

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**  
**Instituto de Geociências e Ciências Exatas**  
*Campus de Rio Claro*

**MERCÚRIO EM SOLOS DA SUB-BACIA DO RIO  
CORUMBIARA/RO: ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA  
DISPERSÃO**

**João Carlos Herrmann**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr.<sup>a</sup> Gilda Carneiro Ferreira**

**Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de  
Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, para  
obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio  
Ambiente.**

**RIO CLARO (SP)**

**2008**

# **Livros Grátis**

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA**

**Instituto de Geociências e Ciências Exatas**

*Campus de Rio Claro*

**MERCÚRIO EM SOLOS DA SUB-BACIA DO RIO  
CORUMBIARA/RO: ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA  
DISPERSÃO**

**João Carlos Herrmann**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup> Dr.<sup>ª</sup> Gilda Carneiro Ferreira**

**Tese de Doutorado elaborada junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, para obtenção do título de Doutor em Geociências e Meio Ambiente.**

**RIO CLARO (SP)**

**2008**

Comissão Examinadora

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup> Gilda Carneiro Ferreira – Orientadora

Prof. Dr. Ene Glória da Silveira

Prof. Dr. Job Jesus Batista

Prof. Dr. José Ricardo Sturaro

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

Aluno: João Carlos Herrmann

Rio Claro, 13 de fevereiro de 2009

Resultado: Aprovado com Distinção



## **DEDICATÓRIA**

Aos meus pais, pela vida, exemplo e aprendizado que me proporcionaram, à minha esposa e filhas pelo apoio, paciência e estímulo, aos professores e amigos pelo incentivo.

## **AGRADECIMENTOS**

À Prof<sup>ª</sup>. Dr.<sup>a</sup>. Gilda Carneiro Ferreira, pela orientação e amizade;

Ao Prof. Dr. José Ricardo Sturaro, pelo auxílio e amizade;

Ao Prof. Dr. Ene Glória da Silveira, pela oportunidade e amizade;

Aos amigos Prof<sup>º</sup>s. Wanderley Rodrigues Bastos e José Vicente Elias Bernardi pela ajuda, apoio e colaboração, sem a qual não seria possível a realização deste trabalho;

Aos amigos Ronaldo Almeida e Ronaldo Cavalcanti de Oliveira, pelo companheirismo;

Aos amigos do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia;

Ao quadro de docentes e à UNESP/Rio Claro que, com desprendimento e espírito inovador, viabilizaram a realização deste curso;

À Secretaria de Estado da Segurança, Defesa e Cidadania de Rondônia, pela autorização e apoio para participar do curso;

À Fundação Universidade Federal de Rondônia, pela oportunidade e apoio;

Aos colegas do Instituto de Criminalística;

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Breve histórico.....	2
1.2. Objetivos.....	4
1.2.1. Objetivo geral.....	4
1.2.2. Objetivos específicos.....	4
1.3. Localização da área de estudo.....	4
1.4. Revisão bibliográfica.....	6
2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	11
2.1. Clima.....	11
2.2. Geologia.....	12
2.3. Geomorfologia.....	14
2.4. Solos.....	16
2.5. Vegetação.....	18
2.6. Aspectos socioeconômicos.....	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	21
3.1. Metodologia de amostragem de campo.....	21
3.2. Metodologia de análise química.....	24
3.3. Controle de qualidade das análises realizadas.....	27
3.4. Metodologia de tratamento estatístico.....	28
3.4.1. Correlação linear simples.....	29
3.4.2. Semi-variograma.....	30
3.4.3. Krigagem ordinária pontual.....	32
3.4.4. Krigagem indicativa.....	33
3.5. Programas e bases utilizadas.....	34
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	36
4.1. Controle de qualidade das análises químicas.....	36
4.2. Resultados obtidos para a profundidade de 0 a 10 cm.....	38
4.3. Resultados obtidos para a profundidade de 10 a 30 cm.....	40
4.4. Resultados obtidos por unidade geológica.....	42
4.4.1. Mercúrio em rochas da sub-bacia do rio Corumbiara.....	43
4.5. Resultados obtidos por unidade geomorfológica.....	47
4.6. Resultados obtidos por unidade de solo.....	49

4.7. Correlação linear simples.....	51
4.8. Análise semi-variográfica.....	52
4.9. Krigagem ordinária.....	54
4.9.1. Desvio de krigagem ordinária.....	56
4.10. Krigagem indicativa.....	58
4.11. Superfície indicativa.....	60
5. ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA DISPERSÃO.....	63
5.1. O rio Corumbiara.....	67
5.2. Uma proposta de <i>background</i> .....	71
6. CONCLUSÕES.....	73
7. REFERÊNCIAS .....	76
APÊNDICES.....	88

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1: Dados climatológicos médios mensais da estação de Vilhena (12° 46' 12" S – 60° 05' 39" W) referentes ao ano de 2006.....	12
Tabela 2: Valores de referência de Hg total das amostras padrão com as respectivas recuperações obtidas através do FIMS 400 da Perkim Elmer.....	36
Tabela 3: Desvio padrão médio por bateria de análise, obtido entre as leituras das duplicatas de cada amostra.....	37
Tabela 4: Resumo dos dados estatísticos de mercúrio total na profundidade de 0 a 10 cm.....	38
Tabela 5: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os valores de mercúrio total da profundidade 0–10 cm.....	39
Tabela 6: Resumo dos dados estatísticos de mercúrio total na profundidade 10 – 30 cm.....	40
Tabela 7: Teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov para os valores de mercúrio total da profundidade 10– 30 cm.....	40
Tabela 8: Concentração de mercúrio total presente nas amostras por unidade geológica.....	42
Tabela 9: Mercúrio em rochas da sub-bacia do rio Corumbiara e área adjacente do Mato Grosso.....	46
Tabela 10: Concentração de mercúrio total presente nas amostras por unidade geomorfológica.....	47
Tabela 11: Concentração de mercúrio total presente nas amostras por unidade de solo.....	49
Tabela 12: Resumo dos dados utilizados na modelagem dos semi-variogramas.....	54

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de localização do estado de Rondônia.....	5
Figura 2: Mapa de localização da sub-bacia do rio Corumbiara.....	5
Figura 3: Mapa de localização dos pontos amostrados.....	22
Figura 4: Imagem de satélite Landsat com localização dos pontos amostrados.....	23
Figura 5: Fluxograma do processo de abertura e análise das amostras de solo.....	25
Figura 6: Fluxograma de análise das amostras.....	27
Figura 7: Modelo de semi-variograma.....	31
Figura 8: Histograma de valores de mercúrio total na profundidade de 0 a 10 cm.....	38
Figura 9: Ajustamento da curva normal ao histograma dos valores de mercúrio total da profundidade de 0 a 10 cm.....	39
Figura 10: Histograma de valores de mercúrio total na profundidade de 10 a 30 cm.....	40
Figura 11: Ajustamento da curva normal ao histograma dos valores de mercúrio na profundidade de 10 a 30 cm.....	41
Figura 12: Mapa geológico.....	44
Figura 13: Mapa de localização dos pontos com amostragem de rocha e determinação de mercúrio total, executado pelo CPRM.....	45
Figura 14: Mapa geomorfológico.....	48
Figura 15: Mapa de solos.....	51
Figura 16: Diagrama de dispersão mostrando a relação do mercúrio total nas profundidades 0 – 10 cm / 10 – 30 cm.....	51
Figura 17: Diagrama de dispersão mostrando a relação do mercúrio total nas profundidades 10 – 30 cm / 0 – 10 cm.....	51
Figura 18: Modelos semi-variográficos elaborados para dispersão de mercúrio total na profundidade 0 – 10 cm.....	52
Figura 19: Modelos semi-variográficos indicativos elaborados para dispersão de mercúrio total na profundidade 0 – 10 cm.....	52
Figura 20: Modelos semi-variográficos elaborados para dispersão de mercúrio total na profundidade 10 – 30 cm.....	53
Figura 21: Modelos semi-variográficos indicativos elaborados para dispersão de mercúrio total na profundidade 10 – 30 cm.....	53

Figura 22: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm, obtido por krigagem ordinária.....	55
Figura 23: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm, obtido por krigagem ordinária.....	55
Figura 24: Mapa de desvio de krigagem ordinária de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm.....	57
Figura 25: Mapa de desvio de krigagem ordinária de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm.....	57
Figura 26: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm, obtido por krigagem indicativa.....	59
Figura 27: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm, obtido por krigagem indicativa.....	59
Figura 28: Mapa da superfície indicativa de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm.....	61
Figura 29: Mapa da superfície indicativa de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm.....	61
Figura 30: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm, obtido por krigagem ordinária.....	68
Figura 31: Mapa de probabilidade de ocorrência de mercúrio total acima do nível de corte na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm.....	68
Figura 32: Imagem SRTM da área da sub-bacia do rio Corumbiara e adjacências.....	70

## LISTA DE SIGLAS

APSL – Amapá Solo

EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

Cbers – China-Brazil Earth Resources Satellite

FIAS – Flow Injection Automatic System

FIMS – Flow Injection Mercury System

GPS – Global Position System

IAEA – Internacional Atomic Energy Agency

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IPEN-SP – Instituto de Pesquisas Nucleares de São Paulo

LDT – Limite de Detecção da Técnica

SAD 69 – South American Datum 69

SLBC – Solo da sub-bacia do rio Corumbiara

SRM 2704 – Amostra certificada de sedimentos provenientes de Buffalo River - USA

SRTM – Shuttle Radar Topographi Mission

UFRJ – Universidade Federal do Rio de Janeiro

UNIR – Fundação Universidade Federal de Rondônia

UTM – Universal Transversal de Mercator

2ª ZEE – 2ª Aproximação do Zoneamento Socieconômico e Ecológico de Rondônia

$\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$  – Parte por milhão

$\mu\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$  – Parte por bilhão



## RESUMO

Neste estudo, através de uso de ferramentas geoestatísticas, foi estabelecido e analisado o padrão de dispersão do mercúrio total em solos da sub-bacia do rio Corumbiara, estado de Rondônia, nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 30 cm, considerando-se ainda a geologia e a geomorfologia da área na sua interpretação. Os resultados obtidos através de espectrofotometria de absorção atômica, indicam um valor médio de mercúrio para os solos da sub-bacia de  $74,54 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , sendo  $72,91 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 0 a 10 cm e  $76,18 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 10 a 30 cm, em geral inferiores aos de outras regiões da Amazônia. O padrão de dispersão em ambas as profundidades mostra-se semelhante. Os Neossolos Quartzarênicos apresentaram as maiores concentrações médias de mercúrio total, da ordem de  $112,61 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , seguido pelos Latossolos com  $100,92 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , Argissolos com  $88,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , Neossolos Flúvicos com  $63,09 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e Gleissolos com  $32,96 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . A análise do padrão de dispersão permitiu identificar que o rio Corumbiara tem suas nascentes e a de seus principais tributários posicionadas na parte alta da sub-bacia, onde se encontram os solos com as maiores concentrações relativas de mercúrio total, em unidades geomorfológicas de natureza erosiva e sob impacto da ocupação antrópica. O médio curso e foz do rio Corumbiara se localizam na parte baixa da sub-bacia, dominada por unidade geomorfológica de natureza deposicional, com solos com as menores concentrações relativas de mercúrio. O aparente paradoxo entre a elevada concentração relativa de mercúrio total nos solos erodidos pelo rio Corumbiara e as concentrações relativamente baixas nos solos da área de deposição, pode ser explicado pela natureza pantanosa do ambiente de deposição, o qual favorece a metilação e a remoção do mercúrio destes sedimentos.

Palavras-chave: mercúrio, solos, dispersão, geoquímica, geoestatística.

## ABSTRACT

Using geostatistical tools, this study analysed and identified the dispersal pattern of total mercury in soils from the Corumbiara River sub-basin, Rondônia. The samples were taken from depths of 0 to 10 cm and 10 to 30 cm. This interpretation took into consideration the geology and geomorphology of the region. The results obtained through Atomic Absorption Spectrofotometry (AAS) indicate an average value of mercury in the sub-basin soils of  $74.54 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . The shallower sample horizon averaged  $72.91 \mu\text{g.kg}^{-1}$  while the deeper averaged  $76.18 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . These values are generally lower than those in other regions of the Amazon. The dispersion patterns are similar for both sample sets. The Arenosols had the highest average concentrations of total mercury, of the order of  $112,61 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , followed by Oxisols with  $100,92 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , Argisols with  $88,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , Fluvisols with  $63,09 \mu\text{g.kg}^{-1}$  and Gleysols with  $32,96 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Analysis of the dispersion patterns identified that the highest concentrations of mercury are found in soils located in the upper sub-basin, which are dominated by erosive geomorphological units and under impact of human occupation. The average course and mouth of the Corumbiara River is located in the lower part of the sub-basin. This is dominated by geomorphological units of a depositional nature and with soils with lower concentrations of mercury. The apparent paradox between the high concentration of total mercury in sediments eroded by the Corumbiara River and the relatively low concentrations in sediments in the deposition area can be explained by the nature of the wetland environment of deposition. This wetland environment promotes the methylation of mercury and the removal of these sediments.

Key words: mercury, dispersion, soils, geology, geomorphology

## 1. INTRODUÇÃO

O mercúrio, cujo símbolo químico é Hg, é um elemento que ocorre naturalmente no ambiente, podendo adquirir várias formas decorrentes dos seus três estados iônicos: Hg<sup>0</sup>; Hg<sup>+</sup> e Hg<sup>++</sup>. Destas formas, as que adquirem maior importância do ponto de vista toxicológico, por serem as mais tóxicas, são o metilmercúrio (CH<sub>3</sub>Hg), mais comum, e o dimetilmercúrio ((CH<sub>3</sub>)<sub>2</sub>Hg)), os quais possuem ainda a capacidade de serem bioacumulados e biomagnificados na cadeia trófica, podendo atingir o homem.

A dieta é a principal forma de exposição do homem ao metilmercúrio, sendo este elemento rapidamente absorvido e lentamente eliminado, se comparado com outras formas mercuriais (BISINOTI e JARDIM, 2004). A dinâmica de geração e consumo do metilmercúrio no ambiente ainda não está completamente esclarecida, sendo unânime entre os pesquisadores a importância do processo de introdução do mercúrio em suas diversas formas no meio hídrico, para que ocorra a metilação e disponibilização para a cadeia trófica.

Os solos são reconhecidos como uma importante fonte de mercúrio na região Amazônica, sendo que diversos estudos têm sido conduzidos no sentido de compreender o processo de acumulação de mercúrio nesta porção do meio ambiente. No entanto e embora reconhecendo a íntima relação dos solos com a geologia e a geomorfologia, poucos estudos têm sido conduzidos no sentido de esclarecer como estes compartimentos ambientais se relacionam com o mercúrio, ou por outro lado, como o mercúrio se dispersa nestes compartimentos. Em relação às rochas, as referências são apenas de que não se conhece a ocorrência de rochas ricas

em mercúrio na região Amazônica (LACERDA et al., 1991; HACON, 1996, WASSERMAN et al., 2003).

Através do presente estudo, realizado em uma região com aproximadamente 10.000 km<sup>2</sup>, onde ocorre uma ampla variedade de solos e de rochas, com alternância de ambientes preservados e de intensa ocupação antrópica, relevo elevado e extensas várzeas submetidas a inundação sazonal, foi estabelecido o padrão da dispersão do mercúrio total nos solos e discutido como este elemento se relaciona com os solos, com a geologia e com a geomorfologia, utilizando-se ferramentas de análise pouco exploradas até o momento nos estudos sobre mercúrio, tais como sistema de informação geográfica, banco de dados e geoestatística.

Outro aspecto relevante deste trabalho, é que os estudos até agora realizados em Rondônia sobre a distribuição do mercúrio se restringem basicamente à calha do Rio Madeira e seus tributários, os quais têm sido monitorados há vários anos, principalmente após a implantação do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia. Os solos, no entanto, ainda permaneciam como uma grande incógnita.

### 1.1. Breve histórico

A presença de mercúrio na região Amazônica tem sido estudada desde a década de 80, ocasião em que se iniciou a grande corrida em busca de ouro na região. O mercúrio era e ainda é utilizado como agente amalgamador do ouro, facilitando a sua captura e separação dos demais materiais durante o processo de garimpagem. Este processo, por seu caráter rudimentar, ocasionou grandes perdas de mercúrio para o ambiente, sendo a contaminação ambiental inicialmente diagnosticada creditada à atividade garimpeira. (PFEIFFER et al., 1989; MALM, 1991a; BRANCHES et al., 1993; AKAGI et al., 1994; MALM et al., 1995b, LACERDA, 1995; MALM, 1998).

Estudos posteriores revelaram que locais sem qualquer atividade relacionada à garimpagem apresentavam altos índices de contaminação em peixes e em populações ribeirinhas (FORSBERG et al., 1995; LEBEL, 1999), indicando que não deveria haver apenas uma fonte de mercúrio para a contaminação ambiental então diagnosticada.

Os pesquisadores voltaram-se então para os solos da região Amazônica, principalmente na região do rio Tapajós e do rio Negro (ROULET et al., 1996; ROULET et al., 1998; ROULET et al., 1999, FADINI e JARDIM, 2001; BARBOSA et al., 2003), concluindo que alguns solos se

comportavam como depósitos naturais deste elemento. A ocupação antrópica, seguida de desmatamento das florestas, queima da biomassa e estabelecimento de agricultura e pecuária foi apontada como um agente mobilizador do mercúrio presente nos solos, disponibilizando esse elemento para o meio hídrico (VEIGA et al., 1994; MEECH et al., 1997; ROULET et al., 1999; ROULET et al., 2000a). No meio hídrico, o mercúrio sofre metilação por vários processos (BAEYENS et al., 1996; BISINOTI e JARDIM, 2004), vindo a se tornar um dos elementos mais tóxicos e de ampla disseminação no mundo, sendo encontrado desde as regiões mais povoadas, até as mais inóspitas como o Ártico e a Antártica (PIRRONE e MAHAFFEY, 2005).

Os rios Amazônicos com suas grandes planícies de inundação e lagos, foram apontados como ambientes favoráveis à metilação do mercúrio (MEECH et al., 1997; GUIMARÃES et al., 1998; ROULET et al., 2000b; GUIMARÃES et al., 2000; ROULET et al., 2001a), com sua entrada na cadeia trófica, bioacumulação e biomagnificação, chegando finalmente ao homem. As populações tradicionais da região Amazônica (índios, ribeirinhos, seringueiros), devido ao consumo de pescado, principal fonte de proteína existente na região, foram então apontadas como as mais susceptíveis à contaminação, passando a ser monitoradas (MALM et al., 1995a; FORSBERG et al., 1995; GUIMARÃES, 1997, SANTOS et al., 2003, BASTOS et al., 2006).

Com a evolução dos estudos, novos compartimentos ambientais passaram a ser foco de pesquisa, sendo apontado que o Hg presente na atmosfera da região desenvolvia importante papel no ciclo regional (ARTAXO et al., 2000). A deposição atmosférica passou então a ser objeto de pesquisa, revelando-se que esta contribui significativamente para a acumulação regional do metal (FADINI e JARDIM, 2001; SILVA, 2004). O comportamento do mercúrio na interface solo / atmosfera (MAGARELLI, 2006) e água / atmosfera (SILVA, 2004) também passou a ser estudado, dando importante contribuição para a compreensão do comportamento biogeoquímico do mercúrio na região Amazônica.

Neste mesmo período, novas ferramentas de análise passaram a ser utilizadas na pesquisa de ambientes contaminados com metais pesados, envolvendo o uso de sistemas de informação geográfica, sensoriamento remoto, análises estatísticas multivariadas e geoestatística (ZHANG e SELINUS, 1998, FACCHINELLI et al., 2001; LIN et al., 2002, KANAROGLOU et al. 2002, ERSOY et al., 2004), as quais também vieram a ser utilizadas na região Amazônica, abrindo novas e importantes perspectivas para os estudos regionais sobre mercúrio (GOMES et al., 2006, OLIVEIRA et al., 2007).

## 1.2. Objetivos

### 1.2.1. Objetivo geral

- Estabelecer o padrão de dispersão do mercúrio total presente nos solos da sub-bacia do rio Corumbiara.

### 1.2.2. Objetivos específicos

- Discutir o padrão de dispersão do mercúrio total presente na sub-bacia;
- Discutir a relação entre o padrão de dispersão do mercúrio total em solos, a geologia e a geomorfologia da sub-bacia.

## 1.3. Localização da área de estudo

A área de estudo envolve os solos da sub-bacia do rio Corumbiara, afluente da margem direita do rio Guaporé, situada a sudeste do estado de Rondônia, em um total de 9.795,94 km<sup>2</sup> (figuras 1 e 2). A área dista aproximadamente 650 km de Porto Velho, com acesso por via asfaltada, sendo cortada por um amplo sistema viário que permite tráfego o ano todo.

Os limites da sub-bacia do rio Corumbiara utilizados no presente trabalho, foram definidos pelo Governo do Estado de Rondônia, através da Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), em parceria com o Conselho Regional de Engenharia, Agronomia e Arquitetura de Rondônia (CREA/RO) e Ministério do Meio Ambiente (MMA) (Rondônia, 2002b).

Apresenta como características singulares, a elevada diversidade de solos e de rochas e o relevo transicional desde o topo da Serra dos Parecis até as extensas áreas da planície de inundação do rio Guaporé. Além disto, constitui-se de uma área de expansão agrícola atual, sob forte pressão antrópica, onde há uma unidade de conservação denominada de Parque Estadual de Corumbiara, com área total de 424.339 ha, totalmente preservada em seus atributos naturais e dotada de beleza ímpar.



Figura 1: Mapa de localização de Rondônia.

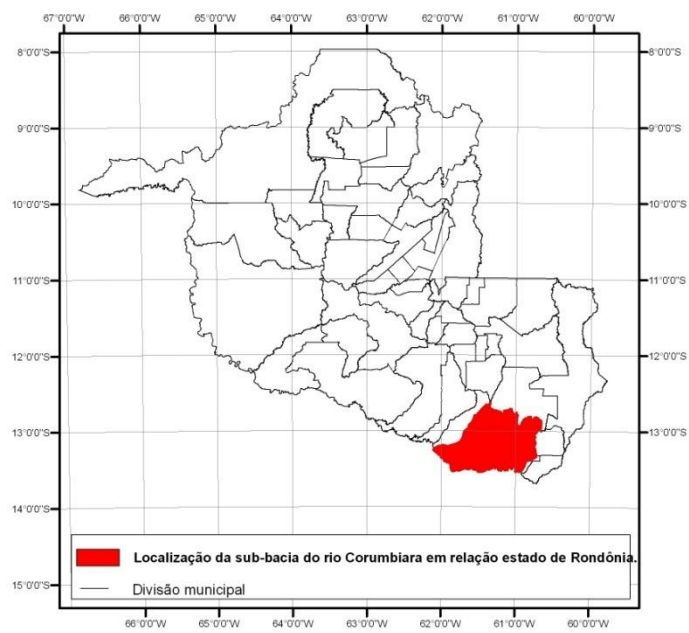


Figura 2: Mapa de localização da sub-bacia do rio Corumbiara.

#### 1.4. Revisão bibliográfica

A extração de ouro na bacia Amazônica se processa há longa data, tendo sido reportado que desde tempos imemoriais os povos andinos, tais como os Incas, já se utilizavam deste bem mineral. Segundo Malm (1998), o processo de amalgamação começa a ser utilizado na América do Sul com a chegada dos colonizadores espanhóis e portugueses. Na Amazônia, a utilização de mercúrio em larga escala teve início com a grande corrida para o ouro da região registrada no final da década de 70.

Nos primórdios da década de 80 iniciam as pesquisas sobre os problemas de contaminação ambiental decorrentes da presença deste elemento em várias regiões da Amazônia, principalmente aquelas afetadas pelas atividades garimpeiras, tendo sido atribuído a esta última a contaminação então encontrada (PFEIFFER et al., 1989; MALM, 1991; BRANCHES et al., 1993; AKAGI et al., 1994; MALM et al., 1995b, LACERDA, 1995; MALM, 1998).

Segundo Lebel (1999), a partir de 1994 os pesquisadores da Universidade Federal do Pará e da Universidade de Quebec e Montreal, estudando o rio Tapajós, constataram que a atividade garimpeira não deveria ser a única fonte de mercúrio, uma vez que populações que se encontravam a centenas de quilômetros das zonas de garimpagem, sem qualquer contato com este tipo de atividade, apresentavam altos níveis de contaminação. Os estudos foram então direcionados para a descoberta de novas fontes de mercúrio que pudessem estar contribuindo para a contaminação do ambiente Amazônico.

Veiga et al. (1994) estimaram que a queima de biomassa florestal decorrente do processo de desmatamento da região Amazônica introduzia na atmosfera cerca de 90 toneladas/ano de mercúrio, representando a maior fonte de mercúrio atmosférico e contribuindo significativamente para a contaminação do ambiente aquático. Por sua vez, Roulet et al. (1996) estudando os solos da região do rio Tapajós, encontraram teores de mercúrio variando entre 90 – 210  $\mu\text{g kg}^{-1}$ , relativamente altos quando comparados com as médias obtidas em outras partes do mundo, indicando ainda o possível controle deste elemento pelos óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio presentes no solo.

A atividade antrópica sobre estes solos passou então a ser apontada como um fator de aceleração na liberação do mercúrio para o ambiente aquático e atmosfera, conforme abordado por Meech et al. (1997), mostrando que o mercúrio também é introduzido no ambiente pelo processo de deterioração dos solos orgânicos e húmus que segue à queima da biomassa florestal



de dois modos: volatilização e lixiviação. É um processo mais lento e a razão da perda depende de muitos fatores, tais como clima, latitude, tipo de solo original, relevo, geologia e rocha subjacente, uso da terra, etc..

Roulet e Lucotte (1995), Roulet et al.(1996), Roulet et al.(1998), ao caracterizarem a geoquímica da acumulação e perda de mercúrio no ambiente Amazônico, diagnosticaram o enriquecimento de alguns solos da região em mercúrio, que esse elemento é melhor correlacionado com ferro e substâncias húmicas (matéria orgânica solúvel) e que a perda destes solos para o ambiente hídrico através da erosão tem contribuição significativamente maior para a contaminação ambiental que o mercúrio introduzido por atividade antropogênica.

Roulet et al.(1999) estudando os efeitos da colonização sobre a presença de mercúrio na Amazônia e estimando a contribuição da queima de biomassa para liberação deste elemento para o ambiente, chegaram a mesma conclusão de Lacerda (1995), ou seja, de sua importância relativa pequena. Da mesma forma, na bacia do rio Tapajós, a contribuição do mercúrio atmosférico proveniente da queima em garimpos e transportado a longa distância, não pode ser considerada como a origem dos altos valores encontrados. Alertou, no entanto, para o fato de que a erosão dos solos em áreas desmatadas poderia estar gerando uma perda de 500 a 3000  $\mu\text{g Hg/m}^2$  por centímetro de solo erodido. Esta fonte presumivelmente causaria significativa contaminação dos rios Amazônicos.

Lacerda et al.(1999) estudando a distribuição do mercúrio em solos de floresta e lagos na região de Alta Floresta (MT), relaciona os valores anômalos às emissões de mercúrio provenientes das atividades garimpeiras, assim como aponta para a atuação dos solos florestais como depósitos de Hg, enquanto os solos de pastagem atuariam como fontes difusas deste elemento, com re-emissões intermitentes, mostrando teores médios de mercúrio significativamente menores que os encontrados nas áreas de floresta.

Roulet et al. (2000a) ao estudar os sedimentos de lagos da bacia do rio Tapajós, encontraram evidências geoquímicas de que a origem da recente acumulação de mercúrio nestes sedimentos está ligada à erosão superficial do solo em decorrência da colonização, desmatamento e estabelecimento de agricultura em substituição à floresta nativa, sendo responsável pela maior perturbação no ciclo do mercúrio em solos da Amazônia Central. Roulet et al. (2001b) avaliando a variação espaço-temporal do conteúdo das águas dos rios Tapajós e Amazonas, especialmente

no que se refere ao mercúrio, chegaram às mesmas conclusões anteriores, ou seja, a erosão do solo como maior fonte deste elemento para o meio aquático.

Artaxo et al. (2000), estudando o mercúrio atmosférico presente na região Amazônica, identificou que o mesmo está claramente associado à queima de biomassa e às atividades garimpeiras, sendo que, na média, 63% da concentração de mercúrio está relacionada às atividades garimpeiras, 31% relacionado à queima de biomassa, 4% a poeira do solo e 2,1% ao NaCl, ou seja, com introdução de partículas aerossóis marinhas na bacia Amazônica.

Fadini e Jardim (2001) investigando a presença de mercúrio total em solos da bacia do rio Negro, chegaram a valores médios de  $172 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , sendo amostrados seis diferentes tipos de solos com representatividade regional. Estes mesmos solos mostraram uma média de  $164 \mu\text{g.kg}^{-1}$  distribuídos ao longo de um perfil de 1 metro. Tais solos mostraram-se naturalmente ricos em mercúrio, sendo que o conteúdo total da bacia sobrepuja em muito as estimativas de introdução de mercúrio por atividade antropogênica ou pelo ciclo global do mercúrio. A liberação de mercúrio do solo foi apontada como a maior causa de contaminação da região.

Wasserman et al. (2001) e Wasserman et al. (2003), ao analisarem o ciclo do mercúrio no ambiente Amazônico e abordarem a discussão sobre a origem da contaminação ambiental (natural ou antropogênica), alertam para a pouca representatividade das amostras de mercúrio total em solo nos estudos realizados, cujos resultados são restritos, mas com conclusões estendidas para toda a região.

Cordeiro et al. (2002) estudando a região de Alta Floresta (MT), identificaram a deposição de mercúrio relacionado às atividades garimpeiras e a deposição associada ao carvão vegetal, derivado do desmatamento e queimadas na região, estabelecendo assim, por meio do padrão de distribuição do mercúrio, as mudanças na economia regional e os diferentes tipos de impacto sobre o ambiente.

Lacerda et al. (2004) ao estudar a distribuição do mercúrio em solos de Alta Floresta (MT), verificaram significativa diferença entre os teores presentes em solos de floresta ( $61,9 \pm 50,6 \text{ ng.kg}^{-1}$ ) e em solos de pastagem ( $33,8 \pm 13,9 \text{ ng.kg}^{-1}$ ), apontando a cobertura do solo e o uso da terra como fatores aparentemente determinantes desta diferenciação. A maior capacidade de retenção de mercúrio atmosférico dos solos de floresta, aliado a alta exposição dos solos em áreas de pastagem às intempéries climáticas, bem como o processo de queima da biomassa florestal, seriam responsáveis por esta diferenciação. Sugeriram também que o mercúrio emitido

por fontes antrópicas se deposita nos primeiros 40 km de distância destes sítios, de acordo com a predominância dos ventos.

Wang et al. (2004), ao realizarem uma revisão da literatura sobre as discussões em torno das fontes de mercúrio e contaminação do meio aquático, indicaram a ocorrência de seis fontes principais, quais sejam: deposição atmosférica, erosão dos solos, descargas urbanas, materiais agrícolas, mineração, combustão e descargas industriais.

Silva (2004), ao estudar os fluxos de mercúrio na interfície água/atmosfera na bacia do rio Negro, demonstrou a importância dos mecanismos fotoredutores e foto-oxidantes, bem como da matéria orgânica dissolvida nos mecanismos de exportação do mercúrio da água para a atmosfera. Apontou que os solos exercem importante papel neste ciclo, sendo que os latossolos atuam como sumidouro do mercúrio aportado pela deposição úmida e os solos podzólicos como fonte de mercúrio para o ambiente aquático.

Magarelli (2006) ao estudar os fluxos de mercúrio na interfície solo/atmosfera, concluiu que em ambientes de floresta o mercúrio evasivo diurno se equivale ao mercúrio invasivo noturno, mantendo o equilíbrio do ciclo. Já em áreas desmatadas, foi constatado aumento significativo dos fluxos de emissão, o qual se relaciona com a temperatura do solo, radiação solar e teor de matéria orgânica.

Telmer et al. (2006) ao analisarem a fonte e o destino dos sedimentos com mercúrio transportados pelo rio Tapajós, indicam que a carga de mercúrio transportada pelo sedimento em suspensão no rio varia de 200 a 600 vezes a carga de mercúrio dissolvido por litro de água, concluindo que a carga de sedimentos em suspensão representa a grande fonte de mercúrio para o ambiente, superando em muito o mercúrio antropogênico liberado através da garimpagem de ouro. Os processos erosivos dos solos marginais, assim como a perturbação dos sedimentos de fundo ricos em mercúrio causadas pelas operações de dragagem dos rios, seriam fontes de elevada carga sedimentar, conseqüentemente, do seu enriquecimento em mercúrio.

Em Rondônia, o estudo do mercúrio ainda está concentrado na calha do rio Madeira, sua planície aluvial e lagos marginais. Solos de floresta da planície do rio Madeira, em áreas onde o rio foi objeto de intensa atividade garimpeira, foram analisados por Lacerda et al. (1987) e mostraram concentrações de mercúrio variando de 35 a 300  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ . Estudos de Pfeiffer e Lacerda (1988), Lacerda et al. 1989 e Lacerda et al. (1990), todos realizados na calha do rio

Madeira, margens e lagos marginais, foram voltados essencialmente para a avaliação da contaminação ambiental decorrente das atividades garimpeiras da região.

Malm et al. (1991) ao também estudar solos de floresta na área do rio Madeira, relativamente longe das áreas de garimpo, encontraram valores semelhantes, variando de 30 a 340  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  Hg. Os altos valores encontrados foram associados com a deposição de mercúrio atmosférico, proveniente da queima de amálgama nas áreas de garimpo próximas. Herrmann (2004), estudando um latossolo em área distante do garimpo e presumivelmente não contaminada por qualquer atividade antrópica, encontrou o valor médio de 149,20  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  Hg para um total de 55 amostras de solo, coletadas em uma malha regular de amostragem envolvendo uma área de 85,76 hectares.

Bastos et al. (2006), ao analisarem a presença do mercúrio no ambiente e nas populações ribeirinhas da calha do rio Madeira, no trecho compreendido entre Porto Velho/RO e o rio Amazonas relatou que, embora as emissões de mercúrio pela atividade garimpeira tenham cessado no rio Madeira, a remobilização do mercúrio dos sedimentos de fundo e a re-emissão de mercúrio dos solos devido à conversão de florestas em pastagem, com incremento dos processos erosivos, podem ser a causa da manutenção dos altos níveis de mercúrio no ecossistema da região.

