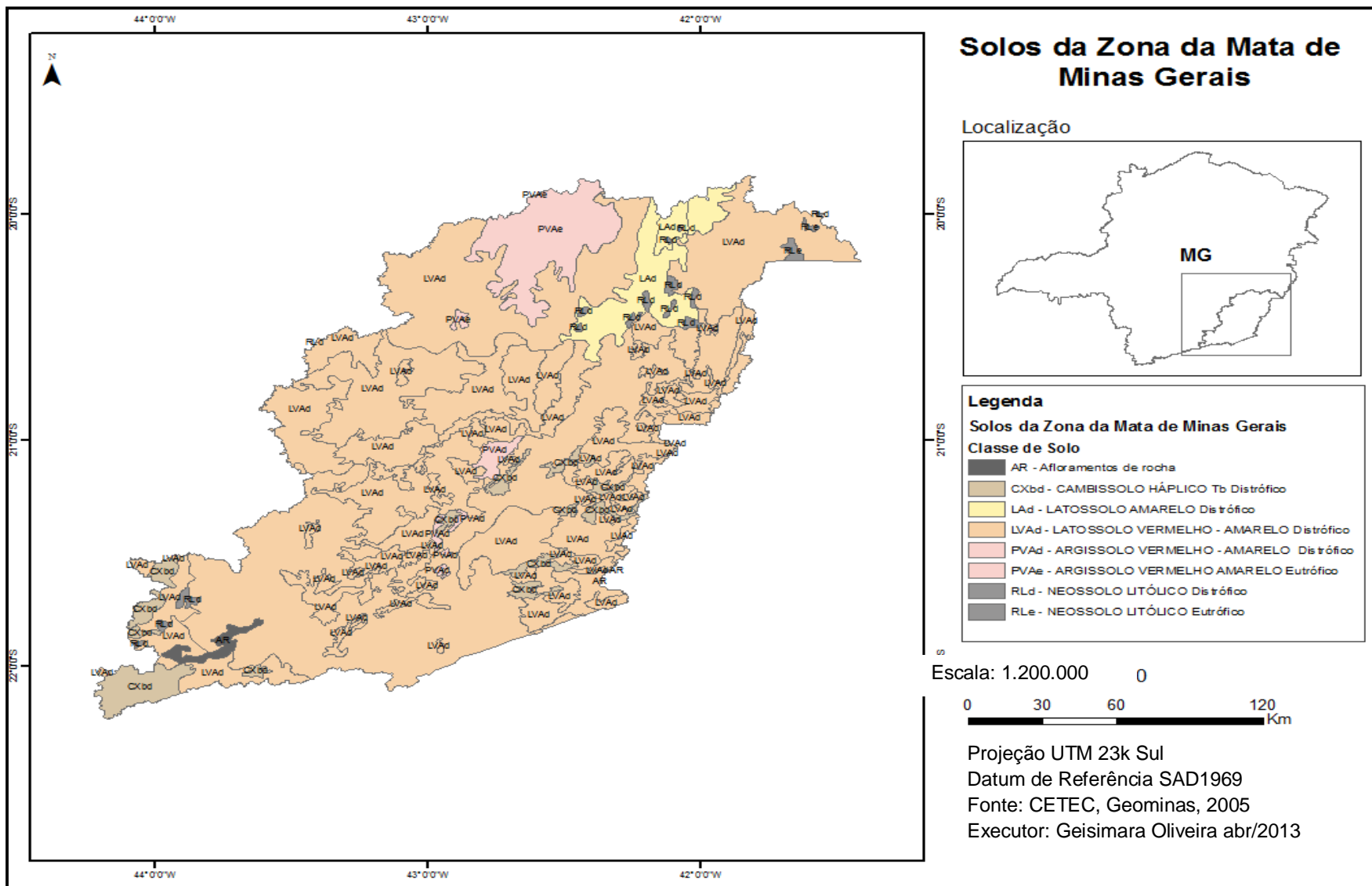


Figura 7: Solos da Zona da Mata de Minas Gerais. Fonte: Adaptado de CETEC/Geominas, 2005.

## Mapa Geológico da região de Descoberto

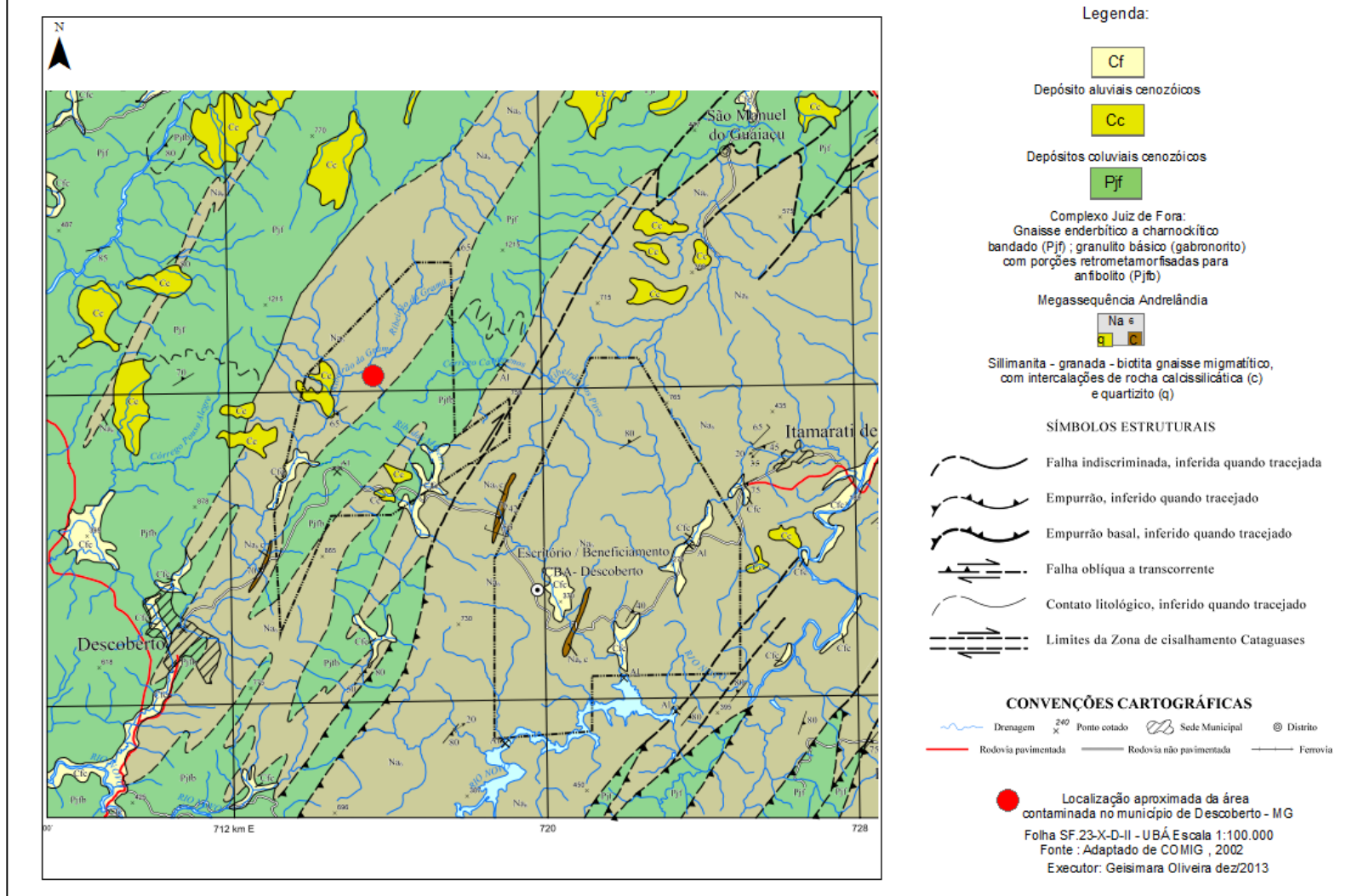


Figura 8: Mapa Geológico da região de Descoberto com localização aproximada da área contaminada (círculo vermelho). Fonte: Adaptado de COMIG, 2002.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Metodologia**

##### **3.1.1. Metodologia de Amostragem**

A escolha da área de amostragem foi definida através de visitas de reconhecimento, levantamento de dados históricos existentes e resultados apresentados por FEAM; CDTN; CPRM (2005) e (2006); Alexandre (2006); Ramos et al. (2007); Tinôco (2008) ; César et al. (2009) .

##### **3.1.1.1. Amostragem de Solos**

O plano de amostragem definiu que as amostras seriam coletadas seletivamente, por critério determinista. Tal metodologia se demonstrou apropriada, já que a área representativa do problema já é conhecida através de resultados obtidos por estudos anteriores. As campanhas de campo foram realizadas na estação seca e chuvosa; a 1<sup>a</sup> coleta foi realizada em abril de 2012 e a 2<sup>a</sup> em janeiro de 2013. A amostragem de solo foi realizada com o auxílio das seguintes ferramentas: enxada, pá reta, faca, saco plástico e etiquetas. As coletas foram realizadas em quatro pontos diferentes, sendo três localizados ao longo da encosta da área contaminada e uma em local de mata secundária a montante da área contaminada, esta tendo sido considerada em princípio como área não contaminada. As coletas foram realizadas em diferentes profundidades de acordo com a separação dos horizontes de cada solo e ao longo da encosta, (figura 8). As informações detalhadas com relação às amostras coletadas se encontram na tabela 12.

