FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
NÚCLEO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA
Pós Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente
Laboratório de Biogeoquímica Ambiental

MERCÚRIO EM SOLOS E SEDIMENTOS NA SUB-BACIA MUTUM-PARANÁ/RONDÔNIA

DÉBORAH PEREIRA LINHARES

Porto Velho – RO, 2009

DÉBORAH PEREIRA LINHARES

MERCÚRIO EM SOLOS E SEDIMENTOS NA SUB-BACIA MUTUM-PARANÁ/RONDÔNIA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente – PGDRA, para defesa, requisito parcial para obtenção do título de mestre em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente.

Área de Concentração: Diagnóstico Ambiental e Biodiversidade

Linha de Pesquisa: Monitoramento Ambiental

Orientador: Wanderley Rodrigues Bastos.

Porto Velho – RO, 2009.

MERCÚRIO EM SOLOS E SEDIMENTOS NA SUB-BACIA MUTUM-PARANÁ/RONDÔNIA

Linhares, Déborah Pereira

BANCA EXAMINADORA:

_____

Wanderley Rodrigues Bastos
(Orientador)

_____

Profª Dra. Mariângela Azevedo Soares
Membro Avaliador

_____

Profº Dr. Ene Glória da Silveira
Membro Avaliador

FICHA CATALOGRÁFICA

Linhares, Déborah Pereira.

L755m

Mercúrio em solos e sedimentos na sub-bacia Mutum-Paraná / Rondônia. / Déborah Pereira Linhares. Porto Velho, Rondônia, 2009.

98f.: il.

Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento Regional e Meio Ambiente) Universidade Federal de Rondônia / UNIR, Porto Velho, Rondônia, 2009.

Orientador: Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

Ficha catalográfica elaborada pela Bibliotecária Ozelina Saldanha CRB11/947
Biblioteca Central / UNIR

Portanto, agora existem estas três coisas:

a fé,

a esperança

e o amor.

Porém, a maior delas é o ***AMOR.***

1 Coríntios 13:13

DEDICO

*Ao meu tio **Paulo Cunha Pereira** "in memorian", meu amigo inesquecível, por seu amor, apoio e incentivo!*

*Aos meus pais **Sara** e **Antônio,** por tudo que me ensinaram, pelo AMOR incondicional!*

*Ao meu Amor **Joiada,** pelo incentivo, por sua presença em minha vida!*

*Aos meus amados irmãos **Isac**, **Ismael** e **Miriam**, por sermos família mesmo distante.*

*À minha filha **Letícia!** Pelas alegrias constantes, sempre!!!*

*A **todos** que acreditaram na construção desta dissertação (especialmente ao professor **Wanderley Bastos**)!!*

AGRADECIMENTOS

Deus, simplesmente a Ti o meu maior agradecimento, porque acredito que todas as coisas boas provêm de Ti e porque acredito que Tu és justiça, bondade, é amigo, é fiel, é o sinônimo de amor. Porque no momento mais difícil, quando nem eu acreditava, o Senhor me deu ânimo e me sustentou. Eu sei que a cada dia, em cada instante eu preciso mais, muito mais de Ti!!! Porque sei que não há outro Deus! E embora muitos não entendam, EU TE AMO!! E em nome do teu filho Jesus Cristo eu te agradeço! Toda honra e glória seja ao meu Deus!! Amém!!!

Uma etapa se finda, mas não conseguiria chegar sem ajuda de pessoas, ao longo de todo o caminho, que me ajudaram... talvez cometa injustiça e não faça referência a uma ou outra pessoa, mas sou grata aos que contribuíram com este estudo, aos que me ajudaram desde a graduação...e aproveito este espaço para pedir desculpas ao meu orientador por minhas falhas durante o processo de construção desta dissertação. A todos, obrigada, obrigada!!!

Ao meu tio ***Paulo Cunha Pereira*** *"in memorian", meu grande amigo, porque me ensinou a não desistir diante dos obstáculos. Por nossa amizade, pois me ensinou muito... lamento não podermos falar deste momento...sinto muita saudade... sempre o amarei...*

À vovó ***Julia****, pelas orações, por seu carinho e amor!*

Ao meu pai pelos conselhos dados, pois sei que foram com amor. Ainda lembro quando disse: "Minha filha, ainda não é hora de você namorar, vai estudar. O estudo é nosso melhor companheiro, depois você pensa nisso" (eu tinha 12 anos). Obrigada pai! À minha mãe, que além de mãe é companheira e amiga. Pela sua presença em minha vida. Por entender minha ausência e ajudar a cuidar da minha filha. Sem a senhora esta etapa seria muito mais difícil. E nenhuma palavra é suficiente ou capaz de representar minha gratidão à senhora, por todo apoio e oração ao longo dos anos. ***Papai*** *e* ***mamãe,*** *simplesmente os AMO!!*

Ao ***Joiada,*** *meu amigo, namorado, esposo e orientador nas horas vagas. Meu querido, obrigada por sua presença em minha vida! Pelo incentivo e junto "arquitetar" e "conceber" esta dissertação, pelos conselhos e sugestões, pelo*

aprendizado em conjunto e tudo mais. Tudo em minha vida tem você... EU TE AMO²!!!

*Aos meus irmãos **Isac, Ismael** e **Miriam Linhares**...obrigada por existirem em minha vida, pelas orações. Amo vocês!*

*Ao presente maravilhoso de Deus, minha princesa **Letícia**, minha querida filha...por todos os momentos de alegria, por me fazer sorrir quando perguntou com seriedade: "Essa é a tarefa que teu professor passou mãe?!!" Eu te amo de "monte", do tamanho do mundo!! Ou como você diz: "do tamanho do céu"!!*

*Ao meu titio **David**, por contribuir com meus estudos quando eu era criança...por me levar à escola quando minha mãe não podia ir...te amo muito tio!!!*

*Às minhas amigas de sempre, **Dulciléia Prado, Simone Freitas, Danielle Aragão, Fabíula Nobre**, **Lucila Paixão e Gaby Amadio**. Obrigada por fazerem parte do meu mundo...desculpem minha ausência!*

*Ao amigo **Francisco Assis,** por toda ajuda quando eu ainda participava do PIBIC, obrigada!*

*Ao amigo e orientador **Wanderley Bastos**, por deixar a luz de Deus brilhar em sua vida. Obrigada pelo apoio, incentivo, pelo crédito, orientações, obrigada por tudo!!! E à **Sandra**, sua esposa, pelo carinho!*

*Aos amigos do Biogeoquímica: **Guga, Alessandra, Jailane e Susamar** por ajudarem nas filtragens e no preparo das amostras de solo. À **Darlly** e **Igor**, por ajudarem nas análises químicas. À **Cibele, Roberta, Gabi, Neidiane** e os demais, pelo convívio, pelas ajudas fundamentais no dia-a-dia e pelos momentos de descontração e alegria.*

*Às equipes de coleta: **Joiada, Igor, Ederson, Susamar, Gil, Márcio Miranda e Dario**, por disporem de um tempo e sair a campo, onde demonstraram amizade e empenho. Esta contribuição foi fundamental à construção desta dissertação. Muito obrigada!*

*À irmã **Noraney Castro**, pelas orações quando eu ainda ia participar da seleção do mestrado.*

*À Prefeitura de Nova Mamoré- RO, nas pessoas das amigas **Ednéia Lília e Maria Luzineide** pela adequação do meu horário de trabalho para eu poder participar das aulas do Programa de Mestrado, obrigada!*

*Aos amigos que são para a vida, que são exemplos e que guardo com muito carinho no meu coração, o casal de amigos **Beta e João Paulo** e o amigo (grande amigo!!!) **Ronaldinho**. Ronaldinho, obrigada, obrigada mesmo, por tudo, pelas ajudas nas análises e pelas dicas. Obrigada por ser amigo!! Abraços à **Silvana**, que entendeu (assim espero, risos!!) sua ausência quando ajudava nas análises até altas horas.*

*À **Janeide** (que gosta de ser chamada de **Jane**) por atender meus telefonemas, emails, e me ouvir quando eu entrava em "surto" por causa da dissertação...hehehe, valeu amiga!!! Aprendi a gostar muito (muito mesmo!!) de você!! Deus te ama muito!!*

*Às amigas **Tatiane Lima e Aldina Assunção**, por não esquecerem nossa amizade, fruto da pesquisa científica!*

*Aos **professores, pesquisadores** que desenvolveram estudos anteriores que serviram como referencial para esta dissertação, muito obrigada!!*

*Aos **professore**s que participaram da banca de seleção e aprovaram este projeto de pesquisa, obrigada!*

*Aos **colegas** de turma e os **professores do PGDRA** que ministraram as disciplinas das quais participei: Ari Ott, Carlos Santos, Júlio S. L. Militão, Mariluce R. Messias, Mariângela A. Soares, Sérgio Rivero, José Vicente e.Bernardi e Wanderley R. Bastos,obrigada pelas experiências compartilhadas.*

*Aos **professores** que contribuíram ao participar das bancas de pré-qualificação, qualificação e defesa final: Ângelo G. Manzatto, Miuki Yamashita, Ene Glória da Silveira e Mariângela A. Soares.*

*À **Universidade Federal de Rondônia**, na presença do Magnífico reitor José Januário Oliveira Amaral.*

Às instituições que financiaram este estudo CNPq/PPG7 (Processo 556934/2005-9) e CNPq/CT – Biotecnologia (Processso 553269/2005-4)

Por fim, sei que aqui não é possível expressar o quanto sou grata a todos que me ajudaram, mas desejo que Deus os abençoe!

SUMÁRIO

Agradecimentos vii
Lista de figuras xiii
Lista de tabelas xv
Lista de siglas xvi
Resumo xvii
Abstract xviii

1 – INTRODUÇÃO 19

2 – MINERAÇÃO DE OURO NA AMAZÔNIA E O USO DE MERCÚRIO..... 23
2.1 – ORIGEM DO MERCÚRIO 23
2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO GARIMPO DE OURO 24
2.3 - GARIMPO AMAZÔNICO 27
2.4 - GARIMPO DE OURO EM RONDÔNIA 31
2.5 – USO DE RETORTA: MECANISMO DE REDUÇÃO NO LANÇAMENTO DE MERCÚRIO PARA O AMBIENTE 33
2.6 - COMPORTAMENTO DO MERCÚRIO NO AMBIENTE..... 35
2.7 - PESQUISAS SOBRE MERCÚRIO 37

3 – CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO 40
3.1 – ÁREA DE ESTUDO 40
3.2 – SOLOS 43

4 – OBJETIVOS 44
4.1 – OBJETIVO GERAL 44
4.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS 44

5 – JUSTIFICATIVA 44

6 – MATERIAIS E MÉTODOS 45

6.1 – DESCRIÇÃO GERAL 45
6.2 – CAMPO 49
6.3 – PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS 56
6.3.1 – PREPARO DA AMOSTRAS 56
6.3.2 - ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO TOTAL 58
6.3.3 – ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA 59
6.3.4 - CONTROLE DE QUALIDADE 59
6.4 – ANÁLISE DOS DADOS 59

7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO 60
7.1 – AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA SUB-BACIA MUTUM PARANÁ 60
7.2 – CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO EM SEDIMENTOS DO LEITO E EM SUSPENSÃO 67
7.3 – CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO EM SOLOS 70

8 – CONCLUSÕES 87

9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 89

APÊNDICE 1 – FORMULÁRIO DE COLETA DE ÁGUA 97
APÊNDICE 2 – FORMULÁRIO DE COLETA DE SOLO 98

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Lançamento de mercúrio no auge do garimpo do Madeira 34
Figura 2 – Divisão de bacias do estado de Rondônia 40
Figura 3 – Nascente (rio Azul) e foz (rio Mutum Paraná) da sub-bacia Mutum Paraná 41
Figura 4 – População da área de estudo e entorno 41
Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo, sub-bacia Mutum Paraná 42
Figura 6 – Mapa com pontos de amostragem de água e sedimento 47
Figura 7 – Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de amostragem de solo 48
Figura 8 – Estrada vicinal 29, município de Nova Mamoré – RO 50
Figura 9 - Exemplo de perfil pedológico da área de estudo. 53
Figura 10 – Acondicionamento das amostras, exemplo do perfil 7 55
Figura 11 – Amostras de solo, seca (para seleção granulométrica) e úmida (selecionada), respectivamente 57
Figura 12 – Filtragem de água e filtro com amostra (sólido) após filtragem 58
Figura 13 – Descarga de sedimentos em suspensão – junho de 2007 65
Figura 14 – Descarga de sedimentos em suspensão – abril de 2008. 66
Figura 15 – Mercúrio e matéria orgânica em sedimentos do leito na sub-bacia Mutum Paraná 68
Figura 16 – Mercúrio em sedimentos em suspensão (maio/2007) 69
Figura 17 - Mercúrio em sedimentos em suspensão (abril/2008) 70
Figura 18 – Concentração de Hg em profundidade nos perfis de Latossolo da sub-bacia Mutum Paraná 73
Figura 19 – Concentração de Hg em profundidade nos perfis de Argissolo da sub-bacia Mutum Paraná 76
Figura 20 – Concentração de Hg em profundidade nos perfis de Gleissolo da sub-bacia Mutum Paraná 78
Figura 21 – Silte, argila e Hg em perfis de Gleissolo 79
Figura 22 – Distribuição dos perfis coletados e concentração média de Hg por uso da terra 80
Figura 23 – Mapa de cobertura florestal e concentração média de Hg em solo 82
Figura 24 – Características de uso do solo na região da nascente 83

Figura 25 – Mapa com teores de areia, argila e mercúrio em solo na sub-bacia Mutum Paraná 84
Figura 26 – Mapa de localização dos garimpos do Madeira e direção predominante dos ventos 86

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Reservas Garimpeiras – Amazônia/Brasil 29

Tabela 2 – Quantitativo de Hg utilizado na produção de ouro 33

Tabela 3 – Percentual de redução na emissão de Hg com uso de retorta 33

Tabela 4 – Demonstrativo dos pontos e amostragem 50

Tabela 5 – Localização: pontos de coleta de Sedimento e Água 52

Tabela 6 –Informações básicas dos perfis pedológicos 56

Tabela 7 – Características físico-químicas da sub-bacia Mutum Paraná 60

Tabela 8 – Características físico-químicas da sub-bacia Mutum Paraná 61

Tabela 9 – Características físico-químicas da sub-bacia Mutum Paraná 61

Tabela 10 – Concentração total de mercúrio nas classes pedológicas da sub-bacia do rio Mutum Paraná 71

Tabela 11 – Concentração de mercúrio e granulometria em perfis de Latossolo localizados na sub-bacia Mutum Paraná 74

Tabela 12 – Teores de areia, silte e argila e concentração de mercúrio em perfis de Argissolo 77

Tabela 13 – Granulometria e mercúrio no perfil de solo P17 79

LISTA DE SIGLAS

AGMP	Amostras de água Mutum Paraná
H_2SO_4	Ácido Sulfúrico
HCL	Ácido Clorídrico
Hg	Mercúrio
HNO_3	Ácido Nítrico
$KMnO_4$	Permanganato de Potássio
$NaBH_4$	Borohidreto de Sódio
NaOH	Hidróxido de Sódio
$NH_2OH.HCL$	Cloridrato de Hidroxilamina
pH	Potencial Hidrogeniônico
SDMP	Amostras de sedimento Mutum Paraná
SLMP	Amostras de solo Mutum Paraná
EFMM	Estrada de Ferro Madeira Mamoré
MP	Mutum Paraná

RESUMO: A questão ambiental é vista nas últimas décadas como conseqüência direta da ação humana pela rápida utilização e deterioração dos recursos, principalmente de fontes naturais não renováveis, águas superficiais e subterrâneas. Historicamente, a poluição ambiental pode ser observada quando do uso das matérias-primas pelo homem para sanar suas necessidades, o que se agravou a partir do período industrial, que impulsionou o uso e exploração destas. Em conseqüência, atualmente os diversos ambientes naturais encontram-se em graus variados de contaminação. Esta ameaça iminente é atribuída à prática de atividades produtivas e o uso indiscriminado (e por vezes inadequado) dos recursos naturais, degradação do solo, poluição atmosférica e exploração mineral. Dentre estas atividades destaca-se a exploração de minérios, considerada fundamental para o desenvolvimento da civilização, gera impactos de ordem social, econômica e ambiental. Com destaque, neste estudo, a extração mineral de ouro e suas consequências ao ambiente, que não é apenas local, mas estende-se e tem proporção muito maior que a própria atividade. Os impactos podem ser constatados na forma química, na paisagem e à população humana. No entanto, na extração de ouro evidencia-se a contaminação ambiental e humana por mercúrio (Hg). Apesar de diversos estudos terem sido realizados em amostras ambientais e humanas, ainda não é possível descrever com detalhe quais os processos da mobilidade do Hg em sistemas hidrológicos com características como os rios da região Amazônica. Mas ao longo de duas décadas estudos têm sido realizados na bacia do Madeira devido ao histórico de exploração de ouro nesta região. Dentre estes o rio Mutum Paraná destaca-se porque foram constatadas concentrações elevadas de mercúrio em amostras de sedimentos. Diante destes fatores este estudo teve por objetivo identificar a presença e quantificar os teores de mercúrio na sub-bacia Mutum Paraná. Para isso todos os procedimentos metodológicos foram realizados em três etapas: a) Levantamento bibliográfico e estruturação deste estudo; b) Coleta de amostras e observação; b) Análise química. Em toda a sub-bacia foi identificada a presença de mercúrio nos três compartimentos analisados, sedimentos em suspensão (entre 60,3 a 839,00 $\mu g.Kg^{-1}$), sedimentos do leito (de 39,70 a 146,45 $\mu g.Kg^{-1}$) e solos (33,41 a 183,19 $\mu g.Kg^{-1}$). Embora tenha baixa carga sedimentar, nos sedimentos estão os maiores teores de Hg. O que merece destaque, pois o aumento dos sedimentos em suspensão, decorrente de atividades antrópicas que possam removê-los da situação de “repouso” do leito dos rios podem contribuir com o aumento dos níveis de mercúrio. E dentre estas atividades se destaca a degradação ambiental da região da nascente, no Distrito de Nova Dimensão (município de Nova Mamoré-RO), região com predomínio de madeireiras com visível substituição das áreas de floresta por pastagem e a retirada da mata ciliar. Às questões destacadas soma-se a perspectiva de instalação de duas hidrelétricas na região, o que requer uma reflexão quanto os possíveis impactos na mobilidade e transporte de sedimentos com adsorção de Hg, além do potencial processo de metilação. Por isso é relevante o monitoramento de Hg, pois o represamento de águas (barragem artificial) promove mudanças nas condições físico-químicas do meio e potencializa o aumento ou redução das concentrações de Hg disponível.

Palavras-chave: Mercúrio, Garimpo, Solos, Sedimentos.

ABSTRACT: The environmental issue is seen in recent decades as a direct result of human use and the rapid deterioration of resources, especially non-renewable natural sources, surface water and groundwater. Historically, environmental pollution can be observed with the use of raw materials by man to solve their needs, which worsened from the industrial period, which boosted the use and operation of such. As a result, nowadays the diverse environments found in varying degrees of contamination. The imminent threat is attributed to the practice of productive activities and indiscriminate use (and sometimes inappropriate) of natural resources, soil degradation, air pollution and mineral exploration. Among these activities there is the exploitation of minerals, deemed essential for the development of civilization, causes impacts of social, economic and environmental. Highlighted in this study, the mining of gold and its consequences to the environment, which is not only local, but extends and has much larger proportion than the activity itself. The impacts can be found in the chemical form in the landscape and the human population. However, the extraction of gold highlights the environmental and human contamination by mercury (Hg). Although many studies have been conducted in environmental samples and human, still can not describe in detail what the processes of mobility of Hg in water systems with features like rivers of the Amazon region. But over two decades of studies have been conducted in the Madeira basin due to the historic gold mining in this region. Among these the Mutum Parana River stands out because we observed high concentrations of mercury in sediment samples. Given these factors this study aims to identify the presence and quantify the levels of mercury in the Mutum Paraná basin. For that all methodological procedures were performed in three steps: a) A literature review and structuring of this study; b) Sample collection and observation; c) Chemical analysis. Mercury has been identified in the three compartments examined: suspended sediment (from 60.3 to 839.00 $\mu g.Kg^{-1}$); bottom sediment (from 39.70 to 146.45$\mu g.Kg^{-1}$); soil (from 33.41 to 183.19$\mu g.Kg^{-1}$). Although low sediment load, sediments are the highest concentrations of Hg. What is noteworthy since the increase in suspended sediments, resulting from human activities that could remove them from the situation of "rest" of a riverbed may contribute to increased levels of mercury. And among these activities is highlighted environmental degradation in the region of the spring, the District of Nova Dimensão (Nova Mamore-RO), a region with a predominance of wood with obvious replacement of forest areas for grazing and the removal of riparian vegetation. To sum up the issues highlighted the prospect of installing two power plants in the region, requiring a reflection on the possible impacts on mobility and sediment transport with adsorption of Hg, but the potential methylation process. It is therefore important to monitor mercury, since impoundment of water (hydroelectric) promotes changes in the physicochemical conditions of the environment and enhances the increase or decrease the concentrations of Hg available.

Key-Words: Mercury, Mining, Soil, Sediments

1 – INTRODUÇÃO

O termo ambiente, nas últimas décadas, principalmente com o crescimento econômico e tecnológico após a segunda guerra mundial, entrou o debate social, com ampla discussão por empresas, poder público e comunidade científica. Os temas são variados e expostos nos noticiários de rádio e televisão com objetivo de sensibilizar e buscar respostas para os mais diversos problemas (ou questões) de ordem ambiental.

Isso tudo porque a questão ambiental é vista nas últimas décadas como conseqüência direta da ação humana devido a rápida utilização e deterioração dos recursos, principalmente de fontes naturais não renováveis e da águas superficiais e subterrâneas. Algumas ações destacam-se e quando somadas contribuem para a situação atual. Historicamente, a poluição ambiental pode ser observada quando do uso das matérias-primas pelo homem para sanar suas necessidades, o que foi se agravou com o surgimento da era moderna, que impulsionou o uso e exploração destas. Em conseqüência de todo este processo, atualmente os diversos ambientes naturais encontram-se em graus variados de contaminação, o que foi destacado por Lacerda e Malm (2008).

Esta ameaça iminente é atribuída à prática de atividades produtivas e o uso indiscriminado (e por vezes inadequado) dos recursos naturais, degradação do solo, poluição atmosférica, exploração mineral.

A partir do reconhecimento da ocorrência destas mudanças no ambiente e suas consequências, pesquisadores têm desenvolvido estudos para avaliar e monitorar os níveis destas transformações. E através de publicações e exposição em congressos e seminários nos níveis regional, nacional e internacional, tornam público os resultados obtidos. Com isso espera-se minimizar esses impactos. Mas, ainda que a tomada de “consciência” mude o comportamento e a degradação do ambiente, é importante ressaltar que isso não exclui os danos já causados, por isso a importância destes estudos e a necessidade de ações que contribuam para a mudança efetiva de comportamento.

Dentre estas atividades destaca-se a exploração de recursos minerais, considerada fundamental para o desenvolvimento da civilização, pois geram

impactos de ordem social, econômica e ambiental. Com destaque, neste estudo, a extração mineral de ouro e suas consequências ao ambiente, que não é apenas local, mas estende-se e tem proporção muito maior que a própria atividade. Os impactos podem ser constatados na forma química, na paisagem e à população humana. No entanto, na extração de ouro evidencia-se a contaminação ambiental e humana por mercúrio (Hg).

Apesar de diversos estudos terem sido realizados em amostras ambientais e humanas, ainda não é possível descrever com detalhe quais os processos da mobilidade do Hg em sistemas hidrológicos com características como os rios da região Amazônica. Pesquisa realizada pelo professor Luiz Drude de Lacerda e colaboradores (1990) destaca o potencial da região Amazônica para acumular Hg na cadeia alimentar e transferir este às populações humanas.

Ao longo de duas décadas estudos têm sido realizado na bacia do Madeira e seus principais afluentes, devido ao histórico de exploração de ouro nesta região. Dentre estes o rio Mutum Paraná destaca-se porque foram constatadas concentrações elevadas de mercúrio em amostras de sedimentos, inclusive, maiores que os já encontrados em outros rios da bacia do Madeira, em áreas de exploração de ouro.

Diante deste histórico e da necessidade de dados concretos de toda a sub-bacia, este estudo foi realizado na sub-bacia Mutum-Paraná. E para esta análise foi realizado levantamento do processo de mineração de ouro na Amazônia e o uso de mercúrio nesta atividade. Processo que pode ser considerado o ponto de partida para o lançamento em grande escala de Hg no ambiente amazônico.

A origem do mercúrio pode ser natural ou antrópica, advinda de atividades como o uso no garimpo de ouro, onde é utilizado por fazer amálgama com este minério. Quanto as formas de uso, variam conforme o tipo de garimpo e região, na Amazônia e especificamente em Rondônia.

Mas existem mecanismos para reduzir a perda ou liberação de mercúrio proveniente desta atividade mineral, um equipamento conhecimento como retorta, cuja tendência é o seu uso, se não por uma questão ambiental, mas econômica.

Mas a questão ambiental do mercúrio é o seu comportamento quando no ambiente, principalmente na Amazônia, com características tão peculiares.

Mas estudos vêm analisando e descrevendo a interação domercúrio no ambiente. Estes estudos demonstram a importância da análise histórica das concentrações de metais pesados para que se possa ter dados que indiquem o grau de “contaminação” de um ambiente e desta forma o estabelecimento de mecanismos, ou proposições para reduzir os impactos ao meio ambiente e à saúde da população.