Neste mesmo sentido Gomes (2006), ao estudar a distribuição espacial das concentrações de mercúrio em sólidos em suspensão no alto rio Madeira, revela a expressiva contribuição do rio Beni e dos afluentes da margem direita do rio em território nacional (igarapé Araras, rios Jaci-Paraná e Mutum-Paraná), reforçando a tese da origem natural do mercúrio ou a re-disponibilização do mercúrio inativo nas áreas de floresta próximas, devido ao intenso uso da terra.

Lacerda e Malm (2008), ao realizar uma revisão sobre a evolução do conhecimento relativo ao mercúrio e uma análise das áreas críticas, alertam que os sistemas aquáticos com as características de subanoxia, anoxia, baixo pH, elevada matéria orgânica dissolvida devem ser preservados da interferência humana em suas drenagens, pois os efeitos tóxicos de metais, principalmente o mercúrio, podem ser amplificados. A matéria orgânica dissolvida é capaz de formar complexos com vários contaminantes e os mantém solúveis e por mais tempo na coluna d'água, aumentando sua biodisponibilidade à biota.

## **2. CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO**

### **2.1. Clima**

O clima do estado pode ser resumidamente definido como equatorial, com transição para tropical, úmido, com forte decréscimo de precipitação no inverno, possuindo 3 meses ecologicamente secos (junho, julho e agosto) e apresentando ocasionalmente fortes desvios pluviométricos estacionais. Mostra-se quente durante todo ano, com insignificante amplitude térmica anual e notável amplitude térmica diária, especialmente no inverno. Atendendo aos traços predominantes, o clima corresponde ao tipo Aw da classificação de KÖPPEN – Clima Tropical Chuvoso -, com temperaturas médias mensais superiores a 18 °C e estação seca bem acentuada (RONDÔNIA, 2007).

Em 2006, a temperatura média anual em Rondônia foi de 21,1 °C, a umidade relativa média foi de 83%, a velocidade média anual do vento foi de 1,4 m/s, com uma precipitação média anual de 2.060 mm, para um total médio de 140 dias de chuva (Rondônia, 2007). A estação meteorológica mais próxima da área de estudo se localiza no município de Vilhena, sendo apresentado na tabela 1 os valores médios dos parâmetros meteorológicos obtidos para esta estação e referentes ao ano de 2006.

Também merece destaque o balanço hídrico regional, pois demonstra a disponibilidade de água para os processos de erosão superficial e lixiviação, importantes na mobilização do mercúrio, conforme exposto por Wassermann et al (2001). Na região de Vilhena e no ano de 2006, foi registrado um déficit hídrico de 179,9 mm nos meses de julho, agosto a setembro, enquanto que foi registrado um excedente de 1.586,3 mm no restante do ano (RONDÔNIA, 2007).

Tabela 1: Dados climatológicos mensais da estação de Vilhena (12° 46' 12" S – 60° 05' 39" W) referentes ao ano de 2006

Meses	Temperatura média (°C)	Umidade relativa média (%)	Precipitação total (mm)	Velocidade média do vento (m/s)	Predominância do vento.
Janeiro	22,2	*	440,7	1,9	NW
Fevereiro	23,3	*	431,0	2,1	NW
Março	23,4	*	305,8	2,2	NW
Abril	23,3	*	290,1	1,8	E
Maio	21,1	81	88,1	1,7	S
Junho	22,5	79	4,1	2,0	NE
Julho	22,7	68	0,0	2,1	E
Agosto	24,3	65	33,1	2,0	NE
Setembro	23,6	77	85,1	2,1	NW
Outubro	23,6	92	360,4	2,2	NE
Novembro	23,7	88	82,3	1,9	N/NW
Dezembro	23,3	94	143,0	2,1	NW
<b>Média</b>	<b>23,1</b>	<b>81</b>	<b>2.263,9</b>	<b>2,0</b>	<b>NW</b>

Fonte: Rondônia (2007)

\* dado não disponível

## 2.2. Geologia

A geologia da área, expressa a seguir, é a contida na 2ª ZEE de Rondônia (RONDÔNIA, 2002b). Os metapelitos e rochas associadas do Grupo Metavulcano-Sedimentar Colorado do Oeste (MPco) e Grupo Metavulcano-Sedimentar Mutumparaná-Roosevelt (MPmr), ambos com idades estimadas de 1.250 Ma, pertencentes ao Supergrupo Faixa de Xistos Rondonianos, constituem as rochas mais antigas aflorantes na sub-bacia do rio Corumbiara.

As coberturas terciárias e quaternárias, constituem-se de uma camada pouco espessa de sedimentos que recobre terrenos aplainados e planícies de inundação, com distribuição espacial entre as rochas do Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste e o rio Guaporé, um dos limites geográficos do presente trabalho.

SEDIMENTOS ALUVIONARES E COLUVIONARES HOLOCÊNICOS (QH<sub>a</sub>): constituem-se de depósitos aluvionares em canais fluviais e planícies de inundação dos sistemas de drenagens atuais, formados a partir de materiais detríticos mal selecionados, compostos de sedimentos arenosos, siltosos e argilosos, com horizontes conglomeráticos, geralmente misturados com

materiais coluvionares. Ocorrem também depósitos lacustrinos compostos de areias finas, argilas com conspícuas quantidades de matéria orgânica associada e depósitos em planícies de inundação sazonais, representados principalmente por material areno-argiloso rico em matéria orgânica.

**SEDIMENTOS ALUVIONARES E COLUVIONARES PLEISTOCÊNICOS (QP<sub>a</sub>)** constituem-se de sedimentos fluviais depositados em canais Pleistocênicos (frequentemente abandonados), na superfície ou em paleocanais soterrados, muitas vezes formando terraços fluviais e ocupando o topo de colinas (ou outros altos topográficos), sendo compostos de material pobremente selecionado, compreendendo fragmentos de laterita, areia e argila depositados acima do nível médio dos cursos d'água atuais.

**COBERTURAS TERCIÁRIO-QUATERNÁRIAS INDIFERENCIADAS (TQi)**: São constituídas por sedimentos de tamanho variado, desde fragmentos de laterita a argila, com lateritização significativa, associados a leques e canais fluviais, planícies de inundação e depósitos de lago. As rochas geralmente têm uma idade Neogênica (Plioceno-Mioceno), embora possa incorporar menores quantidades de materiais quaternários.

**FORMAÇÃO ARENITO PARECIS (Kp)**: é encontrada sob forma de sedimentos recobrando as rochas do Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste, na parte nordeste da sub-bacia e como relíquias de erosão recobertas por sedimentos de cobertura Terciária-Quaternária. Constitui-se de três membros, denominados de membro eólico, membro flúvio-lacustrino e membro fluvial. Os arenitos do membro eólico mostram mega-acamadamento cruzado e são compostos de grãos de quartzo arredondados e bem selecionados, a semelhança do Arenito Botucatu. O membro fluvial é constituído de arenitos (arcoseanos ou caoliníticos) pobremente selecionados, com clastos isolados flutuando em matriz de areia ou horizontes de conglomerados intraformacionais, sugerindo um ambiente de rios entrelaçados. O membro flúvio-lacustrino intermediário é formado por argilitos e siltitos de granulações finas.

**FORMAÇÃO BASALTO ANARI (Kba)**: constitui-se de basaltos e microgabros considerados de idade Jurássica, os quais desenvolvem um proeminente escarpamento no terreno e são recobertos por ricos solos argilosos vermelhos. O intemperismo ocorreu preferencialmente ao longo de fraturas e juntas, resultando em texturas de esfoliação de pequena escala. As rochas frescas são de granulação fina a muito fina e largamente compostas de plagioclásio e hornblenda.

**GRANITOS TARDI A PÓS-RONDONIANOS (MPgr)**: claramente intrusivos no Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste, mostram auréolas de contato bem desenvolvidas,

constituindo rochas de granulação grosseira (2-10 mm) compostas de quartzo ( $\cong 30\%$ ), feldspato potássico, plagioclásio e biotita. A presença de uma foliação incipiente em determinados lugares e a ausência de qualquer foliação em outros, é uma evidência do caráter tardi- a pós-tectônico desses granitos.

**GRUPO META-VULCANO-SEDIMENTAR COLORADO DO OESTE (MPco):** constitui-se de um conjunto de rochas que integram uma extensa faixa NW-SE, ocupando a extremidade norte / nordeste da sub-bacia. Constitui-se de uma sucessão de rochas dobradas, compreendendo muscovita-xistos, metachert, camadas ferríferas, rochas calcisilicatadas, metatufos, metagabros e diabásios. O metamorfismo regional é caracterizado pela presença de clorita e muscovita, que correspondem a fácies xisto-verde de baixo grau. Os metassedimentos formam, tipicamente, rochas de granulação fina, com cores acinzentadas (ricas em quartzo), esverdeadas (rica em clorita) e marrom-avermelhadas (ricas em muscovita). Ocorrem horizontes de chert como camadas estreitas fortemente dobradas, geralmente com espessura de 1-2 cm. Gabros e diabásios epimetamórficos formam uma parte significativa do grupo.

**GRUPO META-VULCANO-SEDIMENTAR MUTUMPARANÁ-ROOSEVELT (MPmr):** ocorre como um pequeno enclave na área recoberta por sedimentos aluvionares na parte baixa da sub-bacia e constitui-se de uma seqüência dobrada, porém essencialmente não-metamórfica a epimetamórfica, composta de arenitos, argilitos, chert, arenitos hematíticos, ardósia, filito, quartzito (micáceo), formação ferrífera, metatufos, gabro e diabásio. O grau metamórfico pode ser descrito como fácies xisto-verde de mais baixo grau a não metamórfico.

### 2.3. Geomorfologia

O relevo é uma parte da litosfera que está intrinsecamente relacionado com as rochas que o sustentam e com os solos que o recobrem. Assim, as formas diferenciadas do relevo decorrem da atuação simultânea e desigual das atividades climáticas de um lado e da estrutura da litosfera de outro. Como tanto o clima, quanto a estrutura da litosfera não se comportam permanentemente de modo igual, variando ao longo do tempo e no espaço, pode-se afirmar que o relevo, como os demais componentes da natureza é dinâmico e, portanto, se encontra em constante estado de evolução (IRIONDO, 1986).

No presente trabalho o relevo adquire especial importância, na medida em que demonstra os compartimentos ambientais onde estão ocorrendo os processos erosivos e de que



forma, assim como os compartimentos onde ocorrem os processos deposicionais. Como se trata de um estudo sobre a presença de mercúrio em solos, a definição de áreas fontes de sedimentos e seus ambientes de deposição são de grande utilidade.

O mapa temático de geomorfologia foi elaborado a partir dos dados da 2ª ZEE de Rondônia. As unidades geomorfológicas contidas na área de estudo são as seguintes:

**UNIDADE AGRADACIONAL:** Trata-se de um conjunto de feições geomorfológicas geneticamente originadas por processos agradacionais, realizados em ambientes fluviais na sua maioria e, eventualmente, por processos lacustres ou associados a áreas com escoamento impedido.

- Planícies Aluviais e Depressões (PAD): São áreas onde o sistema fluvial comporta-se semelhantemente a um padrão distributário, ou onde as baixas declividades não permitem o escoamento concentrado em canais fluviais, estando sujeitas a inundações excepcionais. Envolve as seguintes feições: depressões, lagos, deltas/cones, áreas alagadas, planícies fluviais, terraços altos e baixos, com baixa ou sem dissecação e terraços baixos com presença de leitos abandonados e pântanos. O embasamento geológico destas áreas é normalmente composto por sedimentos inconsolidados, cujas idades variam de terciário-quadernárias até recentes.

**UNIDADES DENUDACIONAIS:** Compreendem as formas de relevo elaboradas por processos de denudação, ou seja, geradas por processos de intemperismo sobre as rochas locais e erosão, sendo responsáveis pelo rebaixamento progressivo das formas de relevo.

- Superfície de Aplanamento (AS): Corresponde à superfície de erosão elaborada na sub-bacia sobre rochas do Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste e Coberturas Terciário-Quaternário Indiferenciadas. O comportamento da topografia varia de 200 a 300 m de altitude, e as formas de relevo são elaboradas sobre material superficial essencialmente autóctone, com ocorrência de afloramentos rochosos e, localmente, coberturas originárias de retrabalhamento de materiais mais recentes. Correspondem a um conjunto de relevos rebaixados, atualmente sendo dissecados pelo sistema fluvial instalado juntamente com o clima úmido.

- Agrupamento de Morros e Colinas (AMC): Este sistema apresenta-se como uma área de colinas e morros dissecados pela ação fluvial, conformando relevos residuais. Os topos das colinas variam de convexos a aguçados, de acordo com o nível de dissecação e refletindo a estruturação determinada pelo embasamento do Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste. As altitudes variam entre 600 e 300 m, o entalhe dos vales é sempre inferior a 60 m, as dimensões

interfluviais são menores que 1.500 m e as declividades médias ocupam a faixa entre 5 e 30%. A rede de drenagem possui padrão subdendrítico preferencialmente, com média densidade de drenagem. O material superficial é preferencialmente argiloso a franco-argiloso, com afloramentos rochosos. Estas áreas são bastante utilizadas para agropecuária, podendo gerar ravinas, sulcos e pequenos deslizamentos quando desmatadas e ocupadas.

- Superfícies Tabulares (ST): São caracterizadas por um sub-nivelamento extenso que se desenvolve ao longo de interflúvios planos, formando rampas com declividades inferiores a 1%. A densidade de drenagem é muito baixa e os vales, quando ocorrem, são amplos e erosivos, abrigando apenas canais de primeira ordem. A cobertura superficial é constituída por areias e argilas com areia muito fina. De um modo geral compreende um relevo em patamares, com caimento geral na direção noroeste, com escarpas erosivas abruptas que marcam os seus limites, a partir dos quais passam a ocorrer formas de relevo do tipo Agrupamentos de Morros e Colinas.

#### 2.4. Solos

Na evolução dos solos são importantes os fatores de formação passivos (material de origem e relevo), a atividade dos organismos (macro, meso e micro flora e fauna), bem como o tempo e a intensidade com que estes fatores exerceram e exercem ação sobre o material originário do solo. Este material pode ser tanto a rocha matriz, como materiais retrabalhados pela pedogênese (processos de adição, perda, transformação e transferência de materiais no corpo do solo).

No presente trabalho utilizou-se a divisão dos solos em nível de ordem e subordem, de acordo com a representatividade cartográfica de cada unidade, segundo a classificação adotada pela 2ª ZEE. Tal opção foi realizada em base ao fato de que a malha de amostragem possui densidade que permite apenas o estabelecimento de conclusões nos níveis propostos. A nomenclatura dos solos, no entanto, foi atualizada segundo nova classificação brasileira de solos (BRASIL, 2006).

Na sub-bacia do rio Corumbiara, segundo o banco de dados da 2ª ZEE, ocorrem as seguintes classes de solos:

NEOSSOLOS FLÚVICOS (RY): São descritos como solos desenvolvidos sobre sedimentos aluviais, ocorrendo principalmente nas margens dos rios, sendo constituídos por um horizonte superficial "A" sobrejacente a camadas de composição física e química distintas, transportadas pelos rios e que não guardam nenhuma relação pedogenética entre si.

**GLEISSOLO (Glei):** São solos que ocorrem em regiões com excesso de água quer temporal, quer permanente. Isto significa drenagem precária com déficit acentuado de oxigênio, o qual, normalmente, restringe o crescimento vegetal, apesar de existirem espécies adaptadas. Mesmo assim, problemas decorrentes do excesso de hidróxido de ferro, consequência do estado de quase permanente redução, dificultam o crescimento de espécies tolerantes à inundação. Pertence ao grupo dos solos hidromórficos, sendo que em Rondônia e na bacia estudada, se desenvolvem sobre região pantanosa, penetrando em território boliviano, onde se intercalam com Planossolos. Além da restrição decorrente do excesso de umidade, apresentam baixa fertilidade, pH baixo e altos níveis de saturação de alumínio.

**LATOSSOLOS (Lato):** Predominam no estado de Rondônia, envolvendo um total de 46% dos solos mapeados. Os latossolos são solos com horizonte B óxico e/ou kândico. Geralmente são solos bastante intemperizados, em razão da forte lixiviação e sua capacidade de troca catiônica é baixa, assim como a quantidade de cálcio, magnésio, potássio e sódio adsorvidos. Em geral são solos ricos em sesquióxidos de ferro e alumínio e tendem a desenvolver níveis importantes de troca aniônica, refletindo o processo químico natural de reversão da degradação desses solos através da lixiviação. Apresentam uma estrutura microgranular bem desenvolvida, conferindo-lhes boas características físicas, dentro das quais se incluem boa drenagem, resistência a erosão e boa aeração. A sua boa estrutura é resultado da presença dos sesquióxidos que favorecem a junção das partículas de argila em agregados bastante estáveis.

**ARGISSOLOS (Argi):** São solos com horizonte “B textural”, isto é, com presença de acumulação de argila nesse horizonte, ácidos, freqüentemente álicos e distróficos, com baixa saturação de bases. O tipo de argila predominante é a caolinita, embora seja comum a ocorrência de óxido e sesquióxidos de ferro e alumínio. Alguns dos solos desta unidade apresentam texturas argilosas, franco-argilosas, francas ou areno-argilosas, intermediários entre Latossolos e solos plínticos.

**NEOSSOLO QUARTZARÊNICO (RQ):** Este grupo de solos não apresenta horizonte diagnóstico. São originários de arenitos ricos em quartzo ou em aluviões ou colúvios transportados. São bastante comuns na Chapada dos Parecis, onde aparecem na bacia estudada, apresentando baixa capacidade de retenção de umidade e fertilidade natural muito deficiente. A capacidade de troca catiônica é baixa, apresentando freqüentemente reação ácida.

## 2.5. Vegetação

A sub-bacia do rio Corumbiara apresenta-se como uma região típica de ecótono, caracterizada como uma zona de transição nítida entre floresta (ombrófila / estacional semidecidual) e savana (gramínea ou arborizada), com toda a biodiversidade que caracteriza este tipo de ambiente (ODUM, 1988). A transição de vegetação acompanha grosseiramente a transição de relevo, sendo que as áreas de floresta correspondem a parte norte/nordeste da bacia, de relevo mais acentuado, enquanto as áreas de savana ocupam a parte sul/sudoeste da sub-bacia, correspondente a planície de inundação dos rios Guaporé e Corumbiara.

Segundo dados levantados durante os estudos relativos à 2ª ZEE (RONDÔNIA, 2002b), na sub-bacia do rio Corumbiara se alternam as seguintes classes de vegetação: formações pioneiras sob influência fluvial herbácea, savana gramínea lenhosa, formação aluvial de pequeno porte (umirizal), floresta ombrófila aberta aluvial, floresta estacional semidecidual aluvial, contato floresta ombrófila / floresta estacional semidecidual, contato savana / floresta estacional semidecidual e contato savana / floresta ombrófila.

## 2.6. Aspectos sócioeconômicos

A sub-bacia do rio Corumbiara, assim como o estado de Rondônia como um todo, foi objeto de intensa atuação governamental, principalmente durante o regime militar, tanto no sentido de consolidar a fronteira, como no sentido de aliviar tensões regionais por terra existentes em outras partes do Brasil. Um dos principais instrumentos desta política foram os projetos de colonização, os quais se constituíam de grandes áreas de terras que eram divididas em lotes rurais e distribuídos a beneficiários previamente selecionados pelo Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA.

O número de projetos de colonização e as áreas abrangidas foram de tal forma extensos em Rondônia, que a simples observação de imagens de satélite da região, tais como as disponibilizadas pelo programa Google Earth, permite identificar através do traçado retilíneo e paralelo das estradas, o direcionamento da ocupação territorial.

Na área da sub-bacia e suas adjacências, foi estabelecido o Projeto Integrado de Colonização Paulo Assis Ribeiro (Portaria do INCRA nº 1.480, de 10 de outubro de 1973), com implantação física em campo a partir de 1974, gerando intensa migração para a área, desmatamento, ocupação territorial e implantação de agricultura e pecuária. Os lotes iniciais

tinham a dimensão de 100 hectares, acabando por consolidar uma estrutura rural de pequenas propriedades. Este projeto de colonização foi responsável pelo surgimento das três cidades existentes no interior do perímetro da sub-bacia: Corumbiara, Cerejeiras e Pimenteiras (BRASIL, 2006).

A ocupação inicial da sub-bacia, a partir do projeto de colonização, se baseava em lavouras temporárias e foi realizada principalmente sobre os solos que se mostravam mais apropriados em termos de fertilidade natural. A parte alta da sub-bacia foi privilegiada, possibilitando, inclusive, a posterior criação do Parque Estadual Corumbiara (Decreto Estadual nº 4576 de 23 de março de 1990) na área baixa, a qual tinha permanecido praticamente intocada devido às dificuldades de penetração e ao alagamento anual.

Passadas décadas do impulso governamental inicial, a região adquiriu dinâmica própria, estando estruturada em base às economias urbanas e rurais, com uma extensa malha viária servindo de conexão entre ambas.

A economia rural inicial baseada em lavouras anuais sofreu modificações, tendo se deslocado inicialmente para o setor madeireiro, posteriormente para a pecuária e mais recentemente no sentido do agronegócio, através de implantação das lavouras de soja e cana-de-açúcar. Este deslocamento tem gerado conflitos entre colonos, posseiros, fazendeiros e madeireiros, com destaque para o evento nacionalmente conhecido como “Massacre de Corumbiara”, onde o conflito entre invasores de terra e a polícia acabou por ceifar várias vidas.

Dentre os agronegócios, o primeiro a se instalar na sub-bacia foi o plantio de soja, atraído pela oferta, preço, qualidade das terras e relevo apropriado, assim como a infra-estrutura instalada pelas grandes empresas regionais de comercialização de grãos. Nos dias atuais, fruto dos mesmos atrativos que introduziram a soja na região, se encontra em implantação no município de Cerejeiras uma usina de produção de álcool, viabilizando a introdução do segundo agronegócio na área da sub-bacia.

Os recentes projetos governamentais já implantados e em implantação, tais como a hidrovía e as hidroelétricas do rio Madeira (Jirau e Santo Antônio) e as demais hidroelétricas previstas, tais como a da Cachoeira do Ribeirão e outra na Bolívia, acabam por iniciar um círculo de desenvolvimento regional, com reflexos inclusive na área da sub-bacia. Como exemplo pode ser citado a soja proveniente do norte do Mato Grosso que, com a parte da hidrovía do rio Madeira já implantada, sofre uma redução de aproximadamente US\$ 30,00 por tonelada nos

custos para exportação. Tal fato, aliado ao preço compensador internacional, fez com que a produção de Rondônia saltasse de 15.790 toneladas em 1998 para 126.396 toneladas em 2003, representando um crescimento da ordem de 800% no período. As áreas produtivas se localizam no município de Vilhena, área da sub-bacia do rio Corumbiara e adjacências (BRASIL, 2006).

Com relação à implantação da indústria de álcool e açúcar no município de Cerejeiras, a licença ambiental prévia já foi concedida e o início da produção está previsto para 2010, com uma safra anual de 600 mil toneladas (NOTÍCIAS DO CAMPO, 2008). A produção de cana-de-açúcar, por se tratar de uma cultura anual, é mais uma fonte de pressão sobre os recursos naturais da sub-bacia e certamente contribuirá para a intensificação dos processos erosivos estabelecidos.

Durante a realização do trabalho de campo desta pesquisa, foi possível constatar que o desmatamento da região para implantação de atividades econômicas tem acelerado os processos erosivos implantados nas cabeceiras do rio Corumbiara e nos seus rios e igarapés tributários, principalmente na parte norte/nordeste da sub-bacia. Vertentes íngremes totalmente tomadas por pastagem, rios e igarapés sem a mata-galeria de proteção e canais fluviais assoreados, são feições comuns e marcantes da paisagem.

Conforme relatado em Brasil (2006), já se encontra estabelecido no seio das comunidades das cidades de Cerejeiras e Corumbiara, a preocupação com a qualidade e quantidade de água disponível para consumo humano.

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

#### **3.1. Metodologia de amostragem de campo**

Por se tratar de um estudo sobre a presença de mercúrio total no solo, buscando estabelecer o padrão regional da dispersão deste elemento, optou-se por coletar duas amostras em cada ponto, uma abrangendo a profundidade de 0 a 10 cm e outra de 10 a 30 cm. Este padrão de amostragem foi realizado com o objetivo de identificar se existe variação entre o conteúdo de mercúrio total na superfície (0 a 10 cm), área presumivelmente mais afetada pelas intempéries e ação antrópica e em profundidade (10 a 30 cm). Embora não haja uma metodologia específica para este tipo de amostragem no que se refere à profundidade a ser coletada, padrões semelhantes foram utilizados por Lacerda et al.(1999), Fostier et al. (2000), Roulet et al. (1998, 2001a) e Miretzky et al. (2005).

A malha de amostragem foi estabelecida em função das rodovias existentes na área, cada ponto distando aproximadamente 5 km do outro (figura 3), procurando-se imprimir a maior regularidade possível na distribuição das amostras, bem como abranger a maior diversidade de compartimentos ambientais (solos, geologia e geomorfologia). As amostras situadas ao longo do rio Corumbiara e rio Guaporé foram obtidas com utilização de barco, uma vez que não havia acesso através de estradas. Foram realizadas três expedições de campo para coleta de amostras, nos períodos de 13 a 18/11/2004, 15 a 22/09/2005 e de 26 a 30/10/2007.

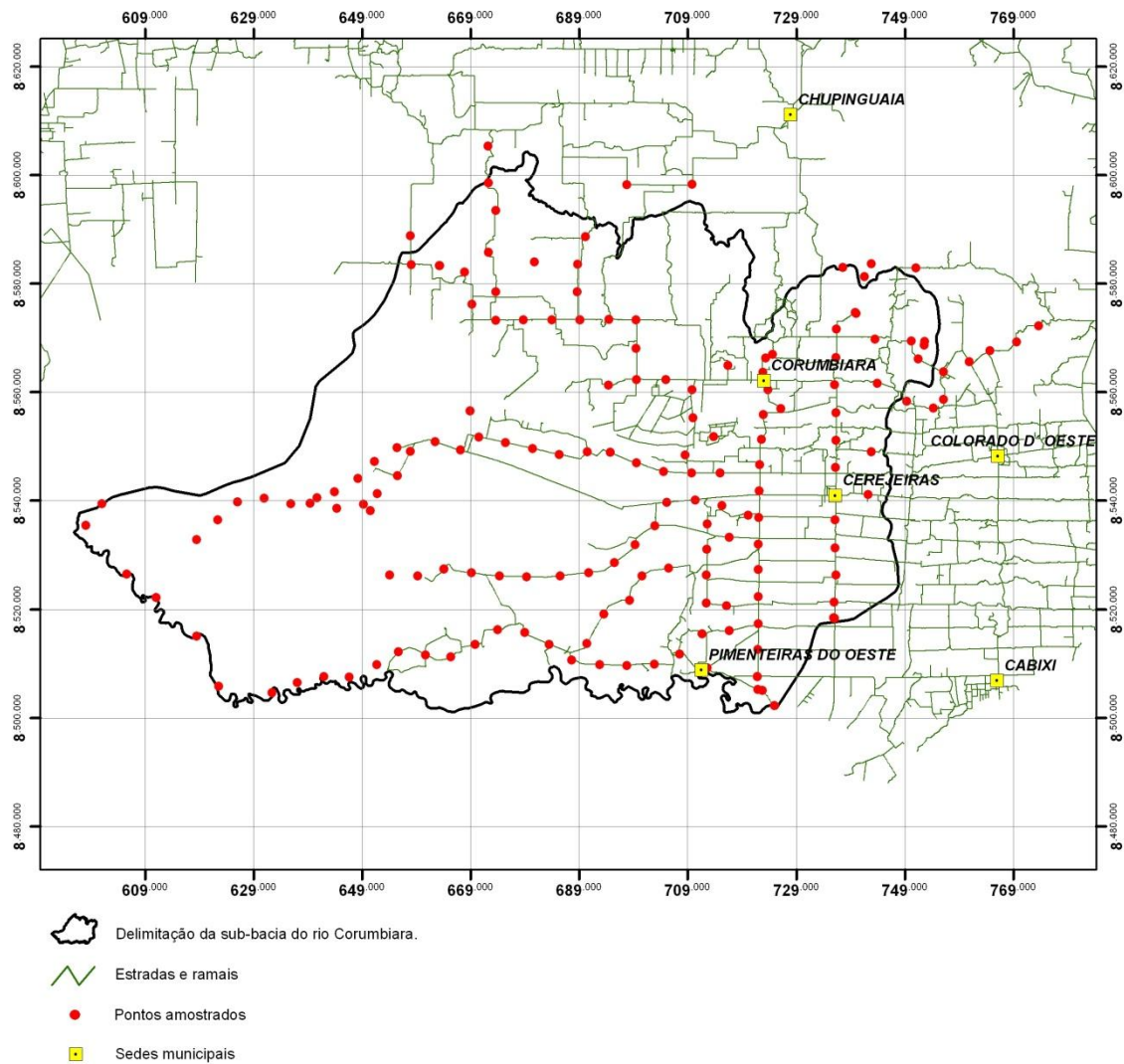


Figura 3: Mapa de localização dos pontos amostrados.

Para a realização da amostragem de solo, foi inicialmente promovida a remoção da camada superficial de matéria orgânica, constituída por folhas e ramos (litter) e capim, de modo a aflorar o solo. As amostras foram então coletadas escavando-se um buraco com uso de enxadão, com 30 cm de profundidade em forma de “V”. A partir de uma das faces deste buraco foi retirada uma fatia de solo com aproximadamente 10 cm de espessura e 10 cm de comprimento, a qual foi coletada em saco plástico, amarrado com barbante e etiquetado com o código de campo da amostra.



Na seqüência foi coletada uma segunda fatia, também com 10 cm de espessura e 20 cm de comprimento, envolvendo a profundidade de 10 cm a 30 cm, a qual teve o mesmo processamento da anterior.

A figura 4 mostra a localização das amostras em uma imagem de satélite Cbers, datada de 2007 e obtida gratuitamente pela internet.

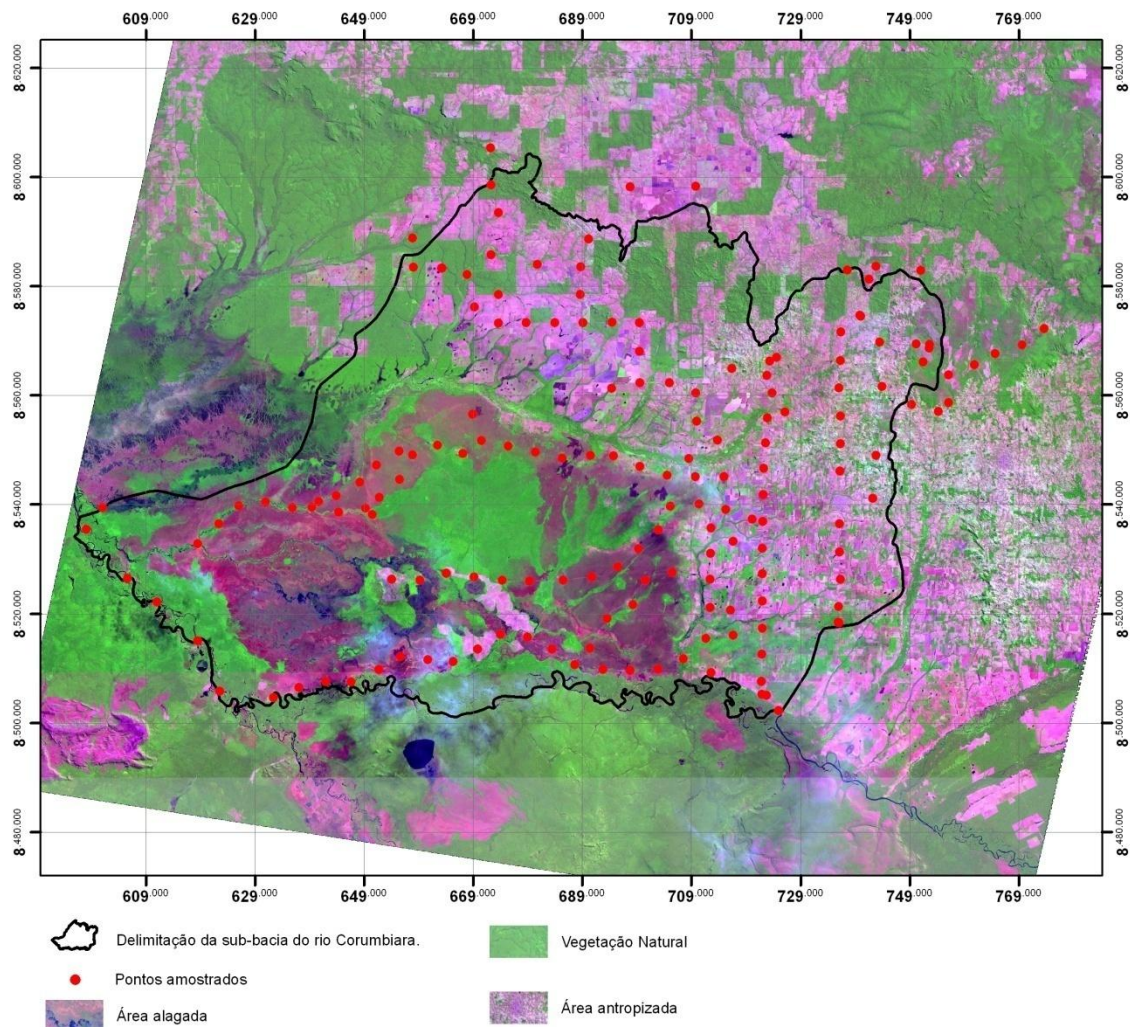


Figura 4: Imagem de satélite Landsat, ano 2008, com localização dos pontos amostrados.

Entre a coleta das amostras e após a amostragem, os equipamentos utilizados foram limpos com pano seco, retirando-se todo o solo aderido às ferramentas, de modo a evitar a contaminação entre as amostras. Em todos os pontos amostrados foram obtidas as coordenadas

geográficas com utilização de um aparelho GPS e preenchida uma ficha de campo com dados básicos, tais como: data, coordenada do ponto, vegetação, uso do solo, relevo e a classificação visual do solo.

A classificação do solo de campo foi utilizada como elemento de “conferência” dos dados do mapa de solos da 2ª ZEE. Pela escala de detalhe de cada ponto, foi utilizada também como um auxiliar na interpretação dos resultados obtidos, uma vez que foram observadas feições locais, cuja escala não encontrava representatividade no mapa da 2ª ZEE, elaborado na escala 1:250.000.