O perfil PD1, terço inferior da encosta possui 138 cm de profundidade é representado pelos horizontes A11 (0-15 cm), A12 (15-45 cm), B2<sub>(g)</sub> (42 – 67 cm), B22<sub>(g)</sub> (67 - 138 cm). O perfil PD2 apresenta 150 cm de profundidade, é representado

pelos horizontes A1 (0-20 cm), AB (20- 50 cm), B21 (50-100 cm), B22 (100-150 cm) e se situa no terço médio da encosta. As amostras coletadas no perfil localizado no terço superior da encosta possuem 157 cm de profundidade e é representado pelos horizontes A (0-7 cm), B21( 7-58 cm), B22 (58-116 cm) , B23 (116-157 cm). O perfil PD4 apresenta 145 cm de profundidade, se localiza no terço médio da encosta em local a montante da área contaminada sendo caracterizado pelos horizontes A (0-30 cm), B (30-75 cm) e C (75- 145 cm). O esquema com a distribuição dos perfis dos solos estudados é visualizado na figura 9. As descrições morfológicas e ambientais dos perfis estudados encontram-se no anexo 1.

Na 1<sup>a</sup> campanha realizada em abril de 2012 foram coletadas quinze amostras de solo e na 2<sup>a</sup> campanha realizada em janeiro de 2013 foram coletadas doze amostras, em função da interpretação pedológica da campanha. Posteriormente foi realizado tratamento preliminar das amostras através da secagem à temperatura ambiente, desagregação e peneiramento a 2 mm.



Figura 9: Perfil ( PD1) de solo estudado (faca com 15 cm).

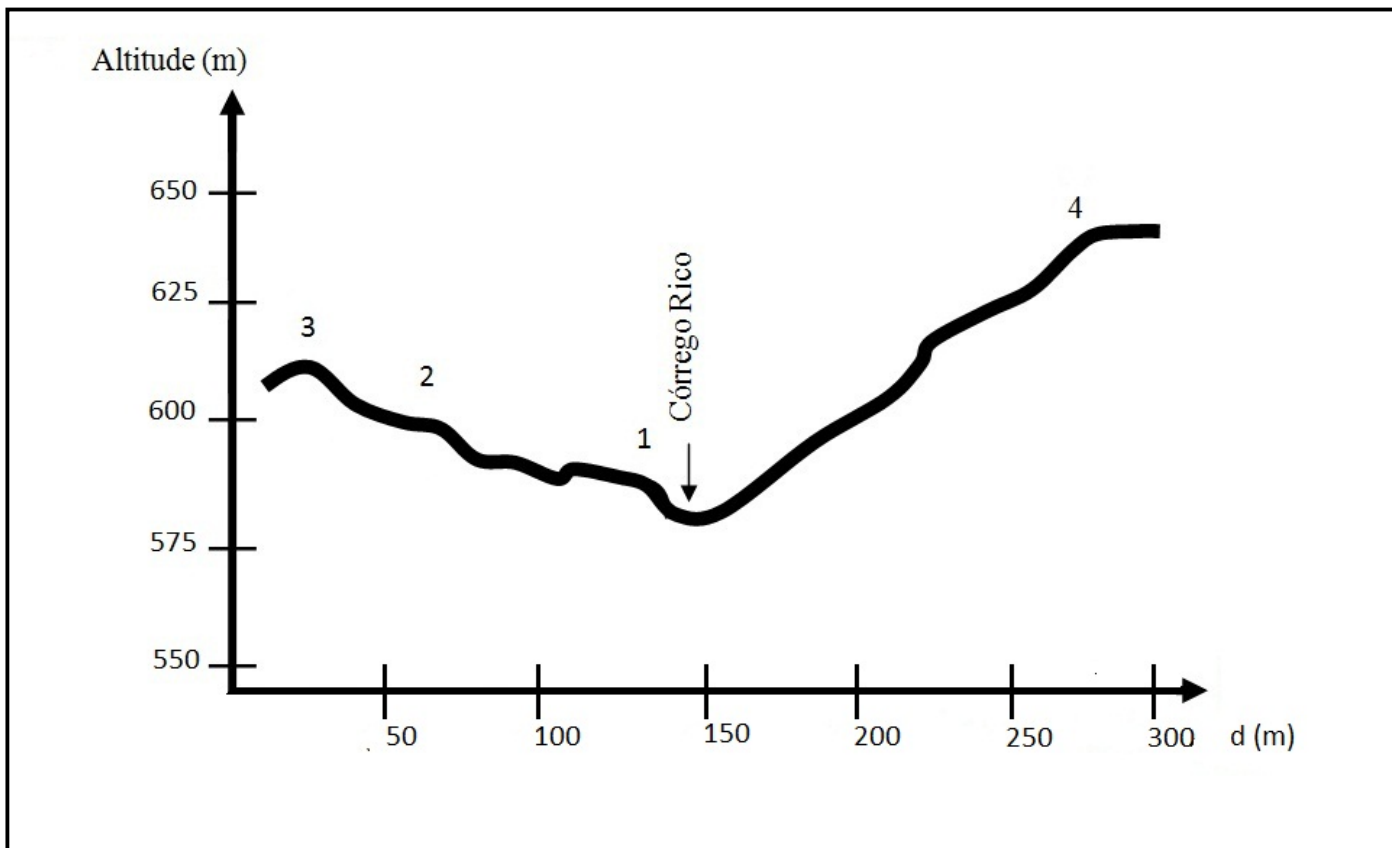


Figura 10: Esquema com a distribuição dos perfis dos solos estudados.

Tabela 11: Dados das amostras de solos coletadas

| <u>Perfis</u> | <u>Horizontes</u> | <u>Profundidade</u> | <u>Localização</u> |
|---------------|-------------------|---------------------|--------------------|
| <b>*PD1</b>   | A 11              | 0 – 15 cm           |                    |
| <b>PD1</b>    | A 12              | 15 – 42 cm          | S 21°23'54''       |
| <b>PD1</b>    | B 2 (g)           | 42 – 67 cm          | W 42°55'9''        |
| <b>PD1</b>    | B 22 (g)          | 67 - 138 cm         |                    |
| <b>PD2</b>    | A1                | 0 - 20 cm           |                    |
| <b>PD2</b>    | AB                | 20 – 50 cm          | S 21°23'53''       |
| <b>PD2</b>    | B21               | 50 – 100 cm         | W 42°55'08''       |
| <b>PD2</b>    | B22               | 100 – 150 cm        |                    |
| <b>PD3</b>    | A                 | 0 – 7 cm            |                    |
| <b>PD3</b>    | B21               | 7 – 58 cm           | S 21°23'53''       |
| <b>PD3</b>    | B22               | 58 – 116 cm         | W 42°55'08''       |
| <b>PD3</b>    | B23               | 116 – 157 cm        |                    |
| <b>PD4</b>    | A                 | 0 – 30 cm           |                    |
| <b>PD4</b>    | B                 | 30 – 75 cm          | S 21°24'2''        |
| <b>PD4</b>    | C                 | 75 – 145 cm         | W 42°55'6''        |

\*PD = Perfil Descoberto      PDx → x = n° do perfil



### 3.1.1.2. Amostragem de Sedimentos

As amostras de sedimentos foram coletadas no leito dos rios, em locais com menor velocidade de fluxo. A amostragem de sedimentos foi realizada com o auxílio de colher de aço inox, bandeja de polietileno e draga para coleta de sedimentos superficiais, (figura 11). Uma vez coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos resistentes, etiquetadas e secas à temperatura ambiente em laboratório. Posteriormente foi realizada desagregação e peneiramento a 2 mm. As coletas de sedimentos foram realizadas nos meses de maio de 2012 e janeiro de 2013, foram coletadas no total dezoito amostras, sendo dez na 1ª campanha e oito na 2ª campanha.

As amostras foram coletadas em cinco pontos distintos. As amostras 1SFD1 e 1SFD2 foram coletadas na área diretamente contaminada. 2SFD3 e 2SFD4 em área a montante da área contaminada; tal área foi escolhida pela necessidade de coleta de amostra testemunha que representasse as condições primárias do ambiente ou local, como isenção quanto a presença de supostos compostos ou elementos químicos introduzidos por meio de atividade antrópica. 3SFD5 e 3SFD6; 4SFD7 e 4SFD8 foram amostradas à jusante da área contaminada no local de captação da água que abastece o município; 5SFD9 e 5SFD10 a jusante da área de captação de água do município, próximo ao núcleo urbano, (figura 12). Na tabela 12 são apresentadas as informações das amostras de sedimentos coletadas.



