

1. APRESENTAÇÃO

Este trabalho aborda um tema de fundamental importância para a região Amazônica, em particular a bacia do rio Madeira, pois os compartimentos bióticos e abióticos aqui estudados fornecerão informações que podem contribuir para o entendimento do ciclo do mercúrio (Hg) em ambientes tropicais. Também deverá subsidiar os órgãos ambientais e de saúde pública (Estadual e Federal) acerca dos níveis de concentração de mercúrio na biota e nas comunidades (ribeirinhos tradicionais), fornecendo informações das áreas e populações potencialmente críticas à exposição por este metal.

As bacias dos rios Tapajós e Madeira foram as mais atingidas no que se chamou de “Corrida do Ouro” no século XX, causada pela mineração informal que utiliza o mercúrio como agente amalgamador no processo de retenção do ouro. Nos dias atuais, o garimpo ocorre numa escala expressivamente inferior, porém a região vem recebendo a carga dos países de fronteiras, onde a mineração está em plena ascensão, podendo ser um estoque residual de Hg.

Alguns autores afirmam que a contribuição natural de mercúrio para a atmosfera na região é elevada, principalmente em época das queimadas que ocorrem de setembro a novembro. É de conhecimento no meio científico, que os elementos químicos presentes no ambiente, fruto de lançamentos naturais e/ou antropogênicos (alguns neurotóxicos como o Cd, Pb, As e Hg) não são encontrados isoladamente, mas sim associados. A presença de Hg associado a outros metais pesados neurotóxicos como o Pb e o Cd são encontrados em algumas regiões do Brasil. Por outro lado, a ação tóxica do mercúrio em seres humano pode ser inibida pela presença de Selênio, presente numa das principais fontes de proteína vegetal da região Norte, consumida principalmente pela população ribeirinha, que é a castanha do Brasil (castanha do Pará).

Em Rondônia, algumas pequenas indústrias, lançadoras potências desses metais pesados, vêm se instalando às margens dos tributários do rio Madeira. Entende-se que há necessidade de mais estudos enfocando o sistema aquático e as populações ribeirinhas da bacia do rio Madeira, pois têm-se encontrado concentrações elevadas de Hg em algumas espécies de pescado, o que justifica também a continuidade de avaliações periódicas, guiando-se pela sazonalidade no consumo de pescado.

Vale ressaltar que todas as amostragens e análises foram realizadas pela equipe do laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia. Até o momento este estudo gerou dois artigos publicados (*Química Nova* e *Environmental Research*), um submetido a *Environmental Neuroscience* aguardando parecer e cinco em fase de conclusão para submeter aos editores.

2. INTRODUÇÃO

2.1. A Bacia Amazônica e o Rio Madeira

O rio Amazonas, com 7047 km de extensão, tem mais de 7 mil afluentes, possuindo assim uma impressionante biodiversidade aquática (TUNDISI, 2003). São inúmeros os potenciais econômicos desta bacia; sua gigantesca planície possui cerca de 23 mil quilômetros de rios navegáveis e mais de 3.000 espécies de peixes que correspondem a 15 vezes mais espécies do que todos os rios europeus. Apresenta também um grande potencial hidroelétrico e mineral. A exploração destes potenciais, ao trazer divisas e crescimento para o país, também traz sérias consequências ambientais, principalmente a informalidade da extração mineral que vem ocorrendo há décadas em vários locais da Amazônia.

O rio Madeira tem aproximadamente 1400km de extensão, todo ele dentro de território brasileiro, percorrendo os estados de Rondônia e Amazonas desde sua formação na confluência dos rios Mamoré e Beni até sua foz no rio Amazonas, com vazão média de 23000m³/s (SEDAM, 2001). Está posicionado entre os 20 maiores rios do mundo e ficou caracterizado como um rio de águas brancas amareladas e ricas em sólidos em suspensão. Apenas os formadores do rio Madeira nascem nas áreas acidentadas dos Andes Bolivianos; os demais afluentes nascem em áreas rebaixadas do Planalto Central (Serra dos Pacaás Novos, Chapada dos Parecis e Serra do Roncador), em altitudes que não ultrapassam 800 m. A bacia hidrográfica constituída pelo rio Madeira e seus afluentes drenam uma área de 1.420.000 km², sendo formada pela junção dos rios Beni e Mamoré, na localidade de Vila Murtinho no município de Nova Mamoré (RO) (SEDAM, 2001).