A vegetação foi classificada, segundo as observações de campo, em floresta (áreas com floresta natural), cerrado (área com presença de gramíneas e vegetação arbustiva natural), pastagem (área cultivada com gramíneas) e lavoura (área com culturas anuais e perenes).

A utilização do solo também foi observada durante a coleta das amostras, sendo adotada a seguinte classificação: floresta (áreas ocupadas por florestas), agricultura (áreas destinadas para o cultivo de culturas anuais ou permanentes), pecuária (área destinada ao pastoreio) e parque (área protegida pelo Parque Estadual de Corumbiara).

### 3.2. Metodologia de análise química

As amostras foram inicialmente homogeneizadas à úmido nos próprios sacos plásticos utilizados em campo, através da aplicação de água ltra-pura (milli-q), sendo posteriormente peneiradas na fração 200 mesh ( $< 74 \mu\text{m}$ ), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção, por possuir maior área superficial (Bastos, 1997). A fração que passou na peneira foi transferida para um gral de porcelana e seca em estufa à temperatura de 50 °C. Após seca, foi macerada no próprio gral com utilização de pistilo de porcelana e armazenada em frascos plásticos rígidos.

Todos os materiais de laboratório utilizados nas análises passaram por um processo de limpeza e descontaminação prévia, o qual consistiu em lavagem com detergente neutro em água corrente, enxágüe em água deionizada, pernoite em solução ácida de  $\text{HNO}_3$  a 5%, novo enxágüe em água deionizada e secagem em estufa a 50 °C.

As amostras foram preparadas para análise de mercúrio total segundo o fluxograma a seguir (figura 5):

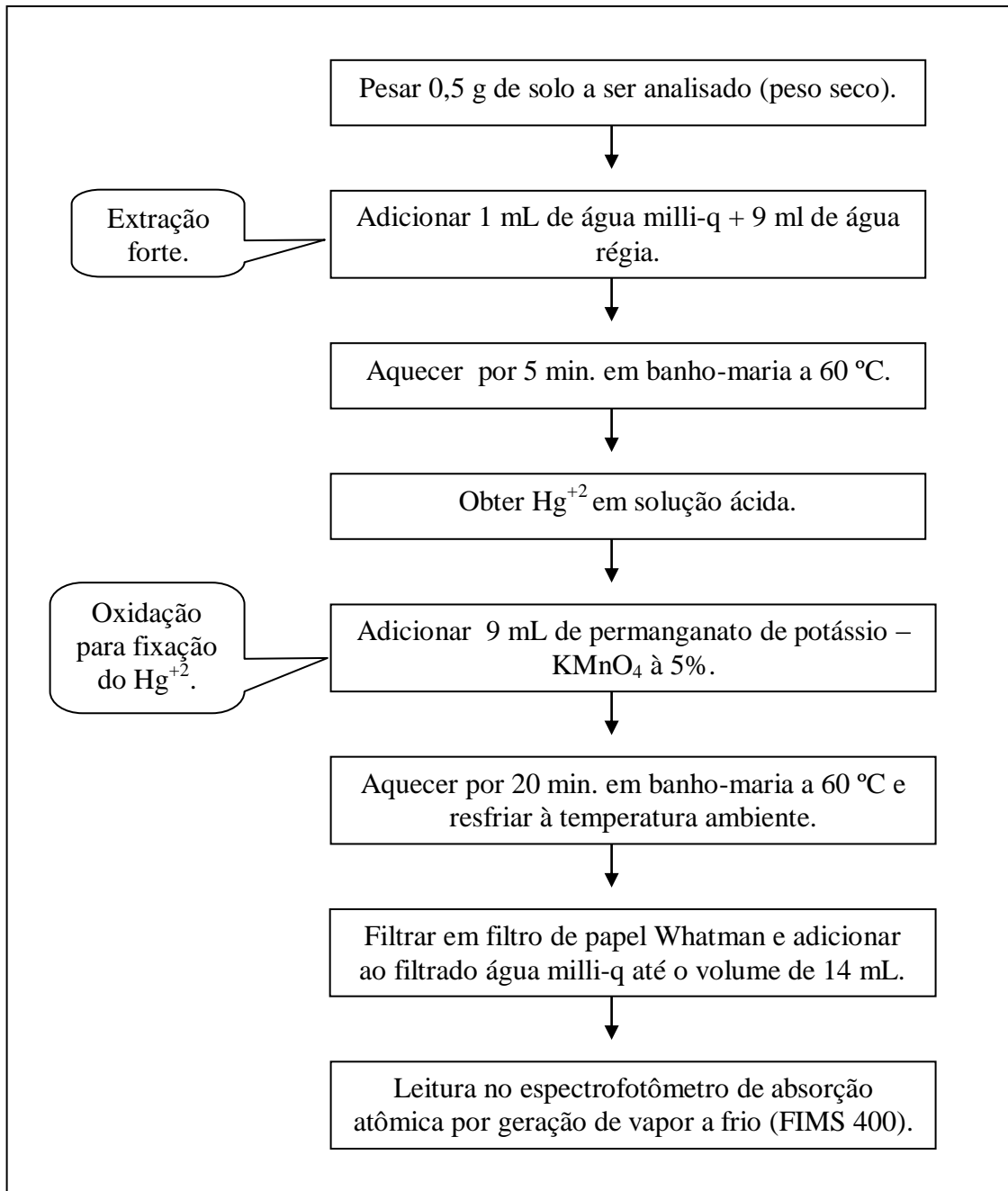


Figura 5: Fluxograma do processo de abertura e análise das amostras de solo.

As amostras foram analisadas segundo metodologia proposta por Bastos et al.(1998) no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia, através da utilização de um espectrofotômetro de absorção atômica específico para determinação de mercúrio, marca Perkin Elmer, modelo FIMS-400 (Flow Injection Mercury System), com amostrador automático (AS-90) e micro-computador com programa próprio acoplado (Software Winlab-Perkin Elmer).

Este equipamento consiste de um espectrofotômetro especificamente desenhado para medidas de absorção de radiação do comprimento de onda emitido pelo mercúrio. Utiliza-se como fonte de radiação uma lâmpada de mercúrio e como receptor uma fotocélula com sensibilidade máxima de 254 nm de comprimento de onda. Uma célula cilíndrica de vidro fica posicionada entre a lâmpada de mercúrio e o detector. Acoplado ao espectrofotômetro há um sistema automático de injeção em fluxo (FIAS) de amostras e reagentes, com duas bombas peristálticas e um amostrador automático de 108 posições. O sistema é comandado por um computador PC-433DX e controlado por software próprio, exceto a regulagem de gás de arraste (argônio) e o controle dos fluxos de reagentes e amostras (Bastos *et al.*, 1998).

A técnica de injeção de fluxo do aparelho consiste de uma válvula que injeta um volume de amostra conhecido e reproduzível, a qual é transportada pelas bombas peristálticas, ocorrendo mistura com HCl a 3% que evita redução prematura do mercúrio presente. Em seguida a amostra entra em contato com uma solução de NaBH<sub>4</sub> em NaOH 0,05% para redução do mercúrio presente na amostra, sendo a mistura carreada pelo gás de arraste (argônio) para o compartimento de reação da amostra. Neste compartimento hermeticamente fechado, ocorre a transformação do Hg<sup>+2</sup> (forma iônica) para Hg<sup>0</sup> (forma elementar), sendo o vapor de mercúrio da reação transportado pelo gás de arraste, passando por uma membrana filtrante de 1,0 µm de porosidade e 25 mm de diâmetro, evitando a entrada de líquido no sistema de detecção do aparelho (Bastos *et al.*, 1998).

De cada ponto onde foram coletadas porções de solo, foram preparadas amostras em duplicata (dois frascos), sendo que o aparelho analisa cada frasco por duas vezes e fornece a média da absorbância de cada frasco. Assim, o resultado representa a média de 4 medidas de teores de mercúrio total da mesma amostra, conforme fluxograma constante na figura 6.

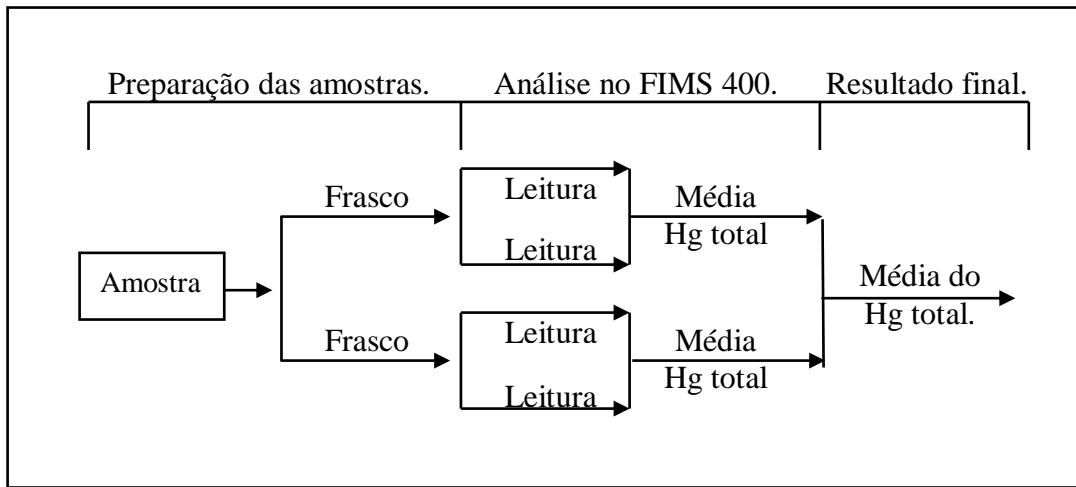


Figura 6: Fluxograma de análise das amostras.

### 3.3. Controle de qualidade das análises realizadas

Para controle de qualidade do processo de análise, foram utilizadas amostras coletadas em solos de floresta da Serra do Navio no Amapá (APSL: Amapá – solo), denominadas de “amostras de referência interna” por Bastos (1997), cujo conteúdo de mercúrio total foi determinado pelo IPEN-SP e Laboratório de Radioisótopos da UFRJ, com inter-comparação com o laboratório GKSS (Alemanha), tendo as determinações um intervalo de confiança da ordem de 95%, ou seja, 95% das vezes o intervalo proposto contém a média verdadeira.

Em algumas análises foram utilizadas amostras certificadas pelo *National Institute of Standards and Technology* (NIST) de sedimentos provenientes do *Buffalo River* (SRM 2704), Estados Unidos. Estas amostras com conteúdo de mercúrio conhecido, foram analisadas em conjunto com as amostras que se pretendia saber o teor de mercúrio, servindo de referência para aferição da qualidade do processo de análise que fora realizado.

Outro controle utilizado no processo de análise foram os “brancos”, ou seja, frascos colocados em cada bateria de análise, em que foram realizados todos os procedimentos de laboratório para análise, porém sem a amostra de sedimento. A análise de tais brancos permite identificar a presença de mercúrio nos compostos químicos utilizados, o qual é posteriormente deduzido do mercúrio encontrado nas amostras de sedimento analisadas.

Para se avaliar o limite de detecção do método de análise, foram tomados os valores médios dos brancos de controle, multiplicando-se pelo volume final (14 mL) e dividindo-se pela

média das massas de toda a bateria de amostras realizadas, conforme proposto por Bastos *et al.* (1998) e segundo a seguinte fórmula:

$$\text{LDT} = \frac{\text{Média dos brancos} \times \text{volume final}}{\text{Média das massas}}$$

### 3.4. Metodologia de tratamento estatístico

No presente trabalho foram utilizadas como ferramentas de análise dos dados obtidos a estatística clássica e a geoestatística. A estatística tradicional foi utilizada para exploração e análise dos dados obtidos, enquanto a geoestatística foi utilizada para estabelecer o padrão de dispersão do mercúrio na área da sub-bacia, interpretando-o a partir de sua relação com o solo, a geologia e a geomorfologia.

A geoestatística diferencia-se da estatística clássica pela espacialidade da variável, ou seja, a variável em estudo é considerada não só pela sua quantificação, mas também pelo posicionamento no espaço e sua relação com os demais pontos amostrados. Variável regionalizada, assim, é aquela que apresenta uma aparente continuidade no espaço, demonstrada pela tendência de pontos amostrais próximos apresentarem valores próximos, que se diferenciam cada vez mais à medida que os pontos se distanciam (LANDIM, 1998).

Foram utilizadas como ferramentas de análise a krigagem indicativa e a krigagem ordinária. A krigagem indicativa foi utilizada com o objetivo de definir áreas com maior ou menor probabilidade de que a variável esteja acima do nível de corte (mediana), estabelecendo assim o seu padrão de dispersão. Pesou nesta escolha também, fatores como a recuperação obtida no processo de análise das amostras.

A krigagem ordinária foi utilizada, assumindo a restrição imposta pela não normalidade dos dados e pela recuperação obtida no processo de análise, com o objetivo de produzir um mapa com os valores de mercúrio para a área da sub-bacia. Após um extenso estudo como o aqui realizado, deixar de produzir este mapa implicaria em deixar uma lacuna que dificilmente seria preenchida posteriormente.

A estimação por krigagem ordinária se constitui de um conjunto de técnicas de regressão linear, utilizadas para minimizar a variância, a partir de um modelo prévio de covariância (semi-variograma). O objetivo é estimar o valor de um atributo em uma posição não amostrada, a partir

de um conjunto de pontos amostrados vizinhos. Trata-se de um processo de estimação por médias móveis de valores de variáveis distribuídas no espaço e consideradas como interdependentes por uma função denominada semi-variograma (STURARO et al., 2000).

Além disto, a krigagem é um procedimento exato de interpolação que leva em consideração todos os valores observados e que pode ser a base para a cartografia automática por computador, quando se dispõe de valores de uma variável regionalizada dispostos por uma determinada área.

A krigagem indicativa é um estimador de geoestatística não linear aplicado a um conjunto de dados que foram transformados de uma forma não linear, atribuindo-se valor 0 (zero) para valores abaixo do nível de corte e 1 (um) para valores acima do nível de corte, a partir da aplicação da seguinte função:  $f(z) = 0$  ou  $1$ . Assim, a krigagem indicativa utilizada neste trabalho, consiste basicamente na krigagem ordinária para a variável transformada.

A principal vantagem da krigagem por indicação é de ser uma técnica não paramétrica, ou seja, não é considerado, a priori, que a variável tenha um tipo de distribuição. A função de distribuição é estimada e permite a determinação de incertezas e a inferência de valores do atributo em locais não amostrados. Esta técnica possibilita a modelagem de dados com grande variabilidade espacial, como é o caso em estudo.

#### 3.4.1. Correlação linear simples

Esta ferramenta de análise e sua fórmula medem a relação entre dois conjuntos de dados, estimando o comportamento de uma variável em relação a outra. Se  $y$  tende a aumentar a cada acréscimo de  $x$ , a correlação é denominada positiva ou direta, caso contrário, negativa ou inversa. Não ocorrendo correlação linear entre as variáveis, elas serão então independentes entre si ou então e relação entre elas é não-linear.

O cálculo da correlação entre duas populações retorna a covariância de dois conjuntos de dados, dividida pelo produto de seus desvios padrões, segundo a seguinte fórmula, constante do programa Microsoft Excel (2000).

$$\rho_{x,y} = \frac{COV(X,Y)}{\sigma_X \cdot \sigma_Y}$$

Onde:

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} \sum (X_i - \mu_x)^2$$

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{n} \sum (Y_i - \mu_y)^2$$

Sendo:

$\rho$  – coeficiente de correlação

$X, Y$  - variáveis

$\sigma$  – desvio padrão

$\mu$  - média

Diferente da covariância, no entanto, o coeficiente de correlação é dimensionado de modo que seu valor seja independente das unidades com as quais as duas variáveis são expressas. O valor de qualquer coeficiente de correlação deve estar entre -1 e +1 inclusive.

O coeficiente de correlação mede a quantidade de dispersão da variável em torno da equação linear ajustada através do método dos mínimos quadrados. O diagrama de dispersão, por sua vez, expressa visualmente o ajuste ou não da dispersão em torno da reta.

### 3.4.2. Semi-variograma

Define-se a função semi-variograma de dois pontos  $[z(x_i), z(x_{i+h})]$  pela seguinte expressão matemática:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2n(h)} \sum_{i=1}^{n(h)} [z(x_i) - z(x_{i+h})]^2$$

onde:

- $\gamma(h)$  é a semi-variância
- $n(h)$  é o número de pares de valores da variável considerada em uma determinada direção
- $z(x_i), z(x_{i+h})$  são valores da variável em dois pontos distintos, separados por uma distância preestabelecida e constante em uma direção.
- $h$  é o intervalo de distância preestabelecida
- $\frac{1}{2}$  é a metade da média das diferenças quadráticas entre dois pontos



O semi-variograma (figura 7), em termos práticos, é a ferramenta matemática que permite estudar a dispersão natural da variável regionalizada ou a medida do grau de dependência entre amostras. O cálculo de  $\gamma$  em função do intervalo ( $h$ ) resulta no semi-variograma, normalmente denominado variograma, sendo que o formato deste gráfico descreve o grau de autocorrelação presente.

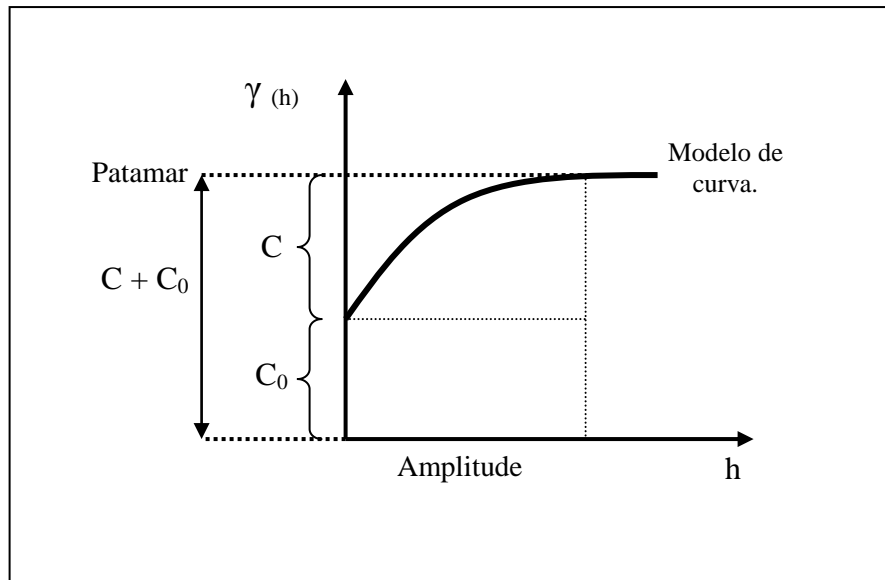


Figura 7: Modelo de semi-variograma.

Onde tem-se:

- $h$ : distância
- $\gamma_h$ : semi-variância
- Amplitude: indica a distância a partir da qual as amostras passam a não possuir correlação espacial e a relação entre elas torna-se aleatória;
- Patamar ( $C + C_0$ ): indica o valor segundo o qual a função estabiliza no campo aleatório, mostrando a variância máxima da variável em estudo e, conseqüentemente, covariância nula, sendo:

$C$ : É a variância de dispersão e representa as diferenças espaciais entre os valores de uma variável tomada em dois pontos separados por distâncias cada vez maiores;

$C_0$ : É o “efeito pepita” e representa as variações locais ou a pequena escala, como erro de análises, amostragem, etc...

No modelo variográfico, são encontrados parâmetros relacionados à escala, à extensão da continuidade, ao valor onde o variograma se estabiliza e à forma da dependência espacial. Fornece as informações necessárias à execução da krigagem, permitindo encontrar os pesos ótimos a serem associados às amostras com valores conhecidos, que irão estimar os pontos desconhecidos.

Na krigagem indicativa as estimativas são feitas em base a valores que se situam abaixo ou acima de um determinado nível de corte, onde uma função deverá ser ajustada. A função para o semivariograma indicativo pode ser assim definida:

$$y_i(h, v_c) = \frac{1}{2N_h} \sum_{i=1}^{N_h} [i(x+h, v_c) - i(x, v_c)]^2$$

Onde:

$h$  é o passo (lag)

$v_c$  é o nível de corte

$N$  é o número de pares de pontos

O semivariograma indicativo diferencia-se do semivariograma de krigagem ordinária pela transformação da variável e introdução do valor de corte.

### 3.4.3. Krigagem ordinária pontual

A Krigagem Ordinária é a técnica mais comumente usada nas estimativas por geoestatística, operando pela média ponderada dos pontos amostrais de uma determinada vizinhança, onde:

$$\hat{z} = \sum_{i=1}^N \lambda_i \cdot z_i \quad , \quad \text{onde } \hat{z} \text{ é o ponto a ser predito, } z_i \text{ o valor do ponto amostral } i \text{ na}$$

vizinhança com  $N$  pontos e  $\lambda_i$  o peso dessa amostra segundo a distância com o ponto a ser predito e sob restrição de que a somatória dos pesos seja 1, assumindo estacionariedade de segunda ordem.

É considerada como o melhor preditor linear não enviesado (BLUE – *Best Linear Unbiased Estimator*), dado que o valor estimado é resultado de uma combinação linear do produto do peso pelo valor amostral de cada ponto na vizinhança, segundo o modelo variográfico

definido, que busca um erro residual médio igual a zero, além da minimização da variância da variável.

A partir de um conjunto de valores da variável de estudo  $Z_i$ , com  $i=1...N$ , onde  $i$  representa o ponto amostrado e onde  $Z_0$  é ponto desconhecido que se pretende estimar, tal ponto é calculado como a combinação linear dos  $n$  valores somados ao produto da média  $m$  pela diferença de 1, pela soma dos pesos:

$$Z_0^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i + \left(1 - \sum_{i=1}^N \lambda_i\right) m \text{ (Krigagem Simples)}$$

onde  $\lambda_i$  é o peso da variável  $Z$  no ponto  $i$  e  $Z_i$  é o valor dessa variável e  $m$  é a média da variável.

$$\text{Adota-se o produto } \left(1 - \sum_{i=1}^N \lambda_i\right) m \text{ como } \alpha.$$

A Krigagem Ordinária é um estimador não tendencioso, onde  $E[Z_0 - Z_0^*] = 0$ , isto é, a média da diferença entre o valor real e o valor estimado de um mesmo ponto é nula. Essa restrição impõe que as duas médias sejam iguais, portanto:

$$E[Z_0] = E\left[\alpha + \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i\right] \Rightarrow m = \alpha + \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i$$

O critério para o cálculo dos pesos na Krigagem Ordinária é de que a variância dos pontos estimados seja mínima. Esta técnica de krigagem não requer que se conheça a média a priori. Assim, é necessário que:

$$\sum_{i=1}^N \lambda_i = 1 \text{ e, assim, } \alpha=0$$

Portanto, o estimador da Krigagem Ordinária é

$$Z_0^* = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z_i, \text{ com } \sum_{i=1}^N \lambda_i = 1$$

#### 3.4.4. Krigagem indicativa

A krigagem indicativa utilizada neste trabalho consiste em uma variação da krigagem ordinária, em que a variável é transformada, ou seja, a variável é resultante da aplicação da função não linear  $f(z) = 0$  ou  $1$ . O conceito inicial foi apresentado por Journel (1983) como uma proposta para construir uma função de distribuição acumulativa condicional (*conditional*

*cumulative distribution function*, “*ccdf*”) para a estimativa de distribuições espaciais. O conceito da transformação indicativa é dos mais simples e amigável, visto que os variogramas indicativos são os mais fáceis de modelar (LANDIM e STURARO, 2002).

O objetivo é determinar um valor médio em um local não amostrado, estimando valores que se situam abaixo ou acima de um determinado nível de corte. Para atingir tal objetivo, o primeiro passo é transformar os dados originais em indicadores, isto é, transformar os valores obtidos para a concentração de mercúrio total nos solos em zero (0) e um (1), conforme se situem abaixo ou acima do nível de corte, respectivamente, segundo a seguinte expressão:

$$I_j(z_c) = \begin{cases} 0 & \text{se } z_i \leq z_c \\ 1 & \text{se } z_i > z_c \end{cases}, \text{ onde } I_j(z_c) \text{ é o indicador com nível de corte em } z_c \text{ e } z_i \text{ é}$$

o valor original da variável.

A função de distribuição espacial dessa variável aleatória ( $I(x)$ ), que corresponde à uma realização da variável aleatória  $Z(x)$ , para o ponto estimado  $x$  na região  $A$ , segundo o nível de corte  $z_c$  é definida por:

$$f(x, z_c) = \frac{1}{A} \int_{x \in A} I(x, z_c).dx$$

O valor esperado ( $E[Z(x)]$ ) dessa variável no ponto  $x$  pode ser determinado por:

$$E[I(A, z_c)] = \frac{1}{A} \cdot P[z_x \leq z_c] \text{ para o caso da estacionariedade de } z_x = F(z_c), \text{ onde } P[z_x \leq z_c]$$

é a probabilidade de  $z_x \leq z_c$ ; e  $F(z_c)$  é a função densidade probabilidade da variável.

Desta forma, a krigagem indicativa é a solução da expressão linear  $I(A, z_c)$  pela krigagem ordinária, com base no modelo variográfico elaborado sobre a variável transformada, sendo uma das técnicas mais comumente usadas nas estimativas por geoestatística.

Cabe ressaltar que no presente estudo foi utilizado como nível de corte a mediana, especialmente pelo fato de se situar próximo ao valor apontado como de background ( $60 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) para solos a nível mundial (FREEDMANN, 1989).

### 3.5. Programas e bases utilizadas

O programa Excel<sup>®</sup> foi utilizado para tabulação dos dados obtidos diretamente do espectrofotômetro de absorção atômica, com cálculo do teor de Hg total presente em cada

amostra. O programa XLStat<sup>®</sup> foi utilizado para análise do conjunto de dados através da estatística clássica, obtenção do histograma e análise de normalidade. O programa Variowin<sup>®</sup> foi utilizado para modelar o comportamento espacial do mercúrio e o programa Surfer 8<sup>®</sup> para realização da krigagem ordinária, indicativa e elaboração de mapas.

A base cartográfica utilizada e a delimitação da área da sub-bacia do rio Corumbiara foram as disponibilizadas pelo Governo do Estado de Rondônia, assim como os dados de solos, geológicos e geomorfológicos, partes dos estudos da 2ª Aproximação do Zoneamento Socioeconômico e Ecológico de Rondônia.

O mapa altimétrico da área da sub-bacia do rio Corumbiara e adjacências foi gerado através da utilização de imagens do Shuttle Radar Topography Mission – SRTM, disponibilizadas gratuitamente na internet, processadas com utilização do programa ARCMAP<sup>®</sup>.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1. Controle de qualidade das análises químicas

As tabelas 2 e 3 demonstram os valores obtidos no controle de qualidade do processo de análise realizado no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia – UNIR, a partir das amostras de referência.

Tabela 2: Valores referência de mercúrio total das amostras padrão com as respectivas recuperações obtidas através do Espectrofotômetro FIMS 400 da Perkim Elmer.

Análise	Amostra	Valor certificado*		Valor médio encontrado*	Recuperação
		Intervalo*	Média*		
Análise de 08/07/05	APSL 4290	123 - 159	141	113	80 %
Análise de 12/07/05	APSL 4290	123 - 159	141	123	87 %
Análise de 29/04/06	APSL 4290	123 - 159	141	122	86 %
Análise de 05/05/06	APSL 4290	123 - 159	141	129	91 %
Análise de 06/05/06	APSL 4290	123 - 159	141	116	82 %
Análise de 22/08/06	APSL 4290	123 - 159	141	114	81 %
Análise de 01/12/06	APSL 4290	123 - 159	141	131	87 %
Análise de 30/04/07	SRM 2704	1433 - 1447	1440	1392	96 %
Análise de 02/05/07	SRM 2704	1433 - 1447	1440	1309	91 %
Análise de 20/06/08	APSL 4290	123 - 159	141	164	116%

\* Valores em  $\mu\text{g} \cdot \text{Kg}^{-1}$

Tabela 3: Desvio padrão médio por bateria de análise, obtido entre as leituras das duplicatas de cada amostra.

Análise	Desvio Padrão Médio*
Análise de 08/07/05	3,11
Análise de 12/07/05	1,95
Análise de 05/05/06	8,51
Análise de 22/08/05	3,40
Análise de 29/04/06	6,15
Análise de 06/05/06	5,33
Análise de 01/12/06	4,52
Análise de 30/04/07	6,21
Análise de 02/05/07	6,37
Análise de 20/06/08	5,03
<b>Média Geral</b>	<b>5,05</b>

\* Valores em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

$$\text{LDT} = \frac{\text{Média dos brancos} \times \text{volume final}}{\text{Média das massas}} = \frac{0,253 \mu\text{g.L}^{-1} \times 14 \text{ mL}}{0,50344 \text{ g}} = 7,035 \mu\text{g.kg}^{-1}$$

Segundo Bastos (1997), o limite de detecção do FIMS-400 informado pelo fabricante Perkin Elmer é de  $0,01 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . O método de análise usado no presente trabalho, considerado por Bastos (op. cit.) como tradicional, apresentou no Laboratório de Radioisótopos da Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ, limite de detecção da ordem de  $15,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Bastos (1997) utilizando-se dos mesmos equipamentos usados no presente trabalho para determinação de mercúrio total em solos e sedimentos obteve valores de  $4,0 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Em recente estudo realizado pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais – Residência de Porto Velho (CPRM/REPO), cujos resultados se encontram transcritos neste trabalho, as análises para mercúrio em rocha realizadas através do laboratório Acme Analytical Laboratories Ltd. do Canadá, obtiveram limites de detecção da ordem de  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Assim, considerando-se que o limite de detecção obtido nas análises realizadas foi de  $7,035 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , pode-se afirmar que a precisão dos exames realizados está aquém da capacidade do aparelho, porém significativamente melhor que os valores obtidos na UFRJ e semelhante aos valores já obtidos no próprio laboratório.

Além disto, em função da presença de resultados com elevado desvio padrão entre as leituras, que se repetiam de forma persistente para uma mesma amostra, foram refeitas várias baterias de análises, de tal sorte que foram realizadas um total de 520 análises para mercúrio, sendo aproveitados 342 resultados. Os critérios utilizados na seleção dos resultados apresentados como finais, foram menor desvio padrão entre as leituras e valores que mais se repetiram nas várias leituras de uma mesma amostra em que o desvio padrão continuava persistentemente alto.

#### 4.2. Resultados estatísticos obtidos para a profundidade de 0 a 10 cm

As tabelas 4 e 5 e as figuras 8 e 9 a seguir, apresentam o resumo dos resultados estatísticos obtidos, a partir da tabulação e análise dos resultados de laboratório.

Tabela 4: Resumo dos dados estatísticos de mercúrio total na profundidade de 0 a 10 cm

Descrição	Valor
No. de observações	171
Mínimo	8,190
Máximo	378,270
Freq. do mínimo	1
Freq. do máximo	1
Amplitude	370,080
1° Quartil	36,510
Mediana	62,060
3° Quartil	99,125
Média aritmética	72,911
Variância (n)	2368,781
Desvio-padrão (n)	48,670
Coefficiente de variação	0,668
Assimetria (Pearson)	1,859
Curtose (Pearson)	7,668
Erro padrão da média	3,733
Limite inferior da média (95%)	65,542
Limite superior da média (95%)	80,280
Desvio absoluto médio	36,773
Desvio absoluto mediano	29,080

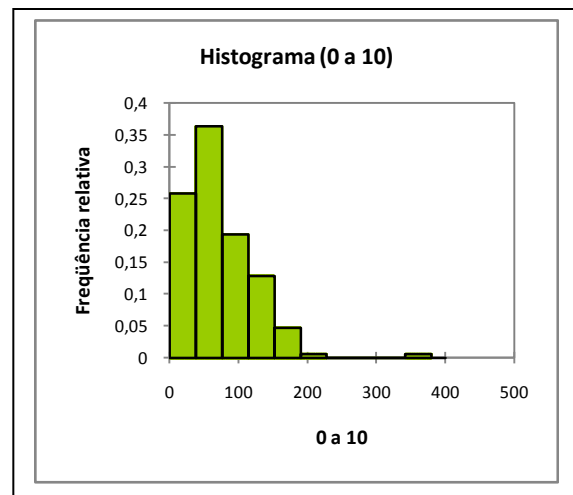


Figura 8: Histograma de valores de mercúrio total na profundidade de 0 a 10 cm



Tabela 5: Teste de normalidade de Kolmogorov – Smirnov para os valores de mercúrio total da profundidade de 0 a 10 cm.

Teste de Kolmogorov-Smirnov	
D	0,136
p-valor	0,003
alfa	0,05

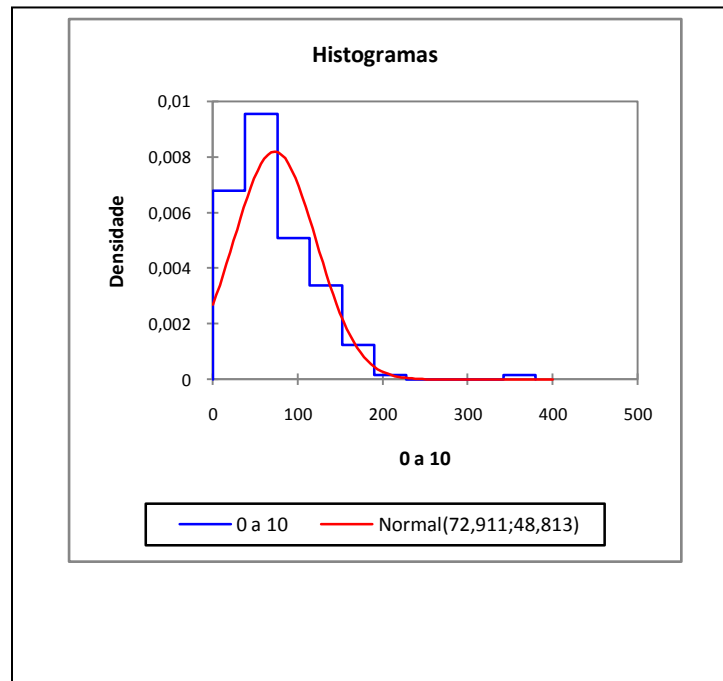


Figura 9: Ajustamento da curva normal ao histograma dos valores de mercúrio total da profundidade de 0 a 10 cm.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov mostrou que a distribuição não é normal, uma vez que o p-valor calculado é menor que o nível de significância  $\alpha=0,05$ . A figura 9 mostra o ajuste de uma curva teórica normal à distribuição dos valores encontrados para mercúrio total na profundidade de 0 a 10 cm, indicando que a distribuição é moderadamente assimétrica, desviada para direita (assimetria positiva), através de uma curva leptocúrtica.