Figura 11: Draga utilizada em campo para coleta de sedimentos

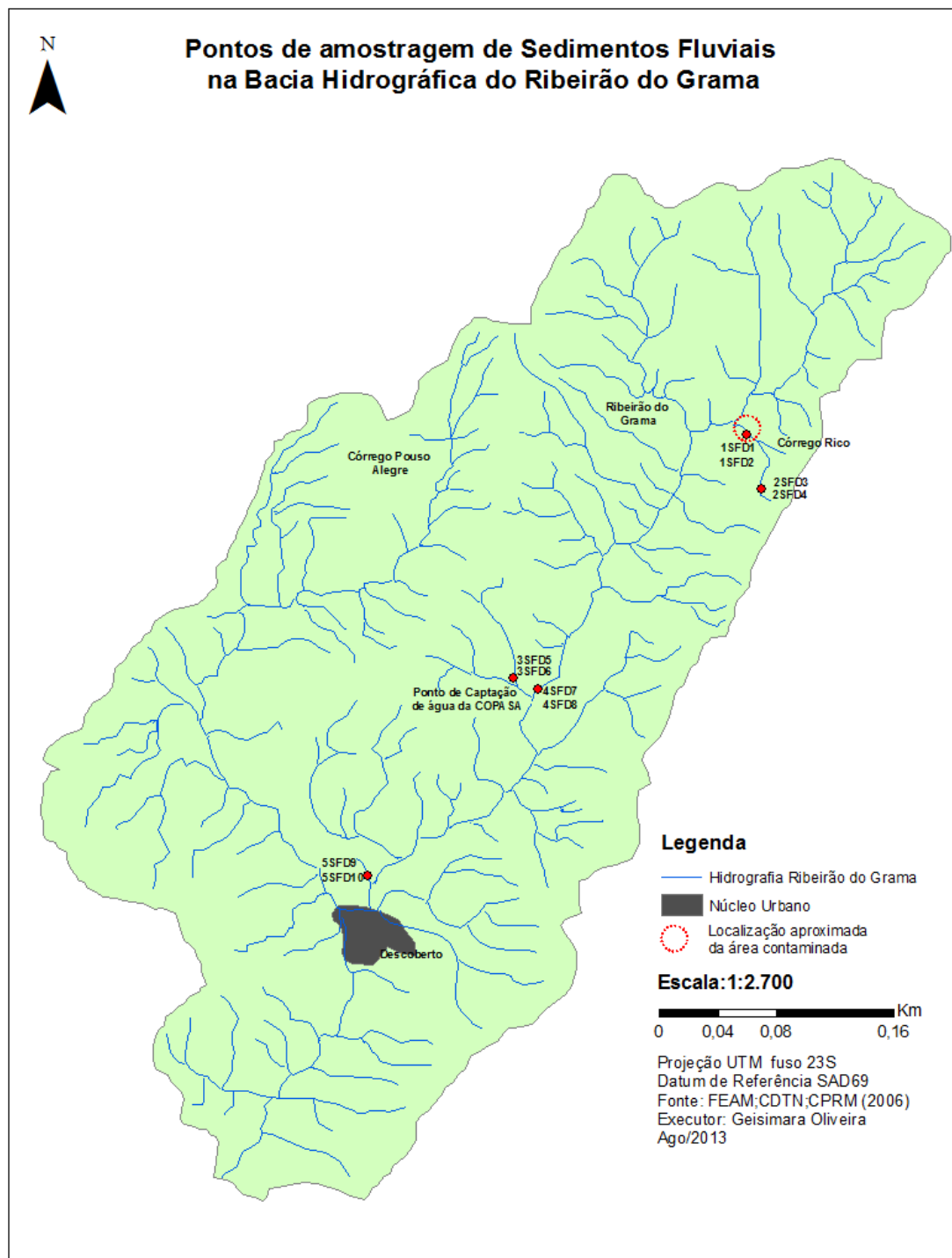


Figura 12: Mapa dos pontos de amostragem de sedimentos fluviais coletados na Bacia do Ribeirão do Grama com área contaminada demarcada em vermelho (legenda tabela 12). SFDx – Pontos de amostragem. Fonte: Adaptado FEAM, CDTN, CPRM (2006).



Tabela 12: Dados das amostras de sedimentos coletadas

| <u><i>Amostras</i></u> | <u><i>Localização</i></u> | <u><i>Curso d'água</i></u>                            |
|------------------------|---------------------------|---|
| <b>*1SFD1</b>          | S 21°23'54''              | Córrego Rico  |
| <b>1SFD2</b>           | W 42°55'95''              |   |
| <b>2SFD3</b>           | S 21°24'2''               | Córrego Rico<br>(área testemunha)                     |
| <b>2SFD4</b>           | W 42°55'6''               |   |
| <b>3SFD5</b>           | S 21°25'53.8'             | Córrego da Matinha<br>(área de captação da<br>COPASA) |
| <b>3SFD6</b>           | W42°56'48.2''             |   |
| <b>4SFD7</b>           | S 21° 25'53.8''           | Ribeirão do Grama                                     |
| <b>4SFD8</b>           | W42°56'48.2''             |   |
| <b>5SFD9</b>           | S 21° 27'57''             | Ribeirão do Grama<br>(próximo ao núcleo<br>urbano)    |
| <b>5SFD10</b>          | W42 °57' 51''             |   |

\*SFD = Sedimento de Fundo Descoberto xSFDy → x = n° do ponto y = n° da amostra

### 3.1.2. Metodologia de Análises Químicas

Após tratamento prévio, que consistiu na secagem à temperatura ambiente, desagregação e peneiramento a 2 mm, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, etiquetadas e encaminhadas para análise no Laboratório de Especificação de Mercúrio Ambiental (LEMA) do Centro de Tecnologia Mineral – CETEM/RJ. No processo, alíquotas de aproximadamente 0,05 g de sedimentos e solos em granulometria abaixo de 200 malhas são levadas para o acessório de pirólise a 800 °C para a conversão de todas as formas de mercúrio em mercúrio vapor, o qual é analisado por absorção atômica (Equipamento LUMEX, com corretor Zeeman), mostrado na figura 13.

O equipamento trabalha de acordo com o princípio da destruição térmica da amostra seguida pela determinação da quantidade de vapor de Hg. A concentração do vapor do Hg é medida por uma célula analítica pela diferença de intensidade de radiação. A precisão e a curacidade das análises foram realizadas pelo cálculo de erro absoluto e pelo uso de amostras certificadas (NIST 2709 San Joaquin Soil), respectivamente, sendo aceitos erros máximos de 10%. O limite mínimo de detecção do método é de 0,005 mg/kg.



Figura 13: Equipamento LUMEX, com corretor Zeeman

## **4. RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **4.1. Análise de mercúrio total em solos**

As concentrações de mercúrio total em solos estão indicadas na tabela 13 e gráfico 1. Das vinte e sete amostras analisadas, dezessete apresentaram presença de mercúrio acima do Valor de Referência de Qualidade (VRQ) proposto pela CETESB (2005) – 0,05 mg/kg; quatro mostraram valores acima dos Valores de Prevenção – 0,5 mg/kg e uma amostra concentração superior ao Valor de Investigação para áreas agrícolas – 12,0 mg/kg propostos pela Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009), sendo que apenas cinco amostras apresentaram concentração de mercúrio abaixo do VRQ estabelecido pela CETESB (2005).

Os perfis de solo apresentaram as seguintes concentrações de mercúrio total: 0,03 a 4,1 mg/kg na estação seca e 0,26 a 16,55 mg/kg na estação chuvosa - PD1; 0,11 a 0,20 mg/kg e 0,4 a 0,57 mg/kg - PD2; 0,5 a 0,18 mg/kg e 0,33 a 0,47 mg/kg - PD3; 0,03 a 0,05 mg/kg e 0,10 a 0,17 mg/kg - PD4 respectivamente. A concentração de mercúrio total verificada na área se encontra entre 0,03 a 16,55 mg/kg.

O perfil PD1 que se localiza no terço inferior da encosta, próximo ao Córrego Rico, apresenta as maiores concentrações de mercúrio total; inclusive ressalta-se que o valor de 16,55 mg/kg detectado na estação chuvosa está acima do Valor de Investigação para áreas agrícolas, (12 mg/kg), dessa maneira, conforme Resolução nº 420 BRASIL (2009) há existência de riscos à saúde humana.

Ao se analisar o teor de mercúrio total em solos na área observa-se que no período chuvoso ocorreu um aumento da concentração. Tal aumento se relaciona ao grande volume de água que caracteriza essa estação colaborando no processo de transporte de material contaminado. Esse resultado contrapõe-se ao observado por Alexandre (2006), onde foi verificado um aumento nos teores de mercúrio no período de estiagem. A autora justifica o fato em função da menor percolação de água no perfil de solo na estação seca.

Quando comparada a trabalhos já realizados na área, a concentração de mercúrio total apresentou o maior nível detectado após o evento de afloramento de mercúrio na área contaminada, quando foram detectados valores de até 8826 mg/kg de mercúrio total. Na tabela 14 é possível visualizar as concentrações de mercúrio total em solos já verificados até então no município de Descoberto- MG.