O chamado Alto Madeira tem cerca de 360km de extensão e não é navegável, pois possui um desnível superior a 70 metros com 18 cachoeiras, área onde ocorre a extração de ouro. É navegável no trecho chamado de Baixo Madeira com cerca de 1065km onde funciona a “Hidrovia do Madeira”, uma das importantes vias fluviais da América do Sul, que vai desde a Cachoeira Teotônio até sua foz no rio Amazonas. Se junta ao rio Amazonas em volumes d’água quase equivalentes, dependendo da época do ano. Seu nível fluviométrico oscila cerca de 15 metros entre as estações seca e chuvosa (Figura 1).

A hidrovia do rio Madeira está se consolidando como uma das principais vias de escoamento comercial da Amazônia. Em 2002, registrou crescimento de 37,8% no volume de carga transportada. Em comparação com as demais hidrovias do País, está atrás em importância apenas do Rio Solimões e do rio Amazonas. O aumento no volume de carga transportado pelo rio Madeira significa sua retomada como um dos principais corredores de escoamento da produção na região, principalmente da soja produzida no norte do Mato Grosso, até o mercado externo. A produção agrícola desse Estado percorre pela rodovia BR-364 até Rondônia, em seguida navega pelo Rio Madeira até o rio Amazonas e, deste, ao oceano Atlântico, rumo à Europa.

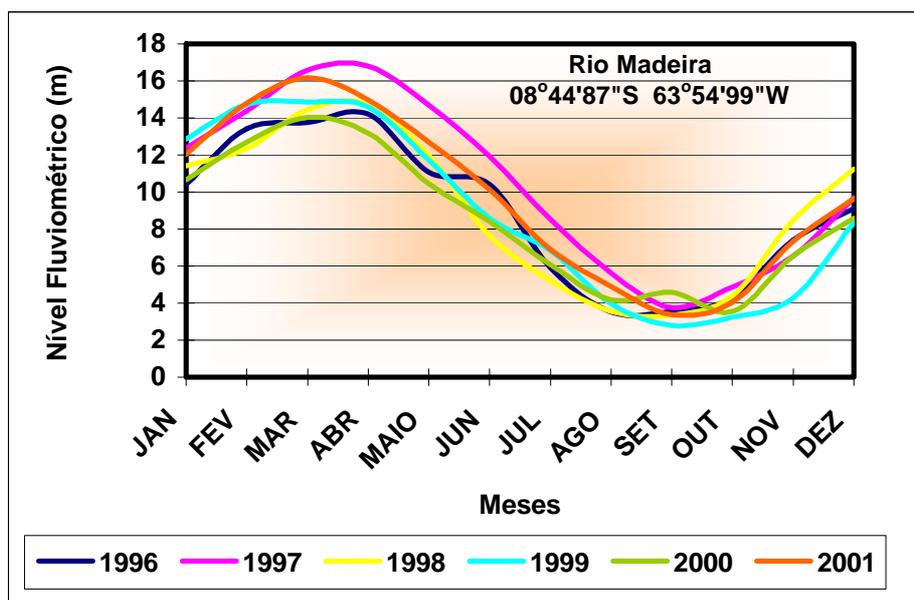


Figura 1. Variação do nível fluviométrico do rio Madeira entre os anos de 1996 a 2001.
Fonte: CPRM, 2002.

2.2. O Ouro no Rio Madeira

O depósito de ouro em exploração no rio Madeira localiza-se na fronteira do Brasil com a Bolívia, no Estado de Rondônia, numa região autorizada e delimitada por portarias do Ministério de Minas e Energia (N^{os}. 1345 de 1979 e 1034 de 1980), denominada Reserva Garimpeira do Rio Madeira e que ocupa uma área de 192km² ao longo do rio Madeira, no trecho compreendido entre as cachoeiras do Paredão (Guajará-Mirim-RO) e Teotônio (Porto Velho-RO). São os pontos garimpeiros conhecidos como: Paredão, Embaúba, Tamborete, Jirau, Caiçara, Araras, Morrinho e Teotônio.