Por isso é fundamental a análise de mercúrio integrada, ou seja, uma avaliação que considere os aspectos hidrológicos, geológicos e pedológicos. Além do cruzamento de mapas que tratam destes temas e de localização da sub-bacia hidrográfica Mutum Paraná, pois o uso da linguagem dos mapas facilita a leitura e interpretação das informações.

Mas a realização destes estudos requer procedimentos científicos, padrões de coleta de amostras e análise destas em laboratório. Neste estudo não foi desenvolvida metodologia de análise, mas foram utilizados procedimentos já testados e que vêm sendo praticados com eficácia por pesquisadores na região da Amazônia.

Os resultados dos compartimentos ambientais (solo e sedimento) confirmam a presença de Hg na sub-bacia Mutum Paraná. Esta unidade de análise tem características que precisam ser analisadas em conjunto quando do estudo de elementos químicos, por isso a soma do estudo em solos e sedimentos com a análise de alguns parâmetros físico-químicos.

Às características do ambiente e a complexidade do mercúrio no ambiente, soma-se a perspectiva de instalação de duas hidrelétricas na região, o que requer uma reflexão quanto os possíveis impactos na mobilidade e transporte de sedimentos com adsorção de Hg, além do potencial processo de metilação. Por isso é relevante o monitoramento deste, pois o represamento de águas (barragem artificial) pode promover mudanças nas condições físico-químicas do meio, potencializando o aumento ou redução das concentrações de Hg disponível (MALM et al., 1997).

Enfim, conhecer a química aquática do Hg nos rios Amazônicos e em outros compartimentos ambientais é pensar o desenvolvimento futuro da região. Talvez este desenvolvimento não seja tão palpável quanto a construção de

estradas, barragens, *shoppings* e outros elementos símbolos de um período pós-moderno ou contemporâneo, mas é necessário e fundamental para planejar ações futuras e evitar acidentes como o ocorrido no Japão na década de 50 do século XX, quando ainda era totalmente desconhecida a química e a toxicologia do Hg. Embora, o comportamento deste elemento envolva processos geoquímicos complexos e muitos ainda não identificados, não se pode negligenciar a toxicidade deste metal. Monitorar os impactos causados por atividade antrópica e reduzir danos futuros.

2 – MINERAÇÃO DE OURO NA AMAZÔNIA E O USO DE MERCÚRIO

2.1 – ORIGEM DO MERCÚRIO

As fontes de mercúrio – Hg dividem-se em dois grupos, natural e antrópica. Mas estes dois grupos têm sido reclassificados conforme a emissão decorrente das atividades humanas para o ambiente. A fonte antrópica, no entanto, deve ser considerada como aquela em que o Hg é lançado em ambientes distintos por atividades diversas, e não a elaboração ou criação de Hg.

O mercúrio natural pode ser encontrado em pequenas concentrações na natureza, de forma irregular, em todas as regiões do globo. Um dos fatores desta mobilidade e que influencia a difusão deste metal para a superfície é a temperatura do manto terrestre. Processo que é intensificado em zonas de profundas fraturas geológicas. Nestas regiões, as concentrações deste metal são mais elevadas, o que possibilita a extração. Pode ser encontrado principalmente na forma de sulfeto de mercúrio (HgS), minério de cinábrio, em rochas do tipo calcário, arenito, serpentina, andesita, basalto, riolita, feldspato alcalino e quartzo. Na Espanha, Itália e Iugoslávia estão os principais depósitos naturais, embora estes não sejam considerados os principais países produtores. Embora o Brasil não seja produtor, é considerada uma região onde há ocorrência natural de mercúrio, em baixa quantidade (AZEVEDO, 2003).

Considerada uma fonte planejada, na qual se necessita utilizar o metal, a indústria utiliza Hg na fabricação de tintas, artigos dentários, cloro-soda, lâmpadas, pilhas e outros. A indústria de cloro-soda é considerada a principal a utilizar Hg, aproximadamente 33% do que é utilizado na indústria, dos quais cerca de 10% é reciclado (AZEVEDO, 2003).

Por último, um grupo de emissão de Hg é formado pela re-emissão de materiais que contém rejeitos provenientes de outras atividades ou produtos que contenham o metal, a exemplo da remobilização de solos e sedimentos que contenham mercúrio, como os de áreas garimpeiras. E nas áreas urbanas, os provenientes do despejo inadequado de resíduos sólidos que contém mercúrio (pilhas, termômetros e outros) (FERREIRA & APPEL, 1990).

O mercúrio de origem antrópica é decorrente de diversas atividades. Essa emissão "indiscriminada" somada às particularidades deste metal facilita sua toxicidade, a exemplo da incorporação ao sistema nervoso dos mamíferos. A capacidade de volatilização dispersa o Hg facilmente para outros ambientes fora de onde foi lançado, em especial para a atmosfera.

Mas destaca-se que o próprio ambiente pode maximizar a toxicidade de mercúrio, independente da fonte, como: a) Concentração elevada de matéria orgânica na água, solos e sedimentos; b) Intensa atividade microbiana; c) Diversidade de peixes; d) Ingestão de pescado, cuja toxicidade aumenta quando aumenta o nível trófico (AZEVEDO, 2003)

A liberação de mercúrio pelo garimpo, principalmente na Amazônia, é considerada a principal fonte de Hg para o ambiente. Mas não é possível saber quanto de mercúrio foi utilizado nas décadas em que o garimpo de ouro esteve no auge, pois não se tem dados oficiais do total de ouro extraído em todo o período, o que poderia facilitar a estimativa. Ainda, devido a ilegalidade e também a proibição oficial de mercúrio. Lacerda (1997) destacou que no período da "corrida do ouro" a emissão de mercúrio nos garimpos era oito vezes maior que a emissão da indústria de cloro-soda, segunda fonte no Brasil.

A falta de fiscalização, o descontrole do total de mercúrio utilizado nos garimpos de ouro na Amazônia, talvez seja um dos principais problemas, porque não é possível precisar quanto deste metal foi utilizado. Não se sabe quanto de mercúrio foi perdido (disponibilizado) para os solos, rios e atmosfera. Mas até 1997 pesquisadores estimaram que na Amazônia havia sido lançado em torno de 2 mil toneladas de Hg no ambiente (MALM et al*.,* 1997).

2.2 - CARACTERÍSTICAS GERAIS DO GARIMPO DE OURO

Uma característica marcante no estudo do processo de garimpagem, ou extração mineral, é a dimensão de variáveis para análise. Devido o complexo que é a questão ambiental desta atividade. É como um emaranhado de problemas, que convergem em vários sentidos, e vão desde a parte institucional, política, social, técnica, econômica e finalmente ambiental (BERBERT & ARAÚJO NETO, s/d).

A legislação brasileira, no artigo 174, Parágrafo 3º da Constituição Federal regulamenta (ou reconhece) o garimpo e ressalta que no exercício desta atividade deve ser considerada a proteção ao meio ambiente e a prevenção econômica-social dos garimpeiros, o que torna o garimpo real, mas ainda abstrato.

Para construir um empreendimento, que tenha potencial poluidor é necessária a elaboração de estudos que avaliem tais “danos” e assim, mecanismos de recuperação ou minimização destes. O que merece destaque é que a regulamentação desta atividade não altera os danos da mesma ou conseqüências negativas ao meio ambiente. Inclusive, nos aspectos sociais e econômicos, que muitos estudos focam, quanto as condições de lavra.

Outra questão fundamental e contraditória é o que consta no Decreto nº 97.507 de 13 de fevereiro e 1989, que trata da regulamentação do uso de mercúrio quando do licenciamento de atividade mineral. Onde é exposto que toda a atividade em depósito de minérios no leito dos rios, cursos de água ou margens, entre outras, com uso de dragas, moinhos, balsas, pares de bombas (chupadeiras), bicas ("cobra fumando") e quaisquer outros equipamentos similares, deverão ser licenciados pelo órgão ambiental competente.

Por outro lado, expõe que, **exceto** em atividade licenciada pelo órgão ambiental competente, é proibido o uso de mercúrio na atividade de extração de ouro.

A mineração é reconhecida e o seu licenciamento de igual forma. No entanto isso não exclui ou reduz os danos que podem ser causados pelo uso do mercúrio. Não há diferença no uso do Hg quando a atividade é regulamentada ou não. Falta uma etapa principal neste processo, que é a fiscalização do uso deste, desde a aquisição. Contudo que os garimpeiros atualmente utilizem equipamentos redutores da perda deste elemento químico para o meio ambiente, em virtude do preço no mercado ou por outros motivos. Ainda a redução na exploração, devido a fatores como preço do ouro e exaustão de reservas. O Hg continua e será utilizado na extração de ouro devido sua capacidade de fazer liga, o que facilita a retirada deste minério. E, ainda que encerrada ou reduzida a atividade de garimpagem com uso de mercúrio, o metal já utilizado e liberado, permanece no ambiente, pois o Hg

resiste a processos naturais de degradação (AZEVEDO, 2003), ficando disponível aos processos de organificação (metilação).

Quantos aos aspectos sociais, as condições precárias pelas quais passam os garimpeiros, relatados por Veiga et. al (2002) e Berbert & Araújo Neto (s/d) demonstra a exclusão social deste grupo, ou a luta pela subsistência, na busca de riqueza. Os garimpeiros formam um grupo que muitas vezes não têm outra opção de renda e buscam nesta atividade a sobrevivência (COUTO, 1988; BECKER, 1991).

Exemplo do garimpo Araras, localizado no Distrito de Araras, Município de Nova Mamoré no estado de Rondônia, distante 240 Km da capital Porto Velho, onde a realidade reflete o que foi o garimpo naquele local. Com aspecto de abandono, a comunidade que ali reside, ainda vive em condições precárias, e resta o que o garimpo “deixou”, crateras a céu aberto, ou enormes buracos, como são conhecidos popularmente. Sem opção de renda naquele local, muitos migraram para outros lugares. E os que ali ficaram sobrevivem basicamente de alguns pequenos comércios (tabernas) e da pesca. Esta comunidade tem uma escola e não há nenhum posto ou unidade de saúde para atender a comunidade. Ponto de apoio desta comunidade é a sede do município (Nova Mamoré), distante aproximadamente 40 Km.

Estudos demonstram que a população que forma o garimpo é composta principalmente por garimpeiros, prostitutas, proprietários (também conhecido como meia-praça), comerciantes e transportadores. Outras atividades desenvolvem-se paralelamente, como “gerente de barraco”, “queimador de ouro”, cozinheiros, “donos de barraco”, pistoleiro (o garimpeiro encarregado de derrubar as barreiras e mandar terra controlada para o maraqueiro), maraqueiro (responsável pelo controle de material, terra e água, para a caixa concentradora), catarino (encarregado de retirar pedra e raiz da caixa concentradora), raleiro (limpador da caixa, encarregado de retirar o restante do material, rejeito, do bico da caixa concentradora) e muinheiro (tipo de “mecânico, responsável pela engraxa e troca de rolamento do motor) (COUTO, 1988; BEZERRA et al., 1998).

Um problema, político, de difícil solução é a invasão de áreas de preservação, a exemplo de Terras Indígenas. Assim como as técnicas aplicadas

pelos garimpeiros, consideradas rudimentares, que ocasionam a perda de grande parte do ouro que deveria ser extraído do material removido. O que reduz a eficiência e aumenta a necessidade de exploração, conseqüentemente de modificações do ambiente. Berbert & Araújo Neto (s/d) observaram que do total de ouro explorado, provavelmente 50% deste fica retido aos rejeitos, conseqüência da aplicação de técnicas inadequadas de extração. Estimam que no garimpo de Serra Pelada - PA, nos enormes depósitos de rejeitos do auge do garimpo, existe um volume correspondente a no mínimo um terço do potencial aurífero daquela reserva. Parte da produção de ouro é perdida nas fases de extração (retirada do solo e sedimento) e no tratamento (na caixa concentradora) (KITAMURA, 1994)

Indiscutível é o fato que toda extração mineral trás consequências ao meio ambiente, seja visível ao olho nu, como as mudanças drásticas na paisagem, seja detectável por meio de análises laboratoriais, a exemplo do mercúrio.

Mas embora o mercúrio seja considerado o vilão da atividade garimpeira de ouro, não é a única conseqüência negativa do garimpo, do ponto de vista ambiental, mas ainda, o desmatamento, mudança nos cursos de água, mudanças no leito dos rios, turbidez da água, acúmulo de rejeitos contaminados (solo e sedimento), assoreamento e ainda, o abandono de peças das dragas e balsas ao longo dos rios. Além de outros elementos químicos, como graxas, detergentes e combustíveis, disponibilizados para solos e para o sistema de drenagem (BERBERT & ARAÚJO NETO, s/d).

2.3 - GARIMPO AMAZÔNICO

A economia brasileira está marcada por períodos conhecidos como ciclos econômicos. E a exploração aurífera faz parte destes ciclos e influenciou a expansão de áreas ocupadas. Muitos aglomerados e vilas surgiram a partir da extração de ouro, que posteriormente foram se organizando em conseqüência das atividades (serviços necessários) que surgem com o garimpo. O último ciclo, a partir de final da década de 1970, ocorreu na Amazônia, região vasta em extensão e biodiversidade, rica em mineral. Na Amazônia está a maior reserva mineral de ouro do mundo (VEIGA et al., 2002).

Becker (2003) destaca a Amazônia como um dos três “eldorados naturais”, do qual o Brasil detém grande parte. A retirada deste minério marcou uma nova fase de exploração de recursos desta fronteira. Com característica própria, bem demarcada, de ocupação espacial, conforme escreveu Becker (1991, pag. 63 e 64):

- ✓ A escala de construção, bem como mobilização de capital e mão-de-obra;
- ✓ Isolamento destes grupos, ou seja, o grupo vive a parte da sociedade organizada, bem como das autoridades locais;
- ✓ Estes se integram aos sistemas econômicos internacionais, devido o valor mundial do minério, em particular o ouro;
- ✓ O surgimento de aglomerados urbanos paralelos ou nas adjacências da área garimpeira, assim como representantes de força de trabalho com mão de obra especializada e não especializada.

A exploração mineral na Amazônia ainda teve alicerce em outros fatores, como a possibilidade de ocupação (e apropriação) de extensas áreas. Por isso Becker (1991) destaca que na década de 1980 o governo brasileiro implantou 6 (seis) grandes projetos com foco industrial e de infra-estrutura e a criação de reservas garimpeiras. Dentre os projetos do governo estava o de colonização da Amazônia, a partir da expansão agrícola e exploração dos recursos naturais.

Por isso, anterior a exploração aurífera na Amazônia o governo criou “estruturas” importantes para o relacionamento entre as regiões do país, como a construção e melhoria das rodovias Belém-Brasília, Brasília-Cuiabá-Porto Velho. Posteriormente o governo brasileiro criou Programas de Integração Nacional – PIN e incentivos de promoção da ocupação desta região. O lema era “Terras sem Homem para Homens sem Terra”. Estes programas foram independentes da criação de Reservas Garimpeiras, mas o aumento do contingente populacional potencializa a população exposta aos riscos de atividades como a exploração aurífera.

Somado aos objetivos do governo o aumento do preço do ouro no mercado internacional trouxe a um grupo de pessoas uma nova perspectiva

econômica. E muitos saíram de áreas rurais, deixaram atividades agrícolas e pecuárias, para participar da corrida do ouro na Amazônia. O que recebeu apoio do governo militar, que via uma nova forma de integração da região (VEIGA et al, 2002). Hoje pode se encontrar filhos ribeirinhos trabalhando no garimpo de ouro do Madeira.

Na Amazônia, a partir do fim da década de 1970, foram desenvolvidos 33 (trinta e três) garimpos, que exploravam cassiterita, ouro, tantalita e diamantes. Destes, 15 (quinze) exploravam ouro: Tropas (PA), Cupixi (AP), Madeira - Mamoré (RO), Abacaxis (AM), Parauari (AM), Médio Tapajós (PA), Alto Tapajós (MT), Rio Branco (PA), Andorinhas (PA), Serra Pelada (PA), Gurupi - Maracacumé (Divisa entre PA e MA), Lourenço (AP), Carecuru (AP), Pacaraima (RR) e Tepequém (RR). Oficialmente foram criadas Reservas Garimpeiras na Amazônia para regulamentar a atividade e ainda, segundo Veiga et.al, 2002) aumentar a popularidade do governo militar (Tabela 1).

Tabela 1 – Reservas Garimpeiras – Amazônia/Brasil

LOCAL – UF	*DOCUMENTO*	*DATA CRIAÇÃO*	*ÁREA (HA)*
Rio Madeira/RO	Portaria 1345	10-07-1979	18.935
Rio Madeira/RO	Portaria 1034	31-07-1980	26.642
Peixoto De Azevedo/MT	Portaria 550	10-05-1983	121.000
Itaituba/PA	Portaria 882	28-07-1983	2.874.500
Cumaru do Norte/PA	Portaria 25	10-01-1984	95.145
Roraima	Portaria 143	03-02-1984	12.000
Serra Pelada/PA	Lei 7.194	11-06-1984	100
TOTAL			3.148.322

Fonte: Veiga et al. (2002)

No entanto, a exploração de ouro não aconteceu somente nas áreas regulamentadas. Se oficialmente foi criada uma área de 31,5 Km², a área de exploração era de 170.000 Km², ou seja, aproximadamente 5% da área total da Amazônia (KITAMURA, 1994).

As ações do governo não impulsionaram apenas a migração de pessoas, principalmente nordestinos, mas empresas nacionais e multinacionais, como Andrade Gutierrez, Odebrecht, CR Almeida, Sutelpa, Contran e outras.

A descoberta de Serra Pelada intensificou a corrida do ouro e os grupos de migrantes se espalharam nos garimpos, principalmente nos estados do Pará e Rondônia. Esta ocupação ocorreu de forma desordenada, sem preocupação ou uma política que pensasse a estrutura social e os mecanismos de minimizar os danos ambientais. Em nenhum momento, nos trabalhos publicados foi frisado que o governo, quando pensou a ocupação da Amazônia, estabeleceu regras para o uso dos recursos ambientais desta região e fiscalização (ROCHA et al., 1996).

Quanto ao contingente populacional do garimpo, não há exatidão, estudo realizado por Veiga et al. (2002) aponta que no ano de 1989 existiam pelo menos 2 mil garimpos com aproximadamente dois milhões de garimpeiros, somente na Amazônia brasileira. Na década de 1990 mais de 60% da produção de ouro do Brasil tinha origem na região Amazônica (BEZERRA et al., 1998).

A garimpagem na Amazônia trouxe mudanças de ordem social (doenças, prostituição, conflitos com comunidades indígenas, entre outros) e a riqueza esperada por muitos, não aconteceu. Os garimpeiros, nas suas diferentes funções, ficavam com parte da produção (que era dividida em grupo). Enquanto os proprietários de dragas e balsas ficavam com cerca de 50 a 75% do que era produzido (BERBET & ARAÚJO NETO, s/d). No contexto ambiental, os principais impactos foram: a remoção de solo e sedimentos, que ficaram acumulados ou foram direto para cursos de água; influência nos cursos dos rios; desmatamento e aumento na turbidez dos rios. Indiscutivelmente o lançamento de mercúrio é considerado o principal impacto da garimpagem na Amazônia. Pois ocorre em dois momentos, durante a separação do ouro, quando do amálgama (mistura ouro-mercúrio), e quando do lançamento dos rejeitos nos rios ou solos.

Os rejeitos dispostos diretamente no solo (exemplo garimpo do Araras, Tapajós) e nos rios (exemplo do garimpo do rio Madeira) contém mercúrio em sua forma metálica, o qual pode ser transformado quimicamente e absorvido por algas, organismos aquáticos da base da cadeia alimentar, peixes em geral, e ainda ser adsorvido aos sedimentos e transportados para outros ambientes.

A dispersão do mercúrio para outros ambientes fora de onde ocorre a garimpagem, também foi constatada (KITAMURA, 1994). Da mesma forma que grupos populacionais são contaminados indiretamente por mercúrio. É o processo

conhecido como bioacumulação e biomagnificação. No processo de biomagnificação o metal vai subindo na cadeia trófica e chega até o homem. Exemplo foi dado pelo pesquisador Malm (1993), onde o Hg lançado no sistema aquático é absorvido por uma alga. E dez destas são consumidas por um peixe. Um peixe maior consome dez destes peixinhos que comeram dez algas cada um, então esse peixe maior fica com a concentração de cem algas. E desta forma, indiretamente, o ser humano ingere mercúrio, em maior proporção na sua forma química metil-mercúrio. Quando no organismo humano, o processo de eliminação é lento. Outro grupo importante são os trabalhadores de casa que comercializam ouro, que por via respiratória assimilam mercúrio na sua fase vapor. Dentre as principais lesões ao organismo humano, pesquisadores destacam os danos ao sistema nervoso central, rins e pele (CÂMARA, 1993).

Foi a partir desta corrida do ouro na Amazônia que pesquisadores de Institutos, universidades e Organizações Ambientais iniciaram estudos em amostras ambientais (solo, sedimento, peixe, plâncton) e humanas (cabelo, urina, leite materno) para determinar os níveis de mercúrio. A preocupação estava (e ainda está) baseada no conhecimento sobre a toxicidade deste metal, e ainda, sobre os seus efeitos para a saúde humana.

2.4 - GARIMPO DE OURO EM RONDÔNIA

Há registro que a atividade garimpeira em Rondônia teve início no ano de 1739, quando um grupo de garimpeiros iniciaram a extração de ouro no rio Corumbiara, afluente do rio Guaporé (TEIXEIRA & FONSECA, 1998).

Em levantamento sobre o histórico da descoberta de ouro em aluviões mineralizados no rio Madeira, pesquisadores do Departamento Nacional da Produção Mineral citaram que Louis D’Alincourt já mencionava, em seus escritos “Memórias acerca da fronteira da Província de Mato Grosso”, no ano de 1826, sobre a presença de ouro na cachoeira do Ribeirão. Após esta “descoberta”, somente no ano de 1978 se deu partida para um novo processo de ocupação e transformação do então território de Rondônia, as margens do rio Madeira, com exploração mineral (BRASIL, 1983).

A atividade garimpeira foi oficializada pelo Ministério de Minas e Energia do Bvés das Portarias Ministeriais nº 1345 (1979) e nº 1034 (1980), que criaram a Reserva Garimpeira do rio Madeira, com uma área de 192 Km, no trecho compreendido entre as Cachoeiras do Paredão e Teotônio, reservas que ainda estão ativas.

Localizado do SW de Porto Velho até NE-SW da vila de Abunã, o acesso aos pontos de garimpagem se dava principalmente por via terrestre, pois os trechos encachoeirados impediam o acesso por via fluvial. O centro de apoio, ou "nervoso", era a vila de Mutum Paraná, que neste período tinha como única fonte econômica o garimpo. A vila de Mutum Paraná atualmente é Distrito de Porto Velho (capital de Rondônia). Atualmente ainda serve de apoio para algumas dragas, em menor proporção que no "auge" do garimpo (BRASIL, 1983).

No início o processo de extração ocorria de forma manual, conhecida como mineração artesanal. Posteriormente, em 1979, surgiram as primeiras balsas e no princípio da década de 80 foram registradas as primeiras dragas. Neste período, no alto rio Madeira, se intensificou a exploração aurífera, sobretudo do garimpo Periquitos, Santo Antônio e Belmonte (ADAMY & PEREIRA, 1991). Efeito direto deste período foi o incremento populacional, pois a notícia da existência de aluviões mineralizados intensificou o fluxo de garimpeiros para rio Madeira. Em 1981 foi registrada a presença de 8.000 pessoas que migraram de diversos locais do país e até mesmo de outros garimpos e 300 garimpos no Madeira (BRASIL, 1981).

O ouro encontrado nos aluviões do rio Madeira, de granulação finíssima (ouro em pó), com tamanho entre 0,100 a 0,150 mm, necessitava ser extraído com uso de mercúrio. Porque a fração dificultava o processo de garimpagem, ou seja, o uso deste metal tinha (e tem) como objetivo facilitar a separação do ouro das demais partículas.

As décadas de 70, 80 e 90 marcaram o auge da atividade garimpeira em Rondônia e conseqüentemente produção de ouro e disponibilização de mercúrio ao ambiente. Há controvérsia quanto o total de Hg utilizado neste período, que variava de 1,3 a 1,9 Kg para cada 1 Kg de ouro produzido (Tabela 2). O Hg utilizado no garimpo de ouro tinha dois destinos, sublimação para atmosfera, durante a queima

do amálgama e o lançamento direto com rejeitos, principalmente no sistema hídrico. Neste processo, que pode ser considerado um ciclo, quando o Hg é lançado no ambiente, ocorre a exposição ocupacional direta e exposição indireta. A exposição indireta atinge populações que não estão diretamente envolvidas no garimpo, a exemplo de populações ribeirinhas, que vivem nas vilas ao longo das margens dos rios.

Tabela 2 – Quantitativo de Hg utilizado na produção de ouro

Hg UTILIZADO Kg	*PRODUÇÃO DE OURO Kg*	*REFERÊNCIA*
1,7	1	Rimoli (1988)
1,3	1	Pfeiffer & Lacerda (1988)
1,4	1	Lacerda et. al (1990)
1,9	1	Bezerra et. al (1998)

2.5 – USO DE RETORTA: MECANISMO DE REDUÇÃO NO LANÇAMENTO DE MERCÚRIO PARA O AMBIENTE

O objetivo do desenvolvimento de retortas é reduzir a perda do mercúrio utilizado no processo de recuperação do ouro, o que significa reduzir a perda deste metal para o ambiente, assim como a exposição direta dos garimpeiros e demais pessoas que trabalham no garimpo. As retortas têm modelos variados, que permitem de igual forma um percentual variado de recuperação, cujos valores são extremamente significativos (Tabela 3).