Tabela 13: Concentração de mercúrio total nos solos estudados

| Perfis | Horizontes | Profundidade | Concentração de HgT (mg/kg) |                 |
|--------|------------|--------------|-----------------------------|-----------------|
|        |            |              | Estação Seca                | Estação Chuvosa |
| PD1    | A 11       | 0 – 15 cm    | 4,61                        | 16,55           |
| PD1    | A 12       | 15 – 42 cm   | 2,21                        | N.C             |
| PD1    | B 21 (g)   | 42 – 67 cm   | 0,16                        | 2,96            |
| PD1    | B 22 (g)   | 67 - 138 cm  | 0,03                        | 0,26            |
| PD2    | A1         | 0 - 20 cm    | 0,19                        | 0,57            |
| PD2    | AB         | 20 – 50 cm   | 0,20                        | 0,50            |
| PD2    | B21        | 50 – 100 cm  | 0,19                        | 0,40            |
| PD2    | B22        | 100 – 150 cm | 0,11                        | N.C             |
| PD3    | A          | 0 – 7 cm     | 0,07                        | 0,40            |
| PD3    | B21        | 7 – 58 cm    | 0,18                        | 0,37            |
| PD3    | B22        | 58 – 116 cm  | 0,17                        | 0,44            |
| PD3    | B23        | 116 – 157 cm | 0,05                        | N.C             |
| PD4    | A          | 0 – 30 cm    | 0,05                        | 0,17            |
| PD4    | B          | 30 – 75 cm   | 0,05                        | 0,14            |
| PD4    | C          | 75 – 145 cm  | 0,03                        | 0,10            |

Legenda: **PD** = Perfil Descoberto **PDx** = x = n° do perfil **N.C** = amostra não coletada

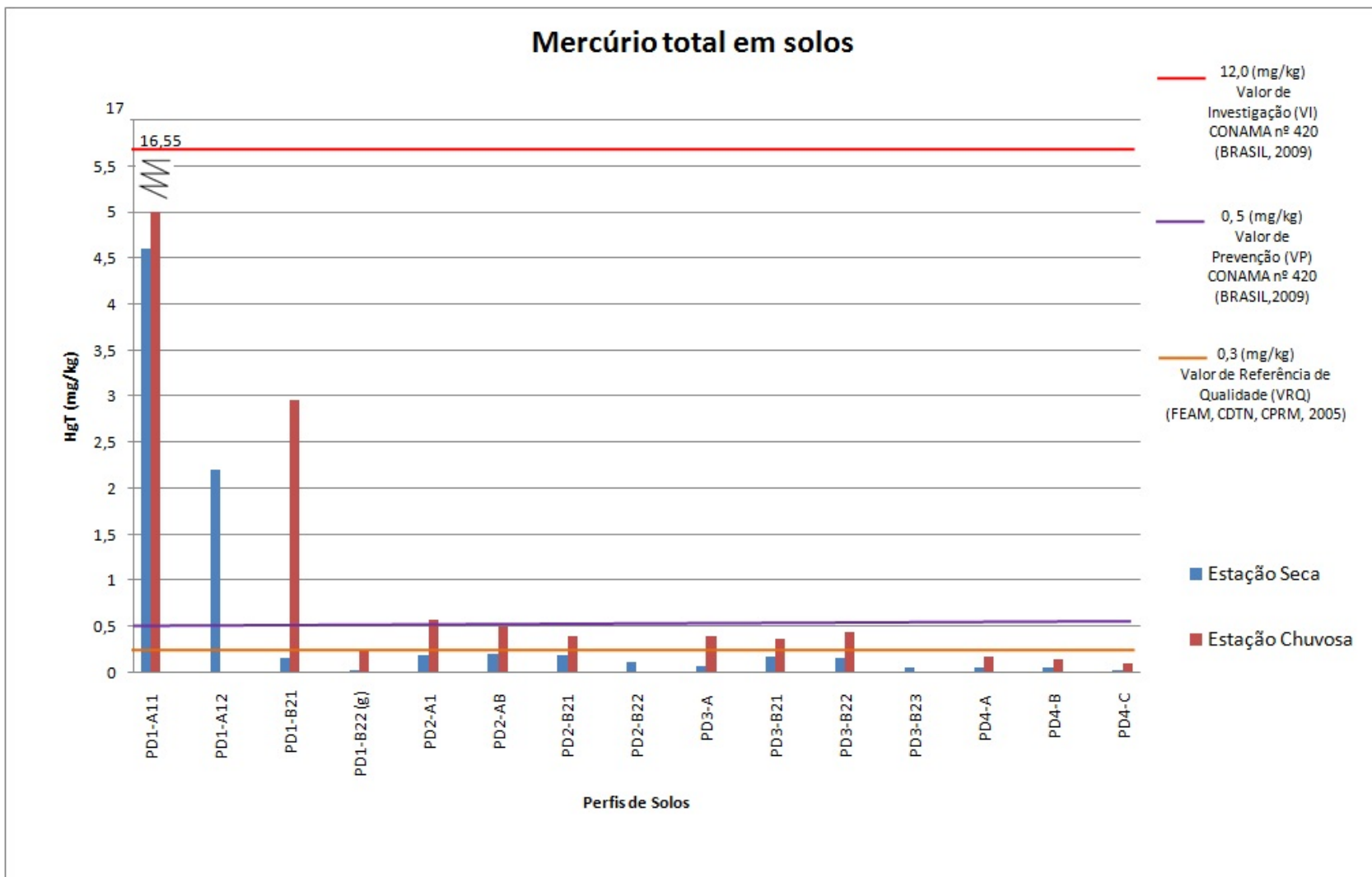


Gráfico 1: Mercúrio total nos solos estudados (legenda tabela 13).

Tabela 14: Concentrações de mercúrio total em solos verificados em pesquisas realizadas em Descoberto - MG

| <b>Referência</b>                 | <b>HgT (mg/kg)</b> | <b>Local da coleta</b>                                    | <b>Essa pesquisa<br/>Oliveira<br/>(2014)</b> |
|-----------------------------------|--------------------|---|--|
| FEAM; CDTN; CPRM<br>(2006)        | 0,2 a 8826 mg/kg   | Área contaminada  | 0,03 a 16,55<br>mg/kg                        |
| Ramos; Castilhos; Egler<br>(2007) | 0,497 a 1,33 mg/kg |   |  |
| Alexandre (2006)                  | 0,003 a 0,34 mg/kg | Ribeirão do<br>Gramma                                     |  |
| Tinôco (2008)                     | 0,33 mg/kg         |   |  |
| Ramos; Castilhos; Egler<br>(2007) | 0,417 mg/kg        | Local de<br>referência<br>próximo a área<br>contaminada   |  |
| Tinôco (2008)                     | 0,26 mg/kg         | Propriedade<br>particular cortada<br>pelo Córrego<br>Rico |  |
| Tinôco (2008)                     | 0,40 a 0,55 mg/kg  | Calha do Ribeirão<br>do Ronca                             |  |
| Oliveira (2014) *                 | 0,03 a 0,17 mg/kg  | A montante da<br>área contaminada                         |  |

Fonte: FEAM; CDTN; CPRM (2006); Alexandre (2006); Ramos; Castilhos; Egler (2007); Tinôco (2008); Oliveira (2014) \* - este trabalho.

## 4.2. Análise de mercúrio total em sedimentos fluviais

A avaliação da contaminação por mercúrio em sedimentos foi realizada através da comparação com os valores orientadores determinados pela Resolução CONAMA nº 454 (BRASIL, 2012), onde são considerados os seguintes limites, Nível 1 = 0,17 mg/kg (limiar abaixo do qual há menor probabilidade de efeitos adversos à biota) e Nível 2 = 0,486 mg/kg (limiar acima do qual há maior probabilidade de efeitos adversos à biota). As coletas foram realizadas na estação seca e chuvosa para analisar a variabilidade da concentração de mercúrio na área estudada. Os resultados são apresentados na tabela 15 e gráfico 2.

Das dez amostras coletadas em maio de 2012, estação seca, quatro apresentaram concentrações de mercúrio, porém em baixos teores; são elas: 1SFD-1 - 0,03 mg/kg; 1SFD-2 - 0,08 mg/kg; 2SFD-3 - 0,04 mg/kg; 2SFD-4 - 0,04 mg/kg; todas se encontraram abaixo do Nível 1, demonstrando dessa forma pouca probabilidade de efeitos adversos à biota. As amostras 1SFD-1; 1SFD-2 foram coletadas no curso d'água Córrego Rico que corta a área contaminada e 2SFD3; 2SFD4 também no curso d'água Córrego Rico, porém em área a montante do local onde foi verificada a contaminação, fato esse que demonstra a possibilidade da existência de novos focos de contaminação. A concentração de mercúrio total nos sedimentos na estação seca variou entre 0,03 a 0,08 mg/kg.

As amostras coletadas na estação chuvosa em janeiro/2013 apresentaram os seguintes valores: das oito amostras avaliadas quatro apresentaram concentração de mercúrio acima do Nível 1, 1SFD-2 - 0,26 mg/kg; 2SFD-3 - 0,21 mg/kg; 2SFD-4 - 0,20 mg/kg; 4SFD7 - 0,19 mg/kg e uma apresentou concentração acima do Nível 2, 1SFD1 - 1,67 mg/kg. A verificação de tal concentração chama a atenção, visto que acima de tal nível há maior probabilidade de efeitos adversos à biota. Na estação chuvosa a concentração verificada variou entre 0,16 a 1,67 mg/kg. Os resultados observados demonstram que na estação chuvosa ocorre um aumento da concentração de tal elemento, fato esse que pode estar relacionado ao maior carreamento do mercúrio presente no solo pelas águas para o leito do curso d'água.

Tabela 15: Concentração de mercúrio total nos sedimentos estudados

| Amostras | Curso d'água  | Concentração HgT (mg/kg) |                 |
|----------|---|--------------------------|-----------------|
|          |   | Estação Seca             | Estação Chuvosa |
| 1SFD1*   | Córrego Rico  | 0,03                     | 1,67            |
| 1SFD2    |   | 0,08                     | 0,26            |
| 2SFD3    | Córrego Rico  | 0,04                     | 0,21            |
| 2SFD4    |   | 0,04                     | 0,20            |
| 3SFD5    | Córrego da Matinha<br>(área de captação da<br>COPASA) | <LD                      | 0,17            |
| 3SFD6    |   | <LD                      | 0,16            |
| 4SFD7    | Ribeirão do Grama                                     | <LD                      | 0,19            |
| 4SFD8    |   | <LD                      | N.C             |
| 5SFD9    | Ribeirão do Grama<br>(próximo ao núcleo<br>urbano)    | <LD                      | 0,17            |
| 5SFD10   |   | <LD                      | N.C             |

\*SFD = Sedimento de Fundo Descoberto xSFDy x = n° do ponto y = n° da amostra

<LD = abaixo do limite de detecção (<0,005 mg/kg) NC = amostra não coletada

Ao analisar os trabalhos pretéritos realizados na região de Descoberto, é possível observar que nessa pesquisa foi encontrada a maior concentração de mercúrio em sedimentos fluviais até então na área (1,67 mg/kg) . A amostra que apresentou tal valor foi coletada no curso d'água denominado Córrego Rico que corta a área contaminada, demonstrando a grande probabilidade de efeitos adversos à biota no local. Com relação aos valores obtidos no Ribeirão Grama é notado que a maior concentração (0, 510 mg/kg) foi detectada por Alexandre (2006), como verificado na tabela 16.