A prática de garimpagem neste trecho das águas do rio Madeira é autorizada pela Legislação, mas para que este tipo de atividade extrativista mineral possa ser realizado, é necessário que os proprietários das dragas e balsas (Figuras 2 e 3), além de apresentarem um projeto ambiental à Secretaria Estadual de Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), tenham a licença de funcionamento da draga expedida pela Capitania dos Portos da Marinha, além da autorização do Departamento Nacional de Pesquisa Mineral – DNPM.

A denominação “garimpeiro” veio de um vocábulo pejorativo - Grimpeiro. Os grimpeiros subiam as grimpas no passado, fugindo ao fisco; mais tarde passaram a ser chamado de garimpeiros. Hoje, os garimpeiros são conhecidos como homens arrojados que lutam na extração de pedras preciosas, ou de ouro, nos terrenos de aluvião ou quebrando cascalhos em busca de metais preciosos (ARAÚJO, 2000).



Figura 2. Balsas em plena atividade na extração de ouro do leito do Baixo rio Madeira.
Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).

O ouro encontrado nos aluviões mineralizados do rio Madeira é de granulometria bastante fina, peculiaridade que dificulta a separação manual desse minério das demais partículas extraídas; por falta de opção faz-se necessário o uso do Hg no processo de extração do ouro. Estudos de prospecção realizados pela Mineração Rio Novo Ltda, entre as cidades de Guajará-Mirim e Abunã, revelou mineralizações auríferas até a profundidade de 20m, em sedimentos terciários, com teor variável ao longo do perfil dos furos (BASTOS, 1988).



Figura 3. Dragas aglomeradas (“fofoca”) extraíndo ouro do leito do rio Madeira próximo a Cachoeira Teotônio-RO. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

As mineralizações auríferas são encontradas nas praias, ilhas, margens e no próprio leito do rio Madeira, determinando variações da natureza do material como se segue:

- Camada arenosa, granulometria média;
- Horizontes cascalhíferos soltos;
- Arenitos ferruginosos e/ou cascalhíferos
- Sedimentos lateritizados;
- Arenitos conglomeráticos;
- Cascalhos antigos, parcialmente consolidados.

Os horizontes cascalhíferos são os que detêm teores mais elevados e de mais fácil recuperação, possuindo espessura variável, desde 0,2 a 0,3m. A profundidade desses níveis varia entre 0,5 a 3-4m. As camadas lateríticas, arenitos ferruginosos e/ou manganésíferos e os arenitos conglomeráticos são agrupados sob o nome de "mocororô" e representam os sedimentos mais antigos. Nestas camadas, cuja espessura pode ultrapassar a 0,6m, os teores de ouro chegam até a 35g/m^3 (BASTOS, 1988).

Embora o volume dos sedimentos mineralizados seja considerável, os teores são irregulares. Em inúmeras catas localizadas adjacientemente, os teores variaram entre 30 e 3g/m^3 , em um mesmo nível mineralizado de cascalho (BASTOS, 1988).

A produção oficial de ouro, segundo a Secretaria de Receita Federal de Rondônia no período entre 1979 e 1995, foi de 5t; após essa data não se tem registro oficial (CARVALHO NETO, 1998) (Figura 4). Baseado nos cálculos de Pfeiffer e Lacerda (1988) cerca de 68t de Hg foram lançadas para o meio ambiente da região, apenas considerando o período citado e a produção oficial (Figura 5). Segundo estimativas de Carvalho Neto (1998), esse despejo ultrapassou as 90t nesse período, baseado em estimativas de extrações de ouro não registrada, o que é comum devido às facilidades de fronteiras e a clandestinidade de garimpeiros não autorizados. Provavelmente, nunca iremos saber exatamente a quantidade tanto de ouro extraído como de Hg utilizado e perdido para o ambiente da região.