### 4.3. Resultados obtidos para a profundidade de 10 a 30 cm

As tabelas 6 e 7 e figuras 10 e 11 a seguir, apresentam o resumo dos resultados estatísticos obtidos, a partir da tabulação e análise dos resultados de laboratório.

Tabela 6: Resumo dos dados estatísticos de mercúrio total na profundidade de 10 a 30 cm.

Descrição	Valor
No. de observações	171
Mínimo	4,360
Máximo	320,780
Freq. do mínimo	1
Freq. do máximo	1
Amplitude	316,420
1° Quartil	38,180
Mediana	67,130
3° Quartil	100,150
Média aritmética	76,181
Variância (n)	2635,084
Desvio-padrão (n)	51,333
Coefficiente de variação	0,674
Assimetria (Pearson)	1,475
Curtose (Pearson)	3,937
Erro padrão da média	68,409
Limite inferior da média (95%)	38,095
Limite superior da média (95%)	83,953
Desvio absoluto médio	29,660
Desvio absoluto mediano	171

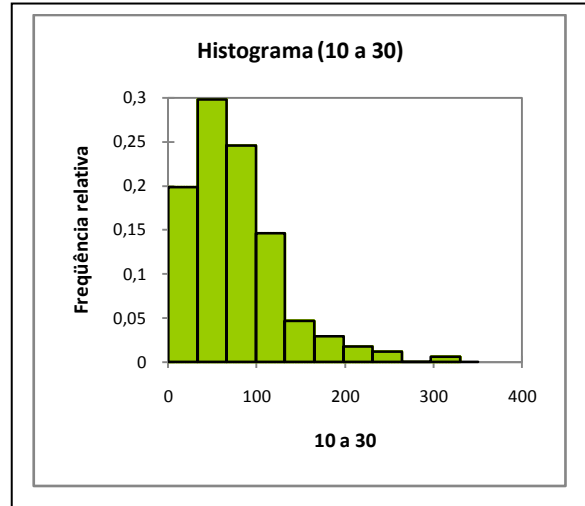


Figura 10: Histograma de valores de mercúrio total na profundidade de 10 a 30 cm

Tabela 7: Teste de normalidade de Kolmogorov – Smirnov para os valores de mercúrio total da profundidade de 10 a 30 cm.

Teste de Kolmogorov-Smirnov	
D	0,104
p-valor	0,047
alfa	0,05

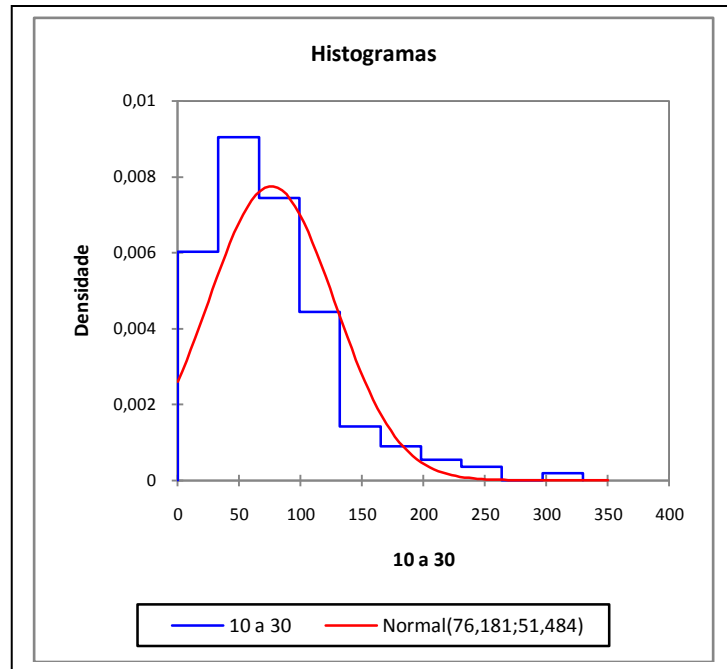


Figura 11: Ajustamento da curva normal ao histograma dos valores de mercúrio na profundidade de 10 a 30 cm.

O teste de normalidade de Kolmogorov-Smirnov mostrou que a distribuição não é normal, uma vez que o p-valor calculado é menor que o nível de significância  $\alpha=0,05$ . A figura 11 mostra o ajuste de uma curva teórica normal à distribuição dos valores encontrados para mercúrio total na profundidade de 10 a 30 cm, indicando que a distribuição é moderadamente assimétrica, desviada para direita (assimetria positiva), através de uma curva leptocúrtica.

Os dados estatísticos obtidos com as 342 análises realizadas, permitem verificar que a concentração média geral de mercúrio total obtida para a sub-bacia do rio Corumbiara é de  $74,54 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , sendo que a média na camada de 0 – 10 cm ( $n= 171$ ) foi de  $72,91 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e na camada de 10 – 30 cm ( $n= 171$ ) foi de  $76,18 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Os resultados obtidos para a camada 0 – 10 cm variaram de  $8,19 \mu\text{g.kg}^{-1}$  a  $378,27 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , tendo mediana de  $62,06 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e variância de 2368,78. Já as amostras situadas na

camada de 10 – 30 cm variaram de <LDT a 320,78  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , tendo mediana de 38,18  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  e variância de 2635,08.

Tais resultados, assim como os demais constantes das tabelas de resultados, indicam que o conjunto amostral apresenta certa homogeneidade entre si, com valores similares para ambas as camadas e com médias maiores que as medianas.

#### 4.4. Resultados obtidos por unidade geológica.

A tabela 8 e a figura 12, apresentam os resultados da concentração de mercúrio total presente nas duas profundidades amostradas do solo, por unidade geológica subjacente.

Tabela 8: Concentração de mercúrio total presente nas amostras por unidade geológica.

VALORES DE MERCÚRIO TOTAL POR UNIDADE GEOLÓGICA				
UNIDADE GEOLÓGICA	Nº DE AMOSTRAS	MÉDIA GERAL*	MÉDIA 0 – 10 cm*	MÉDIA 10 – 30 cm*
Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Holocênicos	13	65,83	64,45	67,21
Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Pleistocênicos	60	37,50	39,20	35,80
Coberturas Terciário-Quaternárias Neogênicas indiferenciadas	54	86,34	82,03	90,65
Formação Arenito Parecis	16	114,83	109,02	120,64
Formação Basalto Anari	6	135,38	133,59	137,18
Granitóides Tardi a Pós Rondonianos	2	96,76	100,61	92,92
Grupo (Meta)Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste	17	103,00	104,00	102,00
Grupo (Meta)Vulcano-Sedimentar Mutumparaná-Roosevelt	2	124,08	99,39	148,74
MÉDIA		95,46	91,53	99,39

\* Valores expressos em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

A diferença existente entre o número de pontos amostrados por unidade geológica, reflete a extensão da área espacial ocupada pela unidade dentro da sub-bacia, de tal sorte que unidades com pouca expressão territorial, acabaram por ser menos amostradas que outras que ocupam maiores áreas.

A média dos valores por unidade geológica indica que os sedimentos aluvionares da parte baixa da sub-bacia apresentam solos com menores concentrações de mercúrio total,

enquanto que as rochas ígneas, metamórficas e sedimentares da parte alta da sub-bacia apresentam solos com as maiores concentrações.

As concentrações obtidas nos solos amostrados da Formação Arenito Parecis, relativamente altos, apresentam uma aparente contradição, pois é de se esperar que os arenitos, em função do seu baixo conteúdo de argila, tenham menor condição de adsorção de mercúrio, conseqüentemente, apresentem valores relativamente baixos. Os valores obtidos nas análises, no entanto, colocam a Formação Arenito Parecis entre as que, no contexto geológico da sub-bacia, apresentam valores elevados para a concentração de mercúrio total.

Por outro lado, os solos desenvolvidos sobre a Formação Basalto Anari, apresentam em média as maiores concentrações de mercúrio. Tal resultado é coerente, uma vez que estas rochas desenvolvem solos ricos em argila, portanto, com elevada capacidade de adsorção.

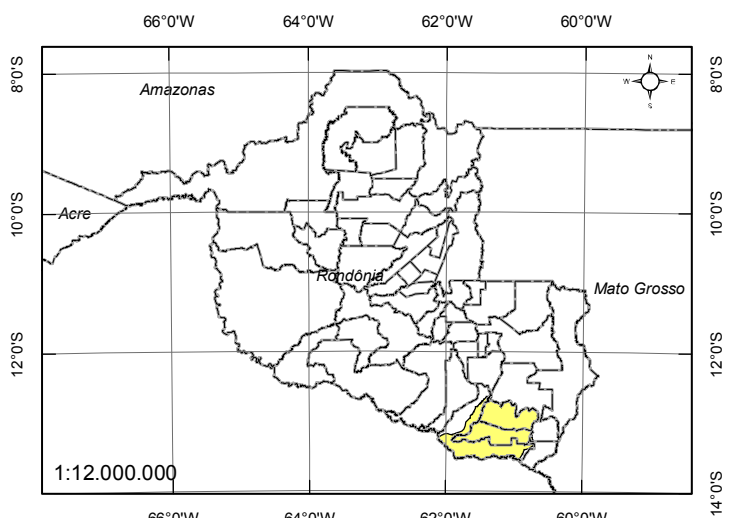
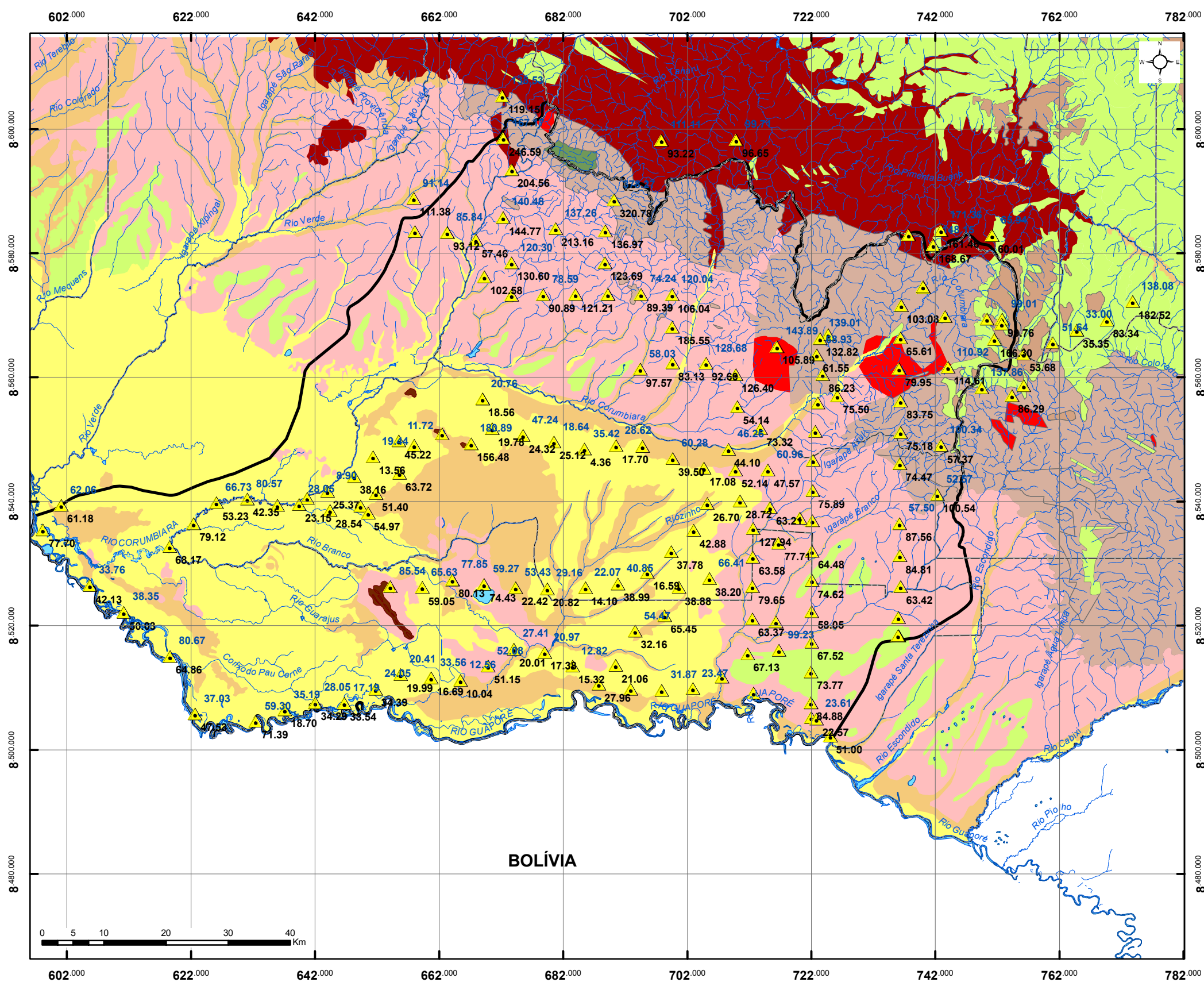
#### 4.4.1. Mercúrio em rochas da sub-bacia.

Ao estudar a presença de mercúrio em solos, freqüentemente é levantada a questão da sua origem. Entre os pesquisadores estudiosos do assunto na Amazônia, a deposição atmosférica é apontada como a principal fonte deste elemento para os solos e as referências à presença de mercúrio em rocha, em geral são apenas de desconhecimento da ocorrência de rochas ricas neste elemento na Amazônia. Neste particular merecem destaques dois estudos realizados, onde a presença de mercúrio em rocha foi pesquisada em Rondônia: Silveira (1998) e BRASIL (no prelo).

Silveira (1998) estudou a presença de mercúrio em rochas da Suíte Intrusiva Santo Antônio/Teotônio, tendo encontrado em um biotita monzogranito da Cachoeira do Santo Antônio, valores para mercúrio total variando de  $3,3 \mu\text{g.kg}^{-1}$  a  $4,5 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e na Cachoeira do Teotônio, valores variando de  $3,7 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (clinopiroxênio-anfibólio-alcali-feldspato granito) a  $7,2 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (faialita-clinopiroxênio-alcali-feldspato sienito), todos bastante baixos, quando comparado aos presentes nos solos.

A CPRM (BRASIL, no prelo), ao realizar estudos para a elaboração do mapa geológico da Folha Pimenteiras, efetuou o levantamento geoquímico da área, tendo analisado, dentre vários outros elementos, a presença de mercúrio em rocha.

# Mapa Geológico



Localização da sub-bacia do rio Corumbiara no estado de Rondônia

## Legenda

- Hidrografia
- Divisão municipal
- Sub-bacia do rio Corumbiara
- Ponto Amostrado
- 55 Hg na camada 0-10 cm
- 68 Hg na camada 11-30 cm

## Legenda de geologia

- QHa - Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Holocênicos
- QPa - Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Pleistocênicos
- TQi - Coberturas Quaternárias (indiferenciadas)
- Kp - Formação Arenito Parecis
- Kba - Formação Basalto Anari
- MPgr - Granitóides Tardi a Pós-Rondonianos
- MPco - Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste
- MPmr - Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Mutumparaná-Roosevelt

Base Temática Elaborada a Partir de Dados do PLANAFLORO 2002 ( Modificado )

Base Cartográfica Elaborada a Partir de Cartas DSG e IBGE em Escala 1:100.000:  
 SC-20-X-A-V, SC-20-X-A-VI, SC-20-X-B-IV, SC-20-X-B-V,  
 SC-20-X-D-I, SC-20-X-D-II, SC-20-X-C-II, SC-20-X-C-III,  
 SC-20-X-C-VI e SC-20-X-D-IV.

Projeção: UTM SAD 69,  
 Meridiano Central: 63°, Zona 20.

 UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"		
Tese		
MERCÚRIO EM SOLOS DA SUB - BACIA DO RIO CORUMBIARA - RO: ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA DISPERSÃO		
FIGURA - 12	<b>Geologia</b>	Estado <b>RONDÔNIA</b>
Municípios		
<b>CEREJEIRAS, CORUMBIARA E PIMENTEIRAS DO OESTE</b>		
Escala	Orientador	Doutorando
<b>1:700.000</b>	<b>PROF. DRA. GILDA CARNEIRO FERREIRA</b>	<b>JOÃO CARLOS HERRMANN</b>

A figura 13 mostra os pontos onde foram coletadas amostras pela CPRM e a tabela 9, os resultados obtidos nas análises de mercúrio realizadas pelo laboratório Acme Analytical Laboratories Ltd. do Canadá, com limite de detecção para a técnica da ordem de  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

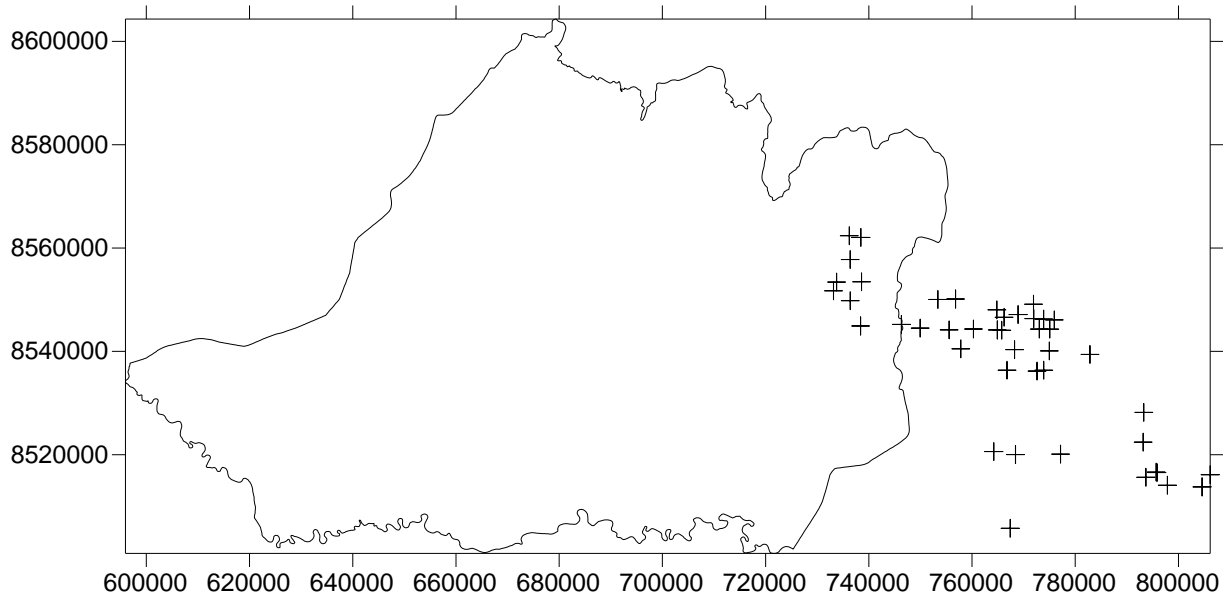


Figura 13: Mapa de localização dos pontos com amostragem de rocha e determinação de mercúrio, executados pela CPRM.

Do total de amostras realizadas, 8 foram no interior da sub-bacia do rio Corumbiara, sendo uma com valor de mercúrio de  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e as demais com valores menores que  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Os demais valores obtidos pela CPRM são baixos, variando de  $20 \mu\text{g.kg}^{-1}$  – apenas um resultado, a menores que  $10 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . Estes valores baixos indicam que as rochas da região não devem atuar como fonte deste elemento para o solo, uma vez que as concentrações encontradas nos solos são bastante superiores.

Além disto, sendo o mercúrio um elemento móvel, cuja mobilização ou remobilização do solo pode ser realizada por volatilização, metilação e lixiviação, entre outros, conforme amplamente discutido na literatura, é improvável a sua concentração a partir das rochas. Tal fato corrobora o senso comum entre os pesquisadores da área a respeito da origem do mercúrio através da deposição atmosférica, uma vez que se trata de um poluente global.

Tabela 9: Mercúrio em rochas da sub-bacia do rio Corumbiara e área adjacente do Mato Grosso.

<b>Mercúrio em rochas na sub-bacia do rio Corumbiara a área adjacente.</b>					
<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Hg - <math>\mu\text{g.kg}^{-1}</math></b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Hg - <math>\mu\text{g.kg}^{-1}</math></b>
8546346	771955	<.10	8540498	757816	<.10
8546249	773878	<.10	8557778	736387	<.10
8547131	768922	10	8549815	736401	<.10
8544316	773036	10	8562387	736216	<.10
8544309	775064	10	8562056	738455	<.10
8546097	775936	10	8549133	771910	<.10
8544090	765755	<.10	8540346	768245	10
8544151	764896	<.10	8540098	774977	<.10
8544333	760275	10	8548048	764805	<.10
8544167	755561	20	8515636	793684	<.10
8544506	749950	<.10	8514090	797857	<.10
8545218	746316	<.10	8528192	793277	<.10
8536362	766776	10	8522436	793159	10
8536189	772592	<.10	8516632	795674	10
8536360	773891	10	8516552	795842	<.10
8539412	782849	<.10	8513778	804576	<.10
8520034	768423	<.10	8516134	806152	<.10
8520113	777150	10	8553472	738592	<.10
8520616	764219	<.10	8553409	733754	10
8550131	756808	10	8551725	733154	<.10
8550045	753380	<.10	8544918	738407	<.10
8546601	766214	<.10	8480796	814039	<.10
8505764	767395	<.10			

Fonte: CPRM (no prelo)



#### 4.5. Resultados obtidos por unidade geomorfológica.

A tabela 10 e a figura 14, apresentam os resultados da concentração de mercúrio total presente nas duas profundidades amostradas do solo, por unidade geomorfológica:

Tabela 10: Concentração de mercúrio total presente nas amostras por unidade geomorfológica

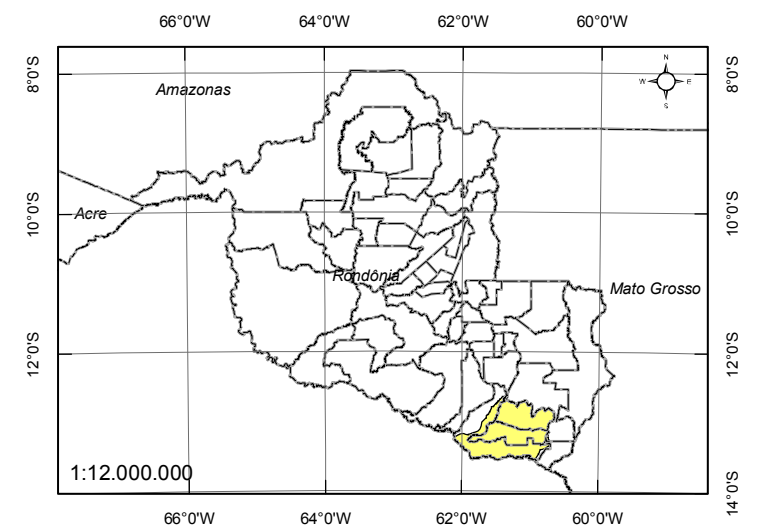
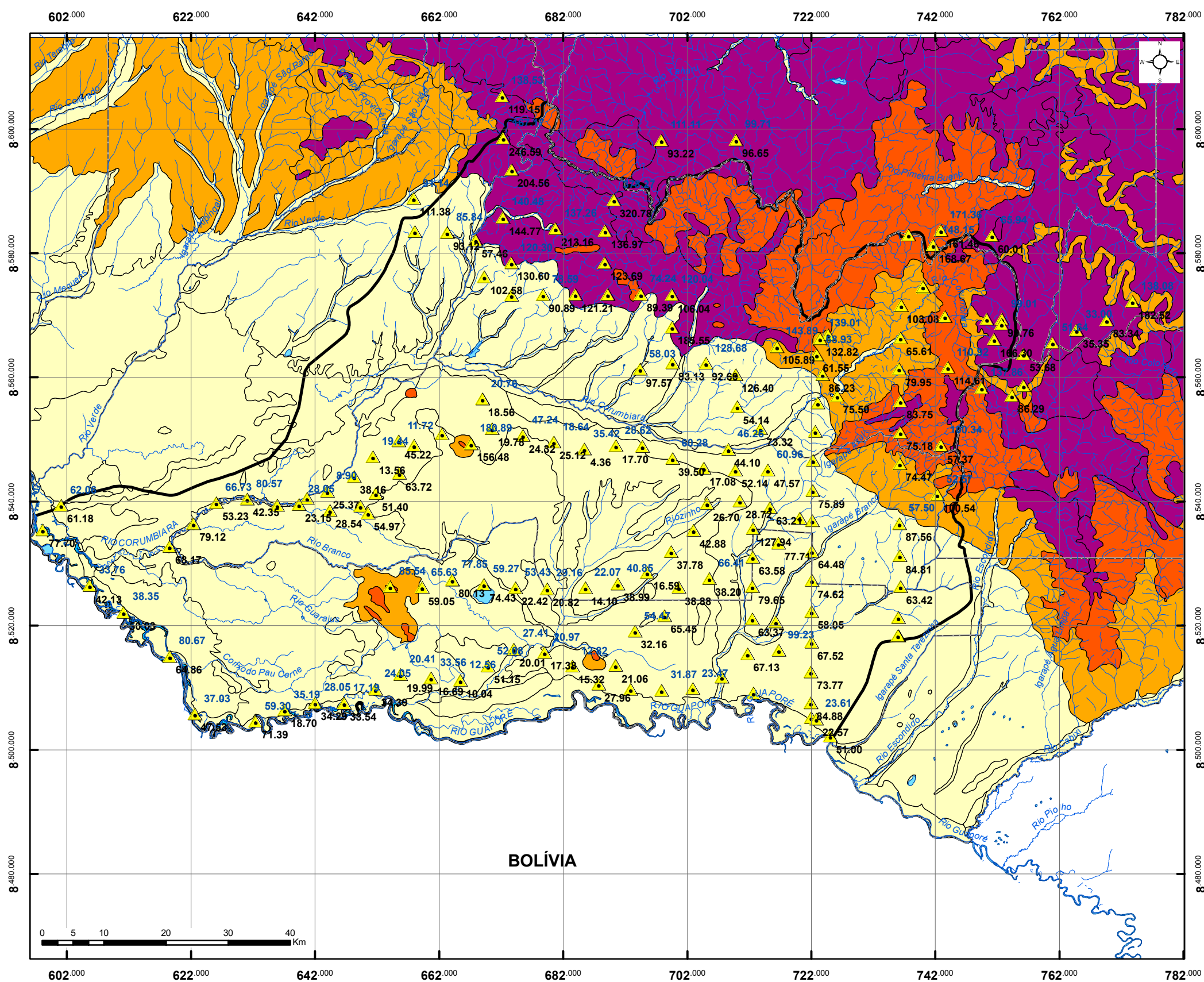
VALORES DE MERCÚRIO POR UNIDADE GEOMORFOLÓGICA				
UNIDADE GEOMORFOLÓGICA	Nº DE AMOSTRAS	MÉDIA GERAL*	MÉDIA 0 – 10 cm*	MÉDIA 10 – 30 cm*
Planícies Aluviais e Depressões	118	55,26	54,11	56,42
Superfície de Aplanamento	12	92,63	93,26	92,00
Agrupamento de Morros e Colinas	12	113,92	108,95	118,90
Superfícies Tabulares	29	129,19	126,04	132,35
MÉDIA		97,75	95,59	99,91

\* Valores expressos em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

A distribuição dos pontos nas unidades geomorfológicas, da mesma forma que nas unidades geológicas, reflete a extensão da área espacial ocupada pela unidade dentro da sub-bacia. Os valores de mercúrio total obtidos indicam uma clara relação entre a posição espacial da unidade e a concentração média de mercúrio, pois as unidades situadas topograficamente mais alto, tendem a ter maiores valores, enquanto as topograficamente mais baixo, tendem a apresentar menores valores.

A unidade geomorfológica que se posiciona topograficamente mais elevada é a Superfície Tabular, com média de  $129,19 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de mercúrio total, seguida em situação topográfica imediatamente inferior pelas unidades denudacionais denominadas de Agrupamento de Morros e Colinas, com média de  $113,92 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e Superfície de Aplanamento, com média de  $92,63 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . A unidade agradacional representada pelas Planícies Aluviais e Depressões, ocupando a posição topograficamente mais baixa da bacia, apresenta o menor valor médio de mercúrio total entre todas as unidades, da ordem de  $55,26 \mu\text{g.kg}^{-1}$ .

# Mapa Geomorfológico



Localização da sub-bacia do rio Corumbiara no estado de Rondônia

## Legenda

- Hidrografia
- Divisão municipal
- Sub-bacia do rio Corumbiara
- Ponto Amostrado
- 55 Hg na camada 0-10 cm
- 68 Hg na camada 11-30 cm

## Legenda de Geomorfologia

### UNIDADE AGRADACIONAL

- PAD - Planícies Aluviais e Depressões

### UNIDADES DENUDACIONAIS

- ST - Superfícies Tabulares
- AMC - Agrupamento de Morros e Colinas
- SA - Superfície de Aplanamento

Base Temática Elaborada a Partir de Dados do PLANAFLORO 2002 ( Modificado )

Base Cartográfica Elaborada a Partir de Cartas DSG e IBGE em Escala 1:100.000:  
 SC-20-X-A-V, SC-20-X-A-VI, SC-20-X-B-IV, SC-20-X-B-V,  
 SC-20-X-D-I, SC-20-X-D-II, SC-20-X-C-II, SC-20-X-C-III,  
 SC-20-X-C-VI e SC-20-X-D-IV.

Projeção: UTM SAD 69,  
 Meridiano Central: 63°, Zona 20.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"

Tese		
MERCÚRIO EM SOLOS DA SUB - BACIA DO RIO CORUMBIARA - RO: ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA DISPERSÃO		
FIGURA - 14	<b>Geomorfologia</b>	Estado <b>RONDÔNIA</b>
Municípios		
<b>CEREJEIRAS, CORUMBIARA E PIMENTEIRAS DO OESTE</b>		
Escala	Orientador	Doutorando
<b>1:700.000</b>	<b>PROF. DRA. GILDA CARNEIRO FERREIRA</b>	<b>JOÃO CARLOS HERRMANN</b>

#### 4.6. Resultados obtidos por unidade de solo.

A tabela 11 e a figura 15, apresentam os resultados da concentração de mercúrio total presente nas duas profundidades amostradas do solo, por unidade de solo.

Tabela 11: Concentração de mercúrio total presente nas amostras por unidade de solo.

VALORES DE MERCÚRIO POR UNIDADE DE SOLO				
UNIDADE DE SOLO	Nº DE AMOSTRAS	MÉDIA GERAL*	MÉDIA 0 – 10 cm*	MÉDIA 10 – 30 cm*
Latossolo	74	100,92	97,56	104,29
Argissolo	9	88,60	86,79	90,42
Gleissolo	52	32,96	34,82	31,11
Neossolo Flúvico	26	63,09	61,79	64,40
Neossolo Quartzarênico	10	112,61	104,95	120,27
MÉDIA		79,63	77,18	82,09

\* Valores expressos em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

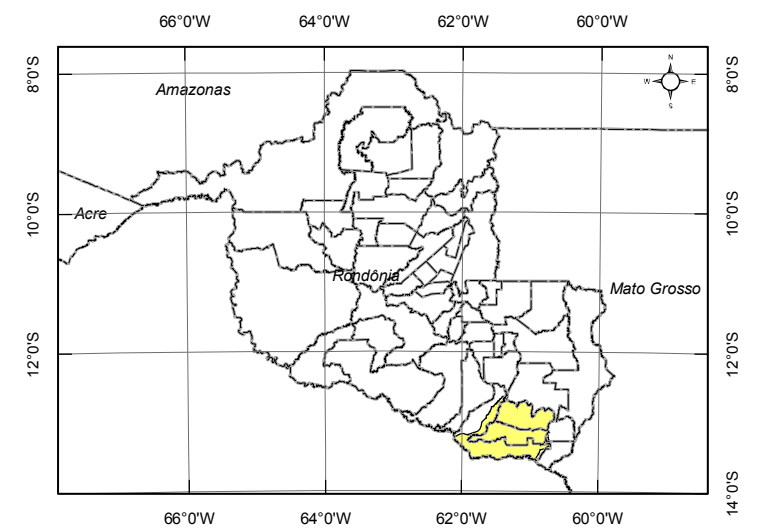
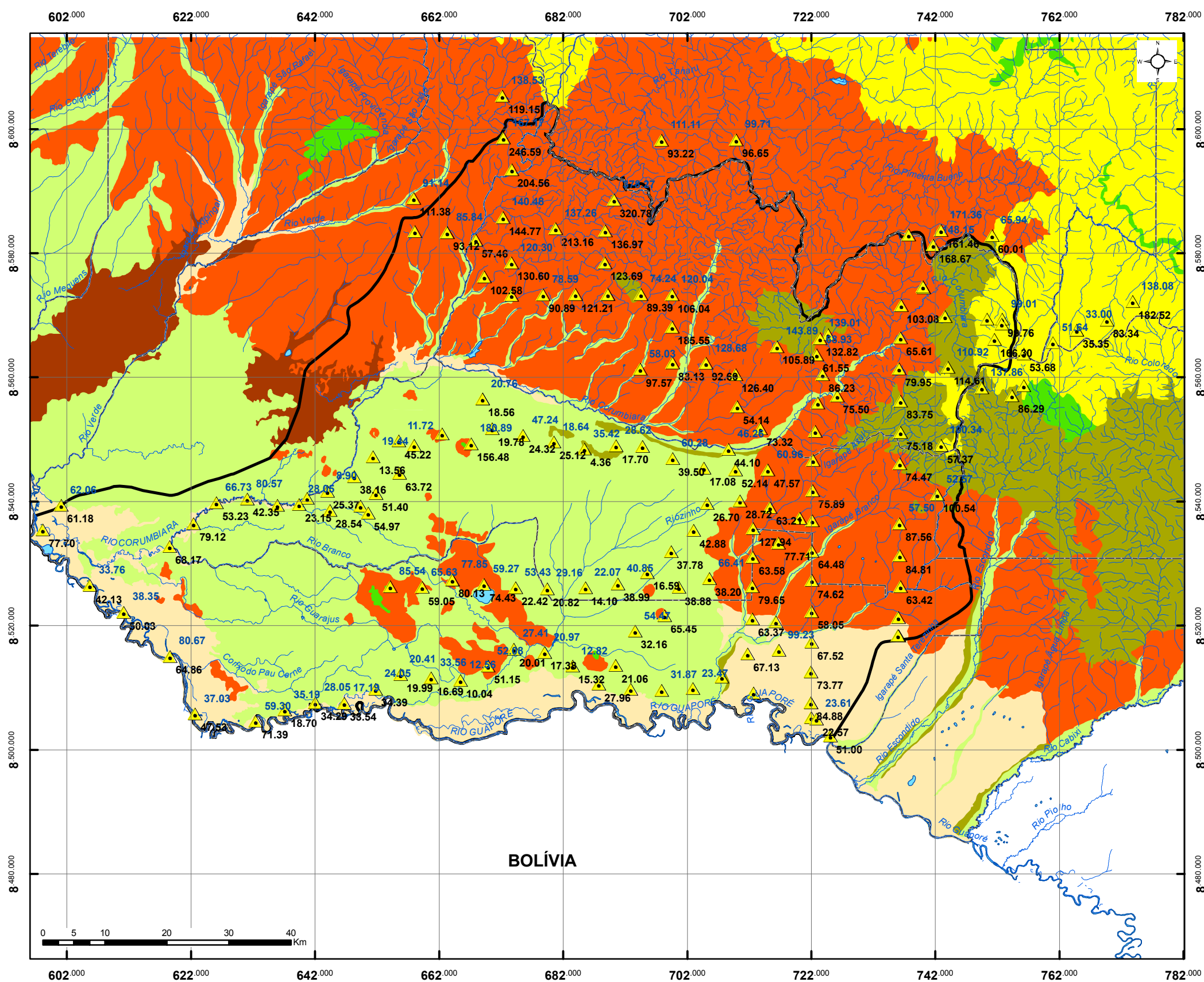
Os solos apresentaram conteúdo de mercúrio total em média abaixo dos valores obtidos em várias outras regiões já estudadas da Amazônia, como as bacias dos rios Negro, Tapajós e mesmo da calha do rio Madeira. Os latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos apresentaram valores relativamente altos e semelhantes. Os gleissolos e neossolos flúvicos apresentam valores relativamente mais baixos.