Tabela 3 – Percentual de redução na emissão de Hg com uso de retorta

MODELO	***RECUPERAÇÃO de Hg***	***REFERÊNCIA***
RHYP	99,8 %	Hypólito & Andrade (1990)
-	95 – 97	Bezerra et. al (1998)
-	95 %	Veiga et. al (2002)
Ourolimpo®	±50%	Trivelato (2009)

A retorta é um sistema fechado com um cadinho metálico, no qual o amálgama formado pelo ouro e mercúrio é aquecido por um queimador de ar-butano, onde o Hg é sublimado e os vapores são conduzidos a um condensador, com resfriamento à água. Ao final do procedimento de queima o Hg volta a sua forma metálica (líquida), pronto para ser reutilizado. Testes realizados comprovaram que neste sistema a recuperação do mercúrio é superior a 96% (MALM, 1993).

Na época do auge do garimpo na região Amazônica autores estimaram o a perda de mercúrio metálico para o ambiente, onde aproximadamente 75% era perdido para atmosfera através da queima do amálgama, pois não havia uso de retorta. O restante era lançado através dos rejeitos diretamente nos solos e cursos fluviais. Era formada uma relação complexa de transferência de Hg entre compartimentos ambientais e para o homem (Figura 1).

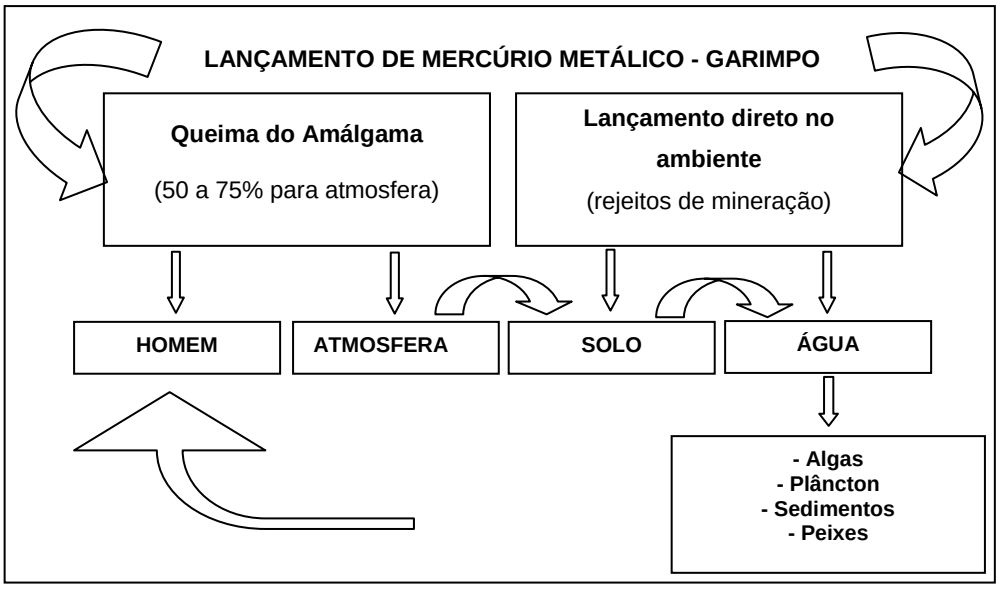


Figura 1 – Lançamento de mercúrio no auge do garimpo do Madeira.
Fonte: Elaborado a partir de Malm (1993).

Para Veiga et. al (2002) a não utilização de retorta pelos garimpeiros esta associada a falta de conhecimento dos efeitos tóxicos do Hg para a saúde humana. Além de outros fatores, como o tempo de recuperação de ouro, maior que no processo comum e porque estes acreditam que partículas do minério ficam

adsorvidas as paredes do equipamento. Para Malm (1993, p. 113) a efetiva redução das emissões de Hg para o ambiente depende:

> "A redução das emissões depende exclusivamente do cuidado no manuseio do mercúrio o que, por sua vez, depende da conscientização e cooperação dos garimpeiros. Isto só se dará a partir da compreensão da toxicidade do mercúrio. Esta é uma tarefa educacional de difícil execução, porém de essencial importância para qualquer progresso neste sentido".

Por isso a prática de uso da retorta deve ser acompanhada por programas de educação ambiental para os grupos que extraem ouro, os trabalhadores de dragas e balsas e a comunidade no entorno dos garimpos.

Nos dias de hoje esse procedimento mudou, ou seja, verifica-se a utilização da retorta pelos garimpeiros nas balsas e dragas ao longo do Madeira, mas esse mudança não ocorreu pelo conhecimento da ação nociva do metal e, sim por uma questão econômica. Ao utilizar a retorta o mercúrio que antes sublimava para a atmosfera e era inalado pelo operador atualmente é re-utilizado no processo inicial, promovendo assim, uma economia na compra do Hg.

2.6 - COMPORTAMENTO DO MERCÚRIO NO AMBIENTE

As características físico-químicas ou comportamento do mercúrio Hg no ambiente, ante tantas interrogações, ainda é objeto de pesquisa. Muito embora, estudos realizados em amostras ambientais e humanas tenham mostrado resultados positivos, acrescentando informações significativas ao conhecimento deste metal.

O mercúrio se destaca de outros metais porque apresenta características singulares e no ambiente apresenta-se de diferentes formas, o que torna ainda mais complexo o seu estudo.

O Hg pode apresentar-se nas formas inorgânica (Hg^o, Hg^{2+} e Hg_2^{2+}) ou orgânica (CH_3Hg^+). O mercúrio inorgânico pode, ainda, gerar compostos organometálicos, a exemplo do dimetilmercúrio - $(CH_3)_2Hg$.

A química deste elemento e sua transformação é uma questão a ser elucidada, para qual deve ser considerada a química aquática e as peculiaridades ambientais do local de estudo. Lacerda *et. al* (1990) ressaltam que na região Amazônica são encontradas condições que proporcionam ao processo de metilação. Estas podem ser entendidas como altas temperaturas, ambientes ácidos e, principalmente a fonte antropogênica. Ambientes com altos níveis de matéria orgânica dissolvida e baixa concentração de nutrientes influenciam estes processos (ROSA et al., 2003).

Resultado da metilação, o metil-Hg é o composto mais tóxico do mercúrio, e totalmente nocivo à saúde humana, pois além de ser solúvel na água, bioacumula-se na biota aquática, atingindo os maiores níveis tróficos na cadeia alimentar (LACERDA & MENEZES, 1995). Em decorrência de todo este processo este metal pode chegar às populações humanas. É fácil encontrar na literatura autores que destacam o pescado como principal fonte de Hg para os seres humanos, no entanto, pela exposição, pessoas que lidam diretamente com este metal, nos garimpos e/ou nas casas de revenda de ouro, podem ser "contaminadas".

O mercúrio metálico - Hg^o, utilizado em diversas atividades humanas, pode ser identificado em três ambientes: atmosfera, aquático e terrestre. Lacerda e Menezes (1995) classificam que o metal disperso para atmosfera *"...torna-se a principal fonte de contaminação do ambiente"*. Ambientes com alta oxigenação, a exemplo dos sistemas hídricos, devido a baixa solubilidade e alta volatilidade do mercúrio, ocorre a oxidação deste metal para íon mercúrico (Hg^{2+}). Na atmosfera, quando em contato com vapor de água e ozônio também ocorre o processo de oxidação, com precipitação do Hg^{2+}. No entanto este comportamento é barrado quando o metal é perdido por difusão na interface água-ar. Mas quando adsorvido por sedimentos, nestes predomina a forma metálica (Hg^o), ou seja, embora oxidado, retorna à sua forma elementar quando precipitado e incorporado às partículas sólidas (JARDIM, 1988; LACERDA et al*.,* 1990).

Outros parâmetros, a exemplo do pH e condutividade elétrica podem influenciar a acumulação do Hg nos sedimentos, ou seja, é uma forma de estocar e transportar este metal (ALMEIDA *et al.,* 2005a) Em pH alcalino o Hg pode ser difundido pela água e atmosfera, enquanto em um pH ácido passa para forma mono-metil-Hg.

Nos solos e sedimentos, especificamente, o Hg acumula-se nas partículas de menor granulomentria, silte e argila. Marins et al. (2004) destacam que:

> "Os metais preferencialmente se associam ao material fino que contem argilas, silte e matéria orgânica particulada, que são os principais carreadores de metais nos ecossistemas aquáticos; essa fração é similar ao material carreado em suspensão, que representa o material de maior importância para o transporte a longas distâncias no meio aquático" .

Embora a adsorção em solos dependa de fatores como o tempo de deposição, da idade, das características e das condições atuais de uso do solo. Os sedimentos funcionam como reservatórios, porque nestes pode ocorrer diversos processos, o Hg pode ficar ativo, e, portanto, disponível para metilação, por um período de 100 anos (WINDMOLLER et al., 2007).

2.7 - PESQUISAS SOBRE MERCÚRIO

Os estudos de Hg no Brasil têm sido realizados em diversas matrizes ambientais e humanas, considerando os diferentes históricos de disponibilidade deste metal aos ecossistemas.

Com o objetivo de avaliar a disponibilidade Hg em reservatórios, Lacerda e Menezes (1995) observaram que em lagos artificiais ocorre um aumento da atividade biológica, o que potencializa a concentração de Hg e suas transformações. Ainda, observam que todo mercúrio perdido para sistemas aquáticos acumulam-se principalmente nos sedimentos de fundo e, portanto, têm

pouca mobilidade. No entanto, a análise integrada de metais em sedimentos de fundo e em suspensão (sólidos), faz-se necessária, pois os sólidos dispersam os elementos a eles adsorvidos, para outros ambientes.

As condições locais decorrentes de atividades antrópicas ou naturais também disponibilizam Hg, por exemplo, em períodos onde ocorre diminuição dos índices pluviométricos, ocorre uma baixa na disponibilidade de Hg, porque há uma redução na velocidade da corrente fluvial em transportar material particulado. Esta estabilidade hidrológica confere aos sedimentos fluviais a característica de integrar informações. Estas condições associada ao Hg liberado por ação antrópica podem comprometer o uso dos recursos ambientais.

Se em sistemas naturais, a exemplos de rios e igarapés, o Hg pode ser adsorvido às partículas finas e assim transportado para outros ambientes, em reservatórios este se concentra, mas dependendo das condições biogeoquímicas, pode ter sua ação "poluidora" acentuada, e atingindo grupos não diretamente ligados as atividades que fazem uso de Hg. Neste caso ocorre a contaminação indireta. Que pode ser constatado em estudos realizados nas bacias dos rios Madeira e Tapajós, conforme Lacerda e Menezes (1995, p. 36):

> "Algumas pesquisas mostraram que sedimentos contaminados em suspensão são transportados a centenas e até milhares de quilômetros a jusante da fonte contaminada, podendo atingir ambientes não ligados diretamente à atividade garimpeira, fenômeno demonstrado, por exemplo, nos rios Madeira e Tapajós"

Kitamura (1994) ratifica que existem dois grupos quando considerados os níveis de Hg na população humana: 1) Formado pelos garimpeiros, que extraem o ouro, e os comerciantes que negociam o ouro extraído, concentram e purificam este; 2) O segundo grupo é formado principalmente pela população ribeirinha, que por meio da cadeia trófica, principalmente consumo de pescado, acumulam Hg. Este autor ressalta que no auge no garimpo toneladas de Hg foram perdidas para o ambiente e, portanto, as preocupações ambientais na região Amazônica, estão

diretamente relacionadas as conseqüências ambientais imprevisíveis, em especial em relação à saúde das comunidades.

Em outro ambiente, naturalmente formado, com objetivo de avaliar as concentrações de mercúrio nos sólidos em suspensão e em perfis de sedimento de fundo do lago Puruzinho, localizado no estado do Amazonas, afluente da margem esquerda do rio Madeira, foi constado variação nos níveis de Hg nas seções do lago. Almeida et al. (2005a) constataram que as maiores [Hg] estavam na entrada no lago, assim como no centro, que também foi superior ao encontrado na saída deste, o que os autores atribuíram ao processo de sedimentação recente. Pois a camada superficial apresentou este mesmo comportamento. Ainda, identificaram que em pH ácido e variação na condutividade elétrica podem influenciar maior concentração de Hg e ainda a exportação deste (transporte para outros ambientes).

Em sedimentos superficiais, numa faixa de 0 a 2 cm, Rodrigues Filho et al. (2003) constataram um aumento acentuado de Hg, relacionado diretamente a presença de matéria orgânica e água. Comportamento identificado em lagos de água preta na Amazônia, onde as altas concentrações de Hg estão associadas às concentrações elevadas de matéria orgânica dissolvida (FADINI, 1999). Jardim e Fadini (2001) avaliaram que em pH ácido e altas concentrações de matéria orgânica associados as altas temperaturas funcionam como mecanismos oxidativos. Estas condições podem ser facilmente identificadas em outros ambientes na Amazônia, altas temperaturas, altos índices de chuva e matéria orgânica. Em outro estudo, realizado em sedimentos de áreas de garimpo de ouro do quadrilátero ferrífero em Minas Gerais, todo mercúrio foi identificado na forma Hg^{2+} nas frações de silte e argila, embora da atividade de extração de ouro seja liberado mercúrio metálico.

Em área de mangue, no nordeste do estado do Pará, foram encontradas baixas concentrações de Hg, acompanhado de baixos teores de matéria orgânica. Esta região é considerada como não impactada por mercúrio e o valores deste metal são associados a origem natural (VILHENA et al*.,* 2003).

3 – CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS DA ÁREA DE ESTUDO

3.1 – ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo faz parte do complexo de 06 (seis) sub-bacias que formam a bacia hidrográfica do rio Madeira. Regionalmente denominado sub-bacia 20, na divisão de sub-bacias hidrográficas do território rondoniense. Afluente da margem direita da bacia do Madeira, localizada na porção Noroeste do estado de Rondônia, Amazônia ocidental. Abrange os municípios de Nova Mamoré, onde estão localizadas suas principais nascentes; e Porto Velho, do médio curso à foz. Com extensão aproximada de 3.559,92 Km², delimitada pelas coordenadas geográficas 9°34'40'' e 10°01'49" de latitude Sul e 65º15'34" e 64°57'51" de longitude Oeste. Faz limite ao Norte com a sub-bacia do Alto rio Madeira, ao Sul com a sub-bacia do Alto rio Jacy Paraná, a Leste com a sub-bacia do Baixo rio Jaci Paraná e a Oeste com a sub-bacia do rio Ribeirão/rio Madeira (Figura 2).

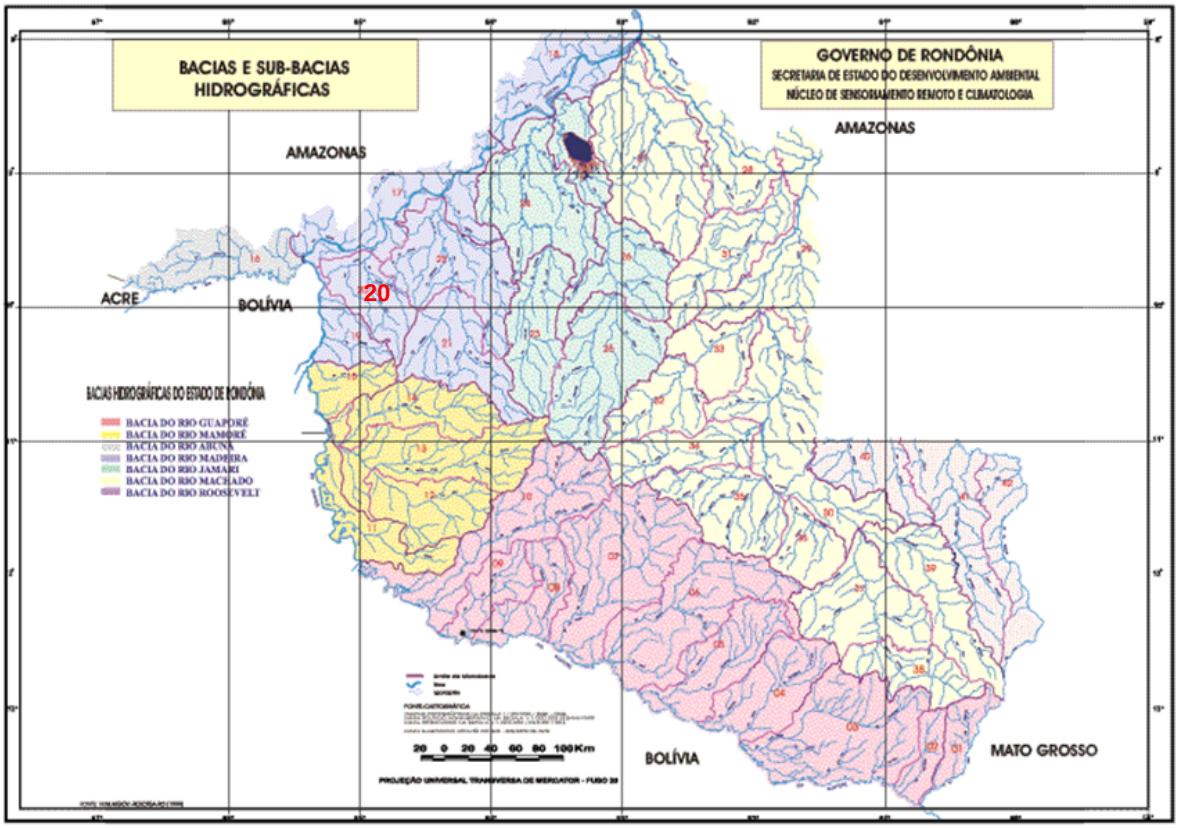


Figura 2 – Divisão de bacias do estado de Rondônia (RONDONIA, 2001)

O rio Mutum Paraná é formado pela junção do igarapé água Azul que nasce na Serra dos Pacaás, a cerca de 200 metros de altitude na área dos índios Karipuna, e pelo igarapé Mutum, que tem suas nascentes na zona estrutural de morros testemunhos dos Pacaás, aproximadamente a 280 metros de altitude da terra indígena mencionada (Figura 3).

Figura 3 – Nascente (rio Azul) e foz (rio Mutum Paraná) da sub-bacia Mutum Paraná.

Na área da sub-bacia hidrográfica está localizado o Distrito Municipal Mutum Paraná, distrito da capital Porto Velho, com população aproximada de 611 pessoas (BRASIL, 2000). Mas no entorno existem outros Distritos de Porto Velho e do município de Nova Mamoré (Figura 4). O acesso a área de estudo é por via fluvial e terrestre, através das rodovias BR 364, BR 425 e BR 421, além de várias estradas vicinais. Contudo, no período chuvoso algumas áreas podem ficar isoladas devido a precariedade de algumas estradas (Figura 5).

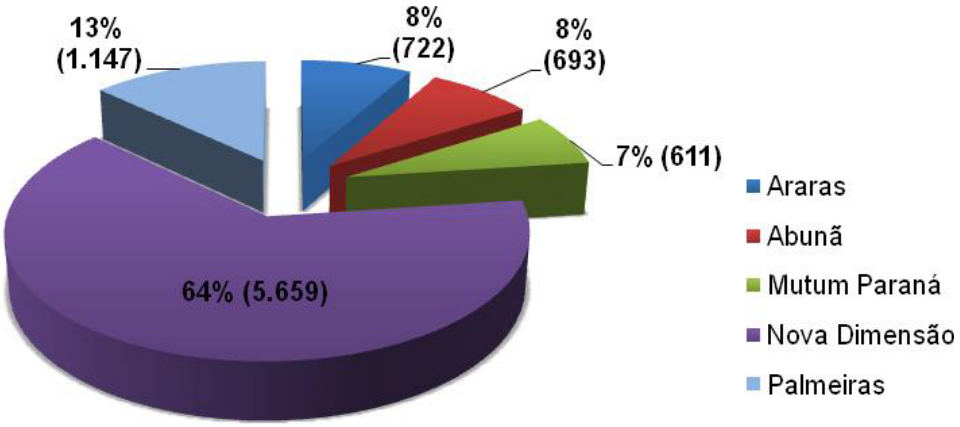


Figura 4 – População da área de estudo e entorno (BRASIL, 2000).

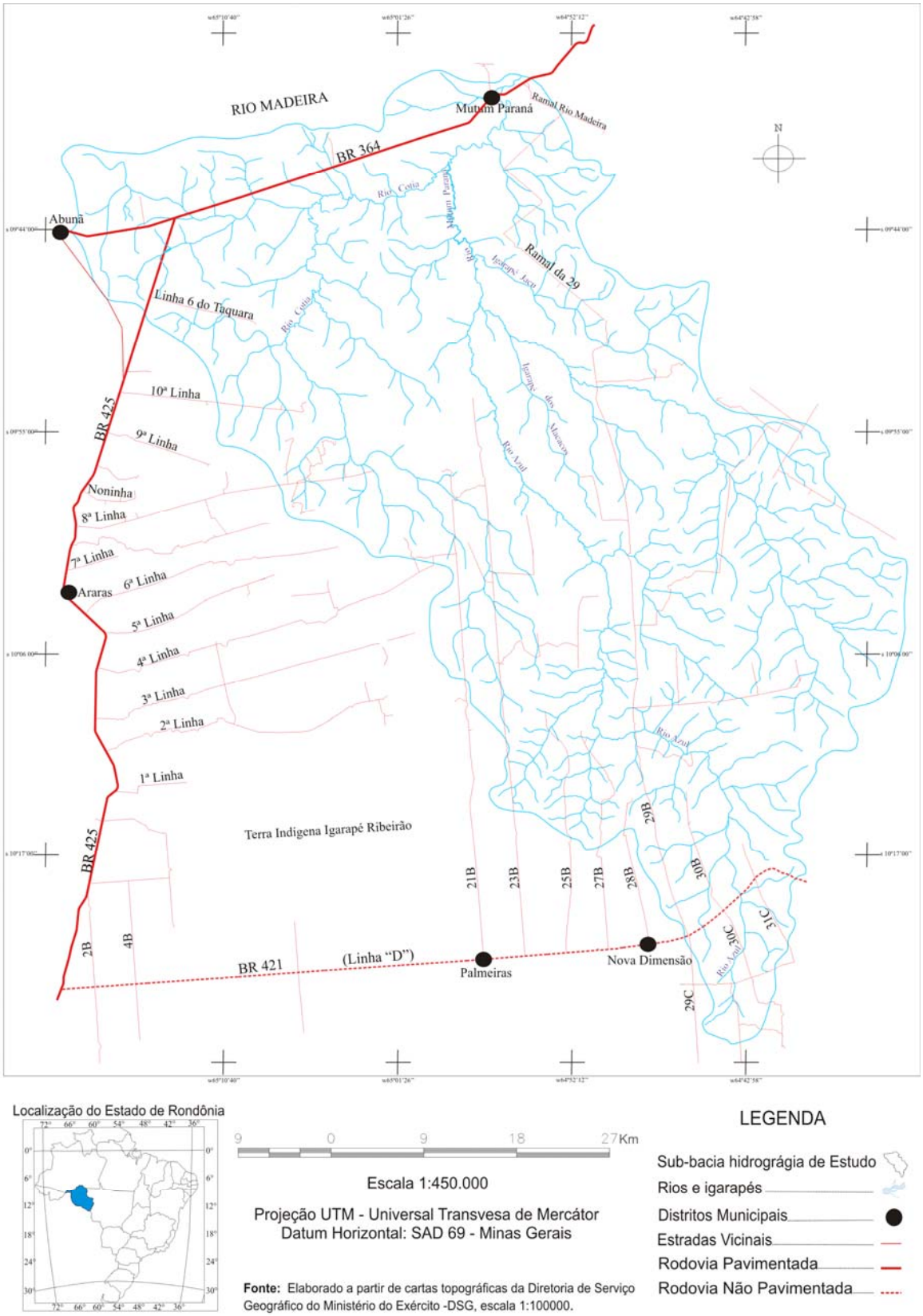


Figura 5 – Mapa de localização da área de estudo, sub-bacia Mutum Paraná

3.2 – SOLOS

Guerra e Guerra (2001) classificam o solo como a camada superficial da terra onde atuam fatores endodinâmicos e exodinâmicos que vão dar origem ao perfil. Portanto, os tipos de solos variam e dependem dos fatores que atuam sobre estes, ou seja, a área de ocorrência dos grupos pedológicos não é regular.

Na região Amazônica os solos predominantes são os Latossolos e Argissolos, que também predominam na área de estudo (RODRIGUES, 1996).

Latossolos representam a classe pedológica de maior ocorrência em toda a Amazônia, ocupam uma área de 2.103.440 Km² (40,99%). São desenvolvidos a partir do retrabalhamento do material de origem, processo que os torna quimicamente pobres. Seus principais componentes granulométricos são areia e argila. Este solo tem como principais componentes mineralógicos da argila a caulinita, óxidos de ferro, quartzo, gibsita e mica (RODRIGUES, 1996). São solos constituídos por material mineral e apresentam horizonte B Latossólico, ou seja, não iluvial e muito intemperizado, abaixo de qualquer tipo de horizonte A (BRASIL, 2006). São profundos, bem drenados, bastantes porosos e permeáveis.

Os argissolos correspondem a 1.687.880 Km² (32,89%) dos solos da região amazônica. Note que mais de 70% dos solos desta região são dos tipos Latossolo e Argissolo. Os Argissolos são solos minerais, não hidromórficos, porém, a caracterização química destes depende da natureza do material de origem, assim como do grau de intemperismo. Se desenvolvidos no Terciário e Quaternário, a partir de rochas ácidas e sedimentos, são classificados como distróficos e álicos. Ao passo que se desenvolvido de rochas intermediárias ou básicas são eutróficos.

Em menor proporção também ocorrem manchas de Gleissolo na sub-bacia Mutum Paraná. De um modo geral os Gleissolos são hidromórficos, mal drenados, pouco profundos, distróficos ou eutróficos. No entanto, estas características vão variar conforme o material de origem (GUERRA & BOTELHO, 1998). São classificados como Glei Húmico ou Glei Pouco Húmico, cujo desenvolvimento pedogenético é influenciado pela oscilação do lençol freático ou regime de inundação, pois estes solos ocorrem em planícies aluviais (BRASIL, 1991).