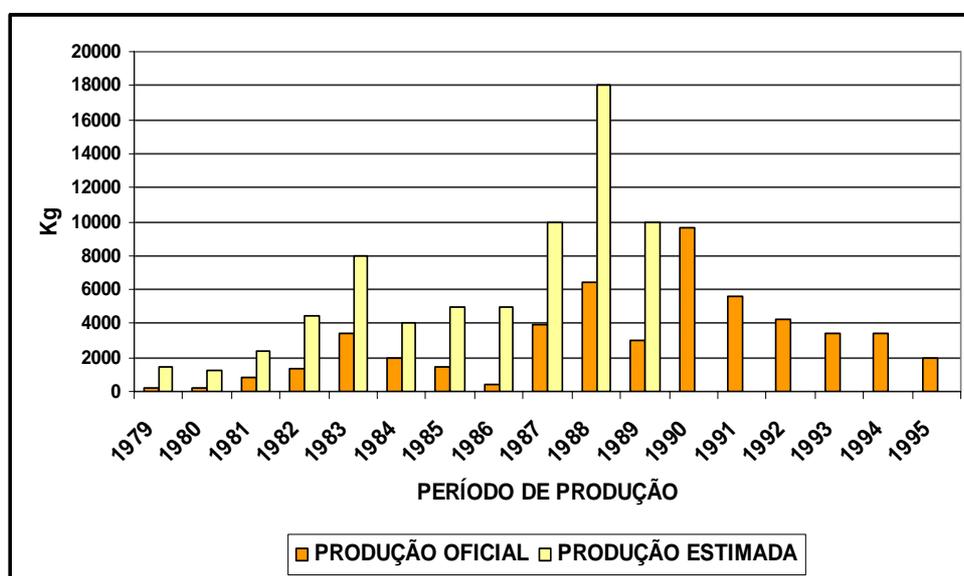


Figura 4. Segundo Carvalho Neto (1998), produção oficial e estimada da produção de ouro no rio Madeira-RO (LINHARES *et al*, 2004).

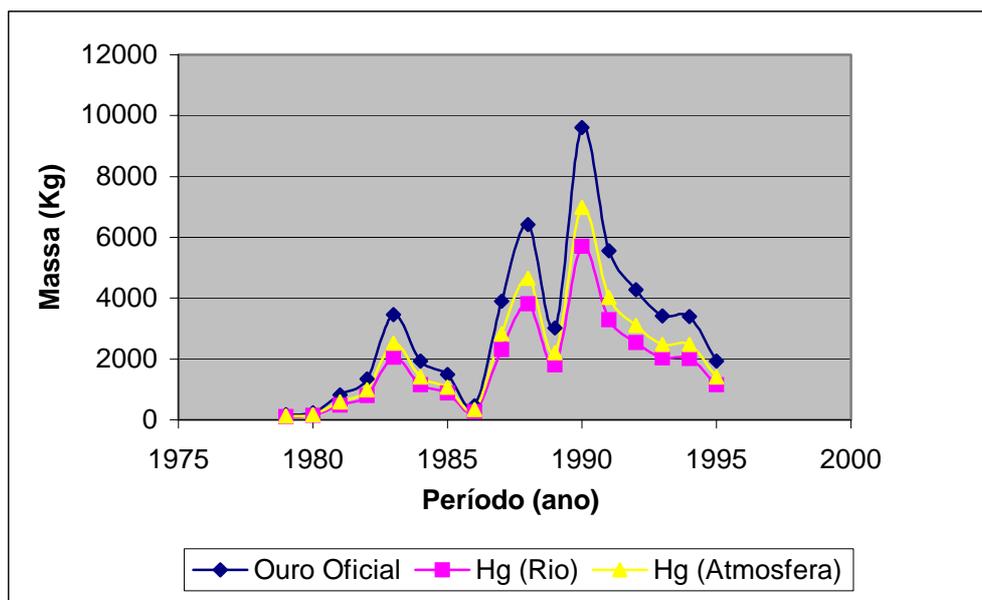


Figura 5. Produção de ouro oficial do estado de Rondônia com a relação de perda de Hg para o rio e atmosfera segundo as proporções estimadas por Pfeiffer & Lacerda (1988).