Tabela 16: Concentrações de mercúrio total em sedimentos fluviais verificados em  
Descoberto - MG

| <b>Referência</b>          | <b>HgT (mg/kg)</b> | <b>Curso d'água</b>   | <b>Essa<br/>pesquisa<br/><br/>Oliveira<br/>(2014)</b> |
|----------------------------|--------------------|-----------------------|---|
| FEAM; CDTN;<br>CPRM (2005) | 0,02 a 0,75        |                       |   |
| Tinôco (2008)              | 0,13 a 0,42        | Córrego Rico          | 0,03 a 1,67   |
| Cesar et al.<br>(2009)     | 0, 078 e 0, 237    |                       |   |
| FEAM; CDTN;<br>CPRM (2005) | 0,02 a 0,16        | Ribeirão do<br>Grama  | 0,17 a 0,19   |
| Alexandre (2006)           | 0,02 e 0, 510      |                       |   |
| Tinôco (2008)              | 0,20 a 0,37        |                       |   |
| Tinôco (2008)              | 0,31 a 0,61        | Ribeirão do<br>Ronca  |   |
| Oliveira (2014)*           | 0,16 a 0,17        | Córrego da<br>Matinha |   |

Fonte: FEAM; CDTN; CPRM (2005); Alexandre (2006); Tinôco (2008); Cesar et al. (2009); Oliveira (2014). Nota: \* este trabalho

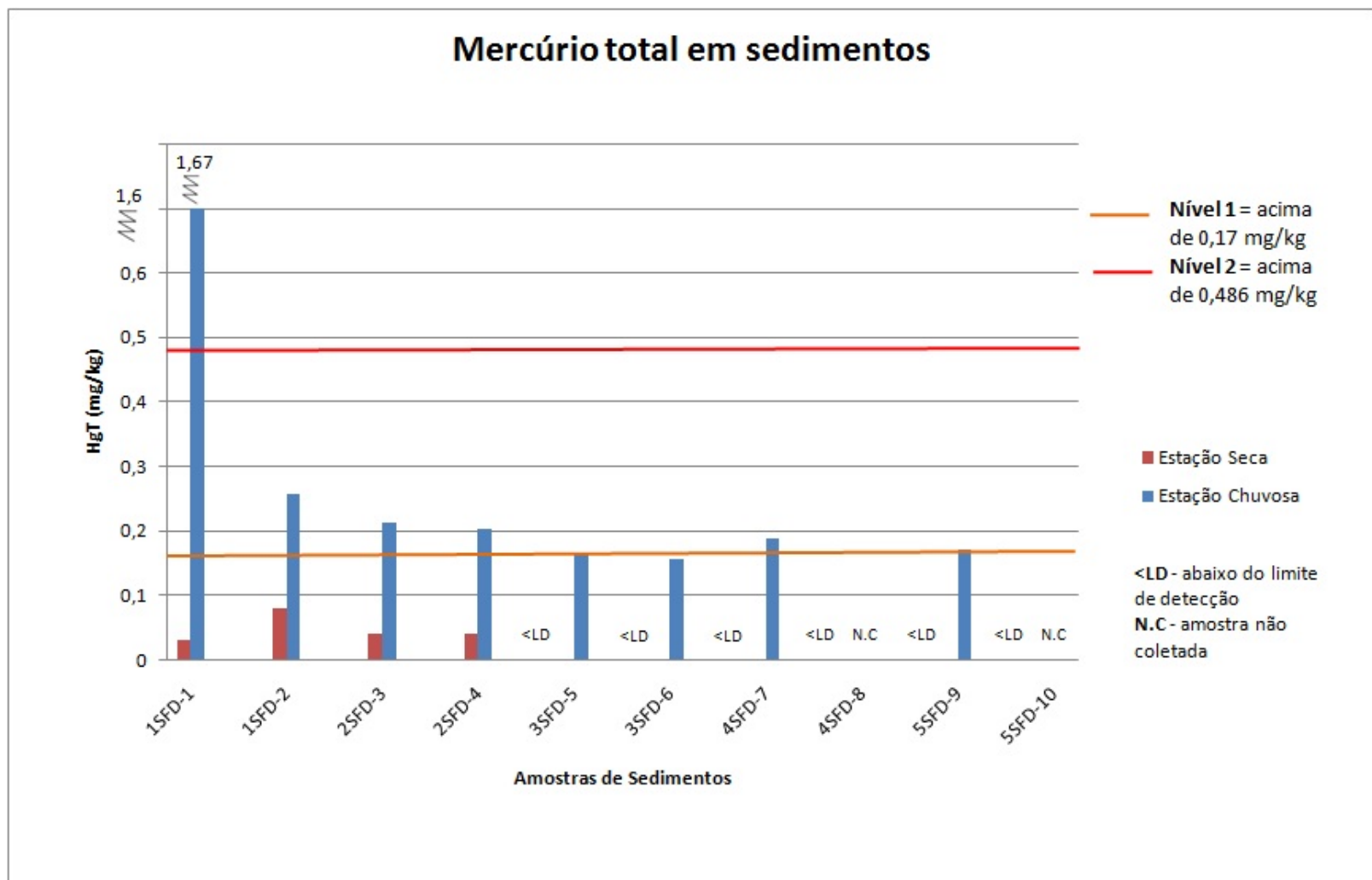


Gráfico 2: Mercúrio total nos sedimentos estudados. (legenda tabela 15)

## 5. CONCLUSÕES

A quantificação de mercúrio total em solos apresentou valores entre 0,03 e 16,55 mg/kg. As maiores concentrações de mercúrio foram verificadas na área contaminada, no ponto localizado no terço inferior da encosta próximo ao Córrego Rico, amostra PD1. Na área inicialmente escolhida como testemunha também foram verificadas concentrações de mercúrio acima do VRQ (valor de referência de qualidade), não sendo possível estabelecer tal local como referência. Com relação à dispersão do contaminante ao longo dos perfis de solo verifica-se que há tendência de diminuição da concentração de Hg quanto maior a profundidade.

Os teores de mercúrio total verificados em solos demonstraram que das 27 (vinte e sete) amostras analisadas 22 (vinte e duas) se encontram acima do VRQ (valor de referência de qualidade) estabelecido pelo Estado de Minas Gerais através da Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02 Minas Gerais (2010) - 0,05 mg/kg. Ao se considerar o valor background determinado pela FEAM; CDTN; CPRM (2005) para a área, 0,3 mg/kg, 10 (dez) amostras apresentam valor superior a esse background.

Essa pesquisa estabelece como Valor de Referência de Qualidade 0,05 mg/kg, visto que o valor “background” 0,3 mg/kg estabelecido para a área pela FEAM; CDNT; CPRM (2005) é consideravelmente superior aquele. Levanta-se a questão de que a determinação de tal valor não apresenta o número de amostras e distribuição espacial suficientes para determinação de referência para a área. As amostras foram coletadas em locais próximos a área contaminada, não podendo ser estabelecida dessa maneira a comparação da presença natural do mercúrio com a concentração influenciada por atividade antrópica.

Ainda com relação às amostras de solos analisadas, 5 (cinco) apresentaram concentração acima do Valor de Prevenção (0,5 mg/kg), e 1 (uma) apresentou valor superior ao Valor de Investigação (12,0 mg/kg). A concentração de mercúrio superior ao VI verificada na área é preocupante, alertando para o fato de riscos à saúde humana segundo Resolução CONAMA nº 420 (BRASIL, 2009).

Os resultados obtidos na avaliação de mercúrio total em sedimentos comprovam contaminação dos sedimentos fluviais, com valores entre 0,03 e 1,67 mg/kg. Das 18 (dezoito) amostras de sedimentos fluviais analisadas 4 (quatro) apresentam concentração acima do Nível 1 (0,17 mg / kg), concentração abaixo da qual raramente são esperados efeitos adversos à biota, 1 (uma) apresentou concentração superior ao Nível 2, 0,486 mg / kg, concentração acima da qual esses efeitos são freqüentemente observados; tais resultados são comparados aos valores de referência adotados pela Resolução CONAMA nº 454 (BRASIL, 2012).

Os maiores níveis de mercúrio total em sedimentos fluviais foram observados no Córrego Rico, curso d'água que corta a área contaminada. É importante ressaltar que no Córrego da Matinha, local onde ocorre a captação de água do município, também foi verificada concentração de mercúrio no limite do Nível 1 (o córrego se localiza a jusante da área contaminada).

Com relação à variabilidade da concentração de mercúrio na estação seca e chuvosa notou-se um aumento dos níveis de mercúrio nos solos no período chuvoso. Na estação seca os teores de mercúrio total em solos variaram de 0,03 a 4,61 mg/kg. No período de chuvas as amostras apresentaram concentrações entre 0,10 mg/kg a 16,55 mg/kg. Nos sedimentos é observada a mesma tendência de aumento da concentração de mercúrio na estação chuvosa. Na estação seca são verificadas concentrações variando entre 0,03 a 0,08 mg/kg e na estação chuvosa valores entre 0,16 a 1,67 mg/kg.