4 – OBJETIVOS

4.1 – OBJETIVO GERAL

Identificar a presença e quantificar as concentrações de mercúrio na sub-bacia do rio Mutum Paraná.

4.2 – OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ✓ Avaliar os parâmetros físico-químicos: pH, oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, temperatura da água e matéria orgânica na água;
- ✓ Quantificar as concentrações de Hg total no solo, sedimento em suspensão e do leito dos principais afluentes;
- ✓ Caracterizar o uso e ocupação do solo da sub-bacia Mutum Paraná;
- ✓ Produzir banco de dados dos teores de Hg na referida bacia para subsidiar o entendimento da origem do Hg.

5 – JUSTIFICATIVA

Em estudo preliminar, realizado pelo laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer foram verificadas concentrações de mercúrio – Hg em amostras de sedimentos coletados na foz da sub-bacia Mutum Paraná. Nesta sub-bacia Pfeiffer et. al (1991) identificaram um valor que se destacou entre os já encontrados nos sedimentos dos rios que fazem parte da bacia do Madeira. Em estudo mais recente o rio Mutum Paraná apresentou altos teores de Hg em sedimentos, 247,02 $\mu g.Kg^{-1}$ (GOMES *et. al*, 2006). Por não haver histórico de garimpo de ouro nesta sub-bacia, as concentrações de mercúrio na foz estavam associadas aos serviços de manutenção de dragas. Diante disso a possível ocorrência de mercúrio na nascente só poderia ter origem natural.

6 – MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 – DESCRIÇÃO GERAL

Diante do objetivo em identificar as concentrações de mercúrio no rio Mutum Paraná e sua contribuição para o rio Madeira, este estudo foi desenvolvido com base no método experimental.

A fase inicial teve alicerce no levantamento bibliográfico, realizado durante todo o decorrer deste estudo, por ser fundamental ao embasamento teórico de cada capítulo. Os resultados obtidos nas análises somam-se a base teórica.

A fase de campo, base para se obter os dados que geraram as informações deste estudo, teve seu início com o planejamento do desenho amostral que será detalhado posteriormente, assim como os procedimentos laboratoriais.

O acesso à área de estudo ocorreu por via terrestre e aquática (com "voadeira"), a partir das particularidades da região. Previamente, com o uso de mapas, às coletas de campo foram estabelecidos os locais para coleta de água, solo e sedimento, de forma a contemplar os principais cursos de água da bacia do Mutum Paraná (Figuras 6 e 7).

As amostras de água, para posterior obtenção do material particulado em suspensão, por filtragem, foram coletadas nos mesmos locais onde foram amostrados o sedimento de fundo, assim como medidos os parâmetros físico-químicos.

As coletas de solo foram realizadas após análise do mapa de solos, na escala de 1:120000 e foi considerada principalmente a classe pedológica, ainda o tipo de uso predominante.

Destas amostras (água, solo e sedimentos) em laboratório foram quantificadas as concentrações de mercúrio total. As informações que em razão do problema apresentado neste trabalho dão origem a novas perguntas e inferências. Surgem outras possibilidades. Cada amostra trás uma informação singular, de cada ponto, de cada local do espaço geográfico. As informações são entendidas assim porque se acredita que representam o local de onde são retiradas, e podem

ser somadas, para numa escala regional, demonstrar a realidade da área de estudo, no caso particular, dos níveis de mercúrio da sub-bacia Mutum-Paraná.

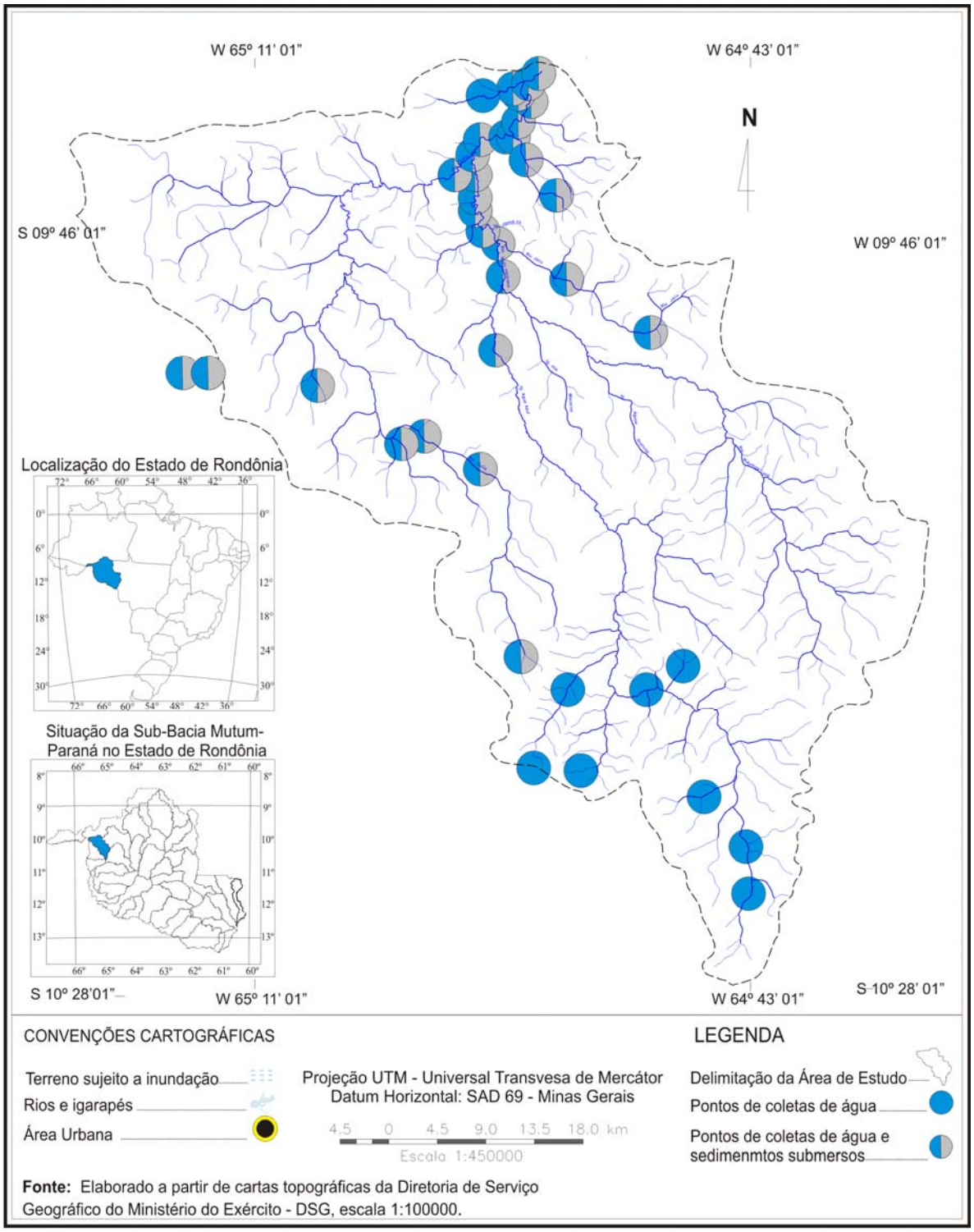


Figura 6 – Mapa com pontos de amostragem de água e sedimento.

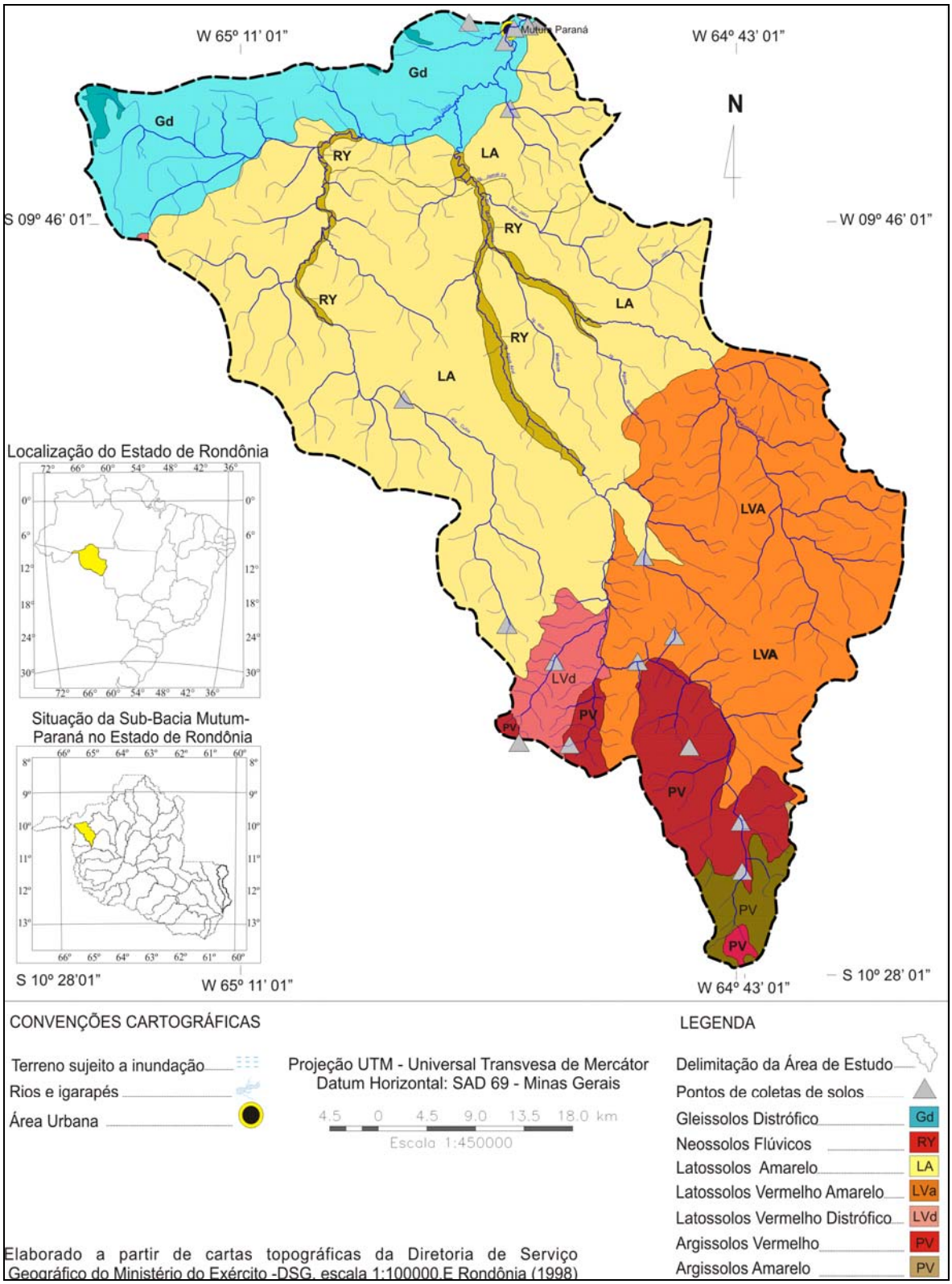


Figura 7 – Mapa da área de estudo evidenciando os pontos de amostragem de solo.

6.2 – CAMPO

Na primeira coleta de amostra, junho de 2007, período de estiagem, foram coletadas amostras de água e sedimento de fundo. Foi possível chegar por via terrestre aos igarapés Linhares, Taquara e outro sem denominação (s/d), além dos rios Jacu, Cutia, Azul e Mutum Paraná. Outros apenas por via fluvial. Devido um trecho encachoeirado, subindo o rio a partir da antiga ponte de ferro do Distrito Mutum Paraná, e o baixo nível das águas, o ponto final de amostragem foi na coordenada 9º44'48'' de latitude Sul e 64º58'10" de longitude Oeste. Dada esta característica, a partir deste trecho (descendo o rio) foram coletadas amostras a cada 3 Km. Com entrada nos igarapés Cacalho e Murana. No igarapé Cacalho houve apenas coleta de água na foz, pois a vegetação aquática impossibilitou o acesso. Foi realizada coleta de uma amostra de sedimento no rio Madeira, logo após a foz do Mutum Paraná.

A segunda coleta, outubro de 2007, final de estiagem, ocorreu exclusivamente por via terrestre. Foram coletadas amostras de água e solo. Para as coletas de água foi planejado realizar estas nas nascentes da bacia, onde se havia chegado durante a amostragem anterior.

Uma terceira saída à campo ocorreu em abril de 2008, final das chuvas, em que o objetivo foi coletar amostras de água em todos os pontos das duas campanhas anteriores. No entanto, devido as condições das estradas, que impossibilitou o acesso, não foi possível (Figura 8). Mas outros pontos foram amostrados, a exemplo do igarapé Janaiá, na região da foz, quando este desemboca no Mutum Paraná e uma represa localizada no Distrito de Mutum Paraná.

Durante as três saídas a campo, em toda a bacia do Mutum Paraná foram coletadas 198 (cento e noventa e oito) amostras de água, sedimento e solo para determinação de mercúrio, matéria orgânica e fração granulométrica (solos) (Tabela 4).

Tabela 4 – Demonstrativo dos pontos e amostragem

Tipo	*Quantidade de pontos*	*Total de Amostras*
Água	43	80
Sedimento de fundo	27	27
Solo	17	91
Total de amostras		**198**

Figura 8 – Estrada vicinal 29, município de Nova Mamoré – RO.

As coletas de água, para posterior retenção do material particulado em suspensão, foram realizadas em garrafas de polietileno (5 litros), que foram anteriormente descontaminadas com HNO_3 a 3%, enxaguadas com água deionizada, secas em estufa e plastificadas para evitar contaminação durante o transporte até o local de coleta. As amostras de sedimento de fundo foram coletadas superficialmente fazendo uso de draga de Eckman e acondicionadas em sacos plásticos. Todas as amostras foram identificadas, considerando o tipo, ordem de coleta, local e data.

Concomitantemente a coleta de água para análise laboratorial, realizou-se medições de oxigênio dissolvido e percentual de saturação, pH, condutividade elétrica e temperatura do ar e da água. Foram utilizados equipamentos portáteis da marca *Handylab*: a) Oxímetro portátil, modelo OX1, conectado a um cabo de fibra ótica contendo em sua extremidade um eletrodo de membrana modelo Oxical-sL; b) Condutivímetro, modelo LFi; c) pHmetro, modelo X1. Todos foram previamente

calibrados com soluções “padrão”. A partir do pHmetro foi verificada as temperaturas do ambiente e da água.

O potencial - pH da água é um parâmetro importante na avaliação ambiental de uma sistema hidrográfico porque indica o grau de acidez, neutralidade e basicidade e tem uma faixa que protege os organismos e peixes. Quando modificado por ações externas pode prejudicar o ciclo de vida. Podem influenciar a concentrações de íons na água o material que é carreado para o sistema após chuvas, desmatamento, atividades e lançamento de efluentes no meio (DONADIO et al., 2005).

Em formulário (APÊNDICE 1) foi registrado o local de coleta, com a identificação da “linha” (estrada) ou curso fluvial, assim como das coordenadas geográficas (por meio de *GPS – Global Position System)*, data, parâmetros físico-químicos e outras observações do ponto de amostragem. Uma síntese da localização dos pontos selecionados, onde foram amostrados água e sedimento de fundo, pode ser verificado na tabela 5.

Tabela 5 – Localização: pontos de coleta de Sedimento e Água.

Ponto	*Latitude*	*Longitude*	*Curso d'água*	*Acesso*
1	09º40'55"	64º55'47"	Igarapé Linhares	Terrestre
2	09º43'00"	64º54'06"	Igarapé s/d	Terrestre
3	09º47'44"	64º53'26"	Rio Jacu	Terrestre
4	09º50'43"	64º48'52"	Rio Jacu	Terrestre
5	09º36'59"	64º56'23"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
6	09º37'20"	64º56'04"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
7	09º36'14"	64º55'08"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
8	09º44'55"	64º58'14"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
9	09º43'55"	64º58'39"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
10	09º43'04"	64º58'42"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
11	09º41'54"	64º58'30"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
12	09º41'44"	64º58'35"	Igarapé Cacalho	Fluvial
13	09º40'43"	64º58'43"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
14	09º41'42"	64º59'45”	Rio Cutia	Fluvial
15	09º41'46"	64º59'47"	Rio Cutia	Fluvial
16	09º40'38"	64º58'46"	Rio Cutia	Fluvial
17	09º39'53"	64º58'19"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
18	09º39'42"	64º56'57"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
19	09º39'41"	64º56'31"	Igarapé Murana	Fluvial
20	09º38'52"	64º56'06"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
21	09º37'39"	64º55'29"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
22	09º52'44"	65º15'07"	Igarapé s/d	Terrestre
23	09º52'53"	65º13'49"	Igarapé Taquara	Terrestre
24	09º53'37"	65º07'21"	Igarapé s/d	Terrestre
25	09º56'30"	65º01'37"	Rio Cutia	Terrestre
26	09º51'42"	64º57'35"	Rio Azul	Terrestre
27	09º58'23"	64º58'24"	Rio Cutia	Terrestre
28	09º56'51"	65º02'49"	Igarapé s/d	Terrestre
29	10º08'48"	64º56'08"	Igarapé s/d	Terrestre
30	10º15'05"	64º55'31"	Rio Azul	Terrestre
31	10º15'11"	64º52'47"	Rio Azul	Terrestre
32	10º10'35"	64º53'38"	Rio Azul	Terrestre
33	10º22'09"	64º43'27"	Rio Azul	Terrestre
34	10º19'25"	64º43'33"	Rio Azul	Terrestre
35	10º16'43"	64º45'55"	Rio Azul	Terrestre
36	10º10'43"	64º49'04"	Rio Azul	Terrestre
37	10º09'21"	64º47'04"	Igarapé s/d	Terrestre
38	10º05'05"	64º48'43"	Igarapé s/d	Terrestre
39	09º36'40"	64º55'38"	Rio Mutum Paraná	Terrestre
40	09º47'28"	64º57'00"	Rio Mutum Paraná	Fluvial
41	09º45'42"	64º57'21"	Igarapé Janaiá	Fluvial
42	10º17'57"	64º47'30"	Rio Azul	Terrestre
43	09º37'02"	64º56'26"	Represa MP	Terrestre

As coletas das amostras de solo foram seguidas de alguns cuidados. Inicialmente foi observado o tipo de uso do solo, priorizando, dentro da unidade mapeada pré-selecionada, o tipo de uso: urbano, floresta, pastagem. Ainda, evitando locais revolvidos e beiras de estradas com possíveis alterações (aterramento).

Por meio de perfil pedológico (Figura 9), ou seja, uma secção vertical que contém horizontes ou camadas sobrejacentes ao material de origem, foi feita a coleta das amostras de solo, pois desta forma é possível avaliar cada horizonte, que possui peculiaridades resultantes do processo pedogenético, e imprime ao perfil características distintas.

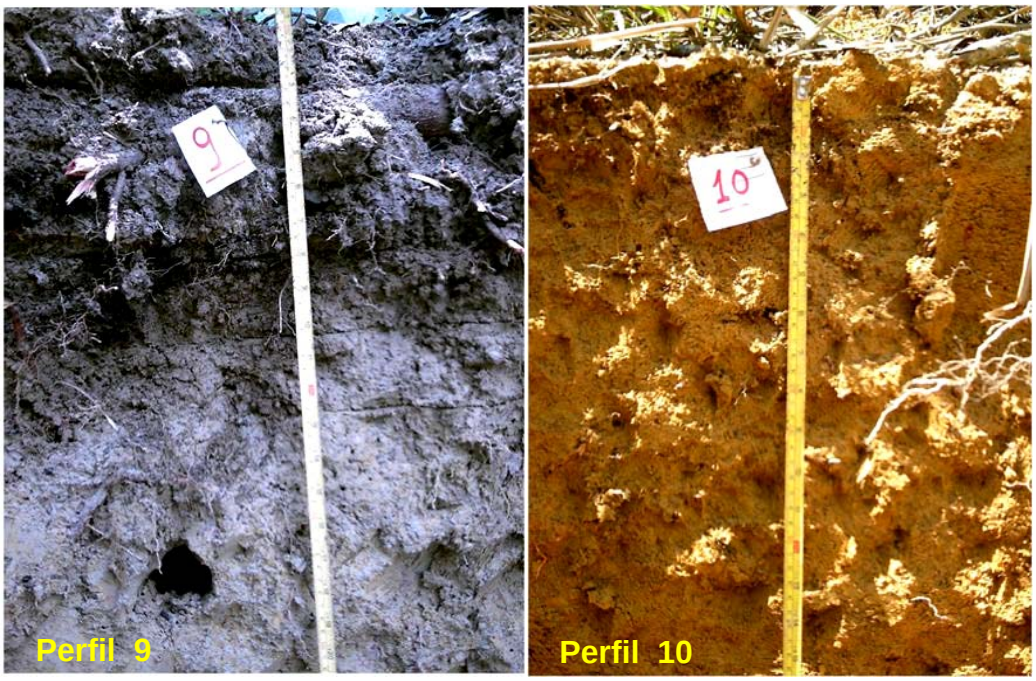


Figura 9 - Exemplo de perfil pedológico da área de estudo.
Fotos: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2007).

Quando identificado o local exato, dentro da área previamente selecionada, considerando a iluminação natural, que é fundamental para identificar os horizontes, foi feita coleta em mini-trincheira, corte e barranco. A área foi limpa, distinguindo o perfil, no entanto, com o devido cuidado para não influenciar o material a ser coletado, ou seja, misturar as amostras, e ainda, não retirar a camada orgânica.

Para dividir os horizontes/camadas, foi feita avaliação morfológica: textura, estrutura, consistência e o tipo de transição entre os horizontes (MANFREDINI, 2005). Durante as coletas, todas estas informações, assim como outras específicas de cada amostra, foram registradas em formulário para coleta de solo (Apêndice 2). As características do solo foram registradas antes da coleta, quando o solo estava sob condições naturais, sem interferência.

A textura, verificada no campo, é confrontada com os resultados de granulometria realizado em laboratório, que representa o percentual do material mineral: silte, areia e argila. Uma pequena alíquota do solo foi retirada e umedecida com água para se verificar a presença de argila, pela pegajosidade, do silte pela sedosidade e da areia pela aspereza. As amostras foram caracterizadas em campo como argilosa, arenosa, areno-argilosa, argilo-arenosa.

A estrutura, agregação das partículas de areia, silte e argila, são características morfológicas importantes, pois expressam toda a complexidade das interações entre os constituintes e os fatores de formação do solo (material de origem, clima, relevo e atividade biológica) (MANFREDINI, 2005). A estrutura dos fragmentos do solo pode ser descrita quanto à forma, que determina o tipo de estrutura, o tamanho, que define a classe e por fim o desenvolvimento, que indica o grau de estrutura (BRASIL, 1995). Esta pode ser em bloco, prismática, granular ou laminar. Em campo foi identificada apenas a estrutura em bloco. Esta apresenta três dimensões da unidade estrutural e pode ser subdividida em blocos angulares (faces planas) e sub-angulares (faces arredondadas e planas) (PRADO, 1995).

A consistência do solo representa as forças de adesão e coesão, que variam conforme o grau de umidade do solo e pode ser verificada com a amostra seca, úmida ou molhada. No campo todas as amostras foram umedecidas. Pode apresentar-se, neste tipo de análise (úmida), como: solto, muito friável, friável, firme, muito firme e extremamente firme. No campo foram identificadas amostras na forma friável e muito friável. Na friável a amostra de solo esboroa (divide-se) com facilidade ao ser pressionada de forma fraca e moderada, entre os dedos polegar e indicador, porém, agrega-se com compressão logo após. Na muito friável, o processo é intenso, ou seja, basta uma leve compressão para o solo

esboroar, e da mesma forma uma leve compressão posterior para o material agregar-se novamente (BRASIL, 1995).

A transição dos horizontes (faixa de separação) é identificada com base na nitidez e na linha da topografia do terreno. O tamanho entre estes é variável, pois indicam processos pedológicos pretéritos e presente. Quanto a nitidez pode ser:

_ Quando a linha que separa um horizonte de outro é < 2,5 cm – abrupta

_ Quando a linha que separa dois horizontes é de 2,5 a 7,5 cm – clara

_ Quando a linha de separação é entre 7,5 a 12,5 – gradual

_ Quando a linha que separa dois horizontes é > 12,5 cm – difusa

A topografia pode ser plana, ondulada, irregular ou descontínua.

Após a descrição da morfologia, as amostras de solo foram acondicionadas em sacos plásticos, com quantidade ≅2,5 Kg (Figura 10). Esta alíquota foi divida em três partes: a) 300 g, que foi enviada à Empresa Agro Análise, onde foi feita a análise física (areia, silte e argila); b) 500g, reservada no Laboratório de Biogeoquímica, para análises posteriores que possam integrar o banco de dados da sub-bacia; c) do restante foi feita a seleção granulométrica para análise de mercúrio e MO.

Figura 10 – Acondicionamento das amostras, exemplo do perfil 7.

Na tabela 6 é demonstrada a localização exata de cada perfil pedológico, com as coordenadas geográficas, assim como o tipo de corte realizado e a quantidade de horizontes. Essa variação é devida as características de cada solo e profundidade coletada.