2.3. Uso do Mercúrio na Região Amazônica

A partir do século XVI a mineração artesanal do ouro passou a fazer parte da história do Brasil. Embora as áreas em nosso território fossem ainda desconhecidas e perigosas, havia o incentivo da Coroa Portuguesa que oferecia prêmios pela descoberta de ouro (TRINDADE & BARBOSA FILHO, 2002). Os registros oficiais de descoberta de ouro de aluvião na Amazônia ocorrem por volta de 1800, próximos à Cachoeira do Ribeirão. Em Rondônia, esta atividade teve seu início em 1739, após a descoberta de ouro no rio Corumbiara, que drena para o rio Madeira, por um grupo de garimpeiros (TEIXEIRA & FONSECA, 2001).

Segundo Trindade & Barbosa (2002) a exploração do ouro no Brasil viveu 4 ciclos desde sua descoberta pelos portugueses. O primeiro ciclo compreende o período de 1500 até 1700 e o segundo ciclo vai até o ano de 1800. O terceiro ciclo, que tem início a partir de 1800 e vai até o ano de 1980, quando ocorre a grande corrida do ouro no início na década de 70 indo até os anos 80 e, o quarto ciclo a partir dos anos 80.

A amalgamação de mercúrio (Hg) com o ouro (Au) é um processo milenarmente conhecido, embora não tão eficiente, mas possível de ser realizado facilmente sem grandes investimentos e equipamentos sofisticados: esta foi e ainda continua sendo a técnica de extração de ouro e prata importante na América Latina. Acredita-se que esta

técnica possa ter emitido para o ambiente mais de 200.000 toneladas de Hg de 1540 até 1900, principalmente na América Espanhola Colonial (NRIAGU, 1994). A exaustão dos grandes depósitos e a introdução de cianetação em mineração de ouro contribuíram para a redução do uso desta técnica, embora a técnica de cianetação seja apenas realizada em escala industrial. É interessante enfatizar que o Brasil foi, no século XVIII, o maior produtor mundial de ouro. Porém, nos anos de 1970, devido a crescente cotação do ouro e o empobrecimento da condição econômica social nos países sub-desenvolvidos, esta técnica ressurgiu, em particular nos países da Ásia tropical e América Latina (LACERDA & SALOMONS, 1998).

Na bacia Amazônica em particular, esta técnica representa uma opção simples, barata e confiável para produção de ouro, pronta a ser usada por uma população crescente e carente propriamente de trabalhos na quase totalidade dos países em desenvolvimento dessas regiões (LACERDA *et al.*, 1995; LACERDA & SALOMONS, 1998). A emissão anual de Hg para toda a bacia Amazônica pôde alcançar até 200 toneladas, sendo o Brasil, Venezuela, Guiana, Colômbia e mais recentemente a Bolívia os maiores emissores (LACERDA, 1997).

No ano de 1978, iniciou-se o processo de extração por meio do método manual. No ano seguinte, surgiram as primeiras balsas e no princípio da década de 80 foram registradas as primeiras dragas, período no qual se intensificou a exploração aurífera em todo trecho que compreende o alto rio Madeira, sobretudo dos garimpos Periquitos, Santo Antonio e Belmonte (ADAMY & ROMANINI, 1990). Neste período houve um aumento de população, decorrente da notícia da existência de aluviões mineralizados, fato que intensificou o fluxo de garimpeiros no rio Madeira.

Uma avaliação da contaminação dos compartimentos ambientais na Amazônia e de sua população tradicional ribeirinha se faz necessária com objetivo de se entender razoavelmente o ciclo biogeoquímico do Hg neste ambiente tão complexo. É de grande importância evidenciar isto, não importando as tendências futuras em emissões, pois a quantidade de Hg já depositada no ecossistema Amazônico, que inclui também o Hg das operações da mineração espanhola, pode, sob certas circunstâncias, ser remobilizada para os ciclos ecológicos. Como exemplo: a aceleração de mudanças do uso do solo na agropecuária; a dragagem anual que ocorre em alguns trechos do rio Madeira com objetivos de viabilizar a Hidrovia nos períodos de regime hidrológico mais baixo e, o projeto de geração de hidroeletricidade nas cachoeiras de Teotônio e Jirau no Alto Rio

Madeira. Estas situações, tanto individualmente como em conjunto, poderão promover e acelerar processos de remobilização do Hg depositado no leito do rio.