O significativo aumento da concentração de mercúrio em sedimentos e solos no período chuvoso se justifica como consequência do transporte de materiais de solos e sedimentos contaminados, devido ao grande volume de água que caracteriza essa estação. A constatação de teores significativos de Hg em sedimentos acima do Nível 2 e solos acima do Valor de Investigação deve ser considerada preocupante, visto que a interação do mercúrio com a biota pode levar a processos de bioacumulação e biomagnificação.

Os pontos escolhidos como referência apresentaram concentração de mercúrio em solos de até 0,17 mg/kg, acima do VRQ - 0,05 mg/kg para solos e em sedimentos de até 0,21 mg/kg acima dos Nível 1 - 0,17 mg/kg na estação chuvosa, demonstrando dessa maneira possíveis focos de contaminação ainda não detectados. Esses novos focos

de contaminação podem estar relacionados à disseminação do contaminante pela atmosfera já que o mercúrio metálico possui alta volatilidade. Essa alta volatilidade contribui para a maior dispersão do mercúrio, aumentando a exposição da população. Não existe um banco de dados epidemiológicos da região com relação a doenças vinculadas ao mercúrio, dificultando assim a constatação da influência da presença desse contaminante no que diz respeito a saúde da população.

A população é completamente desinformada sobre a real situação da contaminação e ao perigo a que está exposta. Esse fato pode ser explicado pela falta de informação com relação ao evento, as características de toxicidade do mercúrio e de ações tomadas pelos órgãos responsáveis pela gestão da área contaminada. A ausência de dados epidemiológicos com relação às doenças vinculadas a exposição ao mercúrio impediu que esse trabalho fizesse uma correlação da presença do Hg com a epidemiologia a região.

Conclui-se que a contaminação por mercúrio se mantém na área, não ocorrendo a diminuição da mesma com o tempo como demonstram os resultados obtidos nesse trabalho. O local se encontra completamente abandonado pelas autoridades responsáveis e não é verificada nenhuma ação efetiva por parte do poder público com relação à remediação do local.

## **6. SUGESTÕES DE PESQUISA**

Como sugestão de pesquisas futuras para a área recomenda-se: trabalhos juntos a Secretaria de Saúde do município, auxiliando na criação de bancos de dados relativos a possíveis doenças relacionadas ao mercúrio, tendo em vista que a inexistência dos mesmos impossibilitou o desenvolvimento de um dos objetivos pretendidos pela pesquisa anteriormente; realização de trabalhos em parceria com a comunidade, já que grande parte da população não percebe o problema a que está exposta, subestimando-o; pesquisas para estabelecimento do background real do local.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREU, M. L. Climatologia da estação chuvosa de Minas Gerais: de Nimer (1977) à Zona de Convergência do Atlântico Sul. **Revista Geonomos**, Belo Horizonte, v. 6, n. 2, p. 17-22, dez. 1998.

ALEXANDRE, S.C. **Caracterização de Área Contaminada por Mercúrio em Descoberto – Minas Gerais**. 2006. 53p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, MG, 2006.

ANDRADE, J.C.; BUENO, M.I.M.S. O mercúrio e o ambiente um ponto de vista. **Química Nova**, vol.12, n.2, 208-210, 1989.

AZEVEDO, F.A. Exposição humana ao mercúrio: bases para a vigilância. **TECBAHIA R. Baiana Technol.**, v. 9, n. 1, p. 87 a 99, 1994.

\_\_\_\_\_, NASCIMENTO, E.S; CHASIN, A. (Caderno de Meio Ambiente) Aspectos Atualizados dos Riscos Toxicológicos do Mercúrio. **TECBAHIA, R. Baiana Technol.**, v. 16, n. 3, p.87 a 104, 2001.

BASTOS, W.R; LACERDA, LD. A Contaminação por mercúrio na Bacia do Rio Madeira: Uma Breve Revisão. **Geochimica Brasiliensis**, 18(2)099-114, 2004. Disponível em: <[http://scholar.google.com.br/scholar?q=Geochim.+Brasil+.%2C+18%29099-114%2C+2004&btnG=&hl=pt-PT&as\\_sdt=0%2C5](http://scholar.google.com.br/scholar?q=Geochim.+Brasil+.%2C+18%29099-114%2C+2004&btnG=&hl=pt-PT&as_sdt=0%2C5)>. Acesso em: 05 jan.2013.

BISINOTI, M.C., JARDIM. , W.F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. **Química Nova**, vol. 27, nº. 4, 593-600, 2004. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422004000400014&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0100-40422004000400014&script=sci_arttext) > . Acesso em: 13 dez.2010.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 18 de março de 2005, págs.58-63.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA n° 420 de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 30 de dezembro de 2009, págs. 81 – 84.

BRASIL. CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 454 de 1° de novembro de 2012. Estabelece as diretrizes gerais e os procedimentos referenciais para o gerenciamento do material a ser dragado em águas sob jurisdição nacional. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 8 de novembro de 2012, Seção 1, pág.66.

BRILHANTE, O.M; CALDAS, L.Q.A. **Gestão e Avaliação de Risco em Saúde Ambiental**. Rio de Janeiro: FIOCRUZ, 1999, 155 p.

CARDOSO, P.C.S. et al. Efeitos biológicos do mercúrio e seus derivados em seres humanos – Uma Revisão Bibliográfica . **Revista paraense de medicina**, vol.15, nº 4, 51-58, out.-dez. 2001. Disponível em: <[http://www.facome.uqam.ca/pdf/cardoso\\_2002.PDF](http://www.facome.uqam.ca/pdf/cardoso_2002.PDF)> . Acesso em: 13 dez.2010.

CASARINI, D.C.P. et al. **Relatório de estabelecimento de valores orientadores para solos e águas subterrâneas no estado de São Paulo**. São Paulo: CETESB, 2001.

CESAR, R.G. et al. **Metais pesados em solos e sedimentos fluviais em antiga área de garimpo de ouro em Descoberto, Minas Gerais**. Comunicação Técnica Elaborada para o XXIII ENTMME, Gramado, set/out, 2009. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2009-161-00.pdf>> Acesso em: mar.2011

\_\_\_\_\_,et al. **Biodisponibilidade de Metilmercúrio, Zinco e Cobre em Distintas Frações Granulométricas de solo contaminado utilizando Oligoquetas da Espécie Eisenia Andrei**. Anuário do Instituto de Geociências – UFRJ, vol. 31 -2, 2008, p. 33-41. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2008-092-00.pdf>> . Acesso em: mar.2011.

COMIG - Companhia Mineradora de Minas Gerais. **Mapa Geológico Folha SF23 - X-D- II – ÚBA**,2002.

COUTO, R.C.S; CÂMARA, V.M.; SABROZA, P.C. Intoxicação Mercurial: Resultados preliminares em duas áreas garimpeiras –PA. **Cadernos de Saúde Pública, RJ**, vol.4, nº3, 301-315, 1988. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X1988000300005&script=sci\\_abstract](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0102-311X1988000300005&script=sci_abstract)> Acesso em: 10 mar.2011.

DRS/J. F. Diretoria Regional de Saúde de Juiz de Fora. **Relatório preliminar de levantamento de mortalidade e morbidade sobre contaminação pelo mercúrio no município de Descoberto – MG**. 2003. 4 p.

EICKHOF , A.P.N. et al. **Teor de Mercúrio em Solos do Entorno de Pisciculturas Sob Influência de Antigos Garimpos em Poconé–MT**. Anais Vol. 3 (2010): Workshop dos Grupos de Pesquisa e da Pós-Graduação, Cáceres/MT, Brasil, 20-24 setembro 2010. Disponível em:<[http://siec.unemat.br/anais/ws/impressao-resumo\\_expandido.php?fxev=MQ==&fxid=Mjcx&fxcod=MTQ4OA==&fxdl=I](http://siec.unemat.br/anais/ws/impressao-resumo_expandido.php?fxev=MQ==&fxid=Mjcx&fxcod=MTQ4OA==&fxdl=I)> . Acesso em: 02 jan. 2013.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. **Uso Agrícola dos Solos Brasileiros**. Rio de Janeiro, Embrapa Solos, 2002. Disponível em: <[http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/uso\\_agricola\\_solos\\_brasileiros.pdf](http://www.cnps.embrapa.br/publicacoes/pdfs/uso_agricola_solos_brasileiros.pdf)>. Acesso em: 20 jul.2013.

ENVIRONMENTAL CANADA. **Canadian Sediment Quality Guidelines** for the Protection of Aquatic Life,2002. Disponível em: <<http://www.ec.gc.ca>>. Acesso em: 10 jan.2013.

EPA. Environmental Protection Agency. **Emissões de mercúrio: o contexto global**. 2009. Disponível em: < [http://www.acpo.org.br/MPF\\_PAPA\\_LAMPADAS/07\\_ANE\\_XO\\_06\\_a\\_epa\\_control.pdf](http://www.acpo.org.br/MPF_PAPA_LAMPADAS/07_ANE_XO_06_a_epa_control.pdf)>. Acesso em: 15 de mar. 2014.

FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente); CDTN (Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear); CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). **Diagnóstico da contaminação ambiental em Descoberto, Minas Gerais, em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002.** Relatório de progresso. Belo Horizonte – FEAM. Minas Gerais, 2005.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente; CDTN. Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear; CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais). **Diagnóstico de contaminação ambiental em Descoberto - MG em decorrência do afloramento de mercúrio em dezembro de 2002.** Relatório Final – Outubro/2006.