Tabela 6 –Informações básicas dos perfis pedológicos

Perfil	***Latitude***	***Longitude***	***Local***	***Tipo***	***Horizontes***
1	9º56'33"	65º01'38"	8ª Linha	Corte	Ap, A2, AB, B1, B2
2	10º08'42"	64º56'08"	Linha 23	Corte	A1, A2, A3, AB, BA, B1, B2
3	10º15'03"	64º55'31"	Linha 23	Corte	A1, A2, AB, B
4	10º15'10"	64º52'47"	Linha 25	Corte	Ap, A2, A3, AB, BA, B
5	10º10'41"	64º53'34"	Linha 25	Corte	Ap, A2, A3, B
6	10º22'01"	64º43'28"	Linha 30C	Barranco	Ap, A2, A3, AB, B
7	10º19'23"	64º43'32"	Linha D	Mini Trincheira	A1, A2, A3, AB, BA, B
8	10º15'19"	64º46'18"	Linha 30B	Mini Trincheira	A1, A2, A3, AB, BA, B
9	10º10'43"	64º49'04"	Linha 29	Barranco	A1, A2, AB, BA, B
10	10º09'21"	64º47'04"	Trav. L 29	Corte	A1, A2, AB, BA, B
11	10º05'05"	64º48'43"	Trav. L 29	Barranco	A1, A2, A3, AB, BA, Bm
12	10º05'05"	64º48'43"	MP	Barranco	A1, A2, AB, BA, Bg
13	09º35'18"	64º58'01"	S.Lourenço	Mini Trincheira	A1, A2, AB, BA, Bg
14	09º36'40"	64º55'34"	EFMM	Barranco	A1, A2, AB, BA, B
15	09º37'23"	64º56'04"	MP	Barranco	A1, A2, A3, BA, Bg
16	09º40'57"	64º55'48"	Estrada RM	Barranco	A1, A2, A3, AB, BA, B1, B2
17	09º36'33"	64º54'48"	Estrada RM	Mini Trincheira	A, B, C, D, E

6.3 – PROCEDIMENTOS LABORATORIAIS

Os procedimentos laboratoriais para determinação de Hg total nas matrizes solo, sedimentos e particulado em suspensão teve como base as técnicas desenvolvidas e testadas por Bastos *et. al* (1998).

6.3.1 – PREPARO DA AMOSTRAS

Inicialmente todo material coletado em campo foi registrado no laboratório, onde recebeu um código geral de acordo com o tipo e local (sedimento

– SD; solo – SL; água – AG do rio Mutum Paraná - MP = AGMP). Após registro, cada tipo sofreu um tratamento específico.

As amostras de solos e sedimentos de fundo foram umedecidas com água deionizada e passaram por um sistema de separação em peneiras granulométricas para obtenção da fração < 200 Mesh (0,074 mm). O uso desta fração ocorre porque esta tem maior capacidade de adsorção, que segundo Bastos (1997) é devido sua área superficial. O material não fracionado é descartado. A fração selecionada é colocada em estufa a 50ºC, posteriormente, após seca, macerada, homogeneizada e armazenada em potes de polietileno (descontaminados) para posterior análise. Toda análise para determinação de Hg total e matéria orgânica foi realizada somente nesta fração (Figura 11).

Figura 11 – Amostras de solo, seca (para seleção granulométrica) e úmida (selecionada), respectivamente.
Fotos: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2007).

Para obtenção do material particulado em suspensão nas amostras de água foi separado um volume conhecido de amostra de água que passou por um processo de filtragem em membrana de celulose de 47mm de diâmetro e 0,45 μm de porosidade (Millipore). Estes filtros foram previamente pesadas. Após retenção do material particulado, as membranas foram para estufa em temperatura ≅ 30ºC para retirar umidade. O peso do material particulado é verificado pela diferença do peso do filtro sem e com amostra (seca). Desta forma é possível inferir o quantitativo de material particulado transportado em suspensão por litro de água filtrado ($mg.L^{-1}$) (Figura 12).

Figura 12 – Filtragem de água e filtro com amostra (sólido) após filtragem.
Fotos: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2007).

6.3.2 - ANÁLISE PARA DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO TOTAL

Os sedimentos retidos nas membranas de celulose e as amostras de solo e sedimento (≅ 500 mg cada) foram colocadas em tubos de ensaio para extração ácida. Foi utilizada água ultra pura (milli-Q) para umedecer, água régia (HNO_3 e HCl na proporção de 1:3) e $KMnO_4$ a 5% em banho-maria a 60ºC. Após pernoite foi adicionado $NH_2OH.HCL$ a 12%, para retirar o excesso de oxidante. As amostras foram filtradas por gravidade em papel de filtro de celulose (Whatman 44) e aferida ao volume final com água milli-Q, para posterior determinação de Hg total.

A leitura das concentrações de Hg foi realizada no espectrofotômetro de absorção atômica com geração de vapor frio – FIMS-400 *(Flow Injection Mercury System – Perkin Elmer).* Neste a amostra recebe de um sistema de FIAS (Sistema automático por injeção de fluxo) um volume específico de HCL 3% para evitar a redução prematura da amostra, que em seguida entra em contato com $NaBH_4$ a 0,2% em NaOH 0,05%, que faz a redução final do Hg nas amostras, gerando vapor frio de Hg^0 detectado pelo sistema ótico do equipamento na faixa de comprimento de onda de 254nm. O resultado do equipamento é disponibilizado em $\mu g.L^{-1}$, e convertido para $\mu g.Kg^{-1}$ pelo cálculo:

$$[Hg] = \frac{(\text{Result FIMS } \mu g.L^{-1} - \text{Média Result Branco } \mu g.L^{-1}) \times \text{Volume Final mL}}{\text{Peso (Massa) g}}$$

6.3.3 – ANÁLISE DE MATÉRIA ORGÂNICA

O método utilizado para determinar o percentual de matéria orgânica em sedimentos foi realizado por calcinação. Foram pesados aproximadamente 3 g de amostra em sua forma seca. Estas foram colocadas em forno *mufla* por 24 horas a temperatura de 450ºC (Figura 5.8). Após esse tempo foram retiradas em colocadas em dessecador com sílica gel. Quando em temperatura ambiente foi novamente verificado o peso em balança de precisão. A diferença no peso representa o material orgânico e mineral (Lacerda et al*.,* 1999).

O resultado de massa após calcinação é expresso em porcentagem, conforme a equação:

$$\% \text{ M.O} = [(P_1 - P_2) * 100 / P_1]$$

Onde:

% M.O = Porcentagem de Matéria Orgânica
P_1 = Peso do sedimento seco em gramas
P_2 = Peso do sedimento após calcinação (450ºC)

6.3.4 - CONTROLE DE QUALIDADE

Durante todo o processo laboratorial foram seguidos procedimentos para garantir a qualidade das rodadas analíticas, como utilização de amostras de referência IAEA-356, IAEA 405 e APSL 4290, amostras “branco controle” e análise em duplicata (BASTOS et al., 1998). Os resultados constam nos relatórios analíticos do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolgang C. Pheiffer. Ainda, todo cuidado para evitar a contaminação das amostras e técnicas de laboratório que também garantem a segurança do analista, a exemplo do uso de luvas, óculos e máscara.

6.4 – ANÁLISE DOS DADOS

Os mapas foram elaborados com uso dos Softwares SPRING 4.3.3 (versão em Português) e TERRA VIEW 3.3.1 a partir do processamento de bases da Diretoria de Serviço Geográfico do Ministério do Exército – DSG, na escala original 1:1000000.

7 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

7.1 – AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS DA SUB-BACIA MUTUM PARANÁ

Neste estudo foram analisados os parâmetros pH, oxigênio dissolvido e percentual de saturação, condutividade elétrica e temperatura, do ar e água (Tabelas 7, 8 e 9). Além da quantidade de sólidos em suspensão. Estas características foram observadas em três períodos distintos, nos meses de junho e outubro de 2007 e abril de 2008.

Tabela 7 – Características físico-químicas da sub-bacia Mutum Paraná.

Junho de 2007							
Ponto	***Nome***	***pH***	***Oxigênio (mg.L^{-1})***	***Sat (%)***	***Cond (μS.cm^{-1})***	***Temperatura ºC***	
						AR	***ÁGUA***
1	Igarapé Linhares	6.7	8	97	10	28	24
2	Igarapé	6.2	7	86	14	25	24
3	Rio Jacu	5.4	11	128	3	28	25
4	Rio Jacu	5.0	7	89	3	31	24
5	Rio Mutum Paraná	5.3	6	81	5	30	30
6	Rio Mutum Paraná	5.9	6	78	4	27	25
7	Rio Mutum Paraná	5.1	9	112	4	25	25
8	Rio Mutum Paraná	6.3	8	93	6	36	26
9	Rio Mutum Paraná	4.8	8	93	6	35	26
10	Rio Mutum Paraná	6.4	8	102	5	30	26
11	Rio Mutum Paraná	6.2	8	95	6	34	26
12	Igarapé Cacalho	5.9	6	73	9	27	27
13	Rio Mutum Paraná	6.3	9	107	6	27	26
14	Rio Cutia	5.5	8	103	2	26	25
15	Rio Cutia	5.4	8	101	2	29	25
16	Rio Cutia	5.4	8	102	2	27	25
17	Rio Mutum Paraná	6.0	8	102	4	26	25
18	Rio Mutum Paraná	6.0	8	101	4	26	25
19	Igarapé Murana	5.9	8	99	5	26	26
20	Rio Mutum Paraná	6.0	8	104	4	26	25
21	Rio Mutum Paraná	5.9	8	105	4	26	25
22	Igarapé	4.8	6	72	4	22	25
23	Igarapé Taquara	4.9	7	88	2	22	24

24	Igarapé	5.3	8	99	2	25	24
25	Rio Cutia	5.0	3	44	3	31	24
26	Rio Azul	6.3	9	110	8	33	26
27	Rio Cutia	5.2	6	77	2	30	25
28	Igarapé	5.0	6	70	3	27	25

Tabela 8 – Características físico-químicas da sub-bacia Mutum Paraná.

Outubro de 2007							
Ponto	***Nome***	***pH***	***Oxigênio (mg.L^{-1})***	***SAT (%)***	***Cond (μS.cm^{-1})***	***Temperatura ºC***	
						AR	***ÁGUA***
29	Igarapé	4.8	7	88	12	27	27
30	Rio Azul	5.8	0	3	42	31	27
31	Rio Azul	6.1	3	37	78	31	27
32	Rio Azul	6.1	4	44	53	30	25
33	Rio Azul	6.6	4	52	42	28	23
34	Rio Azul	6.8	5	58	42	25	25
35	Rio Azul	6.0	4	54	36	27	25
36	Rio Azul	6.3	5	65	33	34	26
37	Igarapé	5.6	4	47	13	30	27
38	Igarapé	5.5	4	55	14	26	26
39	Rio Mutum Paraná	5.8	5	58	10	33	28

Tabela 9 – Características físico-químicas da sub-bacia Mutum Paraná.

Abril de 2008				
Ponto	***Nome***	***pH***	***Condutividade (μS.cm^{-1})***	***Temp. Água - ºC***
1	Igarapé Linhares	5.3	15	25
2	Igarapé	5.4	25	26
3	Rio Jacu	4.3	22	27
5	Rio Mutum Paraná	5.7	11	26
6	Rio Mutum Paraná	6.0	10	25
7	Rio Mutum Paraná	5.9	11	25
8	Rio Mutum Paraná	6.6	14	24
9	Rio Mutum Paraná	6.4	15	25
10	Rio Mutum Paraná	6.4	14	24
11	Rio Mutum Paraná	6.4	14	25
12	Igarapé Cacalho	6.4	14	24
13	Rio Mutum Paraná	6.1	14	24
14	Rio Cutia	5.5	6	25
15	Rio Cutia	5.5	6	25
16	Rio Cutia	5.5	6	25

17	Rio Mutum Paraná	6.0	11	25
18	Rio Mutum Paraná	6.0	9	25
19	Igarapé Murana	6.0	11	25
20	Rio Mutum Paraná	5.8	11	25
21	Rio Mutum Paraná	6.0	10	25
22	Igarapé	4.9	8	25
23	Igarapé Taquara	5.0	7	25
25	Rio Cutia	5.3	6	25
27	Rio Cutia	5.5	6	25
28	Igarapé	4.4	6	25
29	Igarapé	5.6	8	28
30	Rio Azul	6.3	42	27
31	Rio Azul	6.3	29	27
32	Rio Azul	6.4	18	26
33	Rio Azul	6.3	20	26
34	Rio Azul	5.7	20	25
35	Rio Azul	6.3	17	26
40	Rio Mutum Paraná	6.5	14	24
41	Janaiá	6.5	15	24
42	Rio Azul	5.9	27	25
43	Represa MP	5.6	10	29

Os resultados de pH indicam uma variação entre o canal principal do Mutum Paraná, os demais rios que formam a sub-bacia e seus igarapés. Estes últimos, em sua maioria, apresentaram-se mais ácidos. No rio Jacu, onde o pH variou de 4,3 a 5,4 as coletas ocorreram em dois pontos de mata fechada com vegetação submersa, onde aparentemente não há interferência humana. Em outros dois igarapés (pontos 22 e 28) os valores de pH abaixo de 5,0 podem está associados a floresta de igapó. Muito embora o ponto 22 seja uma área onde foi aberta estrada e construída uma ponte, além de processo de desmatamento das margens.

No rio Mutum Paraná os valores de pH obtidos variaram de 4,8 a 6,4 no mês de junho, e de 5,7 a 6,6 no mês de abril. Uma característica deste rio é a vegetação que periodicamente é submersa pelo regime fluviométrico. Rios que cortam florestas tendem a ter pH mais baixos em função da decomposição e lixiviação da serrapilheira e liberam ácidos fúlvicos e húmicos. O ponto 43, uma

represa localizado na área urbana, no regime de cheia recebe água do rio Mutum Paraná, e após este período deságua neste.

No rio Azul, nascente do rio Mutum Paraná, o pH variou de 5,7 a 6,8, sem variações significativas entre os meses analisados. Exceto os pontos 30, 34 e 42, os demais tiveram pH a partir de 6. O rio Cutia em todos os pontos de amostragem apresentou pH ácido < 6,0. Estes valores podem está relacionados a manutenção da floresta, que deve ser em função do acesso, por via fluvial, possível apenas com pequenas embarcações (canoas e “voadeiras”), devido a vegetação submersa e árvores caídas ao longo do rio.

Embora ainda não esteja definido todo o mecanismo, a condição ácida de um ambiente associado a baixos valores de potencial redox e elevada concentração de matéria orgânica potencializa a formação de metil-mercúrio, forma que pode facilmente penetrar nas membranas celulares e entrar na cadeira trófica. A adsorção de Hg é maior na faixa de pH de 3 a 5, condição de alguns rios da sub-bacia Mutum Paraná (BISINOTI & JARDIM, 2004; HYPOLITO et al., 2005).

Com concentração de oxigênio variável e em alguns rios, muito baixa, o intervalo foi de 3 $mg.L^{-1}$ (rio Cutia, P-25) a 11 $mg.L^{-1}$ (rio Jacu, P-3) no mês de junho. O P-25 está localizado numa área com mata de igapó, porém, com pasto no entorno do curso fluvial. O P-3 é uma área de mata fechada, com vegetação submersa.

No mês de outubro houve uma mudança no quantitativo na concentração de OD, que variou entre 0,2 a 6,9 $mg.L^{-1}$. O menor valor identificado na sub-bacia ocorreu no P-30, com uma ponte sobre este curso fluvial, está parcialmente desmatado, assoreado e com vegetação secundária. Diante desta condição de extrema redução de oxigênio é improvável a sobrevivência de organismos aquáticos, o que se agrava com a variação diurna/noturna de OD e em profundidade (ESTEVES, 1998).

A instalação de hidrelétricas na bacia do Madeira pode potencializar esta transformação do Hg, pois a fitomassa inundada, quando decomposta consome grande parte do oxigênio dissolvido, com altos déficits nos primeiros anos de inundação. Segundo Esteves (1998) nesta fase a desoxigenação da coluna d’água independe dos períodos de chuva e estiagem, e padrão de estratificação térmica

do sistema. E após este período crítico, a desoxigenação ainda ocorre no período de estiagem. Esta condição de baixa concentração de oxigênio somado as altas temperaturas da região influenciam a oxidação do Hgº para Hg^{2+} (BISINOTI e JARDIM, 2004).

A temperatura da sub-bacia variou de 22 a 36ºC no mês de junho e de 25 a 33ºC no mês de outubro. Não há variação significativa entre os meses analisados, o que está relacionado a localização geográfica, ou seja, a proximidade com a linha do Equador, o que potencializa o clima quente da região. Nimer (1989) destaca que esta homogeneidade espacial e estacional, com pouca variedade térmica e variação estacional é característica da Região Norte do Brasil. A sub-bacia Mutum Paraná está na zona intertropical da Terra, onde ocorrem os maiores índices de raios solares, visto que a incidência de energia solar na superfície terrestre é maior em áreas de menor latitude. Em outros meses pode ocorrer queda na temperatura, conseqüência da entrada de anticiclones de origem polar que proporcionam chuvas frontais e o fenômeno de friagem no estado de Rondônia (CONTI, 1998).

Na análise de mercúrio este parâmetro é significativo porque em temperatura superior a 35ºC, somado a outros fatores, o processo de metilação pode ser acelerado (MAURO et al., 1999). Em experimento realizado por Bisinoti e Jardim (2004), uma temperatura de 20ºC era suficiente para produzir metilação. O que os levou a supor que no “inverno” o processo de metilação é menor que no verão.

O resultado para condutividade elétrica variou de 2 a 14 $\mu S.cm^{-1}$ no mês junho, de 10 a 78 $\mu S.cm^{-1}$ em outubro e de 6 a 42 $\mu S.cm^{-1}$ em abril. Os maiores valores de condutividade elétrica foram determinados no rio Azul, região de nascente da sub-bacia Mutum Paraná. Os pontos P-30, P31, P32, P33, P34, P35, P-36 e P-42 são caracterizados pela presença de vegetação secundária, pecuária e assoreamento.

A sub-bacia Mutum Paraná tem uma baixa carga de sedimentos em suspensão, cujos valores são similares ao encontrado por Gomes et. al (2006). Os rios desta sub-bacia não apresentaram variação significativa na concentraçãos de sedimentos em suspensão, com média de 11,50 $mg.L^{-1}$ (junho) e média de 12,12

mg.L^{-1} na coleta realizada em abril. Com intervalo de 0,33 (P-28) a 77,23 mg.L^{-1} (P-11) em junho e de 2,86 (P-25) a 90,12 mg.L^{-1} (P-31) no mês de abril (Figuras 13 e 14).

A presença de maior carga em suspensão nos dois pontos (igarapé Linhares e rio Azul) pode ser atribuída a construção de pontes de para acesso a propriedades particulares (sítios e fazendas). O tráfego de veículos associado ao desmatamento das margens destes e as condições precárias das pontes podem esta influenciando o carreamento de partículas para estes cursos de água. O quantitativo de sedimentos destes dois pontos não é significativo quando comparado a outros rios, inclusive ao próprio rio Madeira. O rio Azul, especialmente, tem um processo acelerado de desmatamento, onde constatada abertura irregular de estradas para escoamento de madeira

Este processo de alteração da condição natural do sistema por influência de atividades humanas ocasiona erosão das margens e assoreamento do canal fluvial. Cunha (2008) destaca que obras de engenharia como retificação, alargamento e aprofundamento do canal, ainda, barramentos, exploração mineral e construção de pontes são atividades que geram degradação ambiental direta nos canais. Cuja intensidade varia com o grau de desenvolvimento da exploração, dimensão da obra e das técnicas utilizadas.

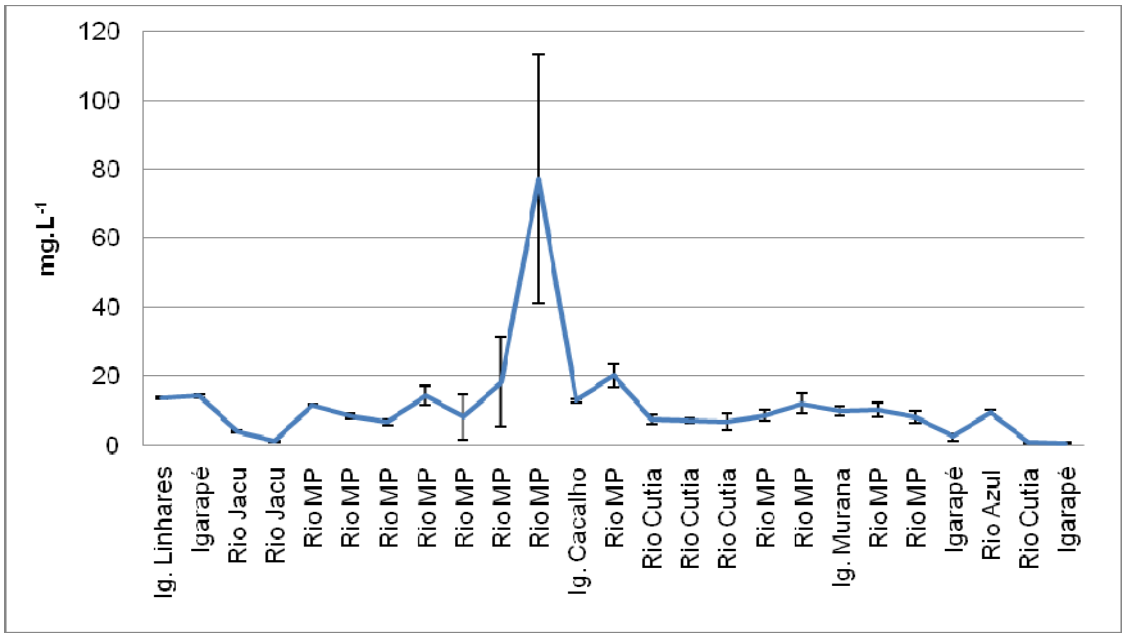


Figura 13 – Descarga de sedimentos em suspensão – junho de 2007.

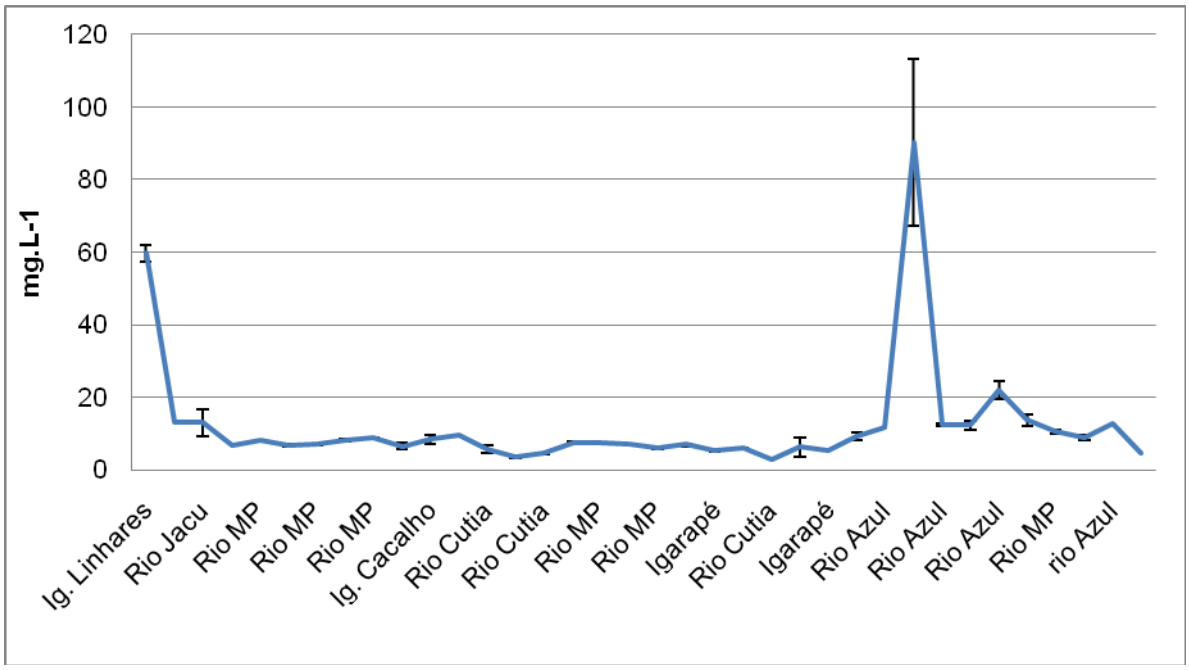


Figura 14 – Descarga de sedimentos em suspensão – abril de 2008.

A partir dos parâmetros medidos e da massa de sólidos em suspensão, o rio Mutum Paraná enquadra-se na classe de rios de água clara. A base para esta classificação está nas nascentes deste sistema de drenagem, caracterizado por solos desenvolvidos no Terciário e Quaternário. Embora a cor dos rios que compõem a sub-bacia Mutum Paraná apresenta algumas variações, como visualizado em campo, com clara influência de processo erosivos derivados da ocupação ou uso da terra. O rio Azul é um bom exemplo desta influência na região da nascente.

A caracterização das águas amazônicas, descritas por Sioli & Klinge (1964) como rios de água “branca”, “clara” ou “preta” foram feitas com base nas condições dos ambientes nas zonas de cabeceira dos rios. Foram medidos parâmetros químicos e a carga de sedimentos em suspensão para demonstrar a relação destes tipos de rios com o tipo de solo, elementos que influenciam o comportamento de elementos químicos, como o mercúrio.

7.2 – CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO EM SEDIMENTOS DO LEITO E EM SUSPENSÃO

Não é difícil, na literatura, localizar estudos de mercúrio em sedimentos, o que se deve a relação destes, não só de adsorção, mas porque o mercúrio "utiliza" os sedimentos como "embarcação" e assim atinge áreas distintas de onde foi lançado, ou de sua origem. Assim como análise paralela de matéria orgânica, porque esta funciona como um dos mecanismos para o processo de metilação.

Nas 27 amostras de sedimentos do leito coletados na sub-bacia Mutum Paraná o teor médio de Hg foi 93,38 $\mu g.Kg^{-1}$, com intervalo entre 39,70 a 146,45 $\mu g.Kg^{-1}$. As concentrações de mercúrio e teor de matéria orgânica estão demonstrados na Figura 15.