Nos resultados obtidos chama a atenção os valores de mercúrio total dos neossolos quartzarênicos. Estes valores representam uma aparente contradição, pois era de se esperar que estes solos apresentassem baixo conteúdo de mercúrio total, devido ao fato de que sua constituição básica é areia (sílica), com menor poder de adsorção do que as argilas componentes dos solos mais argilosos.

Segundo Oliveira et al. (2007), os solos argilosos tem maior capacidade de reter mercúrio, principalmente pelo processo de adsorção (complexação, adsorção química e física) na superfície das argilas.



# Mapa de Solos



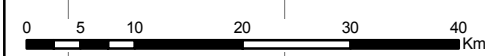
Localização da sub-bacia do rio Corumbiara no estado de Rondônia

## Legenda

- Hidrografia
- Divisão municipal
- Sub-bacia do rio Corumbiara
- Ponto Amostrado
- 55 Hg na camada 0-10 cm
- 68 Hg na camada 11-30 cm

## Legenda de Solos

- RY - Neossolo Flúvico
- Cambissolos
- Glei - Gleissolo
- Lato - Latossolo
- Organossolos
- Argi - Argissolos
- RQ - Neossolo Quartzarênico



Base Temática Elaborada a Partir de Dados do PLANAFLORO 2002 ( Modificado )

Base Cartográfica Elaborada a Partir de Cartas DSG e IBGE em Escala 1:100.000:  
 SC-20-X-A-V, SC-20-X-A-VI, SC-20-X-B-IV, SC-20-X-B-V,  
 SC-20-X-D-I, SC-20-X-D-II, SC-20-X-C-II, SC-20-X-C-III,  
 SC-20-X-C-VI e SC-20-X-D-IV.

Projeção: UTM SAD 69,  
 Meridiano Central: 63°, Zona 20.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA  
"JULIO DE MESQUITA FILHO"

Tese		
MERCÚRIO EM SOLOS DA SUB - BACIA DO RIO CORUMBIARA - RO: ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA DISPERSÃO		
FIGURA - 15	<b>Solos</b>	Estado <b>RONDÔNIA</b>
Municípios		
<b>CEREJEIRAS, CORUMBIARA E PIMENTEIRAS DO OESTE</b>		
Escala	Orientador	Doutorando
1:700.000	PROF. DRA. GILDA CARNEIRO FERREIRA	JOÃO CARLOS HERRMANN

#### 4.7. Correlação linear simples (Pearson)

Ao se estabelecer o coeficiente de correlação linear simples entre os valores de mercúrio total presentes nas profundidades de 0 a 10 cm e 10 a 30 cm, obteve-se o valor de 0,877. Este valor indica que há uma forte correlação entre os teores presentes nas duas profundidades, sendo que a mesma se manifesta de forma positiva (+), indicando que os valores altos de mercúrio da uma camada tendem a ser associados aos valores altos da outra camada e vice-versa.

Os diagramas de dispersão apresentados nas figuras 16 e 17 mostram a relação/associação entre os teores de mercúrio total nas profundidades amostradas.

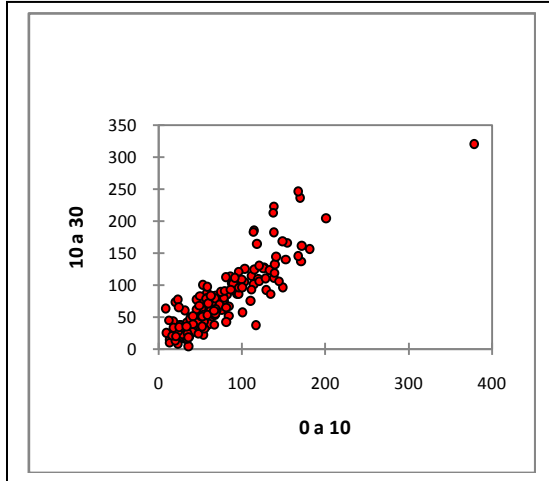


Figura 16: Diagrama de dispersão mostrando a relação do mercúrio total nas profundidades 0 - 10 cm / 10 - 30 cm.

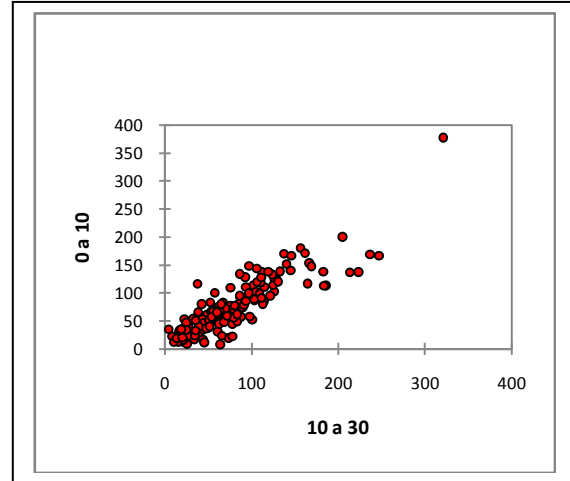


Figura 17: Diagrama de dispersão mostrando a relação do mercúrio total nas profundidade 10 - 30 cm / 0 - 10 cm.

A interpretação dos diagramas de dispersão permite verificar que, a relação não é linear e, quando os teores de mercúrio presentes na profundidade de 0 a 10 cm são colocados como variável independente – X (figura 16), a maior concentração de pontos se localiza acima da reta imaginária diagonal. Por outro lado, quando os teores de mercúrio presentes na profundidade de 10 a 30 cm são colocados como variável independente – X (figura 17), a maior quantidade de pontos sofre deslocamento em direção ao eixo x, abaixo da reta diagonal. Isto significa que, além de haver uma forte correlação entre os valores, os mesmos tendem a crescer com o aumento de profundidade.

#### 4.8. Análise semi-variográfica

Para estabelecer o comportamento espacial da dispersão de mercúrio total presente no solo, especialmente no que se refere à dependência espacial entre as amostras e as direções de maior e menor continuidade, foram elaborados modelos semi-variográficos para krigagem ordinária e indicativa para as duas profundidades do solo analisados, conforme demonstrado nas figuras 18, 19, 20 e 21. Utilizou-se em todos os casos o modelo esférico, tendo sido elaborados, para cada profundidade, semi-variogramas nas direções (variográficas) de 0°, 45°, 90° e 135°.

Em ambas as profundidades de solo foi observado, tanto na krigagem ordinária, quanto na krigagem indicativa, que a maior continuidade da dispersão de mercúrio total se verificava na direção 135° (NW/SE) e a maior variabilidade na direção 45° (NE/SW). Na área da sub-bacia, a direção NW/SE é aquela que acompanha a estruturação das feições geológicas, geomorfológicas e de solos, a qual é refletida no semi-variograma sob forma de continuidade.

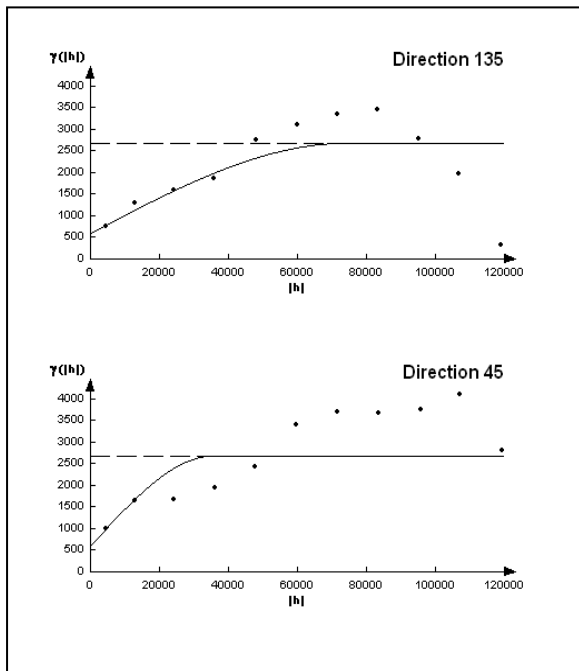


Figura 18: Modelos semi-variográficos elaborados para dispersão de mercúrio total na profundidade 0 – 10 cm.

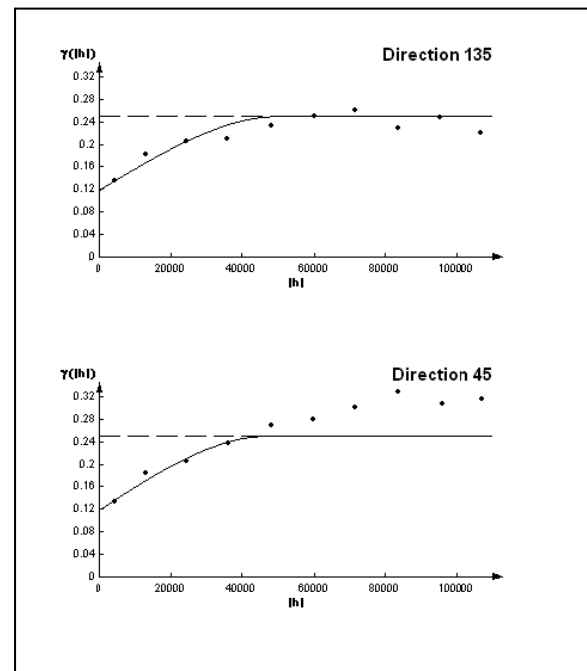


Figura 19: Modelos semi-variográficos indicativos elaborados para a dispersão do mercúrio total na profundidade 0 – 10 cm

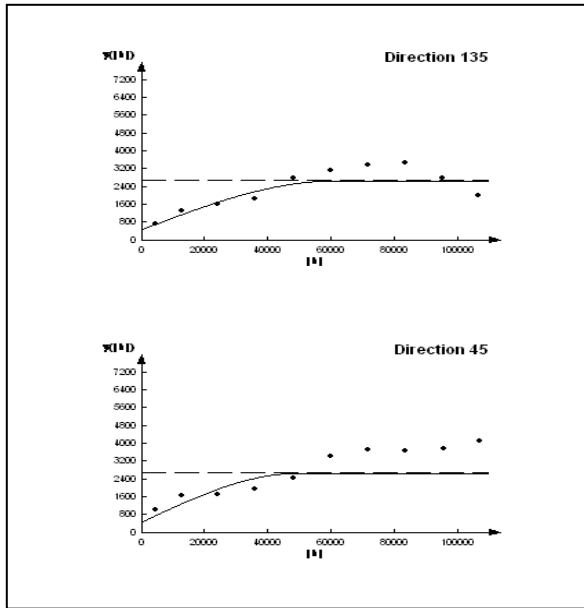


Figura 20: Modelos semi-variográficos elaborados para a dispersão do mercúrio total na profundidade 10 – 30 cm

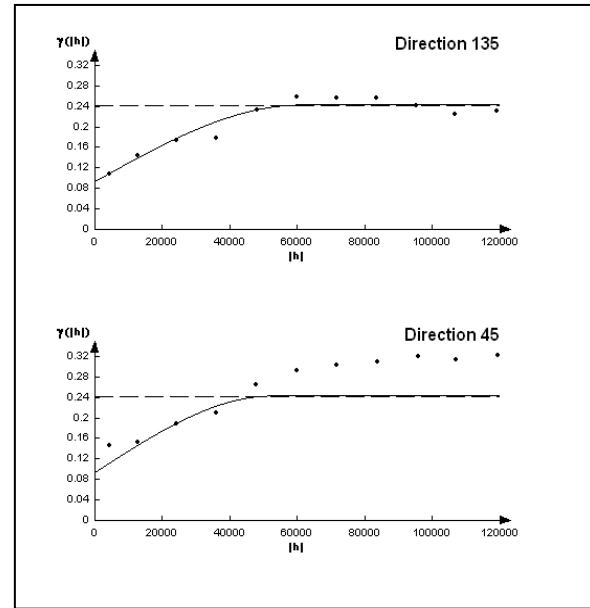


Figura 21: Modelos semi-variográficos indicativos elaborados para a dispersão do mercúrio total na profundidade 10 – 30 cm

No caso da direção variográfica 45°, os pontos alinham-se aproximadamente segundo uma reta ascendente, mostrando um crescimento contínuo com o aumento da distância ( $h$ ). Em termos de estrutura do semi-variograma, pode-se dizer que nesta direção o fenômeno é não-estacionário, ou seja, varia continuamente. Tal fato é importante para as discussões a respeito do padrão de dispersão do mercúrio, uma vez que a direção variográfica 45° (NE/SW) é justamente aquela em que as feições geológicas, geomorfológicas e distribuição dos solos são cortadas aproximadamente de forma perpendicular.

Embora com esta constatação, foi modelado o semi-variograma no modelo esférico para a direção 45°, partindo-se do princípio de que, no processo de interpolação, são usadas as distâncias não muito superiores às amplitudes locais dos semi-variogramas estacionários (SOARES, 2000).

Assim, para cada tipo de krigagem e para cada profundidade, foi elaborado um modelo ajustando os dois semi-variogramas através de uma curva atenuada média (SOARES, 2000), de tal sorte que a variabilidade espacial obtida com o semi-variograma foi considerada como

representativa de toda a área, sintetizando as características estruturais do fenômeno espacial em um modelo único.

Os modelos revelaram que a variável mercúrio apresenta anisotropia geométrica, ou seja, aquela anisotropia em que o alcance do semi-variograma varia de acordo com a direção, mantendo o mesmo patamar.

A tabela 12 apresenta o resumo dos parâmetros obtidos com a modelagem dos variogramas, os quais foram utilizados para realização da krigagem ordinária e indicativa.

Tabela 12: Resumo dos dados utilizados na modelagem dos semi-variogramas.

TABELA RESUMO DOS DADOS VARIOGRÁFICOS		
Descrição	Parâmetro	Valor
Krigagem ordinária – profundidade de 0 a 10 cm	Alcance	74200
	Patamar	2096
	Efeito pepita	604
	Anisotropia	0,49
Krigagem ordinária – profundidade de 10 a 30 cm	Alcance	60800
	Patamar	2188
	Efeito pepita	500
	Anisotropia	0,81
Krigagem indicativa – profundidade de 0 a 10 cm	Alcance	50596
	Patamar	0,13
	Efeito pepita	0,11
	Anisotropia	0,49
Krigagem indicativa – profundidade de 10 a 30 cm	Alcance	61000
	Patamar	0,14
	Efeito pepita	0,09
	Anisotropia	0,86

#### 4.9. Krigagem ordinária

A partir dos modelos semi-variográficos obtidos, foram produzidos os mapas de isolinhas de mercúrio total por meio de krigagem ordinária constantes, das figuras 22 e 23. Estes mapas têm como objetivo contribuir para o conhecimento da presença de mercúrio total em solos das várias partes da sub-bacia do rio Corumbiara. Como já ressaltado, sua interpretação deve levar em conta a precisão obtida com o processo de análise, assim como a distribuição não normal dos valores de mercúrio.



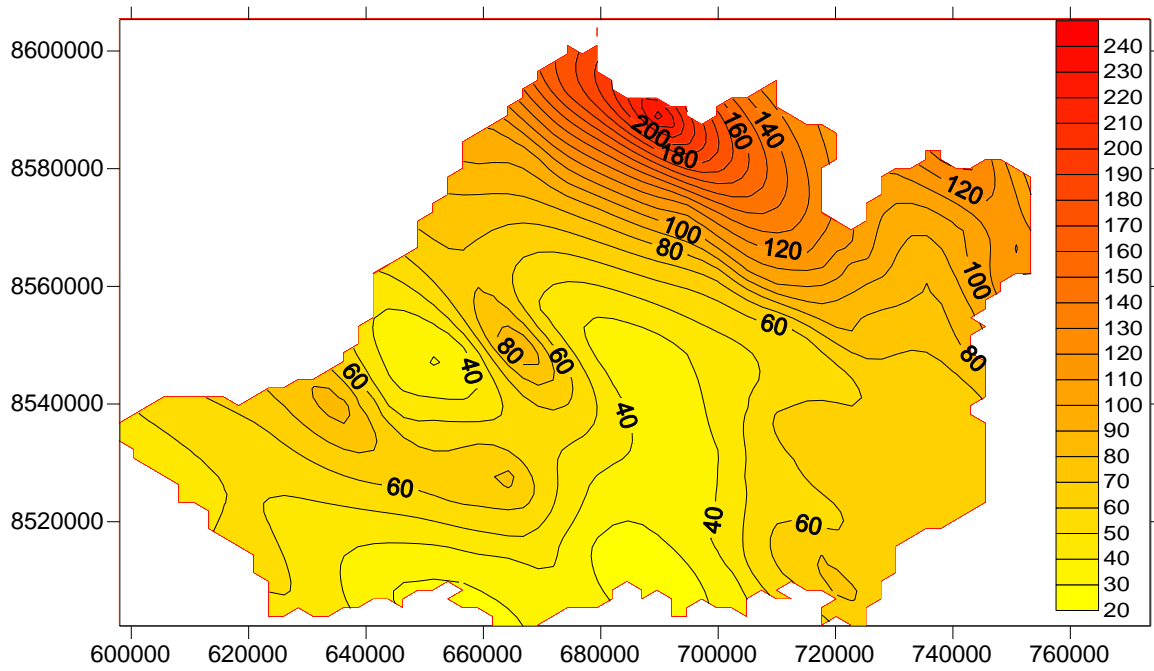


Figura 22: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm, obtido por krigagem ordinária. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

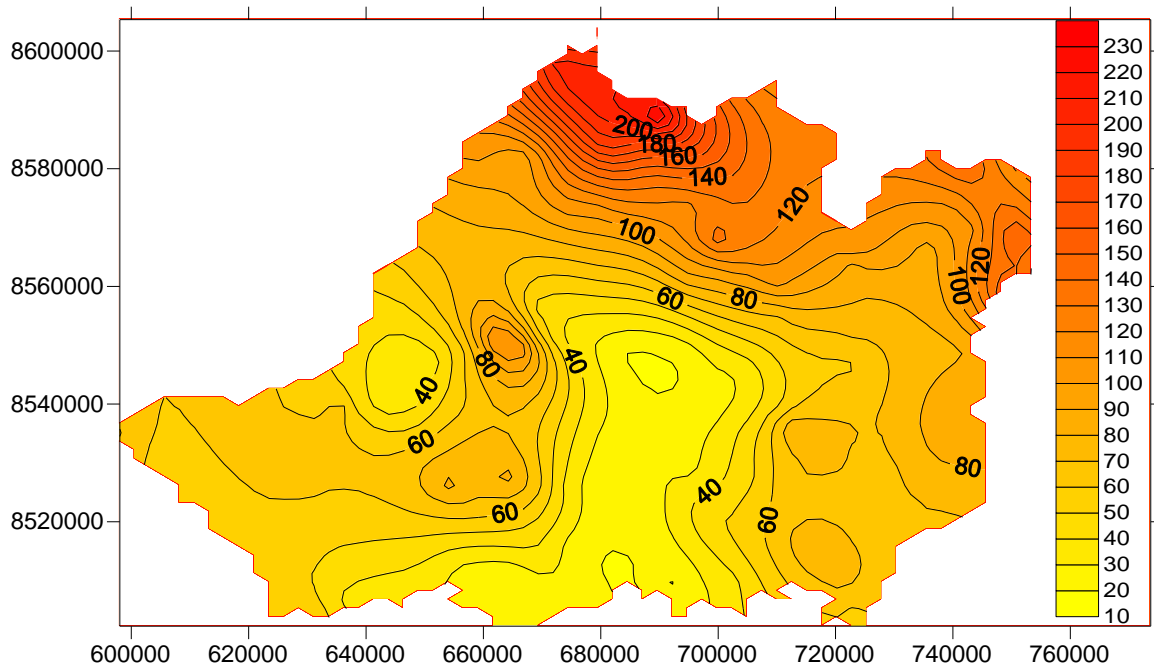


Figura 23: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm, obtido por krigagem ordinária. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

Ressalta-se também que um dos fatores que levaram a produção destes mapas, foi o fato de que dificilmente se executará outro estudo na sub-bacia sobre este assunto, com igual extensão e detalhe. Deixar de produzir um mapa de isoteores de mercúrio total, poderia implicar na perda de uma importante oportunidade de se obter um referencial sobre a presença de mercúrio nos vários pontos da bacia, que dificilmente poderá ser suprida em outro momento.

Os mapas apresentados têm como limites o contorno da sub-bacia e mostram isolinhas que indicam os valores de mercúrio total presentes. A cor de fundo varia de amarelo, representando os valores mais baixos, a vermelho, representando os valores mais altos, conforme escala constante dos mapas. Não foi apresentada escala de distância, uma vez que as coordenadas geográficas expressas no mapa estão em unidades UTM, onde cada valor unitário representa um metro.

A análise dos mapas mostra que os padrões de dispersão do mercúrio total nas duas profundidades são semelhantes, com valores altos e baixos tendendo a ocupar o mesmo espaço geográfico. As maiores concentrações de mercúrio ocupam a parte alta da sub-bacia, dominada por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares da Formação Parecis e pelos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos, enquanto que as menores concentrações ocupam a parte baixa, dominada por sedimentos terciário/quaternários e recentes e solos do tipo neossolos flúvicos e gleissolos.

#### 4.9.1. Desvio de krigagem ordinária

O mapa de desvios de krigagem constantes nas figuras 24 e 25, da mesma forma que os anteriores, têm como limites o contorno da sub-bacia e mostram isolinhas que indicam os valores do erro associado à estimação. A cor de fundo varia de amarelo, representando os valores mais baixos, a vermelho, representando os valores mais altos, conforme escala constante dos mapas. Não foi apresentada escala de distância, uma vez que as coordenadas geográficas expressas no mapa estão em unidades UTM, onde cada valor unitário representa um metro.

Os mapas mostram claramente que a incerteza ou o erro do processo de estimação cresce com o aumento de distância em relação aos pontos amostrados, como conseqüência, as áreas inacessíveis da bacia apresentam os maiores desvios.

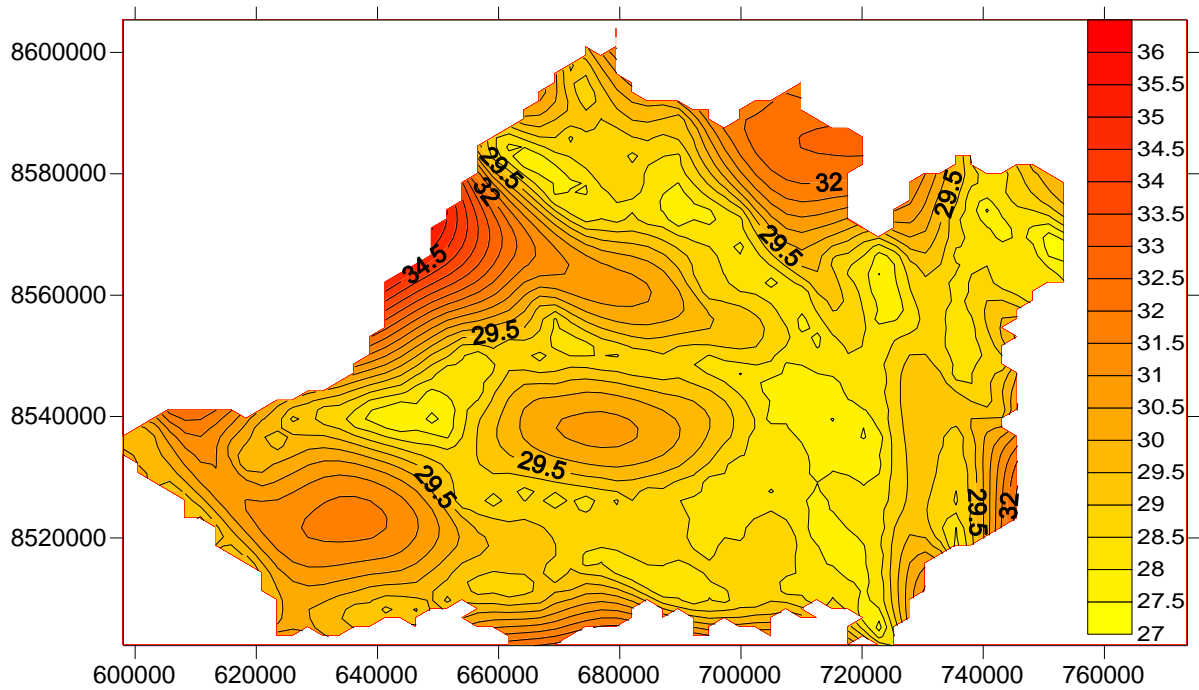


Figura 24: Mapa de desvio de krigagem ordinária de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$

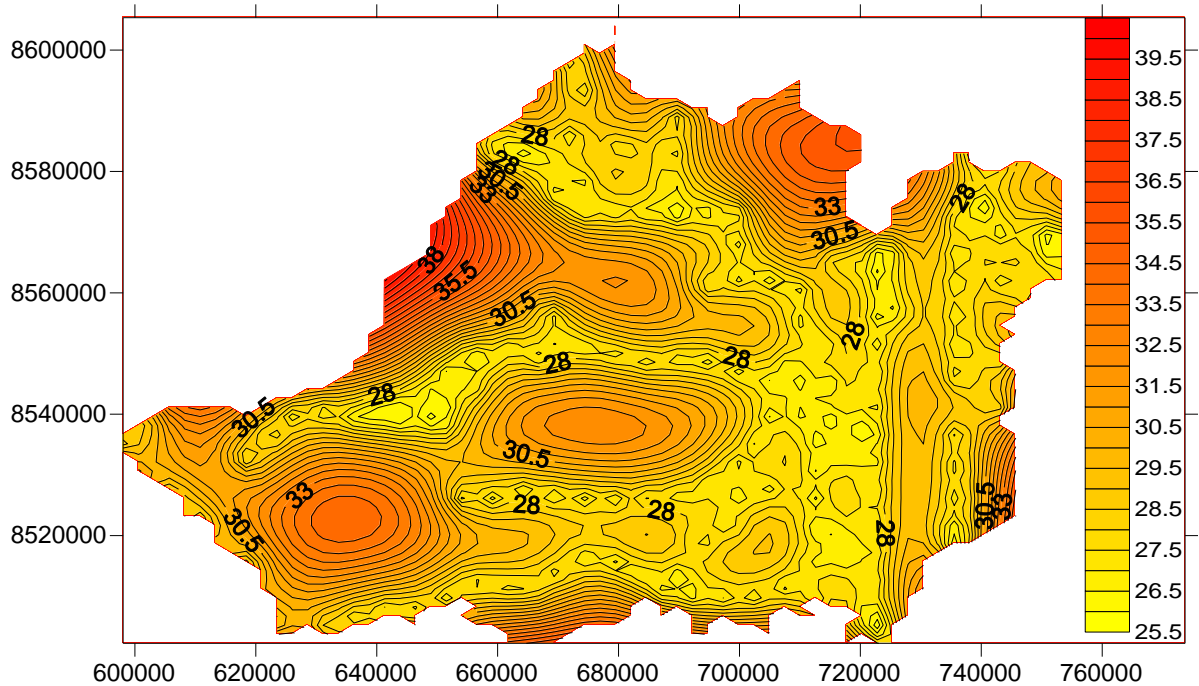


Figura 25: Mapa de desvio de krigagem ordinária de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ .

#### 4.10. Krigagem indicativa

Os mapas de isolinhas de mercúrio total obtidos por meio de krigagem indicativa, constantes das figuras 26 e 27, foram produzidos com o objetivo de estabelecer o padrão de dispersão do mercúrio total na sub-bacia. Em ambos os mapas foi usado como nível de corte a mediana, sendo que para a profundidade de 0 a 10 cm este valor é de  $62,06 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e para a profundidade de 10 a 30 cm este valor é  $67,13 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de mercúrio total.

Tal qual os mapas de krigagem ordinária, apresentam como limites o contorno da sub-bacia e mostram isolinhas que indicam a probabilidade de ocorrência de valores acima dos níveis de corte. A cor de fundo varia de amarelo, representando as menores probabilidades, a vermelho, representando as maiores probabilidades de ocorrência de valores de mercúrio total acima do nível de corte, conforme escala constante do mapa. Não foi apresentada escala de distância, uma vez que as coordenadas geográficas expressas no mapa estão em unidades UTM, onde cada valor unitário representa um metro.

A análise dos mapas mostra que os padrões de dispersão do mercúrio total nas duas profundidades são semelhantes, com maiores probabilidades de ocorrência de valores acima do nível de corte e menores probabilidades de ocorrência de valores acima do nível de corte, tendendo a ocupar o mesmo espaço geográfico. As maiores probabilidades de ocorrência de valores acima do nível de corte de mercúrio total ocupam a parte alta da sub-bacia, dominada por rochas metamórficas, ígneas e sedimentares da Formação Parecis e pelos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos. As menores probabilidades de ocorrências de valores acima do nível de corte ocupam a parte baixa, dominada por sedimentos terciário/quaternários e recentes, neossolos e gleissolos.

Chama a atenção na análise dos mapas, o fato do padrão de dispersão na profundidade de 0 a 10 cm apresentar uma aparente maior homogeneidade na dispersão, do que na profundidade de 10 a 30 cm. Esta aparente homogeneidade está representada pelo desenho mais suave das isolinhas, bem como pelo menor número de isolinhas para representar a distribuição. Cabe ressaltar que, quando da edição do mapa, foram usados os mesmos critérios para estabelecimento das isolinhas, de tal sorte que a diferença no padrão de dispersão não resulta de edição, mas sim da representação real da dispersão.

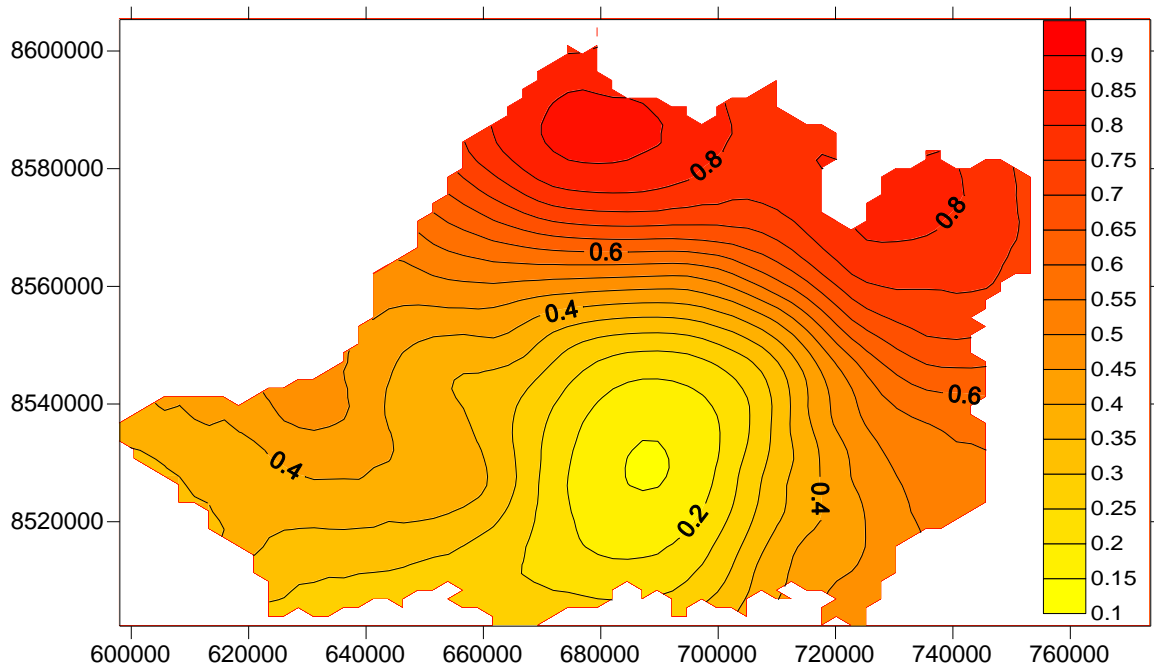


Figura 26: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm, obtidos por krigagem indicativa. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ .

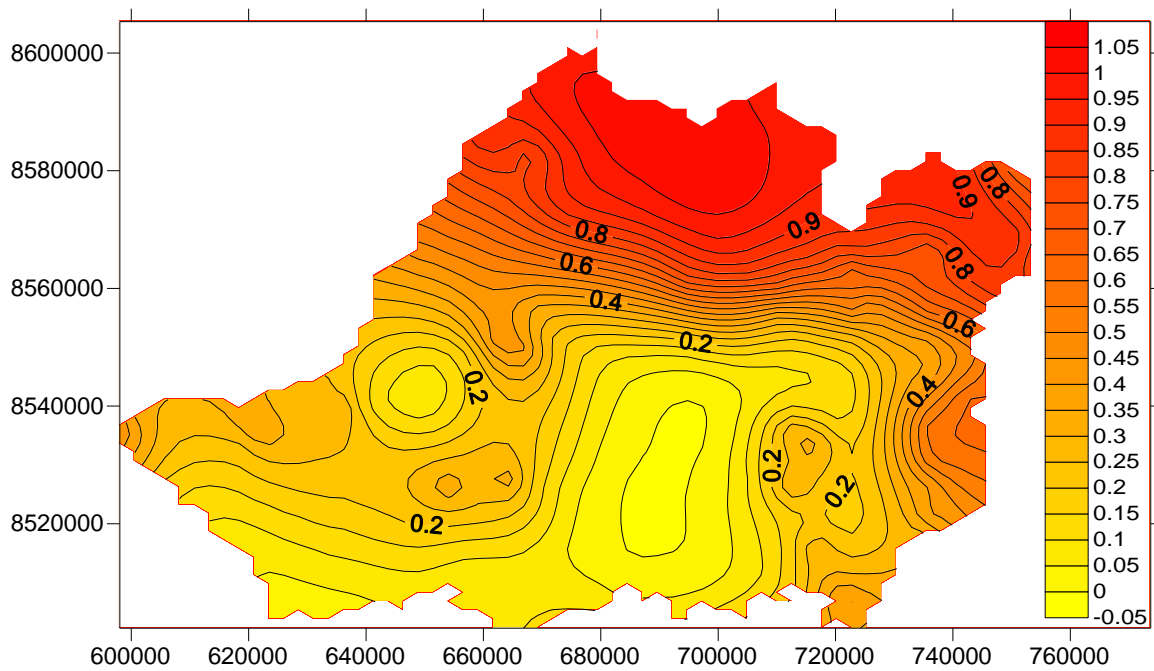


Figura 27: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm, obtidos por krigagem indicativa. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ .

Como o mercúrio em solos é um elemento mobilizável ou remobilizável, esta aparente homogeneidade da camada superficial pode resultar da atuação mais intensa de fenômenos naturais, tais como a insolação, erosão e/ou a lixiviação, ou mesmo da ação antrópica, através da conversão de áreas de floresta em áreas de agricultura ou pastagem, como agentes da uniformização do padrão de dispersão do mercúrio.

#### 4.11. Superfície indicativa

Os mapas das superfícies indicativas de mercúrio total constantes das figuras 28 e 29 foram apresentados, devido a particularidade de mostrarem em três dimensões as maiores e menores probabilidades de ocorrência de valores acima do nível de corte. A parte norte/nordeste da sub-bacia, como já ressaltado em todos os mapas apresentados anteriormente, mostra a maior probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte, enquanto a parte sul/sudoeste, a menor probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte.

De especial interesse nestes mapas são as áreas ressaltadas pelos números 1, 2 e 3, localizadas no interior da sub-bacia e a sudoeste, onde se situa a parte baixa submetida a inundação sazonal. A probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte está ressaltada com picos, principalmente na profundidade de 10 a 30 cm.

Os picos ressaltados com os números 1 e 2 coincidem com a ocorrência de manchas isoladas de latossolos, junto com afloramentos do embasamento. Os picos localizados próximos ao número 3 representam pequenas manchas de latossolos dispersas. No mapa de superfície indicativa da profundidade de 10 a 30 cm, pode-se observar ainda a ocorrência de picos assinalados pelo número 4. Estes picos ocupam uma área onde ocorrem várias transições, com alternância geológica de sedimentos aluvionares e coluvionares pleistocênicos, coberturas terciário/quaternário indiferenciadas e manchas de arenitos da Formação Parecis, assim como latossolos e neossolos.

Tais picos devem resultar de amostras tomadas alternadamente em solos com maior probabilidade de ocorrência de valores de mercúrio total acima do nível de corte, como os latossolos e neossolos quartzarênicos e onde a probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte é baixa, tais como os neossolos flúvicos e gleissolos.

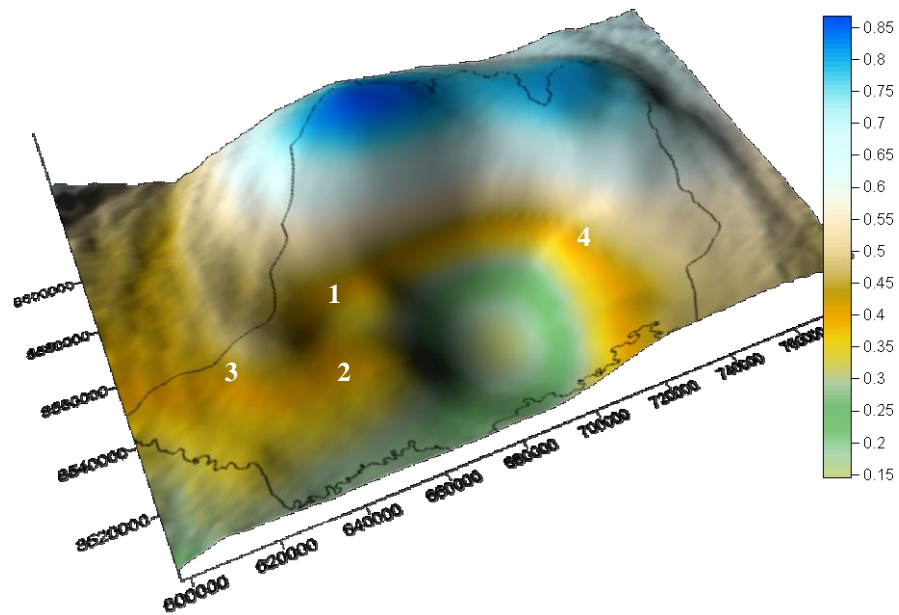


Figura 28: Mapa da superfície indicativa de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm

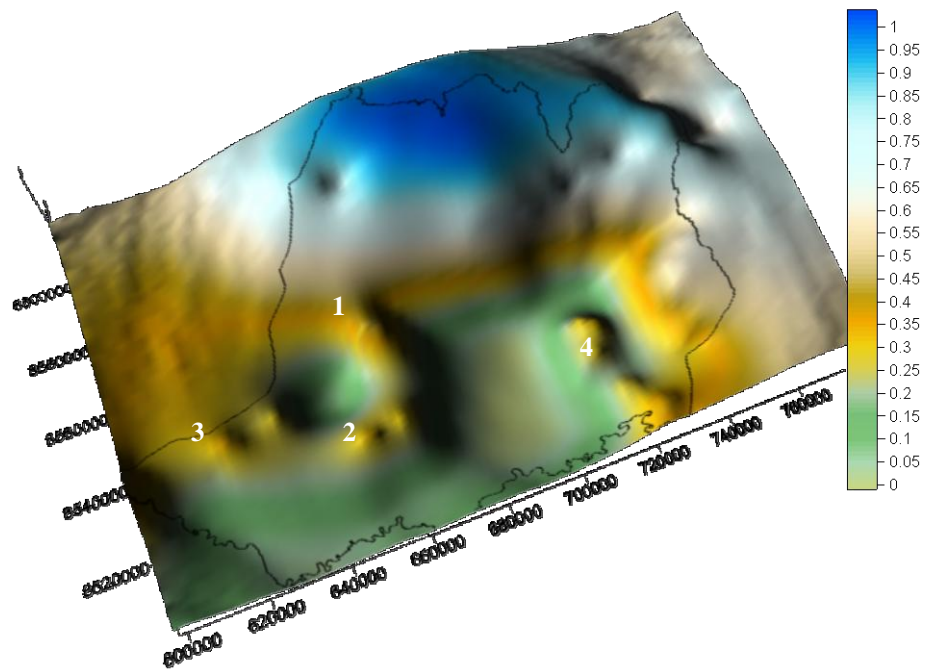


Figura 29: Mapa da superfície indicativa de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 10 a 30 cm

Estes mapas demonstram de forma muito evidente o controle dos solos, da geologia e da geomorfologia sobre o padrão de dispersão do mercúrio, assim como a adequação do processo de interpolação usado à realidade física observada em campo.



## 5. ANÁLISE DO PADRÃO ESPACIAL DA DISPERSÃO

Ao iniciar a discussão a respeito do padrão espacial da dispersão do mercúrio total na sub-bacia do rio Corumbiara, é importante abordar a questão relativa às duas profundidades amostradas (0 a 10 cm e 10 a 30 cm). Tal procedimento foi adotado para verificar se havia diferença significativa entre o comportamento do mercúrio na superfície do solo (0 a 10 cm), área presumivelmente mais sujeita às intempéries e ação antrópica e em sub-superfície (10 a 30 cm), local em que o solo estaria mais preservado em suas características.

Os resultados mostram que não há diferenças significativas entre os dois padrões de dispersão, com probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte ocupando praticamente os mesmos espaços geográficos. Os resultados obtidos através do índice de correlação simples (Pearson) para os valores de mercúrio total presentes nas amostras de ambas as camadas foi de 0,877, indicam que há uma forte correlação entre os mesmos, de tal sorte que tendem a variar juntos, ou seja, a medida que o teor de mercúrio total tende a aumentar na profundidade de 0 a 10 cm, tende a aumentar também na profundidade de 10 a 30 cm e vice-versa. O deslocamento da nuvem de pontos no diagrama de dispersão indica que os valores tendem a aumentar com a profundidade.

O aumento ou diminuição da concentração de mercúrio com a profundidade em solos da região Amazônica ainda se constitui matéria de discussão, não estando totalmente esclarecida. Lacerda et al. (1999), ao estudar a distribuição de mercúrio em perfis de solos em área de floresta, reporta o enriquecimento da camada superficial em mercúrio, creditando tal fato a presença de matéria orgânica, o que também foi relatado por Aula et al. (1994).

Já Oliveira et al. (2007), conclui que nos solos Amazônicos o mercúrio é acumulado tanto na camada superficial orgânica, geralmente associado com deposição atmosférica, quanto no horizonte mineral associado ao processo de intemperismo laterítico.

A relação do mercúrio com matéria orgânica também se constitui em matéria controversa. Roulet e Lucotte (1995) ao estudarem solos da Guiana Francesa, estabeleceram que o mercúrio se correlaciona melhor com substâncias húmicas do que com matéria orgânica. Roulet et al. (1998), por sua vez, estudando solos da bacia do rio Tapajós verificaram ausência de relações entre o mercúrio e o carbono orgânico, ao passo que Lacerda et al. (2004), aponta para a forte relação entre os mesmos. Herrmann (2004) ao estudar a presença de mercúrio em um latossolo de Rondônia, também encontrou baixa correlação e negativa, ou seja, a medida que aumentava a matéria orgânica presente no solo, diminuía o teor de mercúrio.

No que se refere às concentrações médias de mercúrio total encontradas na área estudada, estas apresentam valores inferiores aos de outras regiões da Amazônia, citando-se como exemplo a bacia do baixo Tapajós com valores variando entre 90 a 210  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Roulet et al., 1998), bacia do rio Tocantins 80 a 120  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Aula et al., 1994), bacia do Rio Negro 172  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  em média (Fadini e Jardim, 2001) e Serra do Navio no Amapá 100 a 300  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Fostier et al., 2000). Na bacia do Rio Madeira foram observadas concentrações de 35 a 300  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Lacerda et al., 1987), 30 a 340  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Malm et al., 1991a) e 232 a 439  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  (Lechler et al., 2000), sendo estes últimos valores obtidos ao longo da calha do rio e a jusante da área garimpeira.

Herrmann (2004) encontrou valores variando de 122,11  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  a 182,79  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , com média de 149,20  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  para um latossolo no estado de Rondônia. Estes resultados são maiores que os observados nos latossolos da área da sub-bacia do rio Corumbiara, onde a média entre as duas profundidades foi de 100,92  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , com médias parciais de 97,56  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 0 a 10 cm e 104,29  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , na profundidade de 10 a 30 cm.

Os teores médios obtidos para cada tipo de solo apresentam-se semelhantes para ambas as profundidades. No entanto, há uma variação entre os tipos de solos de aproximadamente 341%, considerando-se a média inferior (32,96  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  – Gleissolos) e a média superior (112,61  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  – Neossolo Quartzarênico), indicando que o número representativo do valor médio de mercúrio total presente na sub-bacia deve ser utilizado com a devida cautela. Além disto, o

mercúrio apresenta alta variabilidade natural na sua concentração, conforme discutido por Lacerda et al. (2004) e Herrmann (2004).

O padrão de dispersão do mercúrio na sub-bacia apresenta uma clara variação de norte/nordeste para sul/sudoeste, tanto para a camada de 0 – 10 cm, como para a camada 10 – 30 cm, com maior probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte a norte/nordeste e menor probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte no sul/sudoeste. Este padrão acompanha a geomorfologia da sub-bacia, uma vez que a maior probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte se situa onde o relevo é mais alto.

Os latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos ocupam a totalidade da parte média/alta da sub-bacia, coincidindo com as unidades geomorfológicas de natureza erosiva (superfície de aplanamento, agrupamentos de morros e colinas e superfícies tabulares), assim como com as áreas de afloramento do embasamento e coberturas terciário-quadernárias indiferenciadas. Os latossolos apresentam média geral de  $102,92 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , com médias parciais de  $97,56 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 0 – 10 cm e  $104,29 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 10 a 30 cm. Os argissolos apresentam média geral de  $88,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , com médias parciais de  $86,79 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 0 – 10 cm e  $90,42 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 10 a 30 cm.

Os neossolos quartzarênicos ocupam o topo da Formação Parecis e, conseqüentemente, a parte mais alta da sub-bacia. As concentrações de mercúrio total encontrado nas amostras apresentaram média geral de  $112,61 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , com médias parciais de  $104,95 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 0 – 10 cm e  $120,27 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade de 10 a 30 cm.

A parte baixa da sub-bacia, é ocupada em sua maior parte pelos gleissolos, os quais apresentam média geral de  $32,96 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de mercúrio total, com média parciais de  $34,82 \mu\text{g.kg}^{-1}$  para a profundidade de 0 a 10 cm e  $32,82 \mu\text{g.kg}^{-1}$  para a profundidade de 10 a 30 cm. Os neossolos flúvicos, também ocorrentes na parte baixa da sub-bacia, apresentam média geral de  $63,09 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de mercúrio total, com média parciais de  $61,79 \mu\text{g.kg}^{-1}$  para a profundidade de 0 a 10 cm e  $64,40 \mu\text{g.kg}^{-1}$  para a profundidade de 10 a 30 cm. Estes solos coincidem com a unidade geomorfológica agradacional denominada de Planícies Aluviais e Depressões e com a unidade geológica constituída por Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Holocênicos.

As relações observadas manifestam-se ao contrário do constatado por Vieira et al. (2001), o qual comparou a presença de mercúrio em solos atuais e paleo-solos da região da Formação Alter do Chão em Manaus/AM, tendo encontrado incremento de 100% no conteúdo de

mercúrio nos solos atuais, em relação aos paleo-solos. Tal fato pode ter sua origem nas condições ambientais da planície aluvial, onde se encontram os solos mais recentes, principalmente os gleissolos, de natureza hidromórfica.

Como já relatado, estes solos ocorrem em regiões com excesso de água de forma periódica ou permanente, drenagem precária com déficit acentuado de oxigênio, em estado quase permanente de redução, desenvolvendo-se normalmente em regiões pantanosas, com abundância de matéria orgânica. Estas condições podem estar favorecendo a liberação de mercúrio contido no solo para o meio hídrico e a sua remoção do ambiente local, devido a reações de redução que produzem importantes modificações geoquímicas no ambiente, tais como a dissolução dos óxidos de ferro com liberação concomitante do mercúrio, conforme relatado por Roulet e Lucotte (1995) e Roulet et al. (1996).

Corroborando esta afirmativa os valores de mercúrio total encontrado nos neossolos flúvicos, no valor de aproximadamente o dobro do presente nos gleissolos, embora ambos ocupando a parte baixa da sub-bacia. A diferença entre ambos está justamente nas condições de hidromorfismo, redutoras e de abundante matéria orgânica presente nos gleissolos e ausentes no neossolo flúvico, de tal sorte que este último sofreria menos ação química para liberação do mercúrio.

Valle (2005), estudando a distribuição de mercúrio em diferentes solos da região de Manaus, já havia observado que a localização geográfica e o tipo de solo influenciam a distribuição da concentração de mercúrio. Por sua vez, Wasserman et al. (2003) alertam para o fato de que os latossolos e possivelmente os solos podzólicos (atuais argissolos), atuam como “absorvedores de mercúrio” na Amazônia, abordando ainda a necessidade de maiores esforços no sentido de compreender estes mecanismos de absorção.

Estas relações se revestem de especial importância, na medida que a parte da sub-bacia ocupada pelos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos é justamente àquela que se encontra sob intensa pressão antrópica, inicialmente pela atividade pecuária e atualmente pela implantação de lavouras de cana-de-açúcar e soja. Tais atividades favorecem os processos erosivos justamente onde a probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte é maior e, conseqüentemente, a chegada do mercúrio ao meio hídrico.

A simples visualização do padrão de drenagem da bacia (figuras 30 e 31), mostra o quanto a região com maior probabilidade de ocorrência de valores acima do nível de corte se

encontra sujeita à erosão, concentrando as nascentes da maioria dos igarapés que abastecem o rio Corumbiara e as nascentes do próprio rio Corumbiara.

O rio Corumbiara, por sua vez, apresenta-se como o principal coletor dos sedimentos provenientes da erosão dos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos, canalizando este material para a planície de inundação do rio Guaporé e para o interior do Parque Estadual Corumbiara, unidade de conservação dotada de ecossistemas frágeis, abrigando importante biodiversidade e beleza paisagística impar.

### 5.1. O rio Corumbiara

O rio Corumbiara ocupa uma posição geograficamente estratégica na sub-bacia, pois se encontra em grande parte marcando o limite entre a parte baixa (planície aluvial a sul/sudoeste) e as unidades erosivas (unidades denudacionais a norte/nordeste) (figuras 30 e 31). Seus tributários assumem aspecto arborescente junto as suas cabeceiras, localizadas na parte alta da sub-bacia, passando posteriormente a adquirir padrão paralelo, finalmente desaguando no rio Corumbiara.

Tais padrões estão relacionados ao tipo de unidade geomorfológica por onde a drenagem está fluindo, uma vez que adquire padrão arborescente onde se encontram presentes as unidades denudacionais, de natureza erosiva, e padrão paralelo, onde se posiciona a unidade agradacional, de natureza deposicional.

A parte alta da sub-bacia é dominada pelos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos, justamente aqueles que demonstram maiores concentrações relativas de mercúrio. Assim, o posicionamento do rio Corumbiara o torna o grande coletor de mercúrio, seja sob forma de material em suspensão, produto dos processos físicos erosionais, seja sob forma de mercúrio lixiviado ou metil-mercúrio.

É importante lembrar, conforme exposto por Roulet *et al.* (2000, 2001) que a erosão do solo é uma importante fonte de incremento nas concentrações de mercúrio em sedimentos superficiais de vários ecossistemas aquáticos e da coluna d'água, juntamente com finas partículas ricas em aluminossilicatos e óxidos e hidróxidos de ferro e alumínio. Por outro lado, Wang *et al.* (2004), expressam que é a segunda fonte antropogênica mais importante para disponibilização de mercúrio para o meio hídrico e, segundo Rodrigues-Filho (2001), a terceira maior fonte de mercúrio da Amazônia Brasileira.

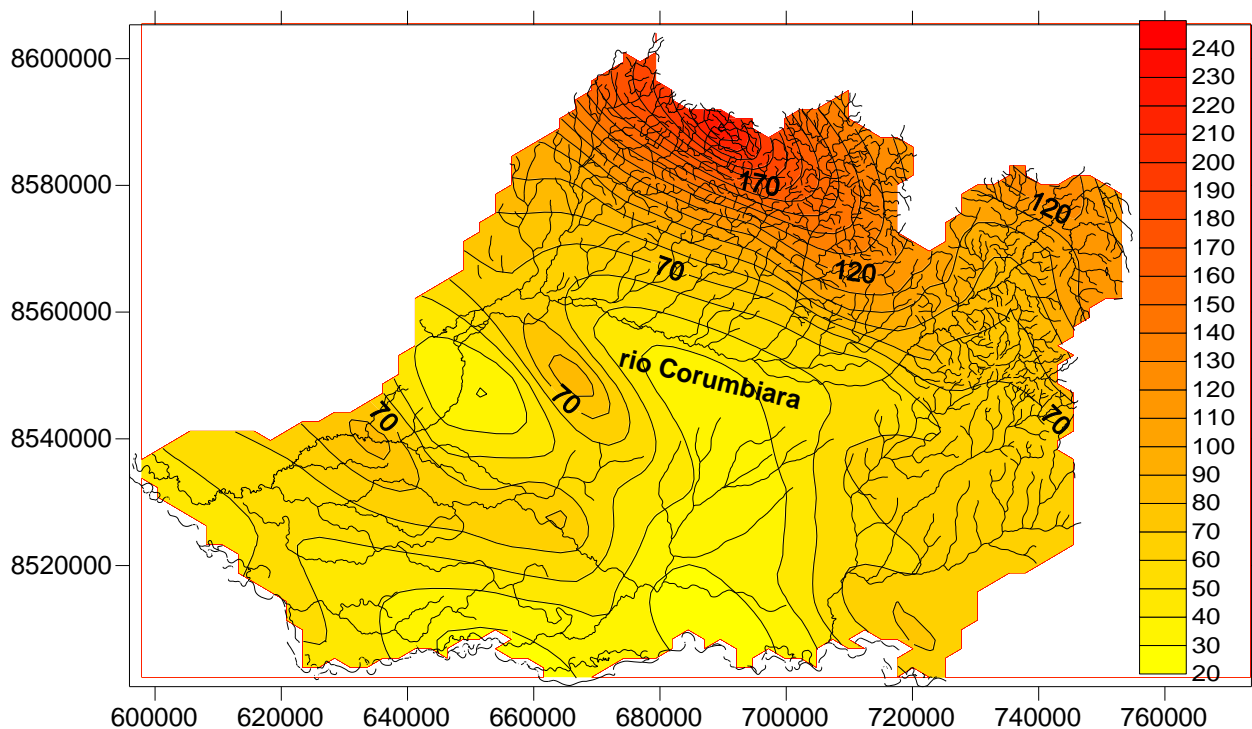


Figura 30: Mapa de isolinhas de mercúrio total presente na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm, obtidos por krigagem ordinária. Escala em  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ .

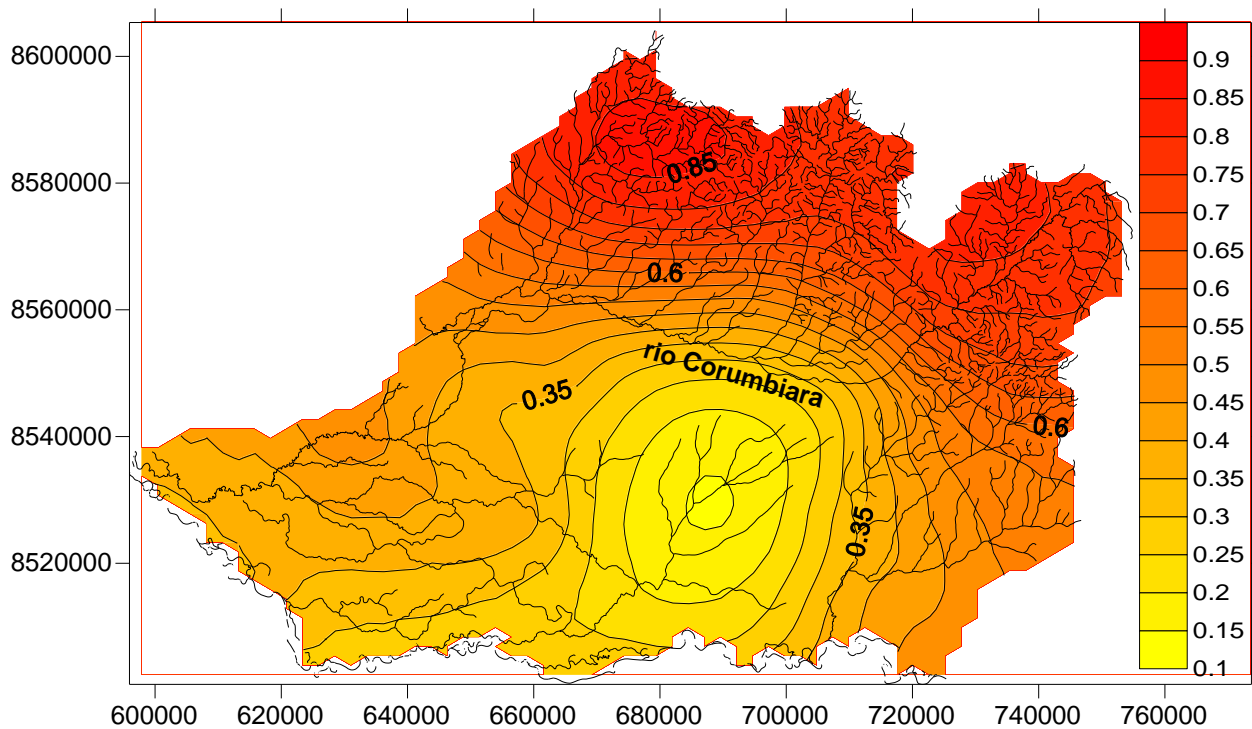


Figura 31: Mapa de probabilidade de ocorrência de mercúrio total acima do nível de corte ( $62,06 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) na sub-bacia do rio Corumbiara na profundidade de 0 a 10 cm.

Ainda segundo Wang et al.(op. cit.), os insumos agrícolas se constituem na quarta maior fonte antropogênica de mercúrio para o meio hídrico. Novamente, a parte alta da sub-bacia é a região que se encontra sob maior pressão de expansão da agricultura, tanto no que se refere a implantação recente das lavouras de soja, quanto a implantação de indústria canavieira na região.

Contribuindo ainda para tornar a situação mais delicada, está o fato que o rio Corumbiara, próximo a sua foz, corta a grande planície de inundação do rio Guaporé, área baixa, periodicamente inundada pela cheia sazonal, momento em que o ambiente lacustrino/pantanosos, com águas paradas, levemente ácidas, com pouca oxigenação e muita matéria orgânica, favorece os processos de metilação e biodisponibilização do mercúrio, conforme já exaustivamente discutido na literatura. A cheia sazonal ocorre justamente no período das chuvas, que corresponde ao momento em que se intensificam os processos erosivos na parte alta da sub-bacia.

O Parque Estadual Corumbiara, estabelecido com o objetivo de proteger importantes ecossistemas regionais, bem como proteger uma extensa planície de inundação, berçário e fonte de alimentos para uma enorme variedade de peixes, pode estar ameaçado pela ocupação antrópica da parte alta da sub-bacia, localizada muitas vezes a dezenas de quilômetros de distância e por um dos mais tóxicos metais contaminantes, o mercúrio, único elemento químico capaz de sofrer o fenômeno da biomagnificação (UNEP,2002).

A imagem do Shuttle Radar Topography Mission – SRTM (figura 32), sob forma de modelo digital do terreno, é elucidativa no que se refere ao posicionamento espacial das unidades geológicas, geomorfológicas e de solos, bem como dos fenômenos erosivos e deposicionais que estão se processando.

A análise visual da imagem permite identificar claramente as nascentes do rio Corumbiara e seus principais tributários na parte alta da sub-bacia, com as rochas da Formação Arenito Parecis constituindo altos em forma de platôs. Estes platôs constituem a unidade geomorfológica denominada de Superfície Tabular e os solos são os Neossolos Quartzarênicos.

Também na parte alta da sub-bacia, em nível inferior às rochas da Formação Arenito Parecis, porém onde o relevo se mostra significativamente movimentado, ocorre a Formação Basalto Anari, o Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste e os Granitos Tardi a Pós-Rondonianos. As unidades geomorfológicas correspondentes a estas unidades são o Agrupamento de Morros e Colinas e a Superfície de Aplanamento e os tipos de solo dominantes são o Latossolo e o Argissolo.

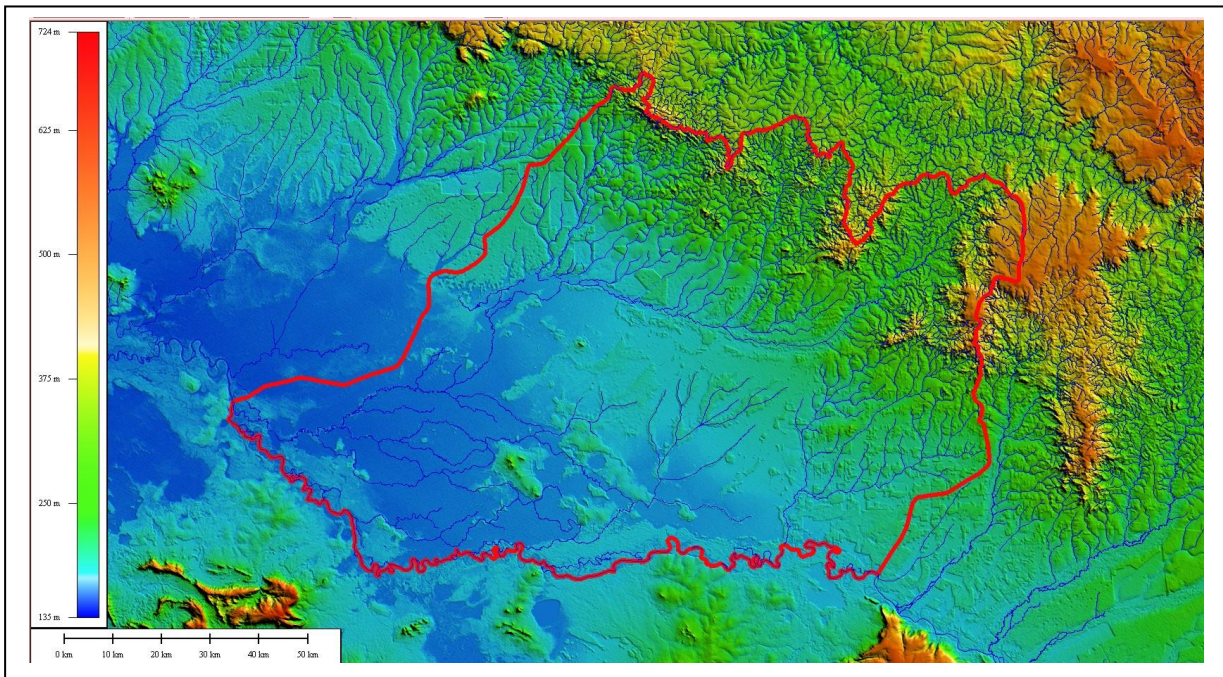


Figura 32: Imagem SRTM da área da sub-bacia do rio Corumbiara e adjacências, referente ao ano de 2006. Escala colorimétrica com altura em metros.

Na seqüência, em direção ao centro da sub-bacia, onde o relevo se mostra sob forma de leques dissecados, ocorrem as Coberturas Terciário-Quaternárias indiferenciadas. Neste local, passa a vigorar o regime de deposição de sedimentos, com a unidade geomorfológica denominada de Planícies Aluviais e Depressões, permanecendo os Latossolos como dominantes, com a rede de drenagem tendendo a adquirir padrão paralelo.

Na parte mais baixa da sub-bacia ocorrem os Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Pleistocênicos, os quais manifestam coloração azul clara na imagem e são recobertos por solos do tipo Neossolos Flúvicos. Ocorrem também os Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Holocênicos, que manifestam coloração azul escura, com solos do tipo Gleissolo.

O rio Corumbiara, como já ressaltado, tem suas nascentes e a de seus tributários em área erosiva e a partir do seu curso médio, passa fluir sobre unidade geomorfológica de natureza deposicional, denominada de Planícies Aluviais e depressões. Tal fato permite inferir que os sedimentos erodidos na parte alta da sub-bacia, estão sendo depositados na parte baixa, especialmente onde se localizam os Gleissolos.



Este fato cria um paradoxo, uma vez que os solos erodidos apresentam as maiores concentrações relativas de mercúrio, com uma média de  $100,71 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (Neossolo Quartzarênico, Latossolo e Argissolo), enquanto que os solos presentes na parte baixa da sub-bacia apresentam as menores concentrações relativas de mercúrio total, com uma média de  $48,02 \mu\text{g.kg}^{-1}$  (Neossolo Flúvico e Gleissolo). Considerando-se ainda que parte significativa do curso do rio Corumbiara se posiciona sobre Gleissolos, a diferença fica mais acentuada, pois estes solos apresentam em média  $32,96 \mu\text{g.kg}^{-1}$  de mercúrio total.

Tal fato leva a crer que parte significativa do mercúrio presente nos sedimentos erodidos pelo rio Corumbiara, ao se depositarem na parte baixa da sub-bacia, especialmente onde se posicionam os Gleissolos, deve estar sendo disponibilizada para o ambiente. A natureza dos Gleissolos, cuja formação envolve ambientes submetidos a enchentes periódicas, ambientes ricos em matéria orgânica e pobres em oxigênio, com águas ricas em ácidos húmicos, os quais emprestam a característica coloração escura (tipo guaraná) para a água, corroboram esta hipótese.

Vale ressaltar que, durante os trabalhos de campo, foi possível identificar claramente este tipo de ambiente, inclusive percorrendo o mesmo por quilômetros e quilômetros, com lâmina d'água variando em torno de 0,5 metros.

## 5.2. Uma proposta de *background*

Embora não fazendo parte dos objetivos deste trabalho, mas em base ao nível de detalhe obtido, a quantidade de amostras, a sua distribuição na sub-bacia, assim como a variedade de solos presentes, torna-se possível fazer uma proposta de *background* de mercúrio total para a área.

Neste aspecto, é importante ressaltar a presença de dois grandes compartimentos ambientais principais na sub-bacia, bem caracterizados geológica e geomorfologicamente: a parte alta da sub-bacia, dominada pelo latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos e a extensa planície aluvial, dominada pelos neossolos flúvicos e gleissolos.

A diferença entre as concentrações médias de mercúrio total presente em ambos os compartimentos é significativa, de tal sorte que a simples média se apresenta como um número aparentemente desprovido de consistência, tal como já abordado, uma vez que entre a média do mercúrio total presente nos gleissolos e nos neossolos quartzarênicos, tem-se uma diferença de 341%.

Assim, propõe-se a adoção de um *background* de 100,71  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  para os latossolos (100,92  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ), argissolos (88,60  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ) e neossolos quartzarênicos (112,61  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ), posicionados na parte média/alta da sub-bacia e outro para a planície de inundação do rio Guaporé de 48,02  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ , correspondente aos neossolos flúvicos (63,09  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ) e gleissolos (32,96  $\mu\text{g.kg}^{-1}$ ).