FEAM. Fundação Estadual do Meio Ambiente. **Mapa de solos do Estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte, 2010.

FELISBERTO, R. **Teor de Mercúrio em Solos do Rio Grande do Sul.** 2009. 98 p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul: Porto Alegre, RS, 2009.

GUILHEN, S.N. **Validação de metodologia analítica para determinação de mercúrio total em amostras de urina por espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (CV – AAS).** 2009. 121 p. Dissertação de mestrado, IPEN, Universidade de São Paulo: São Paulo, SP, 2009.

HACON, S.; AZEVEDO, F. **Plano de ação regional para prevenção e controle da contaminação por mercúrio nos ecossistemas amazônicos.** 2006. Disponível em: <[http://www.otca.org.br/imagens/br/documentos/mercurio\\_port.pdf](http://www.otca.org.br/imagens/br/documentos/mercurio_port.pdf)>. Acesso em: 07 mar.2012.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico,** 2010.

LACERDA, L.D. Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. **Química Nova,** v.20, n.2., 196-199, 1997. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40421997000200012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421997000200012)>. Acesso em: 12 fev.2012.

\_\_\_\_\_;MALM, O.. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. **Estudos avançados,** v.22 ,n ° 63, p.173-190,2008. Disponível em:<[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010340142008000200011&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=s010340142008000200011&script=sci_arttext)>. Acesso em: 12 fev.2012.

MACEDO, J.A.B. **Química Ambiental – Uma ciência ao alcance de todos.** Belo Horizonte: CRQ – MG, 740 p., 2011.

MACEDO, J.A.B. Foto com detalhe de mercúrio. “In: Palestra contaminação química da população na zona urbana das grandes cidades”. 2009. II Fórum de Química Ambiental, Universidade Federal de Lavras. Disponível em: <<http://www.jorgemacedo.pro.br/PALESTRA%20SEMINARIO%20QUIMICA%20AMBIENTAL%20LAVRAS%202009.pdf>> . Acesso em: 13 abr. 2013.

MALM, O. **Avaliação da contaminação ambiental por mercúrio através da análise de peixes.** In: Mercúrio em áreas de garimpo de ouro, Série Vigilância 12, Ed. Câmara, V. Centro Panamericano de Ecologia e Saúde Humana. OPAS/OMS, Metepec, México



D.F, p.81-98, 1993. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/034112/034112-08.pdf> > Acesso em: 20 jun.2012.

MICARONI, R.C.C.M.; BUENO, M.I.M.S.; JARDIM, W.F. Compostos de mercúrio. Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte. **Química Nova**, v.23, nº 4, p. 487- 495 2000. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v23n4/2648.pdf>>. Acesso em: 12 dez.2010.

MMA. Ministério do Meio Ambiente. **Diagnóstico Preliminar sobre o Mercúrio no Brasil, 2013**. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80037/Mercurio/Diagnostico%20preliminar%20do%20mercurio%20no%20Brasil\\_FINAL%20\\_2013.pdf](http://www.mma.gov.br/images/arquivo/80037/Mercurio/Diagnostico%20preliminar%20do%20mercurio%20no%20Brasil_FINAL%20_2013.pdf)> Acesso em : 31 jul.2013.

MINAS GERAIS. COPAM - Conselho Estadual de Política Ambiental; CERH - Conselho Estadual de Recursos Hídricos - MG . Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 02 de 08 de setembro de 2010. Institui o Programa Estadual de Gestão de Áreas Contaminadas, que estabelece as diretrizes e procedimentos para a proteção da qualidade do solo e gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por substâncias químicas. **Diário Executivo [do Estado de Minas Gerais]**, Belo Horizonte, MG, 16 de setembro de 2010.

OBREGÓN, J.R. **La Epidemiología y su aplicacion a los problemas de salud derivados de la contaminacion ambiental**. Organizacion Panamericana de la Salud - OPS; Organizacion Mundial de la Salud - OMS: 1985. Disponível em: < <http://www.bvsde.paho.org/bvsacd/eco/016997.pdf> > Acesso em: 17 jan.2012.

OLIVEIRA, L.C. et al. Distribuição de Mercúrio em diferentes solos da Bacia do Médio Rio Negro-AM: Influência da Matéria Orgânica no Ciclo Biogeoquímico do mercúrio. **Revista Química Nova**, Vol. 30, Nº. 2, 274-280, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/qn/v30n2/05.pdf>>. Acesso em: 12 jan.2012.

OPS (Organización Panamericana de la Salud) ; OMS. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Universidade Federal do Rio de Janeiro. **Curso Evaluación de riesgos para la salud humana por exposición a residuos peligrosos. Experiencia brasileña em la aplicación de la metodología de la ATSDR**. 2007. Disponível em: <<http://www.bvsde.paho.org/bvstox/e/fulltext/curevalriesgo.pdf> . Acesso em: 10 abr. 2012.

PFEIFFER, W. **O controle da poluição por mercúrio nos garimpos de ouro**. In: CÂMARA, V.M, Mercúrio em áreas de garimpos de ouro. Centro Panamericano de Ecologia Humana e Saúde, Série Vigilância nº 12, México, p.129-136, 1993.

PNUMA - Programa de Las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. **Evaluación mundial sobre el mercurio**. Ginebra, Suiza, dezembro, 2002. Disponível em: <<http://www.chem.unep.ch/mercury/GMA%20in%20F%20and%20S/final-assessment-report-Nov05-Spanish.pdf>> . Acesso em : 10 jan.2012.

QUADRO, M.F.L.; ABREU, M.L., 1994. **Estudos de episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul sobre a América do Sul**. Congresso Brasileiro de Meteorologia, 8:620-623. Belo Horizonte-MG. Anais II.

RAMOS, A.; CASTILHO, Z.C.; EGLER, S.G. **Testes de ecotoxicidade utilizando minhocas da espécie *eisenia foetida* para avaliação da contaminação mercurial em solos.** XI Congresso Brasileiro de Geoquímica, 2007. Disponível em: <<http://www.cetem.gov.br/publicacao/CTs/CT2007-121-00.pdf>>. Acesso em: 15 mar.2011.

RADAMBRASIL. **Levantamento de Recursos Naturais, vol.32**, Folhas SF 23/24 Rio de Janeiro/ Vitória, 1983.

ROBAINA, L.E.; FORMOSO, M.L.L.; PIRES, C.A.F. Metais pesados nos Sedimentos de corrente, como indicadores de Risco Ambiental – Vale do Rio dos Sinos, RS. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, 23(2), 35-47, 2002. Disponível em: <<http://ppegeo.igc.usp.br/pdf/rig/v23n2/v23n2a04.pdf>> Acesso em: 10 jan.2013.

RODRIGUES, A.S.L; NALINI JUNIOR, H.A. **Valores de background geoquímico e suas implicações em estudos ambientais.** REM: R. Esc. Minas, Ouro Preto, 62(2): 155-165, abr. jun. 2009. Disponível em: < [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672009000200006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0370-44672009000200006&script=sci_arttext)> Acesso em: 15 jan. 2014.

SÁ JUNIOR, A. **Aplicação da classificação de koppen para o zoneamento climático do Estado de Minas Gerais.** 2009. 101 p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Lavras: Lavras, MG, 2009. Disponível em: < <http://institutovocorocas.com.br/biblioteca/27/67.pdf> > Acesso em: 13 ago. 2013.

SÃO PAULO. CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005.** Dispõe sobre a aprovação dos Valores Orientadores para Solos e Águas Subterrâneas no Estado de São Paulo – 2005, em substituição aos Valores Orientadores de 2001, e dá outras providências.

SENDEROWITZ, S.; CESAR, R.G. **Teores de Mercúrio em Águas, Solos e Sedimentos Fluviais em Área Impactada por Mineração em Paracatu (MG).** 2011. Disponível em: < [http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie\\_anais\\_XIX\\_jic\\_2011/XIX\\_JIC2011\\_stephanie\\_senderowitz.pdf](http://www.cetem.gov.br/publicacao/serie_anais_XIX_jic_2011/XIX_JIC2011_stephanie_senderowitz.pdf)> . Acesso em: 20 jul.2013.

SILVA, A.P. Coleta de amostras em solos, sedimentos e águas de ambientes impactados por mercúrio para monitoramento ambiental. In: Câmara V, M. **Mercúrio em áreas de garimpos de ouro.** Centro Panamericano de Ecologia Humana e Saúde, Série Vigilância nº 12, México, p.107-114, 1993.

SOHN, H.; NYCZ, Z. **Regime Jurídico do Mercúrio no Brasil.** Curitiba, Jun.2010. Disponível em: <[http://www.apromac.org.br/MERCURIO\\_REG\\_JUR\\_BRASIL.pdf](http://www.apromac.org.br/MERCURIO_REG_JUR_BRASIL.pdf)>. Acesso em: 05 set. 2012.

SOUZA, S.M.T. **Deflúvios superficiais no estado de Minas Gerais.** Belo Horizonte: Hidrosistemas, 1993.

SOUZA, J.R.; BARBOSA, A.C. Contaminação por mercúrio e o caso Amazônia. **Química Nova na Escola**, nº12, p.23-25, 2000.

TAGLIARI, P.D. **Perdas de Solo e Mercúrio em Diferentes Usos e Manejos da Terra na Região do Baixo Tapajós**. 2009.130 p. Dissertação de mestrado, Universidade de Brasília, Brasília, Distrito Federal, 2009.