Nos sedimentos do leito o mercúrio metálico pode ficar "estável", pois devido sua alta densidade (13,6 $g.cm^{-3}$ a 20ºC) tende a se depositar no leito dos rios e ficar inerte com a deposição dos sólidos em suspensão e/ou se transformar quimicamente para Hg^{++}. Ou seja, o Hg^{0}, pode ficar "armazenado" no sedimento. Essa estabilidade depende ainda, de fatores naturais, como as condições hidrológicas (pH, concentração de matéria orgânica e outros), e/ou antrópica, a exemplo de retificação de canal (MALM, 1993).

O ponto 4, rio Jacu, apresentou a maior concentração de matéria orgânica (38,51%), seguida por 131,9 $\mu g.Kg^{-1}$ de mercúrio total. A coleta de sedimento foi realizada na margem. Nesta área o acesso é restrito devido a condições naturais. Área de floresta, com vegetação submersa, pode ser a razão para a disponibilidade de matéria orgânica. Nesta região não foi identificado qualquer tipo de habitação ou produção (agrícola/pecuária) nas proximidades do rio Jacu.

Nesta amostragem não ficou clara a relação do mercúrio com a matéria orgânica, confirmada em outros trabalhos. Uma análise da granulometria poderia responder ou justificar os resultados. Pois, o tipo de material depositado influencia a adsorção de Hg. Oliveira et al. (2007), confirmam que o mercúrio apresenta relação positiva com silte e argila, o que não deve acontecer com fração de areia.

Comportamento similar ao da matéria orgânica, que não se complexam com fração mais grosseira (WINDMÖLLER et al., 2007).

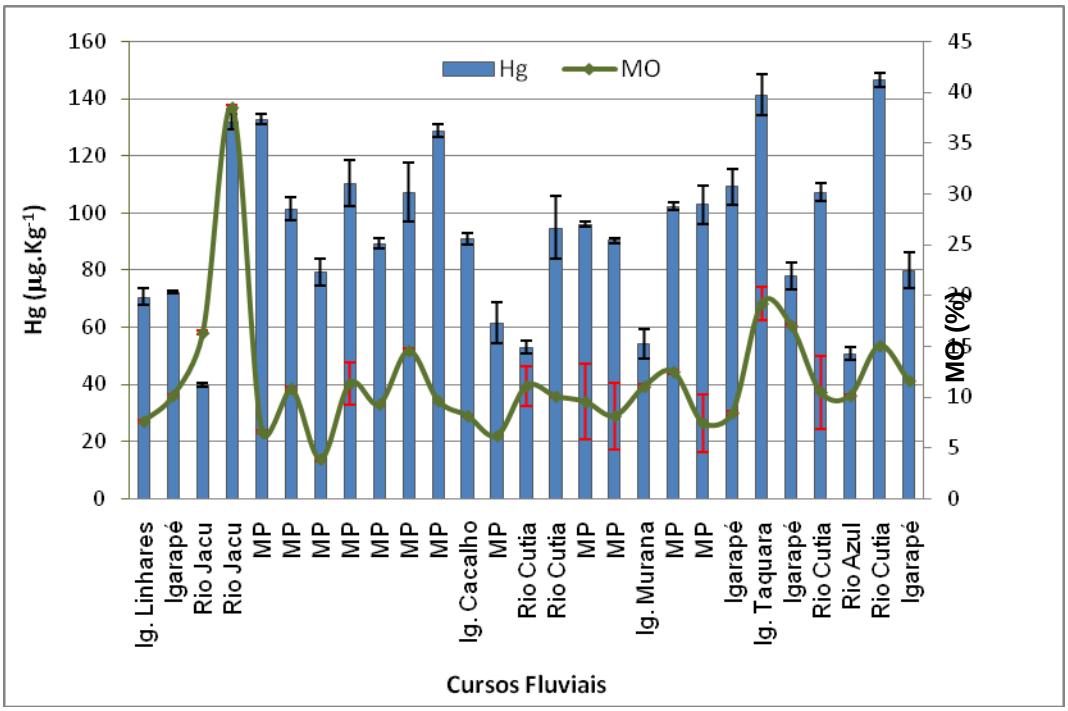


Figura 15 – Mercúrio e matéria orgânica em sedimentos do leito na sub-bacia Mutum Paraná.

Enquanto os sedimentos depositados podem “guardar” o mercúrio que esteja adsorvido a este, os sedimentos em suspensão (sólidos) transportam o Hg para outros ambientes ou deixam disponíveis no sistema hídrico, podendo ser absorvido por organismos ou através da interação com o meio (pH, oxigênio, temperatura) pode ser oxidado. O transporte de sedimentos em suspensão contendo Hg tem sido apontado como a causa para o aumento,ou seja, a análise de mercúrio em sedimentos suspensos, é complexa porque envolve o ciclo de biotransformação, volatização, deposição e por fim biomagnificação na cadeia trófica (MALM, 1993). A deposição varia principalmente em função da velocidade da corrente, ou seja, da capacidade do sistema hídrico manter as partículas em suspensão.

A distribuição das concentrações de mercúrio em sedimentos em suspensão são apresentados em duas figuras (16 e 17) evidenciando que as

amostras foram coletadas em períodos diferentes, maio de 2007 e abril de 2008, respectivamente.

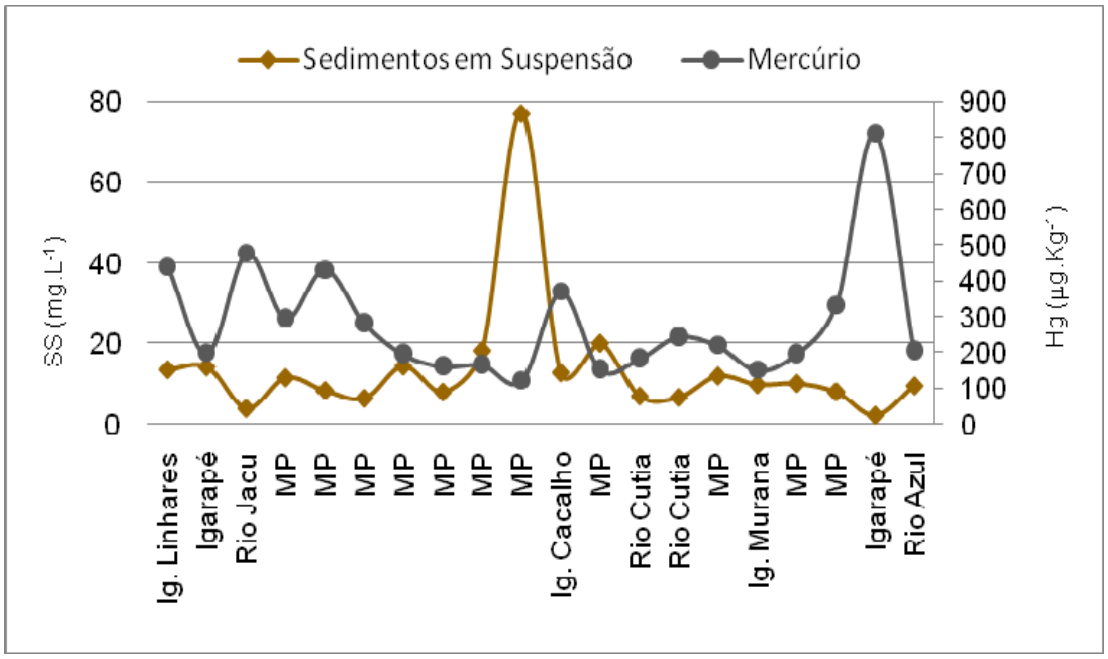


Figura 16 – Mercúrio em sedimentos em suspensão (maio/2007).

No curso principal da sub-bacia, o rio Mutum Paraná, apresenta intervalo para mercúrio em sólidos em suspensão de 122,45 a 432,38 $\mu g.Kg^{-1}$. Dentre os 11 pontos de coleta, alguns se localizam a montante, bastante afastado da área de desmonte de dragas e balsas. Estes resultados são superiores ao encontrado por Gomes et. al (2006) para o rio Mutum Paraná (247,02 $\mu g.Kg^{-1}$), em material coletado na região da foz.

A média de Hg nos igarapés também tem valores que se destacam se comparados a outros rios da bacia do Madeira, com intervalo de 150,95 a 813,12 $\mu g.Kg^{-1}$ com média de 639,44 $\mu g.Kg^{-1}$. Onde o maior valor foi determinado para um igarapé sem denominação localizado na 10ª Linha (acesso pela BR 425), próximo ao garimpo Araras. Uma hipótese seria a influência deste garimpo via transporte atmosférico de mercúrio, considerado por Windmöller et al. (2007), como principal responsável pelo acréscimo dos níveis de Hg em diversas áreas do espaço geográfico.

Na segunda amostragem foi possível aumentar o número de pontos, embora, em função do acesso, não tenha sido realizada coleta no ponto 4 (rio Jacu). Os igarapés mantiveram as altas concentrações que pode está relacionado ao pH, pois como visto anteriormente estes apresentam-se ácidos. No rio Mutum Paraná, os três pontos que apresentaram maior teor de Hg ficam localizados na área urbana (P 5 e 43) e fora da área de garimpo (P 40). O P-5, que está parcialmente desmatado e serve com área de recreação, fica exatamente na área de desmonte de dragas e balsas, atividade que ainda é realizada, embora em menor escala comparado aos anos 80, conforme constatado em campo. Assim como o P-43, uma "represa" próxima ao P-5, e no regime de cheia recebe água do canal principal. Enquanto o P-40 fica totalmente fora da área de garimpo, cujo acesso é restrito periodicamente, devido um trecho encachoeirado.

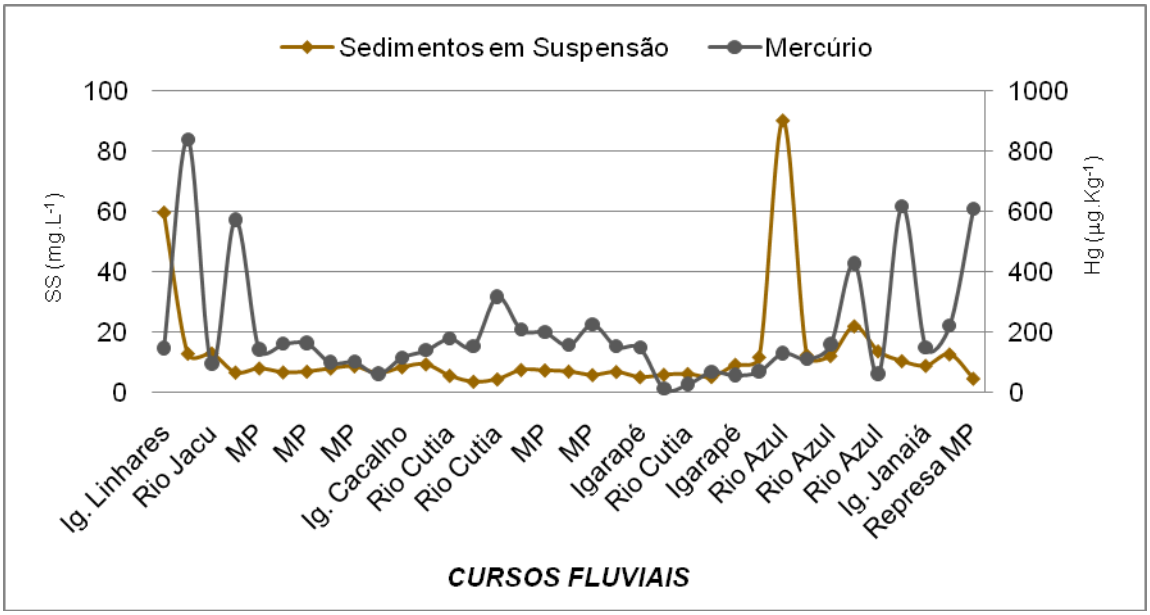


Figura 17 - Mercúrio em sedimentos em suspensão (abril/2008)

7.3 – CONCENTRAÇÃO DE MERCÚRIO EM SOLOS

A realização deste estudo em solo parte do princípio que este agrega elementos básicos do meio natural: a) litosfera (rochas); b) hidrosfera (água); c) atmosfera (ar); d) biosfera (vida). Ou seja, os solos são constituídos por materiais sólidos, líquidos, gasosos, vegetais e animais. São tridimensionais, dinâmicos e

podem ser modificados por ação antrópica. Portanto, podem ajudar a compreender ou dar respostas ao estudo de mercúrio-Hg na Amazônia, particularmente na sub-bacia hidrográfica Mutum Paraná (BRASIL, 2006; GUERRA & GUERRA, 2001). Grimaldi et al. (2008) destacam que o estudo de Hg em solos é importante para a compreensão do ciclo biogeoquímico do Hg, já que estes podem funcionar como sumidouro, ou ainda, uma fonte alternativa. E a permanência de Hg no solo tem um tempo maior que em outros compartimentos ambientais (WASSERMAN et. al, 2001). Hacon (1993) destaca que nos solos predomina as formas Hg^{o}, Hg^{+} e Hg^{2+}.

As análises de mercúrio em solos da sub-bacia foram realizadas em três classes pedológicas: Latossolo, Argissolo e Gleissolo. Os argissolos apresentaram os maiores níveis de Hg, média de 106,60 $\mu g.Kg^{-1}$, com mínimo de 61,60 e máximo 183,19 $\mu g.Kg^{-1}$. A classe Gleissolo apresentou a menor média, 66,10 $\mu g.Kg^{-1}$. Os resultados, a partir dos valores totais para as classes pedológicas estão demonstrados na Tabela 10.

Tabela 10 – Concentração total de mercúrio nas classes pedológicas da sub-bacia do rio Mutum Paraná.

			Latossolo	**Argissolo**	**Gleissolo**
Mercúrio	**$\mu g.Kg^{-1}$**	**Média**	95,25	106,60	66,10
		Mínimo	33,41	61,60	46,00
		Máximo	158,70	183,19	89,02
		Mediana	92,98	101,26	66,03

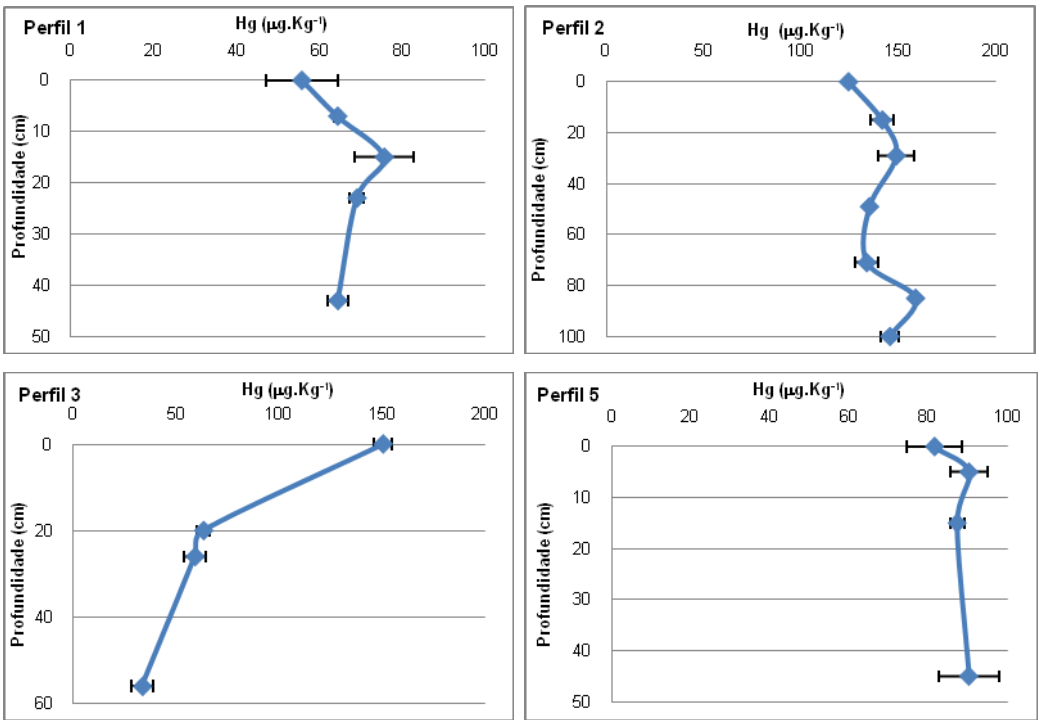
A distribuição espacial de Hg em solos foi descrita por Silva et al (2003) como decorrente dos processos de gênese do solo, uso da terra e a localização ou proximidade da fonte de contaminação. Quanto a fonte, a sub-bacia está fora da área da reserva garimpeira do Madeira, embora na sua foz sejam desenvolvidas atividades inerentes ao garimpo.

Ao passo que o uso da terra é um fator importante nos estudos da disponibilidade Hg em solos, pois permite avaliar a remobilização de Hg de uma matriz para outra ou ainda, para outros ambientes, a exemplo da atmosfera e cursos fluviais (LINHARES et al, 2009). A retirada da cobertura vegetal,

principalmente pela queima, pode intensificar a redisponibilização de Hg presente nos solos. E aumentar as concentrações em outros ambientes, como os sedimentos fluviais (WASSERMAN et al., 2001). Enquanto fatores climáticos influenciam a distribuição, o transporte e a deposição do Hg por arraste ou volatização (MALM, 1993).

Foram analisados oito perfis de Latossolo, que estão distribuídos em três sub-classes: Latossolo Amarelo – LA; Latossolo Vermelho - LE; Latossolo Vermelho-Amarelo - LV, localizados em pontos da nascente até a foz, com média de 95,25 $\mu g.Kg^{-1}$ de mercúrio, numa profundidade máxima de 100 cm (Figura 18):

- P1/8ª Linha – Margem esquerda do rio Cotia;
- P2/Linha 23 – Nascente do rio Cotia;
- P3/Linha 23 – Afluente do rio Azul;
- P5/Linha 25 – Afluente do rio Azul;
- P9/Linha 29 – Próximo Distrito de Nova Dimensão
- P10/Travessão – A direita da Linha 29/Sentido Porto Velho;
- P11/Travessão – Linha 29
- P16/Estrada Rio Madeira – Distrito Mutum Paraná



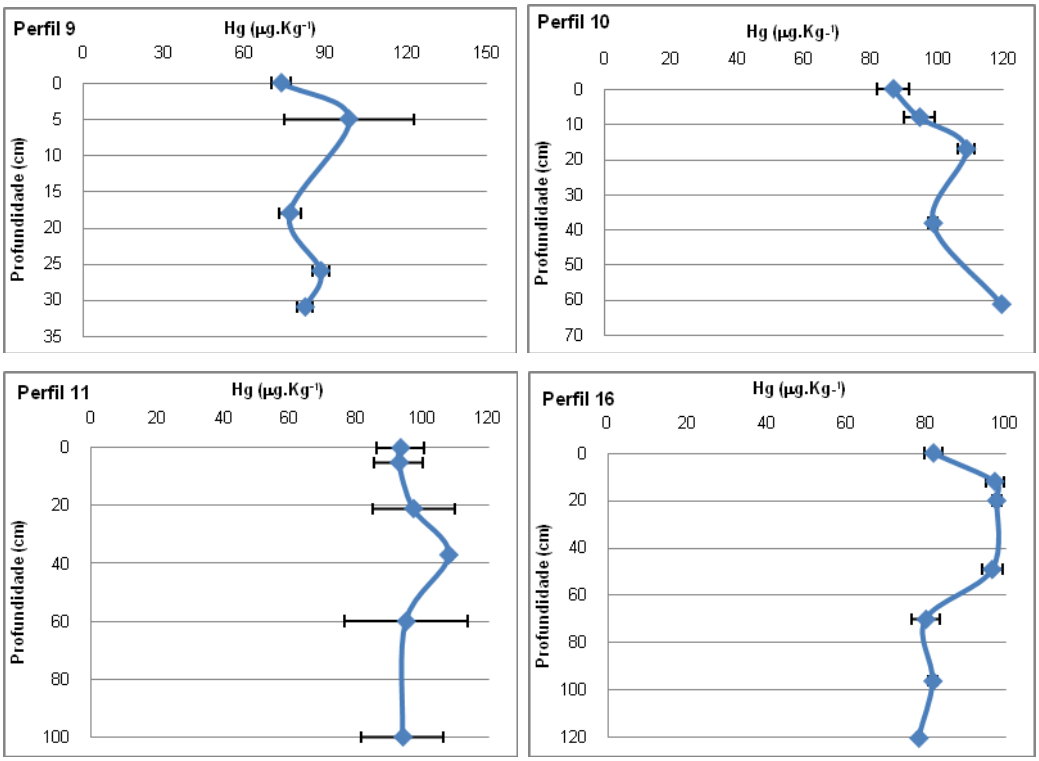


Figura 18 – Concentração de Hg em profundidade nos perfis de Latossolo da sub-bacia Mutum Paraná

Dentre os perfis de latossolo analisados, destacam-se o P-2 (LA), com concentração máxima de 158,70 $\mu g.Kg^{-1}$ de Hg no horizonte B1, e P-3 (LVd) com máximo de 150,44 $\mu g.Kg^{-1}$ de Hg no horizonte A, superficial de 0 a 20 cm de profundidade (Tabela 11).

Tabela 11 – Concentração de mercúrio e granulometria em perfis de Latossolo localizados na sub-bacia Mutum Paraná.

Perfil	***Horizonte***	***Mercúrio ($\mu g.Kg^{-1}$)***				***Areia***	***Silte***	***Argila***
		Total	***Média***	***Mínimo***	***Máximo***		**%**	
2	A1	124,55	**141,23**	**124,55**	**158,70**	59,9	8,4	31,7
	A2	141,74				63,3	6,6	30,1
	A3	148,89				61,6	6,7	31,7
	AB	135,20				58,3	6,6	35,1
	BA	133,87				53,3	8,3	38,4
	B1	158,70				49,9	8,4	41,7
	B2	145,64				48,3	8,3	43,4
3	A1	150,44	**76,48**	**33,41**	**150,44**	49,9	10	40,1
	A2	63,11				46,6	11,7	41,7
	AB	58,98				44,9	10	45,1
	B	33,41				48,3	8,3	43,4

Com textura argilo-arenosa, o P-2 foi coletado em uma área com vegetação primária e ao longo do perfil foram constatadas raízes abundantes do horizonte A1 ao B1, da superfície até 100 cm de profundidade. O B1, entre 85 e 100 cm de profundidade apresentou umidade não identificada nos demais horizontes. Nos dois últimos horizontes deste perfil (B1 e B2) há um incremento de silte e argila, ao que pode está relacionado o aumento das concentrações de mercúrio em profundidade.

Em profundidade os Latossolos têm altas percentagens de alumínio (RODRIGUES, 1996). Conforme Fadini (1999) o alumínio associado a oxi-hidróxidos de ferro regulam os processos de nutrientes, compostos húmicos e metais pesados. A percolação de mercúrio ao longo do perfil de solo é regulada pela afinidade deste com ácidos húmicos e fúlvicos que são dissolvidos em água (precipitação) e são transportados às camadas onde os fenômenos de adsorção são mais intensos. Esta característica associada ao fato dos latossolos serem bem drenados, a localização do P2 e os percentuais de argila, justificam a distribuição de Hg crescendo ao longo deste perfil.

O P-3, com textura argilosa, resultado do percentual de argila, teve um acúmulo de Hg de 150,44 $\mu g.Kg^{-1}$ na camada superficial (orgânica), horizonte A1, decrescendo ao longo do perfil. Este perfil foi localizado em uma área sob

influência antrópica e no horizonte A1 foram verificadas raízes, o que não foi constatado nos horizontes sub-superficiais. Estudo realizado no Alto rio Madeira identificou comportamento similar, correlação de Hg com o material orgânico do solo, com acumulação deste metal em superfície na área de floresta (ALMEIDA et. al, 2009). Linhares et. al (2009) identificaram concentrações elevadas de Hg (641,4 $\mu g.Kg^{-1}$) em horizonte superficial em perfil de latossolo localizado na área de exploração de ouro (garimpo Belmont no município de Porto Velho), ao que relacionaram as concentrações.

A diferença das concentrações de mercúrio entre o P2 e P3 está provavelmente no uso do solo, visto que os latossolos podem adsorver o mercúrio devido os óxidos-hidróxidos de ferro e alumínio característicos destes solos, sob condições normais.

A análise de mercúrio foi realizada em quatro perfis de Argissolo Vermelho, localizados na área da nascente da sub-bacia Mutum Paraná, com concentrações de Hg entre 61,60 e 183,19 $\mu g.Kg^{-1}$, em profundidade de no máximo 88 cm (Figura 19):

- ✓ P4/Linha 25 – Próximo a margem esquerda do rio Cotia
- ✓ P6/Linha 30C – Margem esquerda do rio Mutum Paraná
- ✓ P7/Linha D – Margem direita do rio Azul.
- ✓ P8/Linha 30B – Distrito de Nova Dimensão

Nas camadas superficiais dos perfis de Argissolo o intervalo de mercúrio foi de 65,25 a 98,07 $\mu g.Kg^{-1}$. Esta classe pedológica é caracterizada pela presença de areia, o que pode justificar as menores concentrações de Hg no horizonte superficial. Exceto o P8, em profundidade houve aumento nas [Hg], com máximo de 183,19 $\mu g.Kg^{-1}$ no horizonte A3 do P4, que pode está relacionado ao incremento dos teores de argila nos horizontes sub-superficiais.