## 6. CONCLUSÕES

Através da realização do presente estudo, utilizando-se da geoestatística como ferramenta para estabelecimento do padrão da dispersão espacial do mercúrio total presente nos solos da sub-bacia do rio Corumbiara, pode-se chegar às seguintes conclusões:

- Os semi-variogramas elaborados permitiram verificar que a variável mercúrio se comporta como uma variável regionalizada, que a direção de maior continuidade da dispersão é noroeste/sudeste, grosseiramente paralela ao posicionamento espacial das unidades geológicas, geomorfológicas e de solos, e a de maior variabilidade é nordeste/sudoeste, perpendicular a estas mesmas unidades, apresentando anisotropia geométrica;
- Os padrões de dispersão do mercúrio total nas duas profundidades amostradas indicam que as maiores concentrações se encontram na parte alta da sub-bacia, a norte e nordeste, ocupada pelos latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos, geomorfologicamente pelas unidades denudacionais (superfície tabular, agrupamento de morros e colinas e superfície de aplanamento) e geologicamente pela Formação Parecis, Formação Basalto Anari, Granitóides Tardi a Pós-Rondonianos, Grupo Meta-Vulcano-Sedimentar Colorado do Oeste e Coberturas Terciário-Quaternárias Indiferenciadas;
- As menores concentrações de mercúrio total se encontram na parte baixa da sub-bacia, a sul e sudoeste, ocupada pelos Gleissolos e Neossolos Flúvicos, geomorfologicamente pela Unidade Agradacional denominada de Planícies Aluviais e Depressões e geologicamente pelos Sedimentos Aluvionares e Coluvionares Pleistocênicos e Holocênicos;
- Não foram diagnosticadas diferenças significativas no padrão de dispersão entre as profundidades amostradas, sendo que o índice de correlação simples (0,877) indica que há uma

forte correlação entre os valores de mercúrio total obtido para ambas as camadas, com tendência ao aumento dos teores da profundidade de 0 a 10 cm para a profundidade de 10 a 30 cm;

- O valor médio do mercúrio total presente nas duas profundidades de solo amostradas da sub-bacia foi de  $74,54 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , sendo  $72,91 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade 0 – 10 cm e  $76,18 \mu\text{g.kg}^{-1}$  na profundidade 10 – 30 cm, mostrando-se inferiores aos de outras regiões da Amazônia, tais como as bacias dos rios Negro, Tapajós e Madeira e da Serra do Navio;

- Os Neossolos Quartzarênicos apresentaram as maiores concentrações médias de mercúrio total, da ordem de  $112,61 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , seguido pelos Latossolos com  $100,92 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , Argissolos com  $88,60 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , Neossolos Flúvicos com  $63,09 \mu\text{g.kg}^{-1}$  e Gleissolos com  $32,96 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ;

- A diferença de 341% entre a concentração média de mercúrio total nos Gleissolos ( $32,96 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ) e nos Neossolos Quartzarênicos ( $112,61 \mu\text{g.kg}^{-1}$ ), indicam que não é significativo o estabelecimento de um *background* para a sub-bacia. Como alternativa, propõe-se um *background* por compartimento ambiental, ou seja, parte alta da sub-bacia com  $100,71 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , dominada pelos Neossolos Quartzarênicos, Latossolos e Argissolos, e parte baixa da sub-bacia com  $48,02 \mu\text{g.kg}^{-1}$ , dominada pelos Neossolos Flúvicos e Gleissolos;

- O rio Corumbiara tem suas nascentes e a de seus principais tributários na parte alta da sub-bacia, dominada por unidades geomorfológicas de natureza erosiva e com solos com as maiores concentrações relativas de mercúrio total. O seu médio curso e foz se localizam na parte baixa da sub-bacia, dominada por unidade geomorfológica de natureza agradacional, com solos com as menores concentrações relativas de mercúrio;

- A ocupação antrópica da parte alta da sub-bacia, com estabelecimento de agricultura e pecuária, favorece os processos erosivos e, conseqüentemente, a chegada de sedimentos com carga relativamente alta de mercúrio total ao meio hídrico. A recente implantação das lavouras de soja e cana-de-açúcar na área da sub-bacia, intensivas em insumos agrícolas, constitui-se em outra importante fonte de mercúrio para o meio-hídrico;

- O aparente paradoxo entre a elevada concentração relativa de mercúrio total nos sedimentos erodidos pelo rio Corumbiara e as concentrações relativamente baixas nos sedimentos da área de deposição, pode ser explicado pela natureza pantanosa do ambiente, o qual favorece a metilação e a remoção do mercúrio destes sedimentos.

- A síntese da análise do padrão de dispersão do mercúrio total em solos da sub-bacia do rio Corumbiara, é que a mesma possui a fonte de mercúrio (latossolos, argissolos e neossolos quartzarênicos da parte alta da sub-bacia, além das fontes antropogênicas), o mecanismo de remoção deste mercúrio do solo e chegada ao meio hídrico (ocupação antrópica com estabelecimento de agricultura e pecuária em área de ocorrência de unidades geomorfológicas de natureza erosiva), o meio de transporte (rio Corumbiara) e o local adequado para a sua deposição e metilação (extensa planície aluvial do rio Guaporé), todos concatenados.

## 7. REFERÊNCIAS

AKAGI, H.; MALM, O.; BRANCHES, F. J. P.; KINJO, Y.; KASHIMA, Y.; GUIMARÃES, J. R. D.; OLIVEIRA, R. B.; HARAGUCHI, K.; PFEIFFER, W. C.; TAKIZAWA, Y. Human exposure to mercury due to goldmining in the Tapajos river basin Amazon, Brazil: speciation of mercury in human hair, blood and urine. Water, Air and Soil Pollution, Netherlands, n. 80, p. 85 – 94, 1994.

ARTAXO, P.; DE CAMPOS, R. C.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; XIÃO, Z.; LINDQVIST, O.; FERNANDEZ-JIMENES, M. T.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. Atmosferic Environment, Amsterdan, n. 34, p. 4085 – 4096, 2.000.

AULA, B. H.; LEINO, T.; MALIN, I.; PORVARI, P.; HATANAKA, T.; LODENIUS, M.; JURAS, A. Levels of mercury in the Tucurui reservoir and its surrounding area in Para, Brazil. Mercury Pollution, Helsiki, p. 21-40, 1994.

BASTOS, W. R. Métodos de digestão utilizando microondas para determinação automatizada de Hg em amostras ambientais e humanas: implantação de laboratórios e avaliação da qualidade analítica. 1997. Dissertação (Mestrado em ciências biológicas – biofísica) – Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 1997.

BASTOS, W. R.; MALM, O.; PFEIFFER, W. C.; CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon, Brazil. Ciência e Cultura, São Paulo, n. 50, p. 255 – 260, 1998.

BAEYENS, W.; EBINGHAUS, R.; VASILIEV, O. Global and regional mercury cycles: sources, fluxes and mass balance. Kluwer Academi Publishers: Dordrecht, 1996, 588 p.

BASTOS, W. R.; GOMES, J. P. O.; OLIVEIRA, R. C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E. L.; BERNARDI, J. V. E.; LACERDA, L. D., PFEIFFER, W. C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River basin, Amazon, Brazil. Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 368, p. 344-351, 2006.

BARBOSA, A. C.; DE SOUZA, J.; DÓREA, J. G.; JARDIM, W. F.; FADINI, P. S. Mercury Biomagnification in a Tropical Black Water, Rio Negro, Brazil. Arch. Environ. Contam. Toxicol., Stanford, n. 45, p. 235–246, 2003.

BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F. O. comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente. Química Nova, São Paulo, n. 4, p. 593-600, 2004.

BRANCHES, F. J.; ERICKSON T. B.; AKS S. E.; HRYHORCZUK D. O. The price of gold: mercury exposure in the Amazonian rain forest. Journal of Toxicology: Clinical Toxicology, Philadelphia, n. 31, p. 295 – 306, 1993.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. Projeto RADAM Brasil. Folha SC.20 Porto Velho; geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 1978.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Levantamento de reconhecimento de média intensidade dos solos e avaliação da aptidão agrícola das terras do Estado de Rondônia. Rio de Janeiro, 1983, 558 p.

BRASIL. Universidade Federal de Rondônia. Departamento de Geografia. Projeto Gestão territorial e desenvolvimento sustentável da bacia do rio Corumbiara. Porto Velho, 2006.

BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Mapa Geológico do Estado de Rondônia ao Milionésimo: mapa e texto explicativo. Porto Velho, 2007.

BRASIL. Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais. Geologia e Recursos Minerais da Folha Pimenteiras (SD.20-X-D). Porto Velho, no prelo.

BRASIL. Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Sistema Brasileiro de Classificação de Solos. 2. Ed., Rio de Janeiro: Embrapa Solos, 2006.

BUSS, D. F.; BAPTISTA, D. F.; NESSIMIAN, J. L. Conceptual basis for the application of biomonitoring on stream water quality programs. Cadernos de Saúde Pública, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p. 465-473, 2003.

CORDEIRO, R. C.; TURCQ, B.; RIBEIRO, M. G.; LACERDA, L. D.; CAPITÂNEO, J.; DA SILVA, A. O.; SIFFEDINE, A.; TURCQ, P. M. Forest fire indicators and Mercury deposition in an intensive land use change region in the brazilian Amazon (Alta Floresta, MT). The Science of The Total Environment, Amsterdam, v. 293, p. 247 – 256, 2002.

CREPANI, E.; MEDEIROS, J. S. Imagens fotográficas derivadas de MNT do SRTM para fointerpretação na geologia, geomorfologia e pedologia.. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2004. 40 p. (INPE-11238-RPQ/761). Disponível na biblioteca digital URLib: <<http://iris.sid.inpe.br:1912/rep-/sid.inpe.br/sergio/2004/08.24.10.39>> Acesso em: 04 out. 2008.

ERSOY, A.; YOUNSEL, T. Y.; CETIM, M. Characterization of land contamination by past heavy metal mining using geostatistical methods. Environmental Contamination Toxicology, New York, n. 46, p. 162 – 175, 2004.

FACCHINELLI, A.; SACCHI, E.; MALLEEN, L. Multivariate statistical and GIS-based approach to identify heavy metal sources in soil. Environmental pollution, Amsterdam, n. 114, p. 313 – 324, 2001.

FADINI, P. S.; JARDIM, W. F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 275, p. 71-82, 2001.

FORSBERG, B. R.; FORSBERG, M. C. S.; PADOVANI, C. R.; SARGENTINI, E.; MALM, O. High levels of mercury in fish and human hair from Rio Negro Basin (Brazilian Amazon): Natural background or antropogenic contamination? In: INTERNATIONAL WORKSHOP ON



ENVIRONMENTAL MERCURY POLLUTION AND HEALTH EFFECTS IN THE AMAZON RIVER BASIN: 1., 1995, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro, [1995], p 33- 40.

FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; GUIMARÃES, J. R.; MELFI, A. J.; BOULET, R.; ESPIRITO SANTO, C. M.; KRUG, F. J. Mercury fluxes in a natural forested Amazonian catchment (Serra do Navio, Amapá State, Brazil). The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 260, p. 201- 211, 2000.

FREEDMAN, B. Environmental ecology: the impacts of pollution and others stresses on ecosystem structure and function. San Diego: Academic Press, 1989. 399 p.

GOMES, J. P. O.; NASCIMENTO, E. L.; ALMEIDA, R.; BASTOS, W. R.; BERNARDI, J. V. E.; BARROS, P. R. H. B. Distribuição espacial das concentrações de mercúrio em sólidos em suspensão no alto Rio Madeira – Rondônia. Jornal da Sociedade Brasileira de Ecotoxicologia, São Paulo, n. 2, p. 1 – 5, 2006.

GUERRA, P. A. G. Geoestatística Operacional. Brasília: Departamento Nacional da Produção Mineral, 1988. 145 p.

GUIMARÃES, J. R. Follow-up of mercury levels in fish, human, hair and urine in the Madeira and Tapajós Basins, Amazon, Brazil. Water, Air, and Soil Pollution, Netherlands, n. 58, p. 223 – 229, 1997.

GUIMARÃES, J. R. D; MEILI, M.; MAIL, O.; BRITO E. M. S. Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake in the pantanal floodplain, Brazil. The Science of the Total Environment. Amsterdam, n. 213, p. 165 – 175, 1998.

GUIMARÃES, J. R. D. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 261, p.91 – 98, 2000.

HACON, S.; ARTAXO P.; GERAB, F.; YAMASOE, M. A.; CAMPOS, R. C.; CONTI, L. F.; LACERDA, L. D. Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon basin. Water, Air and Soil Pollution, Netherlands, n. 80, p. 273 – 283, 1996.

HAIR, J. R; ANDERSON, J. F.; TATHAM, R. L; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5 ed. Porto Alegre: Bookmann, 2005, 600 p.

HERRMANN, J. C. Merúrio em solos de Rondônia: a geoestatística como ferramenta de análise da influência da ação antrópica (um estudo de caso). 2004. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) - Departamento de Geografia, Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, 2004.

ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA, R. M. An introduction to applied geostatistics. Oxford: P. Imprensa, 1989. 561 p.

IRIONDO, M. Modelos Sedimentarios de Cuencas Continentales: las llanuras de Agradación. In: CONGRESO LATINOAMERICANO DE HIDROCARBUROS, 1.; EXPOSICIÓN DE BIENES Y SERVICIOS PRODUCIDOS EN LATINOAMÉRICA PARA LA INDUSTRIA HIDROCARBURÍFERA, 1., 1986, Buenos Aires. Anais... Buenos Aires, [1986], v. 1, p.81 - 98.

JARDIM, W. F.; FADINI, P. S. A origem do mercúrio nas águas do Rio Negro. Ciência Hoje, Rio de Janeiro, v. 30, n. 177, p. 62 -64, 2001.

JOURNEL, A.G. Non-parametric estimation of spatial distribution. Mathematical Geology, New York, n. 15, p. 445 - 468, 1983.

KANAROGLOU, P. S.; SOULAKELLIS, N. A.; SIFAKIS, N. I. Improvement of satellite derived pollution maps with the use of a geostatistical interpolation method. Journal of Geographical System, Berlin, n. 4, p. 193 – 208, 2002.

KRAMAR, D.; GOODALE, W. M.; KENNEDY, L. M.; CARSTENSEN, L. W.; KAUR, T. Relating Land Cover Characteristics and Common Loon Mercury Levels Using Geographic Information Systems. Ecotoxicology, Netherlands, n. 14, p. 253–262, 2005

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; SILVEIRA, E. G.; BASTOS, W. R.; SOUZA, C. M. M. Contaminação por mercúrio na Amazônia: Análise preliminar do Rio Madeira, RO. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 1., 1987, Porto Alegre. Anais... Porto Alegre, 1987, p. 295-299.

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; OTT, A. T.; SILVEIRA, E. G. Mercury contamination the Madeira river. Amazon: Mercury inputs to the environment. Biotropica, Zurich, n. 21, p. 91 – 93, 1989

LACERDA, L. D.; DE PAULA, F. C.; OVALLE, A. R. C.; PFEIFFER, W. C.; MALM, O. Trace metals in fluvial sediments of the Madeira River watershed, Amazon, Brazil. The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 97, p. 525-530, 1990

LACERDA, L. D.; PFEIFFER, W. C.; BASTAS, W. R. Mercury dispersal in the Pocone Region, Mato Grosso State, Central Brazil. Ciência e Cultura, São Paulo, n. 43, p. 317 – 320, 1991.

LACERDA, L. D. Amazon mercury emission. Nature, n. 374, p. 20-21, 1995.

LACERDA, L. D.; RIBEIRO JUNIOR, M. G.; SOUZA, M.; AYRES, G. A. Distribuição de mercúrio em solos e sedimentos lacustres na região de Alta Floresta, MT. Série Tecnologia Ambiental, Rio de Janeiro, n. 3, 23 p., 1999

LACERDA, L. D.; SOUZA, M.; RIBEIRO, M. G. The effects of land use change on mercury distribution in soils of Alta Floresta, Southern Amazon. Environmental Pollution, Amsterdam, n. 129, p. 247 - 255, 2004.

LACERDA, L. D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas. Estudos Avançados, São Paulo, v. 22, n. 63, p. 173 – 190, 2008.

LANDIM, P. M. B. Análise Estatística de Dados Geológicos. São Paulo: Fundação Editora da UNESP, 1998, 226 p.

LANDIM, P. M. B. Introdução aos métodos de estimação espacial para confecção de mapas. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático n. 2, 20 p. 2000. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 09 fev. 2006.

LANDIM, P. M. B.; STURARO, J. R. *Krigagem indicativa aplicada a elaboração de mapas probabilísticos de risco*. DGA, IGCE, UNESP/Rio Claro, Lab. Geomatemática, Texto Didático n. 6, 19 p. 2002. Disponível em: <<http://www.rc.unesp.br/igce/aplicada/textodi.html>>. Acesso em: 09 fev. 2006.

LEBEL, J. Mercury poisoning in the Amazon: the tip of the iceberg. International Development Research Centre, Canadá, 1999.

LECHLER, P. J.; MILLER, J. R.; LACERDA, L. D.; VINSON, D.; BONZONGO, J. C.; LYONS, W. B.; WARWICK, J. J. Elevated mercury concentrations in soil, sediments, water and

fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 260, p. 87 – 96, 2000.

LIN, Y.; CHANG, T.; SHIH, C.; TSENG, C. Factorial and indicator kriging methods using a geographic information system to delineate spatial variations and pollution sources of heavy metals. Environmental Geology, Berlin, v. 42, n. 8, p. 900 – 909, 2002.

MAGARELLI, G. Fluxos de mercúrio gasoso na interface solo/atmosfera na bacia do rio Negro utilizando câmaras dinâmicas de fluxo. 2006. Tese (Doutorado) - Instituto de Química, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2006.

MALM, O.; PFEIFFER, W. C.; SOUZA, C. M. M.; REUTER, R. Mercury Pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. AMBIO, Stockholm, v. 19, n. 1, p.11 – 15, 1990.

MALM, O. Estudo da contaminação ambiental e humana por Hg na região garimpeira de ouro do Rio Madeira, Amazônia. 1991. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) – Instituto de Biofísica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C. M. M. Main pathways of mercury in the Madeira river area, Rondônia, Brazil. INTERNATIONAL CONFERENCE HEAVY METALS IN THE ENVIRONMENT, 8., 1991, Edinburg. Proceedings... Edinburg, [1991], p. 515-518.

MALM, O.; BRANCHES, F. J.; AKAGI, H.; CASTRO, M. B.; PFEIFFER, W. C.; HARADA, M.; BASTOS, W. R.; KATO, H. Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajós river basin, Brazil. The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 175, p. 141 - 150, 1995a.

MALM, O; CASTRO, M. B.; BASTOS, W. R.; BRANCHES, F. J. P.; ZUFFO, C. E.; PFEIFFER, W. C. An assessment of Hg pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil. The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 175, p. 127 – 140, 1995b.

MALM, O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. Environmental Research, Amsterdam, n. 77, p. 73 - 78, 1998.

MARINS, R. V.; IMBASSAY, J. A.; PFEIFFER, W. C.; BASTOS, W. R. Contaminação atmosférica de mercúrio em área produtora de ouro no distrito de Poconé, MT. In: INTERNATIONAL SIMPOSIUM OF ENVIRONMENT ESTUDIES TROPICAL FOREST, 1., 1991, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro, [1991], p. 209 – 213.

- MEECH, J. A.; VEIGA, M. M.; TROMANS, D. Emissions and stability of mercury in the Amazon. Canadian Metallurgical Quarterly, Canadá, n. 36, p. 231-239, 1997.
- MIRETZKY, P.; BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F.; ROCHA, J. C. Factors affecting Hg (II) adsorption in soils from the Rio Negro basin (Amazon). Química Nova, São Paulo, v. 28, n. 3, p. 438 – 443, 2005.
- MITRA, S. Mercury in the ecosystem: Its dispersion and pollution today. Trans Tech Publications, Switzerland, 1986. 327 p.
- MOREIRA, J. C. Threats by heavy metals: human and environmental contamination in Brazil. The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 188 (Suppl.), p. S61 – S71, 1996.
- NOTÍCIAS do Campo. Rondônia. Apresenta informações especializadas em agronegócios. Disponível em: <<http://www.noticiasdo campo.com.br>>. Acesso em: 8 nov. 2008.
- ODUM, E. P. Ecologia. Rio de Janeiro, Guanabara, 1988. 434 p.
- OLIVEIRA, L. C.; SERUDO, R. L.; BOTERO, W. G.; MENDONÇA, A. G. R.; SANTOS, A.; ROCHA, J. C.; CARVALHO NETO, F. S. Distribuição do mercúrio em diferentes solos da bacia do médio rio Negro-AM: influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio. Química Nova, São Paulo, v. 30, n. 2, p. 274 – 280, 2007.
- OLIVEIRA, S. M. B.; MELFIA, J.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; FAVARO, D. I. T.; BOULET, R. Soils as an important sink for mercury in the amazon. Water, Air and Soil Pollution, Netherlands, v. 126, n. 3-4, p. 321 – 337, 2001.
- PANNATIER, Y. Variowin: Software for spatial data analysis in 2D. 1995. PhD thesis - University of Lausanne, Switzerland, 1995, 91 p.
- PFEIFFER, W. C., LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. Environmental Technology Letter, New York, n. 9, p. 325 – 330, 1988
- PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D.; MALM, O.; SOUZA, C. M. M.; SILVEIRA, E. G.; BASTOS, W. R. Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rondônia, Brazil. The Science of the Total Environment, Amsterdam, n. 87/88, p. 233-240, 1989.
- PIRRONE, N.; MAHAFFEY, R. D. Dynamics of Mercury pollution on regional and global scales. New York, Springer, 2005, 744 p.

RODRIGUES-FILHO, S. Determinação dos níveis de “background” e avaliação do grau de contaminação por metais pesados em sub-bacias hidrográficas das regiões garimpeiras de Poconé (MT) (Hg, Cu, Pb, Zn, Fé e Mn) e Alta Floresta (Hg). 1994. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Departamento de Geoquímica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Niterói, 1994.

RODRIGUES-FILHO, S., RIBEIRO JR, M. G., VILLAS BÔAS, R. C. Hg geochemical dynamics as a reference for environmental control in gold mining sites. CETEM/MCT, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <<http://w3.cetem.gov.br/imaac/Publications/Books/Mercury.pdf>>. Acessado em: 06 nov. 2008.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Planejamento e Coordenação Geral. 2ª Aproximação do Zoneamento Socioeconômico e Ecológico. Porto Velho, 2002a.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Atlas geoambiental de Rondônia. Porto Velho, 2002b.

RONDÔNIA. Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM). Boletim Climatológico de Rondônia Ano 2006. Porto Velho, 2007.

ROULET, M.; LUCOTTE, M. Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferralitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. Water Air Soil Pollution, Netherlands, n. 80, p. 1079 – 1088, 1995.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; RHEAULT, I.; TRAN, S.; FARELLA, N.; CANUEL, R.; MERGLER, D.; AMORIM, M; Mercury in Amazonian soils: accumulation and release. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON THE GEOCHEMISTRY OF THE EARTH'S SURFACE, 4., 1996, Edinburg. Proceedings... Edinburg, [1996]. p. 453 - 457.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAINT-AUBIN, A.; TRAN, S.; RHÉAULT, I.; FARELLA, N.; SILVA, E. J; DEZENCOURT, J.; PASSOS, C. J.; SOARES, G. S.; GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. The Science of Total Environment, Amsterdam, n. 223, p. 1 – 24, 1998.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N.; SERIQUE, G.; COELHO, H.; PASSOS, C. J. S.; SILVA, E. J; ANDRADE, P. S.; MERGLER, D.; GUIMARÃES, J. R. D.; AMORIM, M.

Effects of the human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. Water, Air and Soil Pollution, Netherlands, n. 112, p. 297-313, 1999.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; FARELLA, N.; COURCELLES, M.; GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. Chemical Geology, Montreal, n. 165, p. 243 - 266, 2000a.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; GUIMARÃES, J. R. D.; RHEAULT, I. Methylmercury in water, seston and epiphyton of an Amazonian river and its floodplain, Tapajós River, Brazil. The Science of Total Environment, Amsterdam, n. 261, p. 43 – 59, 2000b.

ROULET, M.; GUIMARÃES, J. R. D.; LUCOTTE, M. Methylmercury production and accumulation in sediments and soils of an Amazonian floodplain – effect of seasonal inundation. Water, Air and Soil Pollution, Netherlands, n. 128, p. 41 - 60, 2001a.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; FARELLA, N.; FREITAS, Y.G.; PELEJA, J. R. P.; GUIMARÃES, J. R. D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. Spatio temporal geochemistry of mercury in waters of the Tapajós and Amazon rivers, Brazil. Limnology and Oceanography, Montreal, v. 46, n.5, p. 1141 - 1157, 2001b.

SALOMONS, W; STIGLIANI, V. M. Biogeodynamics of pollutants in soils and sediments – Risk assessment of delayed and non-linear responses. Germany: Springer, 1995. 352 p.

SANTOS, E. C. O.; CÂMARA, V. M.; BRABO, E. S.; BRITO, L. E. C.; JESUS, I.M.; FAYAL, K.; SAGICA, F. Avaliação dos níveis de exposição ao mercúrio entre índios Pakaanóva, Amazônia, Brasil. Caderno de Saúde Pública, Rio de Janeiro, n. 19, p. 199 - 206, 2003.

SILVA, G. S. A dinâmica biogeoquímica do mercúrio na bacia do rio Negro (AM) e fluxos na interface água/atmosfera. 2004. Tese (Doutorado) – Departamento de Química Analítica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SILVEIRA, E. G. Mobilização do mercúrio e outros elementos no Rio Madeira/RO entre as cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio. 1998. Tese (Doutorado em Geociências e Ciências Exatas) – Instituto de Geologia e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 1998.

SOARES, A. Geoestatística para as ciências da terra e do ambiente. Lisboa: IST, 2000. 201 p.

STURARO, J. R.; LANDIM, P. M. B; RIEDEL, P. S. O emprego da técnica geoestatística da krigagem indicativa em geotecnia ambiental. Solos e Rochas – Revista Brasileira de Geotecnia, v. 23, p. 157-164, 2000.

STURARO, J. R. Mapeamento geoestatístico de propriedades geológico-geotécnicas obtidas em sondagens de simples reconhecimento. 1994. Tese (Doutorado em Engenharia – área de Geotecnia) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1994.

TELMER, K.; COSTA, M.; ANGÉLICA, R. S.; ARAUJO, E. S.; MAURICE, Y. The source and fate of sediment and mercury in the Tapajós River, Pará, Brazilian Amazon: Ground- and space-based evidence. Journal of Environmental Management, Oxford, v. 81, n. 2, p. 101 – 113, 2006.

UNEP – United Nations Environment Program. Chemicals: Global Mercury Assessment. Genebra, 2002.

VALLE, C. M. Especiação, quantificação, distribuição e comportamento redox do mercúrio em alguns solos da região de Manaus. 2005. Tese (Doutorado em Química Analítica) – Departamento de Química, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2005.

VEIGA, M. M.; MEECH, J. A.; OÑATES, N. Mercury Pollution from Deforestation, Nature, n. 368, p. 816 - 817, 1994.

VERGOTTI, M. Correlações de Hg com compostos químicos em perfis de sedimentos de lagos às margens do rio Madeira. 2001. Dissertação (Mestrado em Geociências) – Instituto de Geologia e Ciências Exatas – Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2001.

VIEIRA, L. C.; HORBE, A. M. C.; NOGUEIRA, A. C. R.; SUGUIO, K. Caracterização geoquímica de paleossolos da Formação Alter do Chão em Manaus – AM. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOQUÍMICA, 8., 2001, Curitiba. Anais..., Curitiba, 2001.

ZHANG, C; SELINUS, O. Statistics and GIS in environmental geochemistry – some problems and solutions. Journal of Geochemical Exploration, Amsterdam, v. 64, p. 339 – 354, 1998.

WANG, Q.; KIM, D.; DIONYSIOU, D. D.; SORIAL, G. A.; TIMBERLAKE, D. Sources and Remediation for Mercury Contamination in Aquatic Systems – a Literature Review. Environmental Pollution, Amsterdam, n. 131, p. 323 - 336, 2004.



WASSERMAN, J. C.; HACON, S. S.; WASSERMAN, M. A. O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. Mundo & Vida, Niteroi, v. 2, n. 1-2, p. 46 – 53, 2001.

WASSERMAN, J. C.; HACON, S.; WASSERMAN, M. A. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment. AMBIO, Suécia, v. 32, n. 5, 2003.

USHIZIMA, T. M; BERNARDI, J. V. E; LANDIM, P. M. B. Estudo da distribuição espacial do angico (*Anadenanthera peregrina*) na floresta estadual "Edmundo Navarro de Andrade" - Rio Claro -SP, Brasil, empregando metodologia geoestatística. Holos Environment, Rio Claro, v. 3, n. 1, p. 59 - 73, 2003.

## APÊNDICES

## APÊNDICE 01 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercurio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
D1	00_10 cm	SLBC 7688	s 13 11 12.2	o 60 45 53.2	52,57	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	ST
D2	00_10 cm	SLBC 7686	s 13 06 54.4	o 60 45 35.8	100,34	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
D3	00_10 cm	SLBC 7684	s 13 00 04.5	o 60 45 02.7	110,92	Pecuaria	Pastagem	Kp	Argi	AMC
D4	00_10 cm	SLBC 7682	s 12 55 39.4	o 60 45 21.1	54,56	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
D5	00_10 cm	SLBC 7680	s 12 55 50.2	o 60 40 16.6	99,01	Pecuaria	Pastagem	Kp	RQ	ST
Ponto 1	00_10 cm	SLBC 7706	s 13 13 45.6	o 60 49 14.8	57,50	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
Ponto 2	00_10 cm	SLBC 7708	s 13 16 34.8	o 60 49 12.4	79,19	Agricultura	Cultura anual	TQi	Lato	PAD
Ponto 3	00_10 cm	SLBC 7710	s 13 19 15.5	o 60 49 06.7	60,14	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
Ponto 4	00_10 cm	SLBC 7712	s 13 21 58.7	o 60 49 16.3	66,13	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
Ponto 5	00_10 cm	SLBC 7714	s 13 23 34.2	o 60 49 13.8	57,37	Pecuaria	Pastagem	Kp	RY	PAD
Ponto 5	00_10 cm	SLBC 7716	s 13 23 31.9	o 60 49 17.5	75,09	Floresta	Floresta	Kp	RY	PAD
Ponto 6	00_10 cm	SLBC 7704	s 13 08 31.8	o 60 49 15.6	63,09	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
Ponto 7	00_10 cm	SLBC 7702	s 13 05 48.1	o 60 49 13.5	65,62	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
Ponto 8	00_10 cm	SLBC 7700	s 13 03 04.5	o 60 49 14.4	68,12	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
Ponto 9	00_10 cm	SLBC 7698	s 13 00 15.3	o 60 49 23.9	57,33	Pecuaria	Pastagem	MPgr	Lato	SA
Ponto 10	00_10 cm	SLBC 7696	s 12 57 32.8	o 60 49 18.2	66,06	Floresta	Floresta	MPco	Lato	SA
Ponto 11	00_10 cm	SLBC 7694	s 12 54 42.1	o 60 49 16.0	87,27	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
Ponto 12	00_10 cm	SLBC 7692	s 12 53 08.3	o 60 47 17.4	118,91	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
Ponto 12A	00_10 cm	SLBC 7690	s 12 53 02.8	o 60 47 21.4	99,02	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
A0	00_10 cm	SLBC 7718	s 13 30 45.7	o 60 56 58.4	93,62	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
A1	00_10 cm	SLBC 7720	s 13 29 29.7	o 60 57 01.8	81,37	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
A1_F	00_10 cm	SLBC 7722	s 13 29 29.7	o 60 57 01.8	113,49	Floresta	Floresta	TQi	RY	PAD
A2	00_10 cm	SLBC 7724	s 13 26 46.5	o 60 57 02.4	59,68	Pecuaria	Pastagem	Kp	RY	PAD
A3	00_10 cm	SLBC 7726	s 13 24 11.1	o 60 57 00.9	53,57	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
A4	00_10 cm	SLBC 7728	s 13 21 30.2	o 60 57 01.3	52,78	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
A5	00_10 cm	SLBC 7730	s 13 18 47.9	o 60 57 01.4	77,70	Pecuaria	Pastagem	Kp	Lato	PAD
A6	00_10 cm	SLBC 7732	s 13 16 15.0	o 60 57 02.4	57,72	Agricultura	Cultura anual	TQi	Lato	PAD
A7	00_10 cm	SLBC 7734	s 13 13 34.7	o 60 57 02.3	65,47	Agricultura	Cultura anual	Qpa	Lato	PAD
A8	00_10 cm	SLBC 7736	s 13 10 56.5	o 60 57 01.5	50,72	Agricultura	Cultura anual	TQi	Lato	PAD
A9	00_10 cm	SLBC 7738	s 13 08 19.1	o 60 57 00.5	47,69	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD

## APÊNDICE 01 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
A10	00_10 cm	SLBC 7740	s 13 05 46.5	o 60 56 49.8	109,75	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
A11	00_10 cm	SLBC 7742	s 13 03 17.7	o 60 56 38.3	62,11	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
A12	00_10 cm	SLBC 7744	s 13 02 40.1	o 60 54 53.7	77,72	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	SA
A13	00_10 cm	SLBC 7746	s 13 00 49.3	o 60 56 12.9	95,54	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
A14	00_10 cm	SLBC 7748	s 12 59 04.8	o 60 56 44.7	68,93	Agricultura	Cultura anual	MPco	Lato	SA
A15	00_10 cm	SLBC 7750	s 12 57 17.5	o 60 55 46.4	102,37	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
SLBB1	00_10 cm	SLBC 7752	s 13 24 55.6	o 60 59 55.7	99,23	Floresta	Floresta	TQi	RY	PAD
SLBB2	00_10 cm	SLBC 7754	s 13 25 15.6	o 61 02 43.3	83,62	Floresta	Floresta	Kp	RY	PAD
SLBB3	00_10 cm	SLBC 7756	s 13 22 25.9	o 61 00 13.4	31,23	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
SLBB4	00_10 cm	SLBC 7758	s 13 22 12.1	o 61 02 19.3	48,95	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
SLBB5	00_10 cm	SLBC 7760	s 13 19 22.7	o 61 02 19.3	67,29	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
SLBB6	00_10 cm	SLBC 7762	s 13 16 47.9	o 61 02 18.7	50,60	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB7	00_10 cm	SLBC 7764	s 13 15 34.3	o 61 00 01.3	44,84	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB8	00_10 cm	SLBC 7766	s 13 13 22.3	o 60 58 08.1	72,59	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
SLBB9	00_10 cm	SLBC 7768	s 13 12 27.0	o 61 00 48.2	68,02	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
SLBB10	00_10 cm	SLBC 7770	s 13 14 17.7	o 61 02 18.2	125,91	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB11	00_10 cm	SLBC 7772	s 13 09 10.4	o 61 01 01.6	60,96	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB12	00_10 cm	SLBC 7774	s 13 09 12.5	o 61 03 55.0	54,94	Floresta	Floresta	TQi	Glei	PAD
SLBB14	00_10 cm	SLBC 7776	s 13 09 03.6	o 61 06 45.7	26,53	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB15	00_10 cm	SLBC 7778	s 13 08 13.6	o 61 09 32.8	60,28	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Glei	PAD
SLBB16	00_10 cm	SLBC 7780	s 13 07 12.3	o 61 12 14.6	31,18	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB17	00_10 cm	SLBC 7782	s 13 07 09.9	o 61 14 35.4	28,62	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB18	00_10 cm	SLBC 7784	s 13 11 52.9	o 61 03 31.0	48,94	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB19	00_10 cm	SLBC 7786	s 13 12 09.2	o 61 06 25.6	40,36	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB20	00_10 cm	SLBC 7788	s 13 14 30.1	o 61 07 36.7	53,84	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB21	00_10 cm	SLBC 7790	s 13 16 22.9	o 61 09 37.4	26,05	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB22	00_10 cm	SLBC 7792	s 13 18 12.9	o 61 11 42.9	22,20	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB23	00_10 cm	SLBC 7794	s 13 19 13.4	o 61 14 20.9	40,85	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB24	00_10 cm	SLBC 7796	s 13 19 33.9	o 61 17 14.7	22,07	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB25	00_10 cm	SLBC 7798	s 13 19 41.4	o 61 20 39.6	29,16	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD

## APÊNDICE 01 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
SLBB26	00_10 cm	SLBC 7800	s 13 19 37.4	o 61 23 27.5	53,43	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB27	00_10 cm	SLBC 7802	s 13 19 20.1	o 61 26 18.5	59,27	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB28	00_10 cm	SLBC 7804	s 13 18 58.4	o 61 29 07.0	77,85	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB28F	00_10 cm	SLBC 7806	s 13 18 58.4	o 61 29 07.0	138,08	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
SLBB29	00_10 cm	SLBC 7808	s 13 19 39.0	o 61 31 48.3	65,63	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
SLBB30	00_10 cm	SLBC 7810	s 13 19 34.7	o 61 34 40.2	85,54	Pecuaria	Pastagem	MPmr	Lato	AMC
SLBB31	00_10 cm	SLBC 7812	s 13 07 27.7	o 61 17 24.6	35,42	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Argi	PAD
SLBB32	00_10 cm	SLBC 7814	s 13 06 52.4	o 61 20 08.8	18,64	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB33	00_10 cm	SLBC 7816	s 13 06 18.7	o 61 22 54.0	47,24	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB34	00_10 cm	SLBC 7818	s 13 05 44.4	o 61 25 38.8	35,99	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB35	00_10 cm	SLBC 7820	s 13 03 09.3	o 61 26 32.7	12,49	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB36_cupim	00_10 cm	SLBC 7822	s 13 03 09.3	o 61 26 32.7	20,76	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB37	00_10 cm	SLBC 7824	s 13 05 34.0	o 61 01 42.5	19,80	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB38	00_10 cm	SLBC 7826	s 13 03 39.8	o 61 03 48.5	53,21	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
SLBB39	00_10 cm	SLBC 7828	s 13 00 52.3	o 61 03 56.9	125,35	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB13	00_10 cm	SLBC 7830	s 13 07 24.0	o 61 04 34.0	46,26	Floresta	Floresta	Qpa	Glei	PAD
B40	00_10 cm	SLBC 7832	s 12 59 53.5	o 61 06 37.2	128,68	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
B41	00_10 cm	SLBC 7834	s 12 59 53.2	o 61 09 36.9	49,11	Agricultura	Cultura perene	TQi	Lato	PAD
B42	00_10 cm	SLBC 7836	s 13 00 27.8	o 61 12 29.1	58,03	Agricultura	Cultura anual	Qpa	Glei	PAD
B43	00_10 cm	SLBC 7838	s 12 56 46.6	o 61 09 40.2	113,96	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
B44	00_10 cm	SLBC 7840	s 12 53 57.0	o 61 09 41.2	120,04	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
B45	00_10 cm	SLBC 7842	s 12 53 54.9	o 61 12 28.1	74,24	Floresta	Floresta	MPco	Argi	AMC
B46	00_10 cm	SLBC 7844	s 12 53 57.4	o 61 15 23.9	103,02	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
B46	00_10 cm	SLBC 7846	s 12 53 57.2	o 61 15 24.0	128,07	Floresta	Floresta	TQi	Lato	ST
B47	00_10 cm	SLBC 7848	s 12 51 10.8	o 61 15 41.9	132,93	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
B48	00_10 cm	SLBC 7850	s 12 48 23.7	o 61 15 40.2	170,39	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
B49	00_10 cm	SLBC 7852	s 12 53 58.6	o 61 18 17.4	95,47	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
B50	00_10 cm	SLBC 7854	s 12 54 01.0	o 61 21 11.3	78,59	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
B51	00_10 cm	SLBC 7856	s 12 54 03.6	o 61 23 58.9	80,44	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
B52	00_10 cm	SLBC 7858	s 12 52 28.4	o 61 26 25.9	89,11	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD

## APÊNDICE 01 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
B53	00_10 cm	SLBC 7860	s 12 49 15.0	o 61 27 13.0	67,77	Floresta	Floresta	TQi	Lato	ST
B54	00_10 cm	SLBC 7862	s 12 48 38.0	o 61 29 45.7	95,94	Pecuaria	Pastagem	Qha	Lato	PAD
B54	00_10 cm	SLBC 7864	s 12 48 37.9	o 61 29 45.3	85,84	Floresta	Floresta	Qha	Lato	PAD
B55	00_10 cm	SLBC 7866	s 12 48 33.4	o 61 32 38.4	114,54	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
B56	00_10 cm	SLBC 7868	s 12 45 40.0	o 61 32 46.0	91,14	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
C1	00_10 cm	SLBC 7870	s 13 32 22.2	o 60 55 16.3	50,84	Pecuaria	Pastagem	Qpa	RY	PAD
C2	00_10 cm	SLBC 7872	s 13 30 53.1	o 60 56 31.0	23,61	Floresta	Floresta	TQi	RY	PAD
C3	00_10 cm	SLBC 7874	s 13 28 38.7	o 61 02 09.5	44,98	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
C4	00_10 cm	SLBC 7876	s 13 27 18.5	o 61 05 00.0	83,59	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Glei	PAD
C5	00_10 cm	SLBC 7878	s 13 28 19.8	o 61 07 34.8	23,47	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C6	00_10 cm	SLBC 7880	s 13 28 29.4	o 61 10 21.7	31,87	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C7	00_10 cm	SLBC 7882	s 13 28 25.0	o 61 13 08.4	22,65	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C8	00_10 cm	SLBC 7884	s 13 27 59.3	o 61 16 00.3	16,45	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C9	00_10 cm	SLBC 7886	s 13 26 25.8	o 61 18 21.1	12,82	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C10	00_10 cm	SLBC 7888	s 13 25 15.8	o 61 20 50.5	20,97	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C11	00_10 cm	SLBC 7890	s 13 24 58.8	o 61 23 36.2	27,41	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C12	00_10 cm	SLBC 7892	s 13 26 29.2	o 61 25 52.4	52,08	Pecuaria	Cerrado	TQi	Lato	PAD
C13	00_10 cm	SLBC 7894	s 13 27 44.3	o 61 28 20.8	12,56	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C14	00_10 cm	SLBC 7896	s 13 27 32.9	o 61 30 57.7	33,56	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SL01	00_10 cm	SLBC 8406	s 13 11 53.8	o 61 42 07.2	116,38	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SL02	00_10 cm	SLBC 8408	s 13 12 32.0	o 61 44 46.0	148,83	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL03	00_10 cm	SLBC 8410	s 13 12 00.0	o 61 47 29.0	80,57	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL04	00_10 cm	SLBC 8412	s 13 12 20.7	o 61 50 13.6	66,73	Parque	Cerrado	Qha	RY	PAD
SL05	00_10 cm	SLBC 8414	s 13 14 11.0	o 61 52 15.0	56,46	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL06	00_10 cm	SLBC 8416	s 13 16 10.0	o 61 54 23.0	48,35	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL07	00_10 cm	SLBC 8418	s 13 14 46.0	o 62 05 42.0	22,71	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL08	00_10 cm	SLBC 8420	s 13 12 37.0	o 62 04 04.0	62,06	Parque	Floresta	Qpa	Glei	PAD
SL09	00_10 cm	SLBC 8422	s 13 19 38.0	o 62 01 30.0	33,76	Parque	Floresta	Qpa	RY	PAD
SL10	00_10 cm	SLBC 8424	s 13 21 57.0	o 61 58 28.0	38,35	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL11	00_10 cm	SLBC 8426	s 13 25 47.0	o 61 54 19.0	80,67	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD

## APÊNDICE 01 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
SL12	00_10 cm	SLBC 8428	s 13 30 48.0	o 61 52 03.0	37,03	Parque	Cerrado	Qha	RY	PAD
SL13	00_10 cm	SLBC 8430	s 13 31 25.0	o 61 46 37.0	59,30	Pecuaria	Pastagem	Qha	RY	PAD
ST01	00_10 cm	SLBC 8432	s 13 12 28.0	o 61 42 50.0	28,05	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST02	00_10 cm	SLBC 8434	s 13 12 57.0	o 61 40 06.0	23,45	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST03	00_10 cm	SLBC 8436	s 13 12 33.0	o 61 37 22.0	34,03	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST04	00_10 cm	SLBC 8438	s 13 11 27.0	o 61 35 59.0	40,64	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST05	00_10 cm	SLBC 8440	s 13 13 10.0	o 61 36 41.0	67,56	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST06	00_10 cm	SLBC 8442	s 13 11 18.0	o 61 40 20.0	8,90	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST07	00_10 cm	SLBC 8444	s 13 09 59.0	o 61 37 57.0	25,09	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST08	00_10 cm	SLBC 8446	s 13 08 15.0	o 61 36 16.0	19,44	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST09	00_10 cm	SLBC 8448	s 13 09 40.0	o 61 33 54.0	8,19	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST10	00_10 cm	SLBC 8450	s 13 07 13.0	o 61 32 37.0	17,00	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST11	00_10 cm	SLBC 8452	s 13 06 52.0	o 61 33 59.0	11,72	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST12	00_10 cm	SLBC 8454	s 13 06 14.0	o 61 30 07.0	113,25	Pecuaria	Pastagem	MPmr	Lato	PAD
ST13	00_10 cm	SLBC 8456	s 13 07 04.0	o 61 27 31.0	180,89	Agricultura	Cultura perene	Qpa	Lato	ST
ST14	00_10 cm	SLBC 8458	s 13 18 42.0	o 61 06 11.0	66,41	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST15	00_10 cm	SLBC 8460	s 13 19 30.0	o 61 08 53.0	40,54	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST16	00_10 cm	SLBC 8462	s 13 21 58.0	o 61 10 09.0	23,68	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
ST17	00_10 cm	SLBC 8464	s 13 23 21.0	o 61 12 47.0	54,47	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST18	00_10 cm	SLBC 8466	s 13 26 20.0	o 61 14 29.0	16,21	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST20	00_10 cm	SLBC 8468	s 13 30 25.0	o 61 44 01.0	35,19	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Glei	PAD
ST21	00_10 cm	SLBC 8470	s 13 29 46.0	o 61 41 19.0	28,05	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST22	00_10 cm	SLBC 8472	s 13 29 49.0	o 61 38 43.0	17,19	Pecuaria	Cerrado	Qha	RY	PAD
ST23	00_10 cm	SLBC 8474	s 13 28 33.0	o 61 35 56.0	24,05	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST24	00_10 cm	SLBC 8476	s 13 27 15.0	o 61 33 42.0	20,41	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
1D	00_10 cm	SLBC 11195	s 12 54 11.3	o 60 28 39.6	138,08	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
2D	00_10 cm	SLBC 11197	s 12 55 50.4	o 60 30 55.3	62,21	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
3D	00_10 cm	SLBC 11199	s 12 56 43.3	o 60 33 36.0	33,00	Pecuaria	Pastagem	Kp	RQ	ST
4D	00_10 cm	SLBC 11201	s 12 57 51.1	o 60 35 43.9	51,64	Cerrado	Cerrado	TQi	RQ	ST
5D	00_10 cm	SLBC 11203	s 12 58 52.1	o 60 38 19.2	57,86	Pecuaria	Pastagem	TQi	RQ	ST

## APÊNDICE 01 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 0 A 10 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
6D	00_10 cm	SLBC 11205	s 12 57 36.6	o 60 40 55.7	153,86	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
7D	00_10 cm	SLBC 11207	s 12 55 49.7	o 60 41 37.8	117,38	Cerrado	Cerrado	TQi	RQ	ST
8D	00_10 cm	SLBC 11209	s 12 56 14.5	o 60 40 19.0	169,32	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
9D	00_10 cm	SLBC 11211	s 13 01 38.0	o 60 38 16.8	167,16	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
10D	00_10 cm	SLBC 11213	s 13 02 29.9	o 60 39 19.3	134,08	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	ST
11D	00_10 cm	SLBC 11215	s 13 01 50.7	o 60 42 01.4	137,86	Pecuaria	Pastagem	Kp	Argi	AMC
12D	00_10 cm	SLBC 11217	s 12 57 39.2	o 60 56 28.4	139,01	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
15D	00_10 cm	SLBC 11223	s 12 58 23.5	o 61 00 18.8	143,89	Pecuaria	Pastagem	MPgr	Lato	SA
16D	00_10 cm	SLBC 11225	s 12 45 40.5	o 61 14 55.6	378,27	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	ST
17D	00_10 cm	SLBC 11227	s 12 48 13.9	o 61 20 06.2	137,26	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
18D	00_10 cm	SLBC 11229	s 12 51 14.5	o 61 24 00.8	120,30	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
19D	00_10 cm	SLBC 11231	s 12 47 16.5	o 61 24 46.8	140,48	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
20D	00_10 cm	SLBC 11233	s 12 43 06.6	o 61 24 03.0	200,42	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
21D	00_10 cm	SLBC 11235	s 12 40 21.3	o 61 24 49.2	167,17	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
22D	00_10 cm	SLBC 11237	s 12 36 40.0	o 61 24 54.7	138,53	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	AMC
23D	00_10 cm	SLBC 11239	s 12 40 26.3	o 61 10 42.9	111,11	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
24D	00_10 cm	SLBC 11241	s 12 40 20.9	o 61 04 04.1	99,71	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
25D	00_10 cm	SLBC 11243	s 12 49 25.5	o 60 46 27.2	148,15	Pecuaria	Pastagem	Kp	Lato	AMC
26D	00_10 cm	SLBC 11245	s 12 48 32.3	o 60 48 39.2	152,25	Floresta	Floresta	Kba	Lato	AMC
27D	00_10 cm	SLBC 11247	s 12 48 07.4	o 60 45 46.0	171,36	Pecuaria	Pastagem	Kp	Lato	AMC
30D	00_10 cm	SLBC 11253	s 12 48 31.6	o 60 41 14.4	65,94	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST



## APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 10 A 30 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
D1	10_30 cm	SLBC_7689	s 13 11 12.2	o 60 45 53.2	100,54	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	ST
D2	10_30 cm	SLBC_7687	s 13 06 54.4	o 60 45 35.8	57,37	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
D3	10_30 cm	SLBC_7685	s 13 00 04.5	o 60 45 02.7	114,61	Pecuaria	Pastagem	Kp	Argi	AMC
D4	10_30 cm	SLBC_7683	s 12 55 39.4	o 60 45 21.1	79,77	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
D5	10_30 cm	SLBC_7681	s 12 55 50.2	o 60 40 16.6	99,76	Pecuaria	Pastagem	Kp	RQ	ST
Ponto 1	10_30 cm	SLBC_7707	s 13 13 45.6	o 60 49 14.8	87,56	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
Ponto 2	10_30 cm	SLBC_7709	s 13 16 34.8	o 60 49 12.4	84,81	Agricultura	Cultura anual	TQi	Lato	PAD
Ponto 3	10_30 cm	SLBC_7711	s 13 19 15.5	o 60 49 06.7	63,42	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
Ponto 4	10_30 cm	SLBC_7713	s 13 21 58.7	o 60 49 16.3	82,87	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
Ponto 5	10_30 cm	SLBC_7715	s 13 23 34.2	o 60 49 13.8	36,55	Pecuaria	Pastagem	Kp	RY	PAD
Ponto 5	10_30 cm	SLBC_7717	s 13 23 31.9	o 60 49 17.5	61,04	Floresta	Floresta	Kp	RY	PAD
Ponto 6	10_30 cm	SLBC_7705	s 13 08 31.8	o 60 49 15.6	74,47	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
Ponto 7	10_30 cm	SLBC_7703	s 13 05 48.1	o 60 49 13.5	75,18	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
Ponto 8	10_30 cm	SLBC_7701	s 13 03 04.5	o 60 49 14.4	83,75	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	AMC
Ponto 9	10_30 cm	SLBC_7699	s 13 00 15.3	o 60 49 23.9	79,95	Pecuaria	Pastagem	MPgr	Lato	SA
Ponto 10	10_30 cm	SLBC_7697	s 12 57 32.8	o 60 49 18.2	65,61	Pecuaria	Floresta	MPco	Lato	SA
Ponto 11	10_30 cm	SLBC_7695	s 12 54 42.1	o 60 49 16.0	103,08	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
Ponto 12	10_30 cm	SLBC_7693	s 12 53 08.3	o 60 47 17.4	110,12	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
Ponto 12A	10_30 cm	SLBC_7691	s 12 53 02.8	o 60 47 21.4	103,95	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
A0	10_30 cm	SLBC_7719	s 13 30 45.7	o 60 56 58.4	86,64	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
A1	10_30 cm	SLBC_7721	s 13 29 29.7	o 60 57 01.8	84,88	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
A1	10_30 cm	SLBC_7723	s 13 29 29.7	o 60 57 01.8	101,51	Floresta	Floresta	TQi	RY	PAD
A2	10_30 cm	SLBC_7725	s 13 26 46.5	o 60 57 02.4	73,77	Pecuaria	Pastagem	Kp	RY	PAD
A3	10_30 cm	SLBC_7727	s 13 24 11.1	o 60 57 00.9	67,52	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
A4	10_30 cm	SLBC_7729	s 13 21 30.2	o 60 57 01.3	58,05	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
A5	10_30 cm	SLBC_7731	s 13 18 47.9	o 60 57 01.4	74,62	Pecuaria	Pastagem	Kp	Lato	PAD
A6	10_30 cm	SLBC_7733	s 13 16 15.0	o 60 57 02.4	64,48	Agricultura	Cultura anual	TQi	Lato	PAD
A7	10_30 cm	SLBC_7735	s 13 13 34.7	o 60 57 02.3	70,74	Agricultura	Cultura anual	Qpa	Lato	PAD
A8	10_30 cm	SLBC_7737	s 13 10 56.5	o 60 57 01.5	75,89	Agricultura	Cultura anual	TQi	Lato	PAD
A9	10_30 cm	SLBC_7739	s 13 08 19.1	o 60 57 00.5	41,56	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD

## APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 10 A 30 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
A10	10_30 cm	SLBC_7741	s 13 05 46.5	o 60 56 49.8	75,41	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
A11	10_30 cm	SLBC_7743	s 13 03 17.7	o 60 56 38.3	80,99	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
A12	10_30 cm	SLBC_7745	s 13 02 40.1	o 60 54 53.7	75,50	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	SA
A13	10_30 cm	SLBC_7747	s 13 00 49.3	o 60 56 12.9	86,23	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
A14	10_30 cm	SLBC_7749	s 12 59 04.8	o 60 56 44.7	61,55	Agricultura	Cultura anual	MPco	Lato	SA
A15	10_30 cm	SLBC_7751	s 12 57 17.5	o 60 55 46.4	104,85	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
SLBB1	10_30 cm	SLBC_7753	s 13 24 55.6	o 60 59 55.7	109,02	Floresta	Floresta	TQi	RY	PAD
SLBB2	10_30 cm	SLBC_7755	s 13 25 15.6	o 61 02 43.3	67,13	Floresta	Floresta	Kp	RY	PAD
SLBB3	10_30 cm	SLBC_7757	s 13 22 25.9	o 61 00 13.4	60,56	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
SLBB4	10_30 cm	SLBC_7759	s 13 22 12.1	o 61 02 19.3	63,37	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
SLBB5	10_30 cm	SLBC_7761	s 13 19 22.7	o 61 02 19.3	79,65	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
SLBB6	10_30 cm	SLBC_7763	s 13 16 47.9	o 61 02 18.7	63,58	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB7	10_30 cm	SLBC_7765	s 13 15 34.3	o 61 00 01.3	77,71	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB8	10_30 cm	SLBC_7767	s 13 13 22.3	o 60 58 08.1	69,69	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
SLBB9	10_30 cm	SLBC_7769	s 13 12 27.0	o 61 00 48.2	63,21	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
SLBB10	10_30 cm	SLBC_7771	s 13 14 17.7	o 61 02 18.2	127,94	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB11	10_30 cm	SLBC_7773	s 13 09 10.4	o 61 01 01.6	47,57	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	PAD
SLBB12	10_30 cm	SLBC_7775	s 13 09 12.5	o 61 03 55.0	52,14	Floresta	Floresta	TQi	Glei	PAD
SLBB14	10_30 cm	SLBC_7777	s 13 09 03.6	o 61 06 45.7	17,08	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB15	10_30 cm	SLBC_7779	s 13 08 13.6	o 61 09 32.8	39,50	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Glei	PAD
SLBB16	10_30 cm	SLBC_7781	s 13 07 12.3	o 61 12 14.6	16,28	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB17	10_30 cm	SLBC_7783	s 13 07 09.9	o 61 14 35.4	17,70	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB18	10_30 cm	SLBC_7785	s 13 11 52.9	o 61 03 31.0	28,72	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB19	10_30 cm	SLBC_7787	s 13 12 09.2	o 61 06 25.6	26,70	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB20	10_30 cm	SLBC_7789	s 13 14 30.1	o 61 07 36.7	42,88	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB21	10_30 cm	SLBC_7791	s 13 16 22.9	o 61 09 37.4	37,78	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB22	10_30 cm	SLBC_7793	s 13 18 12.9	o 61 11 42.9	16,59	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB23	10_30 cm	SLBC_7795	s 13 19 13.4	o 61 14 20.9	38,99	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB24	10_30 cm	SLBC_7797	s 13 19 33.9	o 61 17 14.7	14,10	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SLBB25	10_30 cm	SLBC_7799	s 13 19 41.4	o 61 20 39.6	20,82	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD

## APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 10 A 30 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
B53	10_30 cm	SLBC_7861	s 12 49 15.0	o 61 27 13.0	57,46	Floresta	Floresta	TQi	Lato	ST
B54	10_30 cm	SLBC_7863	s 12 48 38.0	o 61 29 45.7	96,02	Pecuaria	Pastagem	Qha	Lato	PAD
B54	10_30 cm	SLBC_7865	s 12 48 37.9	o 61 29 45.3	93,12	Floresta	Floresta	Qha	Lato	PAD
B55	10_30 cm	SLBC_7867	s 12 48 33.4	o 61 32 38.4	124,36	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
B56	10_30 cm	SLBC_7869	s 12 45 40.0	o 61 32 46.0	111,38	Floresta	Floresta	TQi	Lato	PAD
C1	10_30 cm	SLBC_7871	s 13 32 22.2	o 60 55 16.3	51,00	Pecuaria	Pastagem	Qpa	RY	PAD
C2	10_30 cm	SLBC_7873	s 13 30 53.1	o 60 56 31.0	22,57	Floresta	Floresta	TQi	RY	PAD
C3	10_30 cm	SLBC_7875	s 13 28 38.7	o 61 02 09.5	62,10	Pecuaria	Pastagem	TQi	RY	PAD
C4	10_30 cm	SLBC_7877	s 13 27 18.5	o 61 05 00.0	52,24	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Glei	PAD
C5	10_30 cm	SLBC_7879	s 13 28 19.8	o 61 07 34.8	26,90	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C6	10_30 cm	SLBC_7881	s 13 28 29.4	o 61 10 21.7	32,06	Cerrado	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C7	10_30 cm	SLBC_7883	s 13 28 25.0	o 61 13 08.4	8,22	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C8	10_30 cm	SLBC_7885	s 13 27 59.3	o 61 16 00.3	27,96	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C9	10_30 cm	SLBC_7887	s 13 26 25.8	o 61 18 21.1	15,32	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C10	10_30 cm	SLBC_7889	s 13 25 15.8	o 61 20 50.5	17,38	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C11	10_30 cm	SLBC_7891	s 13 24 58.8	o 61 23 36.2	20,01	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C12	10_30 cm	SLBC_7893	s 13 26 29.2	o 61 25 52.4	51,15	Pecuaria	Cerrado	TQi	Lato	PAD
C13	10_30 cm	SLBC_7895	s 13 27 44.3	o 61 28 20.8	10,04	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
C14	10_30 cm	SLBC_7897	s 13 27 32.9	o 61 30 57.7	16,69	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SL01	10_30 cm	SLBC_8407	s 13 11 53.8	o 61 42 07.2	37,47	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
SL02	10_30 cm	SLBC_8409	s 13 12 32.0	o 61 44 46.0	96,71	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL03	10_30 cm	SLBC_8411	s 13 12 00.0	o 61 47 29.0	42,35	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL04	10_30 cm	SLBC_8413	s 13 12 20.7	o 61 50 13.6	53,23	Parque	Cerrado	Qha	RY	PAD
SL05	10_30 cm	SLBC_8415	s 13 14 11.0	o 61 52 15.0	79,12	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL06	10_30 cm	SLBC_8417	s 13 16 10.0	o 61 54 23.0	68,17	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL07	10_30 cm	SLBC_8419	s 13 14 46.0	o 62 05 42.0	77,70	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL08	10_30 cm	SLBC_8421	s 13 12 37.0	o 62 04 04.0	61,18	Parque	Floresta	Qpa	Glei	PAD
SL09	10_30 cm	SLBC_8423	s 13 19 38.0	o 62 01 30.0	42,13	Parque	Floresta	Qpa	RY	PAD
SL10	10_30 cm	SLBC_8425	s 13 21 57.0	o 61 58 28.0	50,03	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD
SL11	10_30 cm	SLBC_8427	s 13 25 47.0	o 61 54 19.0	64,86	Parque	Floresta	Qha	RY	PAD

## APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 10 A 30 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
SL12	10_30 cm	SLBC_8429	s 13 30 48.0	o 61 52 03.0	47,53	Parque	Cerrado	Qha	RY	PAD
SL13	10_30 cm	SLBC_8431	s 13 31 25.0	o 61 46 37.0	71,39	Pecuaria	Pastagem	Qha	RY	PAD
ST01	10_30 cm	SLBC_8433	s 13 12 28.0	o 61 42 50.0	23,15	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST02	10_30 cm	SLBC_8435	s 13 12 57.0	o 61 40 06.0	28,54	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST03	10_30 cm	SLBC_8437	s 13 12 33.0	o 61 37 22.0	24,95	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST04	10_30 cm	SLBC_8439	s 13 11 27.0	o 61 35 59.0	51,40	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST05	10_30 cm	SLBC_8441	s 13 13 10.0	o 61 36 41.0	54,97	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST06	10_30 cm	SLBC_8443	s 13 11 18.0	o 61 40 20.0	25,37	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST07	10_30 cm	SLBC_8445	s 13 09 59.0	o 61 37 57.0	38,16	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST08	10_30 cm	SLBC_8447	s 13 08 15.0	o 61 36 16.0	13,56	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST09	10_30 cm	SLBC_8449	s 13 09 40.0	o 61 33 54.0	63,72	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST10	10_30 cm	SLBC_8451	s 13 07 13.0	o 61 32 37.0	43,62	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST11	10_30 cm	SLBC_8453	s 13 06 52.0	o 61 33 59.0	45,22	Parque	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST12	10_30 cm	SLBC_8455	s 13 06 14.0	o 61 30 07.0	183,20	Pecuaria	Pastagem	MPmr	Lato	PAD
ST13	10_30 cm	SLBC_8457	s 13 07 04.0	o 61 27 31.0	156,48	Agricultura	Cultura perene	Qpa	Lato	ST
ST14	10_30 cm	SLBC_8459	s 13 18 42.0	o 61 06 11.0	38,20	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST15	10_30 cm	SLBC_8461	s 13 19 30.0	o 61 08 53.0	38,88	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST16	10_30 cm	SLBC_8463	s 13 21 58.0	o 61 10 09.0	65,45	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Lato	PAD
ST17	10_30 cm	SLBC_8465	s 13 23 21.0	o 61 12 47.0	32,16	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST18	10_30 cm	SLBC_8467	s 13 26 20.0	o 61 14 29.0	21,06	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST20	10_30 cm	SLBC_8469	s 13 30 25.0	o 61 44 01.0	18,70	Pecuaria	Pastagem	Qpa	Glei	PAD
ST21	10_30 cm	SLBC_8471	s 13 29 46.0	o 61 41 19.0	34,29	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST22	10_30 cm	SLBC_8473	s 13 29 49.0	o 61 38 43.0	33,54	Pecuaria	Cerrado	Qha	RY	PAD
ST23	10_30 cm	SLBC_8475	s 13 28 33.0	o 61 35 56.0	34,39	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
ST24	10_30 cm	SLBC_8477	s 13 27 15.0	o 61 33 42.0	19,99	Pecuaria	Cerrado	Qpa	Glei	PAD
1D	10_30 cm	SLBC_11196	s 12 54 11.3	o 60 28 39.6	182,52	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
2D	10_30 cm	SLBC_11198	s 12 55 50.4	o 60 30 55.3	83,34	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
3D	10_30 cm	SLBC_11200	s 12 56 43.3	o 60 33 36.0	35,35	Pecuaria	Pastagem	Kp	RQ	ST
4D	10_30 cm	SLBC_11200	s 12 56 43.3	o 60 33 36.0	35,35	Pecuaria	Pastagem	TQi	RQ	ST
5D	10_30 cm	SLBC_11204	s 12 58 52.1	o 60 38 19.2	53,68	Pecuaria	Pastagem	TQi	RQ	ST

## APÊNDICE 2 - PLANILHA DE DADOS DE MERCÚRIO - PROFUNDIDADE DE 10 A 30 CM

Código de Campo	Profundidade	Laboratório	Latitude	Longitude	Mercúrio	Uso do Solo	Vegetação	Geologia	Solos	Geomorfologia
6D	10_30 cm	SLBC_11206	s 12 57 36.6	o 60 40 55.7	166,30	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
7D	10_30 cm	SLBC_11208	s 12 55 49.7	o 60 41 37.8	164,40	Cerrado	Cerrado	TQi	RQ	ST
8D	10_30 cm	SLBC_11210	s 12 56 14.5	o 60 40 19.0	236,41	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
9D	10_30 cm	SLBC_11212	s 13 01 38.0	o 60 38 16.8	145,59	Cerrado	Cerrado	Kp	RQ	ST
10D	10_30 cm	SLBC_11214	s 13 02 29.9	o 60 39 19.3	86,29	Pecuaria	Pastagem	MPco	Argi	ST
11D	10_30 cm	SLBC_11216	s 13 01 50.7	o 60 42 01.4	223,13	Pecuaria	Pastagem	Kp	Argi	AMC
12D	10_30 cm	SLBC_11218	s 12 57 39.2	o 60 56 28.4	132,82	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	SA
15D	10_30 cm	SLBC_11224	s 12 58 23.5	o 61 00 18.8	105,89	Pecuaria	Pastagem	MPgr	Lato	SA
16D	10_30 cm	SLBC_11226	s 12 45 40.5	o 61 14 55.6	320,78	Pecuaria	Pastagem	MPco	Lato	ST
17D	10_30 cm	SLBC_11228	s 12 48 13.9	o 61 20 06.2	213,16	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
18D	10_30 cm	SLBC_11230	s 12 51 14.5	o 61 24 00.8	130,60	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
19D	10_30 cm	SLBC_11232	s 12 47 16.5	o 61 24 46.8	144,77	Pecuaria	Pastagem	TQi	Lato	ST
20D	10_30 cm	SLBC_11234	s 12 43 06.6	o 61 24 03.0	204,56	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
21D	10_30 cm	SLBC_11236	s 12 40 21.3	o 61 24 49.2	246,59	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
22D	10_30 cm	SLBC_11238	s 12 36 40.0	o 61 24 54.7	119,15	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	AMC
23D	10_30 cm	SLBC_11240	s 12 40 26.3	o 61 10 42.9	93,22	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
24D	10_30 cm	SLBC_11242	s 12 40 20.9	o 61 04 04.1	96,65	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST
25D	10_30 cm	SLBC_11244	s 12 49 25.5	o 60 46 27.2	168,67	Pecuaria	Pastagem	Kp	Lato	AMC
26D	10_30 cm	SLBC_11246	s 12 48 32.3	o 60 48 39.2	140,14	Floresta	Floresta	Kba	Lato	AMC
27D	10_30 cm	SLBC_11248	s 12 48 07.4	o 60 45 46.0	161,46	Pecuaria	Pastagem	Kp	Lato	AMC
30D	10_30 cm	SLBC_11254	s 12 48 31.6	o 60 41 14.4	60,01	Pecuaria	Pastagem	Kba	Lato	ST

# Livros Grátis

( <http://www.livrosgratis.com.br> )

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)  
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)  
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)  
[Baixar livros de Matemática](#)  
[Baixar livros de Medicina](#)  
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)  
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)  
[Baixar livros de Meteorologia](#)  
[Baixar Monografias e TCC](#)  
[Baixar livros Multidisciplinar](#)  
[Baixar livros de Música](#)  
[Baixar livros de Psicologia](#)  
[Baixar livros de Química](#)  
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)  
[Baixar livros de Serviço Social](#)  
[Baixar livros de Sociologia](#)  
[Baixar livros de Teologia](#)  
[Baixar livros de Trabalho](#)  
[Baixar livros de Turismo](#)