TINÔCO, A.A.P. **Avaliação de contaminação por mercúrio em Descoberto- MG**. 2008. 104 p. Dissertação de mestrado, Universidade Federal de Viçosa: Viçosa, MG, 2008.

VALVERDE, O. Estudo Regional da Zona da Mata de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Geografia**, ano XX, n. 1, 3-82, jan-mar, 1958.

VECCHIO, Del. **Qualidade de vida e avaliação física em intoxicados por mercúrio: estudo observacional transversal descritivo**. 2005. 107 f. Dissertação (Mestrado), Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, SP, 2005.

VIEIRA, L.M.; ALHO, C.J.R.; FERREIRA, G.A.L. Contaminação por Mercúrio em Sedimento e em Moluscos do Pantanal, Mato Grosso, Brasil. **Revista brasileira. Zool.** 12 (3): 663 - 670. 1995.

WHO - World Health. **Mercury: environmental aspects**. Geneva, 1989. Environmental Health Criteria 86. ,115p.

\_\_\_\_\_. **Organization.Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects**.,Geneva, Concise International Chemical Assessment Document 50, 68p , 2003.

\_\_\_\_\_.**Assessing the environmental burden of disease at national and local levels**. Geneva, Environmental Burden of Disease Series, n.16,68p., 2008.

WASSERMAN, J.C.; HACON, S.S; WASSERMAN, M.A. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. **Mundo e Vida**, vol. 2, nº 1/2, p.46-53, 2001. Disponível em: <[http://www.unifesp.br/reitoria/residuos/curiosidades/o\\_ciclo\\_do\\_Hg\\_no\\_ambiente\\_amazonico.pdf](http://www.unifesp.br/reitoria/residuos/curiosidades/o_ciclo_do_Hg_no_ambiente_amazonico.pdf)> . Acesso em: 10 jul.2012.

## **8. ANEXOS**

ANEXO I - Descrição morfológica e ambiental das amostras coletadas

### **A - DESCRIÇÃO GERAL**

PERFIL - PD1

DATA - 24/04/2012

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo gleizado

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADA - Serra do Grama, zona rural do município de Descoberto, MG, S 21°23'54'' W 42°55'9''.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em terço inferior da encosta, com aproximadamente 30% de declive, sob cobertura vegetal de Gramínea Brachiaria.

ALTITUDE - 590 m.

LITOLOGIA - Sillimanita granada biotita gnaisse migmatítico.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Megassequência Andrelândia.

CRONOLOGIA – Neoproterozóico.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Material de alteração da litologia citada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - forte ondulado e montanhoso.

RELEVO REGIONAL - forte ondulado.

EROSÃO - laminar ligeira.

DRENAGEM - não efetuada.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Mata Atlântica.

USO ATUAL- pastagem.

CLIMA - Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, Cwa da classificação de Koppen.

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A11 0-15 cm, bruno escuro, (10YR 3/3); arenoso; mista média blocos fraca, grande granular fraca; ligeiramente duro; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
- A 12 15-42 cm, bruno amarelado escuro, (10YR 4/4); argilo-arenoso; mista média blocos fraca e grande granular fraca ligeiramente duro; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
- B 21 (g) 42-67 cm, bruno, (7.5YR 5/4); argilo - arenoso; maciço (sem estrutura); duro, firme, ligeiramente plástico e pegajoso.
- B 22(g) 67-138 cm, cinza brunado blaro (2.5Y 6/2/ 10YR 5/8); argiloso; maciço (sem estrutura); duro, muito firme, ligeiramente plástico e pegajoso.

RAÍZES - Ausentes.

OBSERVAÇÃO - presença de faixa amarela de oxidação a 102 cm.

## **A - DESCRIÇÃO GERAL**

PERFIL - PD2

DATA - 24/04/2012

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADA - Serra do Grama, zona rural do município de Descoberto, MG, S 21°23'53' W 42°55'08''.

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em terço médio da encosta, com aproximadamente 42 % de declive, sob cobertura vegetal de Gramínea Brachiaria com a presença de arbustos.

ALTITUDE - 601 m.

LITOLOGIA - Sillimanita granada biotita gnaisse migmatítico.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Megassequência Andrelândia.

CRONOLOGIA – Neoproterozóico.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Material de alteração da litologia citada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - forte ondulado e montanhoso.

RELEVO REGIONAL - forte ondulado.

EROSÃO - laminar não aparente.

DRENAGEM - A1: bem drenado; AB: acentuadamente drenado; B21: fortemente drenado; B22: fortemente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Mata Atlântica.

USO ATUAL- pastagem.

CLIMA - Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, Cwa da classificação de Koppen.

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

A1 0-20 cm, bruno amarelado escuro, (10YR 3/4); arenoso; mista média grandes blocos fraca e pequena média granular fraca; macio, solto e ligeiramente plástico e não pegajoso.

AB 20-50 cm, bruno forte, (7.5 YR 4/6); arenoso; mista média grandes blocos fraca e pequena média granular fraca; ligeiramente duro; muito friável; não plástico e não pegajoso.

B 21 50-100 cm, bruno forte, (7.5YR 5/8); argiloso; prismática pequena média moderada; macio; muito friável; não plástico e ligeiramente pegajoso.

B 22 100 - 150 cm, bruno amarelado, (10YR 5/8); argiloso; blocos média grande moderada; macio, friável, plástico e pegajoso.

RAÍZES - A1: muitas; AB: comuns; B21: comuns; B22: comuns.

OBSERVAÇÃO - fragmentos sub centimétricos ocupando 20% da massa do solo ao longo de todo perfil.

## **A - DESCRIÇÃO GERAL**

PERFIL - PD3

DATA - 24/04/2012

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADA - Serra do Grama, zona rural do município de Descoberto, MG, S 21°23'53'' W 42°55'08''

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em terço superior da encosta, com aproximadamente 40 % de declive, sob cobertura vegetal de Gramínea Brachiaria.

ALTITUDE - 611 m.

LITOLOGIA - Sillimanita granada biotita gnaisse migmatítico.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Megassequência Andrelândia.

CRONOLOGIA – Neoproterozóico.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Material de alteração da litologia citada.

PEDREGOSIDADE - Não pedregosa.

ROCHOSIDADE - Não rochosa.

RELEVO LOCAL - forte ondulado e montanhoso.

RELEVO REGIONAL - forte ondulado.

EROSÃO - laminar forte.

DRENAGEM - A: bem drenado; AB: acentuadamente drenado; B21: fortemente drenado; B22: fortemente drenado; B23: excessivamente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Mata Atlântica.

USO ATUAL- pastagem.

CLIMA - Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, Cwa da classificação de Koppen.



## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-7 cm, bruno escuro, (7.5YR 3/4); arenoso; média blocos fraca QSD, média fraca granular; ligeiramente duro, firme, ligeiramente plástico e não pegajoso.
- B 21 7-58 cm, vermelho amarelado, (5YR 5/8); argilo arenoso; estrutura não efetuada; macio, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
- B 22 58-116 cm, bruno forte, (7.5YR 4/6); argilo arenoso; estrutura não efetuada; macio; muito friável; ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
- B 23 116 - 157 cm, bruno forte, (7.5YR 5/6); argilo arenoso; estrutura não efetuada; ligeiramente duro, muito friável, ligeiramente plástico e pegajoso.

RAÍZES - ausentes.

## **A - DESCRIÇÃO GERAL**

PERFIL - PD4

DATA – 08/05/2012

CLASSIFICAÇÃO - Latossolo Vermelho Amarelo distrófico.

LOCALIZAÇÃO, MUNICÍPIO, ESTADO, COORDENADA - Serra do Grama, zona rural do município de Descoberto, MG, S 21°24'2'' W 42°55'6''

SITUAÇÃO, DECLIVE E COBERTURA VEGETAL SOBRE O PERFIL - Descrito e coletado em terço médio da encosta, com aproximadamente 90 % de declive, sob cobertura vegetal de mata secundária.

ALTITUDE - 639 m.

LITOLOGIA - Sillimanita granada biotita gnaisse migmatítico.

FORMAÇÃO GEOLÓGICA - Megassequência Andrelândia.

CRONOLOGIA – Neoproterozóico.

MATERIAL ORIGINÁRIO - Material de alteração da litologia citada.

PEDREGOSIDADE – moderadamente pedregoso.

ROCHOSIDADE - não rochosa.

RELEVO LOCAL - forte ondulado e montanhoso.

RELEVO REGIONAL - forte ondulado.

EROSÃO - laminar moderado.

DRENAGEM - A: moderadamente drenado; B: acentuadamente drenado; C: fortemente drenado.

VEGETAÇÃO PRIMÁRIA - Mata Atlântica.

USO ATUAL- mata secundária.

CLIMA - Clima temperado úmido com inverno seco e verão quente, Cwa da classificação de Koppen.

## **B - DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA**

- A 0-30 cm, bruno avermelhado (5YR 4/3); argilo arenoso; blocos, pequena média moderado; duro, solto, não plástico e não pegajoso.
- B 30-75 cm; bruno forte (7.5YR 5/6); argilo arenoso; mista: prismática, pequena moderada e bloco, pequena moderada; duro, muito friável, ligeiramente plástico e ligeiramente pegajoso.
- C 75-145 cm; amarelo avermelhado (7.5YR 7/6); argilo arenoso; mista: prismática, média moderada e granular, média grande fraca ; muito duro; friável; não plástico e não pegajoso.

RAÍZES - fasciculares (comuns em A, B e C).