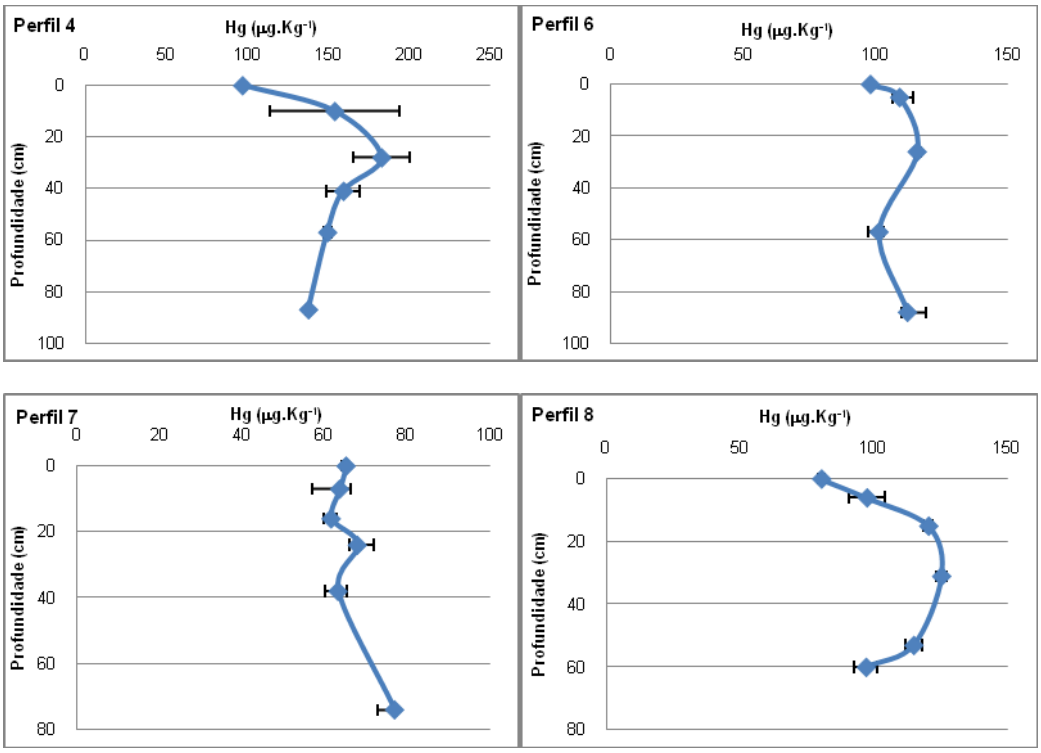


Figura 19 – Concentração de Hg em profundidade nos perfis de Argissolo da sub-bacia Mutum Paraná.

Outro fator importante, observado, que pode também influenciar este comportamento, está relacionado ao tipo de uso do solo, pois na área da nascente há um predomínio de uso da terra para pecuária e exploração madeireira. Os perfis 4 e 6 foram coletados em área de pastagem. A conversão da floresta em pasto expõe a camada superficial do solo ao processo de lixiviação, que remove a fração de mercúrio atmosférico (HACON, 1993). Esta exposição do solo propicia outros processos, como o aumento da entrada de raios ultravioleta, que por conseqüência eleva a temperatura do solo e libera mercúrio para atmosfera (ALMEIDA et. al, 2009).

O P8 – Argissolo Distrófico, localizado numa área com processo de erosão aparente ocasionado pela drenagem, apresentou comportamento diferente dos demais, onde os teores de Hg variaram de 61,60 a 77,08 $\mu g.Kg^{-1}$, embora os teores de argila tenham crescido ao longo do perfil. Esta relativa baixa na concentração de Hg pode ser relacionada a redução dos teores de ferro, característico dos Argissolos Distróficos (Tabela 12).

Tabela 12 – Teores de areia, silte e argila e concentração de mercúrio em perfis de Argissolo.

Perfil	Horizonte	Areia	Silte	Argila	Mercúrio - $\mu g.Kg^{-1}$				
		$g.Kg^{-1}$			Total	DP	Média	Min.	Max
P4	Ap	833	33	134	96,91	0,36	146,87	96,91	183,19
	A2	749	67	184	154,12	39,93			
	A3	666	83	251	183,19	17,48			
	AB	633	83	284	159,54	10,43			
	BA	616	67	317	149,62	2,17			
	B	566	83	351	137,81	1,45			
P6	Ap	749	67	184	98,07	0,41	107,22	98,07	115,68
	A2	699	67	234	109,06	4,94			
	A3	633	83	284	115,68	1,42			
	AB	616	83	301	101,26	1,98			
	B	599	67	334	112,01	7,24			
P7	A1	873	34	93	80,37	0,05	105,94	80,37	125,33
	A2	856	34	110	97,43	2,53			
	A3	840	33	127	120,50	1,21			
	AB	833	33	134	125,33	3,98			
	BA	846	33	121	114,93	2,11			
	B	842	34	124	97,07	0,05			
P8	A1	662	67	271	65,25	1,11	66,47	61,60	77,08
	A2	629	67	304	63,66	6,60			
	A3	562	84	354	61,60	1,76			
	AB	529	83	388	68,00	2,08			
	BA	529	67	404	63,25	3,05			
	B	512	67	421	77,08	4,14			

Na classe de Gleissolo Húmico Distrófico, localizado na foz da sub-bacia Mutum Paraná, foram coletados cinco perfis:

- P12/Área urbana – Distrito Mutum Paraná
- P13/Estrada Mineração São Lourenço – Distrito Mutum Paraná
- P14/Antiga Estrada de Ferro - Distrito Mutum Paraná
- P15/Área urbana - Distrito Mutum Paraná
- P17/Estrada Rio Madeira – Próximo a BR364

A variação média das concentrações de mercúrio nestes solos foi de 53 a 78,58 $\mu g.Kg^{-1}$ (Figura 20). Estes perfis estão localizados em áreas que são

periodicamente inundadas. Este processo de alteração periódica no nível da drenagem influencia diretamente a mobilização do Hg ao longo do perfil, que se desagrega das partículas de solo. Estes solos são ácidos, o que facilita o processo de lixiviação do Hg. Esta disponibilidade do Hg associado as condições do meio e ainda, as próprias características do Gleissolo Distrófico, subsidia o processo de metilação. Ou seja, ainda, que as menores concentrações de mercúrio tenham sido encontradas nestes solos, as condições do meio podem está liberando este metal e o adsorvendo a outros compartimentos ambientais sob outras formas (HACON, 1993; LINHARES et. al, 2005; GUERRA e BOTELHO, 1998).

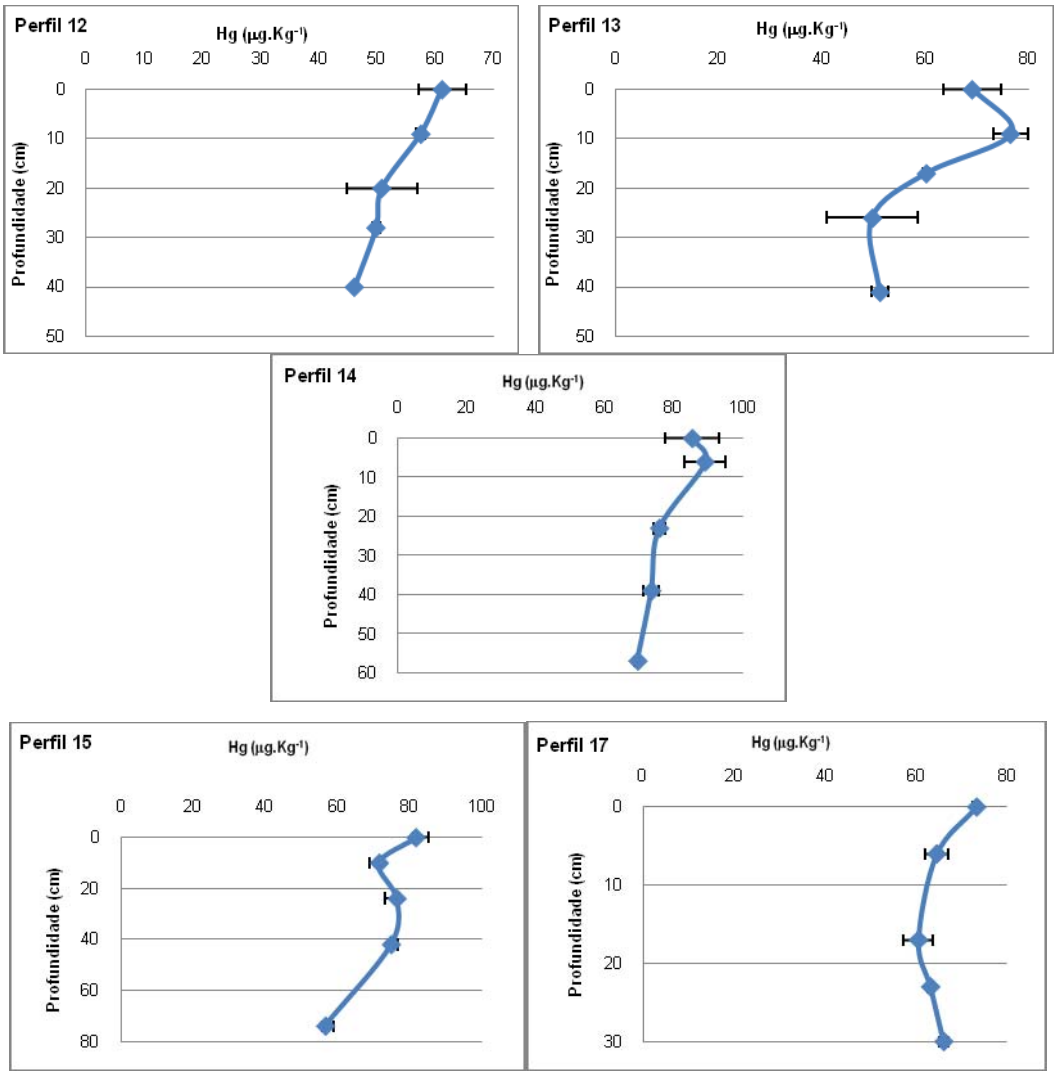


Figura 20 – Concentração de Hg em profundidade nos perfis de Gleissolo da sub-bacia Mutum Paraná.

Os perfis de Gleissolo P12, P13, P14 e P15 são de textura argilosa a muito argilosa. Os teores de silte variaram de 100 a 167 $g.Kg^{-1}$, de 304 a 738 $g.Kg^{-1}$de argila e de 129 a 596 $g.Kg^{-1}$de areia nestes perfis. No P14 foram encontrados os maiores teores de silte e argila, 83,8 % no horizonte A1 e 70,4% no horizonte A2 (Figura 21). O predomínio de silte e argila nestes perfis justificariam altas concentrações de Hg nestes solos, pois a fração fina tem maior capacidade de reter este metal (MELAMED e VILLAS BOAS, 2002). No entanto, os Gleissolo apresentaram as menores concentrações de Hg. Estes perfis estão localizados na foz na sub-bacia Mutum Paraná, sob influência direta do garimpo, mas as concentrações de Hg são semelhantes as identificadas em estudo realizado no baixo Madeira, cujas [Hg] variaram de 25,5 a 96,0 $\mu g.Kg^{-1}$ (LINHARES et. al, 2009).

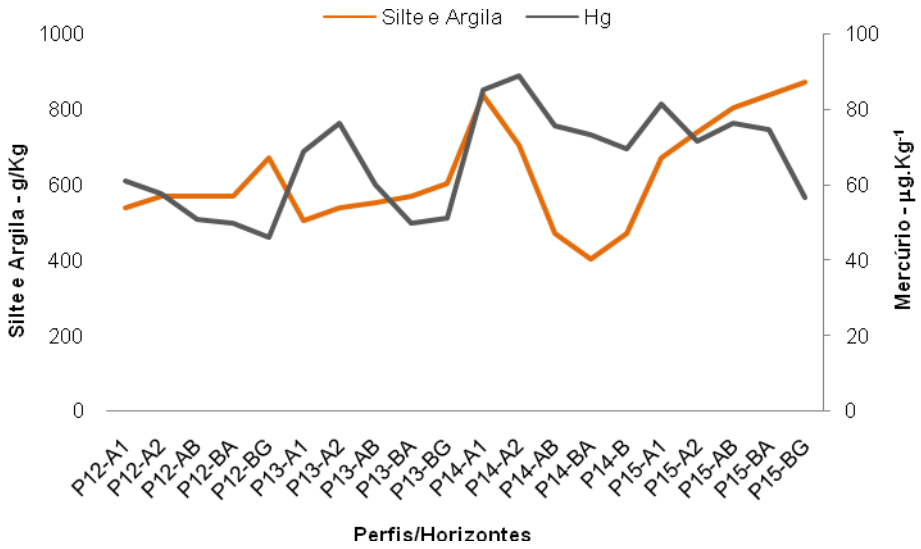


Figura 21 – Silte, argila e Hg em perfis de Gleissolo

O P17 se destaca pelos altos teores da fração areia, que no entanto não influenciou no total de Hg, ou variação ao longo do perfil (Tabela 13).

Tabela 13 – Granulometria e mercúrio no perfil de solo P17.

Perfil/ Horizonte	***Silte***	***Argila***	***Areia***	***Hg***	***DP***
	g.Kg^{-1}			***µg.Kg^{-1}***	
P17-AP	34	154	812	73,19	0,73
P17-A2	33	171	796	64,50	2,52
P17-AB	50	173	777	60,52	3,26
P17-BA	50	181	769	63,16	0,56
P17-B	50	188	762	66,03	0,97

Do total de perfis de solo coletados, 47% estão em área de floresta, 35% em área com uso pecuária e 18% estão localizados em áreas com desmatamento recente ou em processo de queima para “limpeza” e futuro uso, porém, a média de mercúrio não apresentou variação significativa entre os tipos de uso (Figura 22).

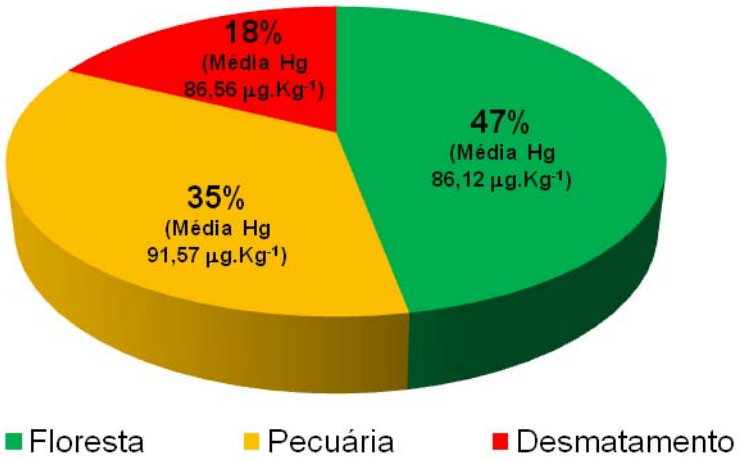
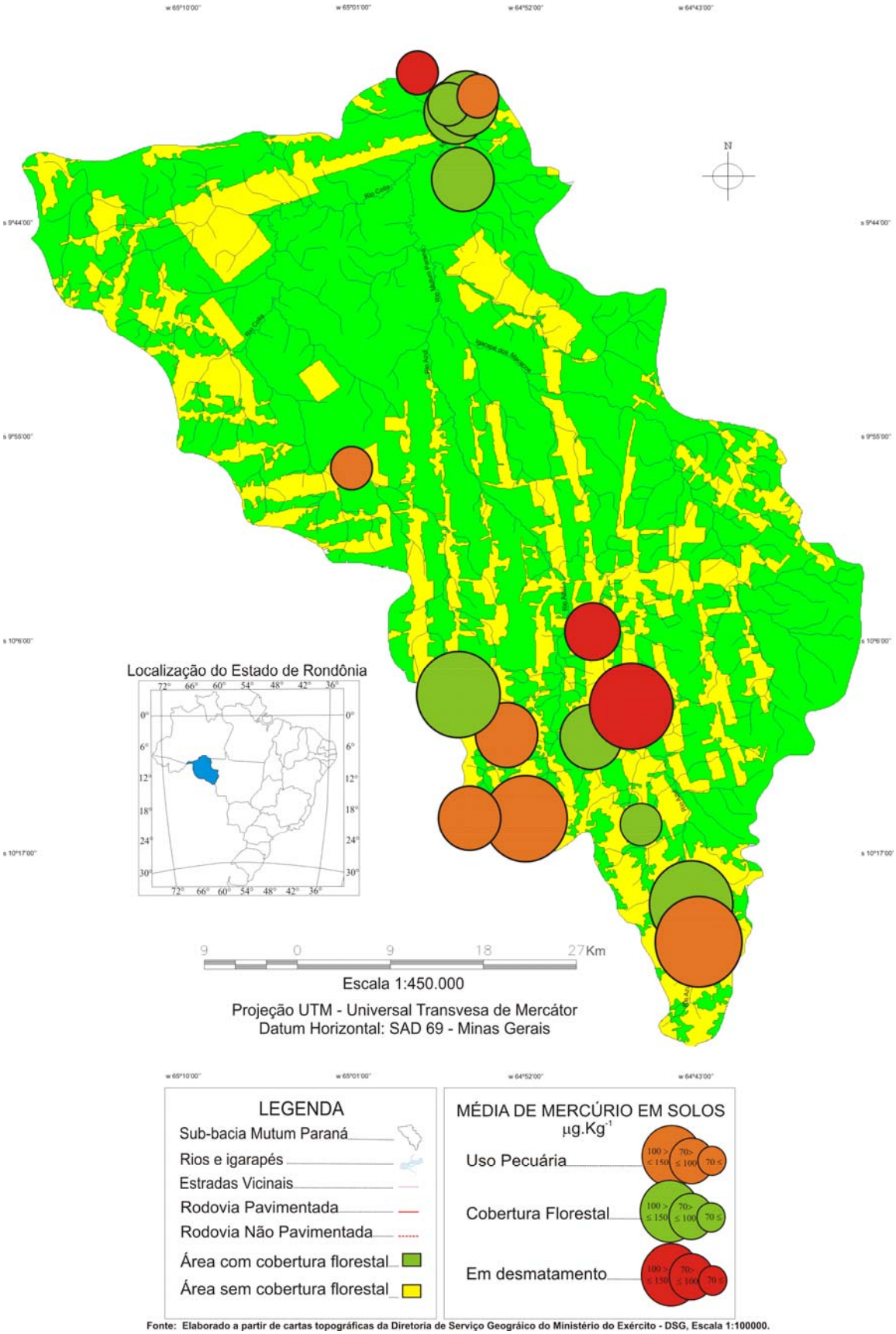


Figura 22 – Distribuição dos perfis coletados e concentração média de Hg por uso da terra.

A análise das variações de Hg em solos tem sido relacionada ao tipo de uso, com a comprovação que áreas sem floresta têm teores maiores que áreas com usos diversos. Entre os mecanismos que contribuem para a imobilização e acumulação de Hg, o uso do solo foi citado por Almeida (2005b) como responsável pela aceleração e variação na capacidade do solo armazenar e liberar Hg para outros ambientes. Assim, toda prática de uso do solo que acelera os processos erosivos do solo também contribuem para o transporte de mercúrio para os cursos de água.

A classificação de imagem de satélite da sub-bacia Mutum Paraná indica que 31% de toda a área não possuem cobertura florestal. As concentrações de Hg em solos sob pasto variaram entre 65,48 e 146,87 $\mu g.Kg^{-1}$, 53 a 141,23 $\mu g.Kg^{-1}$ em solos com floresta e de 61,28 a 101,56 $\mu g.Kg^{-1}$ em solos em processo de desmatamento. Nas três categorias analisadas as menores concentrações de Hg ocorreram em Gleissolos. A influência do tipo de uso do solo deve ser considerada, mas a classe pedológica é fundamental, porque a variação ou distribuição ao longo

do perfil depende de cada tipo de solo (LACERDA et. al, 1999). Na região da nascente estão os quatro perfis (P2, P4, P6 e P7) com maior concentração média de Hg. Destes, dois estão em área de pasto e os outros dois em área de floresta, sob pressão do desmatamento (Figura 23).



Fonte: Elaborado a partir de cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográico do Ministério do Exército - DSG, Escala 1:100000.

Figura 23 – Mapa de cobertura florestal e concentração média de Hg em solo.

Na região da nascente da sub-bacia Mutum Paraná, localizada no município de Nova Mamoré, foi observado intenso processo de desmatamento. No Distrito de Nova Dimensão, as principais atividades são a extração de madeira para fins comerciais e criação bovina, com destaque à pecuária de leite (Figura 24. A produção de leite no município de Nova Mamoré é de 70 mil litros/dia (NOVA MAMORÉ, 2009). Este está entre os quatro com maior índice de desmatamento no Estado de Rondônia. A floresta remanescente nesta porção da sub-bacia pertence a Terra Indígena Karipuna.

Figura 24 – Características de uso do solo na região da nascente.
Fotos: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2007).

O levantamento do índice de desmatamento torna-se relevante nos estudos das concentrações de Hg em solo e sedimentos porque estudos já comprovaram que atividades antrópicas contribuem para o processo de dessorção de Hg em solos sem cobertura vegetal (ALMEIDA, 2005b).

A análise integrada dos teores de Hg, areia e argila nos solos da sub-bacia, indicam que na nascente há uma tendência de maior concentração de mercúrio (Figura 25). Aos diferentes usos do solo na nascente pode ser atribuído este comportamento. Os processos erosivos decorrentes do desmatamento foram citados por Bastos e Lacerda (2004) como um dos fatores que liberam Hg acumulado nos solos. Outro fator que deve ser considerado é o tipo de solo, pois a fixação de Hg neste compartimento ambiental varia conforme a classe pedológica (WASSERMAN, 2001).

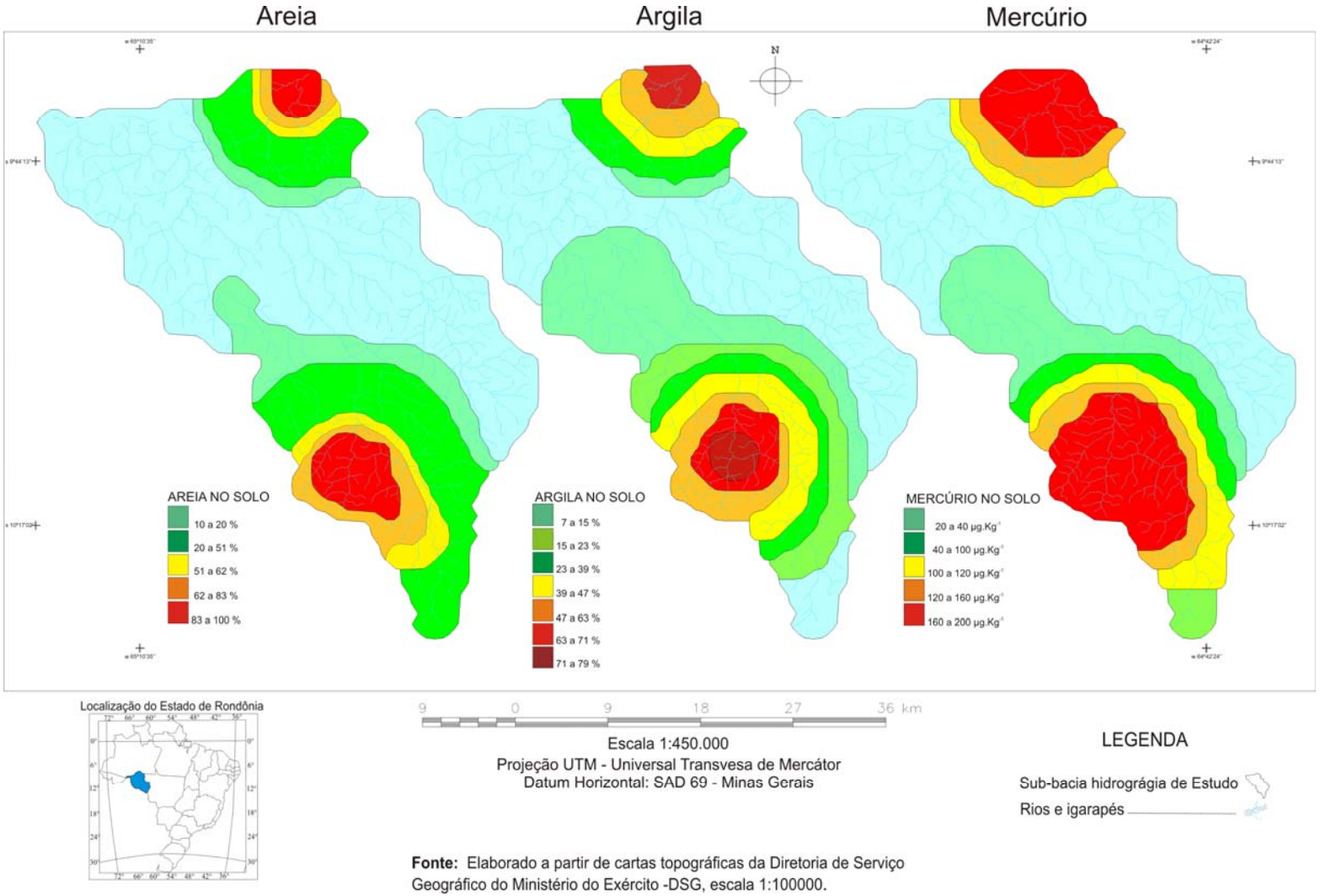


Figura 25 – Mapa com teores de areia, argila e mercúrio em solo na sub-bacia Mutum Paraná.

Neste estudo foi realizada avaliação quanto a área de influência direta do mercúrio atmosférico para o meio, pois o comportamento do Hg nos diferentes compartimentos depende das características biológicas e físico-química do ambiente (HACON, 1993). Mas quando adsorvido as partículas de solo tem um tempo de residência que pode variar conforme as condições do meio e o uso da terra, ou seja, processo antrópicos que interferem numa situação de “repouso”. Diante disso o Hg, através de mecanismo de re-emissão, pode ser transferido para a atmosfera e posteriormente precipitado (ALMEIDA, 2005b).

No entorno da unidade de análise, sub-bacia Mutum Paraná, foram catalogados 14 frentes garimpeiras na área da Reserva Garimpeira do Madeira com lançamento direto de Hg para o ambiente, através de rejeitos nos rios ou a perda de vapor para atmosfera. Com base na área de deposição do Hg perdido para atmosfera, de 10 a 20 Km da fonte, padrão definido por Lacerda et. al (1999) para deposição relativamente próxima a fonte, foi elaborado a área de dispersão de Hg destes 14 garimpos (Figura 26). A partir da análise deste mapa fica evidente a contribuição destes garimpos quanto aos teores de Hg para a sub-bacia, sob influência da direção predominante dos ventos de N e SW para este sistema de drenagem.

A sub-bacia hidrográfica Mutum Paraná está sob a influência dos sistemas de circulação atmosférica predominantes na Região Norte: Sistema de ventos de NE a E dos anticiclones subtropicais do Atlântico Sul e dos Açores, Sistema de ventos de W da mEc ou linha de IT, Sistema de ventos de N da CIT e Sistema de ventos de S do anticiclone ou frente polar. Estes sistemas têm diferentes trajetórias que influenciam a dispersão de contaminantes. Nimer (1989) destaca que o vento da região é caracterizado pela constante presença de umidade, favorecida pela condição natural do solo, sistema de drenagem, cobertura vegetal e forte nebulosidade anual.

No período em que a região está sob influência dos anticiclones formados nas altas latitudes e que atravessam a Cordilheira dos Andes para chegar ao Chile, provavelmente há menor dispersão de Hg, pois estes dificultam a dispersão de contaminantes na atmosfera devido a formação de aglomerados convectivos (ROCHA et. al, 1996).

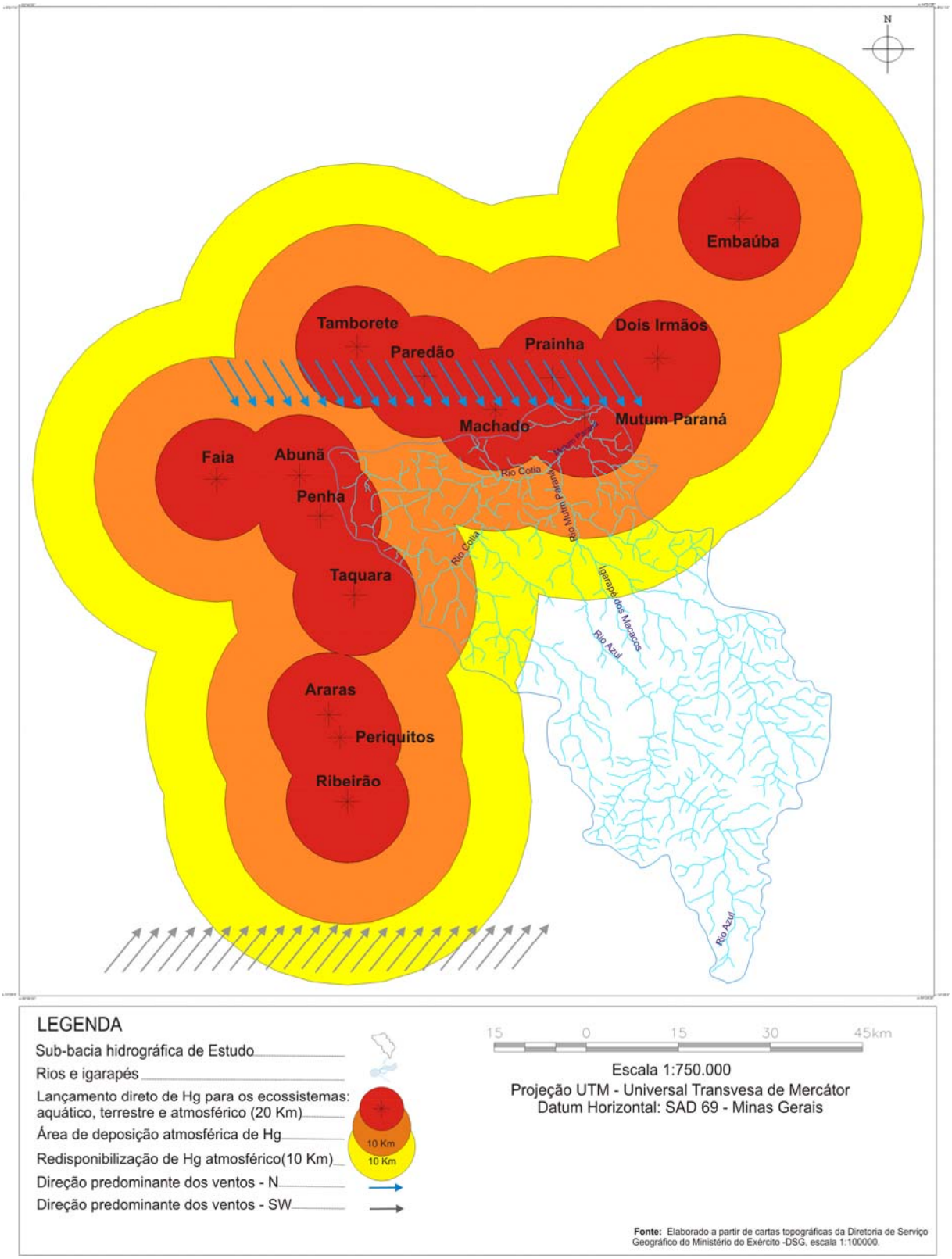


Figura 26 – Mapa de localização dos garimpos do Madeira e direção predominante dos ventos.

8 - CONCLUSÕES

A avaliação da sub-bacia Mutum Paraná evidencia que esta contribui significativamente para as concentrações de mercúrio do rio Madeira, pois apresentou concentrações nos três compartimentos analisados, sedimentos em suspensão (entre 60,3 a 839,00 $\mu g.Kg^{-1}$), sedimentos do leito (de 39,70 a 146,45 $\mu g.Kg^{-1}$) e nos solos (33,41 a 183,19 $\mu g.Kg^{-1}$). Com base nos resultados é possível concluir:

✓ Os teores de mercúrio já identificados em estudos anteriores, realizados na área da foz, estão associados a atividade garimpeira desenvolvida na confluência dos rios Mutum Paraná e Madeira. E recebe contribuição via atmosfera de outros garimpos localizados em sub-bacias limítrofes (Araras, Periquitos, Taquara).

✓ Os teores de mercúrio nos sedimentos em suspensão são superiores aos encontrados nos solos. Ou seja, os valores identificados nos solos não respondem aos altos teores encontrados nos sedimentos, principalmente porque os rios da sub-bacia Mutum Paraná têm uma baixa carga de sedimentos transportados em suspensão, o que evidencia a entrada externa de Hg nesta sub-bacia;

✓ O transporte de sedimentos na sub-bacia Mutum Paraná é inferior ao transportado pelo rio Madeira, mas os rios da sub-bacia Mutum Paraná têm teores de Hg superiores aos já encontrados em área garimpeiras. O que indica que o aumento dos sedimentos em suspensão, decorrente de atividades que possam removê-los da situação de “repouso” do leito dos rios que compõem esta sub-bacia ou ainda por ações antrópicas, possivelmente vão aumentar os níveis de mercúrio disponível;

✓ Extensa área sem cobertura florestal, com visível degradação ambiental foi constatada na região do Distrito de Nova Dimensão (município de Nova Mamoré-RO), região da nascente. Onde predominam madeireiras e a floresta tem sido substituída por pastagem. Este tipo de uso e ocupação da sub-bacia Mutum Paraná influenciam a disponibilização de Hg dos solos, que conseqüentemente chegará ao rio Madeira, onde deságua o rio Mutum Paraná;

- ✓ O acidez de afluentes do rio Mutum Paraná é uma condição que potencializa a metilação do mercúrio na sub-bacia Mutum Paraná;.
- ✓ A dispersão atmosférica, junto a área de abrangência pode ser um indicativo da origem do mercúrio, o que coopera com estudos anteriores que indicam que a principal fonte de Hg para o ambiente amazônico é a atmosfera;
- ✓ Por fim, a sub-bacia Mutum Paraná, se não é o vilão, é um grande contribuinte de Hg para o sistema Madeira;

9 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A.; PEREIRA, L.A. da C. (1991) **Projeto Ouro Gemas Frentes Rondônia**. CPRM/DNPM, Porto Velho.

ALMEIDA, M. D. (2005b) **Biogeoquímica do mercúrio na interface solo-atmosfera na Amazônia.** Tese, Instituto de Geociência da Universidade Federal Fluminense, UFF.

ALMEIDA, M.D.; LACERDA, L.D.;SALDANHA, G.C.;BASTOS, W.R. (2009) **Variações nas concentrações de mercúrio em solos da reserva garimpeira do Alto rio Madeira**. Geochimica Brasiliensis, 23(1), 139-150.

ALMEIDA, R. de; OLIVEIRA, R.C.; GOMES, J.P.O.; NASCIMENTO, E.L. do; CARVALHO, D.P. de; BASTOS, W.R.; BERNADI, J.V.E.; LANDIM, P.M.B.S. (2005a) **Avaliação da concentração de mercúrio em sólidos em suspensão e perfis de sedimentos de fundo no Lago Puruzinho, Amazônia Ocidental.** In: Congresso Brasileiro de Geoquímica e II Simpósio de Geoquímica dos Países do Mercosul. Porto de Galinhas, PE.

AZEVEDO, F.A. de. (2003) **Toxicologia do Mercúrio**. RIMA, São Carlos.

BASTOS, W.R.; LACERDA, L.D. (2004) **A contaminação por mercúrio na bacia do rio Madeira: Uma breve revisão.** Geochimica Brasiliensi, 18 (2): 099-114.

BASTOS, W.R.; MALM, O.; PFEIFFER, W.C.;CLEARY, D. (1998) **Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon-Brazil**. Ciência & Cultura, 50, 255-260.

BECKER, B.K. (1991) **Amazônia**. Ática, São Paulo.

BECKER, B.K. (2003) **Amazônia hoje e sempre.** Disponível em <http://memoriadomeioambiente.org.br/projeto/down/bertha_becker.doc> Acesso em 08/06/2003.

BERBET, C.O.; ARAÚJO NETO, H. de. (s/d) **O problema dos garimpos na Amazônia**. In: PAVAN, C. (org.) Uma estratégia latino-americana para a Amazônia. vol. 2. UNESP, São Paulo, 227-240.

BEZERRA, O. VERÍSSIMO, A.; UHL, CHRISTOPHER. (1998) **Impactos da garimpagem de ouro na Amazônia Oriental.** IMAZON, Belém.

BISINOTI, M.C.; JARDIM, W.F. (2004) **O comportamento do metilmercúrio (MetilHg) no ambiente**. Química Nova, 27 (4): 593-600.

BRASIL (1981) **Garimpos do Médio Madeira (Rondônia).** Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, CPRM, Rio de Janeiro.

BRASIL (1983) **Garimpos do Brasil**. Departamento Nacional da Produção Mineral, DNPM, Brasília.

BRASIL (2006) **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos.** 2 ed., Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, EMBRAPA, Rio de Janeiro.

BRASIL. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Geográfico**. Rio de Janeiro: IBGE, 2000.

CÂMARA, V. de M. (1993) **Garimpos de ouro: principais problemas de saúde e dificuldades para o desenvolvimento de estudos epidemiológicos**. In: Mathis, A.; Rehaag, R. (org.) Consequências da garimpagem no âmbito social e ambiental da Amazônia. Fase/Buntstift e.V/Katalyse, 38-47.

CONTI, J. B. (1998) **Clima e Meio Ambiente.** São Paulo: Atual.

COUTO, R.C. de S. CÂMARA, V.M.; SABROZA, P.C. (1988) **Intoxicação Mercurial: Resultados preliminares em duas áreas garimpeiras – PA.** Cadernos de Saúde Pública, 4 (3): 301-315.

CUNHA, S.B. da. (2008) **Canais fluviais e a questão ambiental**. In: CUNHA, S. B. da.; GUERRA, A.J.T. (org.) A questão ambiental: Diferentes abordagens. 4 ed., Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 219-238.

DONADIO, N.M.M.; GALBIATTI, J.A.; PAULA, R.C. de. (2005) **Qualidade da água de nascentes com diferentes usos do solo na bacia hidrográfica do córrego rico, São Paulo, Brasil**. Engenharia Agrícola, 25 (1): 1-11.

ESTEVES, F. A.; (1998) **Fundamentos de Limnologia**. 2 ed. Interciência, Rio de Janeiro.

FADINI, P.S. (1999) **Comportamento Biogeoquímico do Mercúrio na Bacia do rio Negro (AM).** Tese, Programa de Pós Graduação em Química da Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP.

FERREIRA, R.C.H.; APPEL, L.E. (1990) **Fontes e usos de mercúrio no Brasil**. CETEM, Rio de Janeiro.

GOMES, J.P.O.;NASCIMENTO, E.L.; ALMEIDA, R. de; BASTOS, W.R.; BERNARDI, J.V.E.;BARROS, P.R.H.B. de. (2006) **Distribuição espacial das concentrações de mercúrio em sólidos em suspensão no Alto rio Madeira – Rondônia.** J. Braz. Soc. Ecotoxicol., v. 1, n 2, 1-5.

GRIMALDI, C.; GRIMALDI, M.; UEDRON, S. (2008) **Mercury distribution in tropical soil profiles related to origin of mercury and soil processes**. Science the total environment, 401: 121-129.

GUERRA, A.J.T.; BOTELHO, R. G. M. (1998) **Erosão dos solos**. In: CUNHA, S.B.; GUERRA, A.J. T. (org.) Geomofologia do Brasil. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 181-228.

GUERRA, A.T.; GUERRA A.J.T. (2001) **Novo Dicionário Geológico-Geomorfólogico**. 2 ed. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro.

HACON, S. (1993) **Mercúrio no meio ambiente: os riscos para o homem**. In: CÂMARA, V.; COREY, G. (org) Mercúrio em áreas de garimpo, 12 ed, Centro Panamericano de Ecologia Humana e Saúde, 25-36.

HYPOLITO, R.; ANDRADE, S. (1990) **Aparelho simples e barato pode reduzir poluição por mercúrio**. Ciência Hoje, 11 (65): 10-11.

HYPOLITO, R.; FERRER, L.M.; NASCIMENTO, S.C. C**omportamento de espécies de mercúrio no sistema sedimento-água do mangue no município de Cubatão, São Paulo.** Águas Subterrâneas, V. 19, Nº 1, P. 15-24, 2005.

JARDIM, W. de F. (1988) **Contaminação por mercúrio: fatos e fantasias.** Ciência Hoje, 7 (41): 78-79.

JARDIM, W. F.; FADINI, P. S. (2001) **A origem do mercúrio nas águas do rio Negro**. Ciência Hoje, 30 (177): 62-64.

KITAMURA, P. C. (1994) **A Amazônia e o desenvolvimento sustentável.** EMBRAPA, Brasília, 102-112.

LACERDA, L. D. de. (1999) **Distribuição de mercúrio em solos e sedimentos lacustres na Região de Alta Floresta, MT.** Vol. 23. CETEM/MCT, 1 -23.

LACERDA, L.D. & MALM, O. (2008) **Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas.** Estudos Avançados, 22 (63): 173-190.

LACERDA, L.D. de. (1997) **Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro**. Química Nova, 20(2): 196-199.

LACERDA, L.D. de; MENESES, C.F. (1995) O **mercúrio e a contaminação de reservatórios no Brasil.** Ciência Hoje, 19 (110): 34-39.

LACERDA, L.D. de; PFEIFER, W.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W. R. (1990) **Mercúrio no meio ambiente: Risco Potencial das áreas garimpeiras no Brasil**. Acta Liminológica do Brasil, III: 969-977.

LINHARES, D.P.; SILVA, J.M.; LIMA, T.R.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; BASTOS, W.R. (2009) **Mercúrio em diferentes tipos de solos marginais do baixo rio Madeira – Amazônia Ocidental.** Geochimica Brasiliensis, 23 (1): 001-158.

LINHARES, D.P.; SILVA, J.M.;LIMA, T.R.; OLIVEIRA, R.C.; GOMES, J.P.; BASTOS, W.R.; SILVEIRA, E.G. (2005) **Mercury concentration in margin soil of the Madeira river**. Sociedade & Natureza, 369-379.

LINHARES, D.P.; SILVA, J.M.da; LIMA, T.R.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.;BASTOS, W.R. (2009) **Mercúrio em diferentes tipos de solos marginais do baixo rio Madeira – Amazônia Ocidental**. Geochimica Brasiliensis, 23(1), 117-130.

MALM, O. (1993) **A poluição por mercúrio, uso de equipamentos antipoluentes e uma avaliação da contaminação em áreas de garimpos de ouro na Amazônia.** In: Mathis, A.; Rehaag, R. (org.) Consequências da garimpagem no âmbito social e ambiental da Amazônia. Fase/Buntstift e.V/Katalyse, Belém, 113–130.

MALM, O.; GUIMARÃES, J.R.D.; CASTRO, M.B.; BASTOS, W.R.; BRANCHES, F.J.P.; PFEIFFER, W.C.; VIANA, J.P.; SILVEIRA, E.G. (1997). **Mercúrio na Amazônia: Evolução da contaminação ambiental e humana.** Ciência Hoje, 22 (128): 16-23.

MALM, O.; GUIMARÃES, J.R.D.; CASTRO, M.B.; BASTOS, W.R.; BRANCHES, F.J. (1997) **Mercúrio na Amazônia: evolução da contaminação ambiental e humana**. Ciência Hoje, 22 (128).

MANFREDINI, S.; DIAS, S.M.F; QUEIROZ NETO, J.P. de; OLIVEIRA, D.; FERREIRA, R.P.D (2005) VENTURI, L.A.B. (org.) **Praticando Geografia: técnicas de campo e laboratório.** Oficina de Textos, São Paulo.

MARINS, ROZANE V.; PAULA FILHO, FRANCISCO JOSÉ DE.; MAIA, SAULO ROBÉRIO RODRIGUES.; LACERDA, LUIZ DRUDE DE.; MARQUES, WANESSA SOUSA. (2004) **Distribuição de Mercúrio Total como Indicador de Poluição Urbana e Industrial na Costa Brasileira.** Química Nova, Vol. 27, Nº 5, 763-770.

MAURO, J.B.N.; GUIMARÃES, J.R.D.; MELAMED, R. (1999) **Aguapé agrava contaminação por mercúrio.** Ciência Hoje, 25:68-71.

MELAMED, R.; VILLAS BÔAS, R.C. (2002) **Mecanismo de interação físico-química e mobilidade do mercúrio em solos, sedimentos e rejeitos de garimpo de ouro**. CETEM/MCT, Rio de Janeiro.

NIMER, E. (1989) **Climatologia do Brasil**. IBGE, Rio de janeiro:.

NOVA MAMORÉ. (2009) Secretaria Municipal de Agropecuária. **Projeto para aquisição de Tanques de Resfriamento de Leite.** SEMAGROP, Nova Mamoré.

OLIVEIRA, L.C. de; SERUDO, R.L.; BOTERO, W.G.; MENDONÇA, A.G.R.; SANTOS, A. dos; ROCHA, J.C.; CARVALHO NETO, F. da S. (2007) **Distribuição de mercúrio em diferentes solos da bacia do médio rio Negro-AM: influência da matéria orgânica no ciclo biogeoquímico do mercúrio.** Química Nova, 30 (2), 274-280.

PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D. de; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. (1991) **Mercury in the Madeira river ecosystem, Rondônia, Brazil.** Forest Ecology and Managemente, 38, 239-245.

PRADO, H. do. (1995) **A pedologia simplificada**. 2ª Ed. POTAFOS, Piracicaba.

RIMOLI, L. (1988) **Alerta contra o mercúrio**. Revista Brasileira Tecnologia. Vol. 19, nº 4, 47-49.

ROCHA, E.J.P.; NOBRE, C.A.; TROSNIKOV, I.; FISCH, G.F.; GIELOW, R.; SANTOS-ALVALÁ, R.G. (1996) **Trajetórias do ar e dispersão de mercúrio na região de Alta Floresta – MT, durante a época de queimadas.** In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia. UFRJ/SBMET, Rio de Janeiro.

RODRIGUES FILHO, S.; RIBEIRO JÚNIOR, M.G.; ALCOVER NETO, A.; SILVA, M. de M.; ZIMBRES, E.; YAHHOUZ, A. V.; CASTILHOS, Z.; SILVA, A.R. da; ARAÚJO, J.F.M. de. (2003) **Evolução temporal da poluição por metais pesados em sedimentos do rio Paraíba do Sul, estado do Rio de Janeiro**. CETEM, 26.

RODRIGUES, T.E. (1996) **Solos da Amazônia**. In: ALVAREZ V.; FONTES, L.E.F.; FONTES, M.P.F.; (Ed.) O solo do Brasil nos grandes domínios morfoclimáticos e o

desenvolvimento sustentado. Sociedade Brasileira de Ciência do SOLO – SBCS, Viçosa, 19-60.

RODRIGUES, T.E. (1996) **Solos da Amazônia**. In: FONTES, V.A.V.H.; FONTES, L.E.F. (org). O solo nos grandes domínio morfoclimáticos do Brasil e o desenvolvimento sustentado. Viçosa, MPF.

RONDÔNIA, Secretaria de Estado do Desenvolvimento Ambiental. (2001) Atlas **Geoambiental de Rondônia.** SEDAM, Porto Velho.

ROSA, R. da S.; MESSIAS, R.A.; AMBROZINI, B. (2003) **Importância da compreensão dos ciclos biogeoquímicos para o desenvolvimento sustentável.** Instituto de Química da Universidade de São Paulo, São Carlos.

SILVA, J.M. da.; NUNES, D.D.; BASTOS, W.R.;SILVEIRA, E.G. da; MENDES, A.M.; OLIVEIRA, R.C.;LIMA, T.R.;LINHARES, D.P.;LOBATO, L.C.H.; GOMES, J.P.O. (2003) **Correlação de mercúrio e matéria orgânica em solos no baixo rio Madeira**. Anais do IX Congresso Brasileiro de Geoquímica, 208-210.

SIOLI, H.; KLINGE, H. (1964) **Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia**. Boletim Geográfico, nº 179, 146-153.

SOUZA, C. G.(1991) **Solos.** In: BRASIL, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. IBGE, Rio de Janeiro, 123-136.

TEIXEIRA, M. A. D.; FONSECA, D. R. (1988) **Histórico Regional – Rondônia**. Rondônia: AGB.

TRIVELATO, G. C. (2009) **Avaliação da eficácia da retorta Ourolimpo® no controle da exposição ocupacional a vapores de mercúrio na recuperação de mercúrio metálico em amálgamas e resíduos.** Diponível em WWW.segurancaetrabalho.com.br/dowload/mercurio-retorta.doc Acesso em julho de 2009.

VEIGA, M.M. da.; SILVA, A.R.B.; HINTON, J.J. (2002) **O garimpo de ouro na Amazônia: aspectos tecnológicos.** In: TRINDADE, R. de B. E. (org.) Extração de ouro: princípios, tecnologia e meio ambiente. CETEM/MCT, Rio de Janeiro.

VILHENA, M.P.S.; COSTA, M.L.; BERRÊDO, J.F.; SÁ, G.C.; COSTA, A.M.; SANTOS, E.O.; BRABO, E.S. 2003. **Mercúrio em sedimentos de mangues, caranguejos (Ucides Cordatus) e cabelos humanos em torno dos manguezais do nordeste do Pará.** Geochimica Brasiliensi, 17 (2): 121-129.

WASSERMAN, J.C.; HACON, S.S.; WASSERMAN, M.A. (2001) **O ciclo do mercúrio no ambiente Amazônico**. Mundo & Vida, 2 (1/2), 46-53.

WINDMOLLER, C.C.; SANTOS, R.C.; ATHAYDE, M.; PALMIERI, H.E.L. (2007) **Distribuição e Especiação de mercúrio em sedimentos de áreas de garimpo de ouro do quadrilátero ferrífero (MG).** Química Nova, 30 (5), 1088-1094.

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
LABORATÓRO DE BIOGEOQUÍMICA AMBIENTAL
PROJETO RIO MUTUM PARANÁ

DATA	LAT (S)	LONG (W)	ALTITUDE	PONTO	NOME	pH	OD	SAT	COND	TEMPERATURA °C		OBSERVAÇÃO	ACESSO
			(m)				(mg)	(%)	(mS/cm)	AR	ÁGUA		

EQUIPE:

OBSERVAÇÃO:

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE FEDERAL DE RONDÔNIA
LABORATÓRIO DE BIOGEOQUÍMICA AMBIENTAL
FORMULÁRIO PARA COLETA DE SOLO

DADOS DE LOCALIZAÇÃO:

☐ URBANO ☐ RURAL

LOCAL:_____

DATA:___/___/___ HORA:_____ PERFIL Nº_____

☐ CORTE
☐ TRINCHEIRA
☐ TRADAGEM

DESCRIÇÃO MORFOLÓGICA

HORIZONTE	PROFUNDIDADE (cm)	COR	ESTRUTURA	TEXTURA	CONSISTÊNCIA	TRANSIÇÃO	OBSERVAÇÃO

INFORMAÇÕES ADICIONAIS

CLASSIFICAÇÃO:	UNIDADE DE MAPEAMENTO:
SITUAÇÃO:	LITOLOGIA:
FORMAÇÃO GEOLÓGICA:	PERÍODO:
MATERIAL ORIGINÁRIO:	PEDEGROSIDADE:
RELEVO REGIONAL:	RELEVO LOCAL:
EROSÃO:	DRENAGEM:
VEGETAÇÃO PRIMÁRIA:	USO ATUAL:
OBSERVAÇÃO GERAL:	
EQUIPE DE COLETA:	