Uma característica típica da mineração de ouro da Amazônia é a eficiência baixa do processo devido ao uso artesanal do Hg (Figura 6). O fator de emissão médio de Hg, calculado por Pfeiffer & Lacerda (1988) nesta atividade, para a década de 80, foi de aproximadamente 1,3 kg de Hg para 1,0 kg de ouro produzido, sendo aproximadamente 55% do Hg emitido para a atmosfera durante a queima do amálgama de Hg-Au e, de 30 até 45% emitido diretamente para os rios, solos e drenagens da região. Hoje essas quantidades já não são mais as mesmas por vários fatores: menos ouro na calha do rio; custo dos equipamentos e do mercúrio; as campanhas de proteção ao meio ambiente com punição por órgãos ambientais e, por último, a possibilidade de reutilização do Hg após a destilação nas retortas (Figura 7).



Figura 6. Amálgama Hg-Au na bateia após o processo de captura do ouro fino pronto para a queima. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2003).*



Figura 7. Etapa de separação do Hg do ouro por aquecimento na retorta. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2003).*

As emissões na queima do amálgama são principalmente de vapor de Hg^0 , considerando que nas purificações do ouro, que ocorrem no ato da comercialização, uma fração também é emitida como partículas ricas em Hg e, que possivelmente está nas formas químicas Hg^{2+} e Hg^0 (MARINS *et al.*, 1991; MARINS & TONIETTO, 1995).

Concentrações extremamente altas de Hg têm sido reportadas no compartimento sedimento atmosférico superficial (poeira de rua). Por exemplo, concentrações de Hg em poeira de rua coletados em cidades da Amazônia, onde o ouro é comercializado, alcançam valores de $36\mu\text{g.g}^{-1}$ e $250\mu\text{g.g}^{-1}$ (MALM *et al.*, 1991; THORNTON *et al.*, 1992, respectivamente), representando um fator de enriquecimento de 100 a 1000 vezes as concentrações médias de Hg encontrado em solos próximo. Este compartimento revela um tempo de residência muito pequeno na atmosfera; isto tem sido reportado como uma fonte significativa de exposição humana de Hg, através da inalação dos vapores de Hg em centros de mineração de ouro no Brasil (HACON *et al.*, 1997).

A contaminação por Hg no ambiente da Amazônia é tipicamente de fonte difusa, principalmente atmosférica, com carga relativamente pequena em relação à área

(LACERDA, 1995). A contaminação local por Hg⁰ (vapor metálico), embora muito alta em alguns locais, como em áreas diretamente influenciadas pela comercialização do ouro, é provavelmente de importância secundária, devido à baixa biodisponibilidade desta forma química de Hg, com isso, apresentando um fator de risco baixo. Porém, estes locais podem ser muito mais significantes como uma fonte secundária de Hg, através de volatilização do Hg para a atmosfera.

2.4. O Mercúrio no Rio Madeira

Os problemas ambientais e sociais ao longo do rio Madeira têm significativa ligação com as atividades de mineração que, além do assoreamento, usa o mercúrio na amalgamação do ouro de aluvião. A mineração de ouro aluvionar tornou-se efetivamente, ao longo das décadas de 70 e 80, uma atividade corriqueira no rio Madeira chegando a envolver direta e/ou indiretamente cerca de 1 milhão e 500 mil pessoas em toda a Amazônia (DNPM, 1983).

Com o progresso da tecnologia, o garimpo manual rudimentar utilizando-se apenas de bateia foi substituído pelo mecanizado (balsas, Figura 2 e; dragas, Figura 3).

Dentre os metais pesados, o Hg é um dos elementos que representa maior risco à saúde humana, particularmente quando inalado sob a forma de vapor ou ingerido sob a forma de metil-Hg. Sua toxicologia, face aos acidentes ocorridos no Japão (1950 – 1960), e Iraque (1970), dentre outros, é bem conhecida. Basicamente, os efeitos deletérios que o Hg produz caracterizam-se por danos irreversíveis ao sistema nervoso central, atingindo áreas do cerebelo associadas a funções sensoriais, visuais, auditivas e motoras e, em caso agudo, pode levar ao coma e à morte. Do ponto de vista toxicológico, a ingestão de alimentos contendo organomercuriais, principalmente o metil-Hg, representa maior probabilidade de intoxicação e o vapor de Hg metálico é quase que totalmente absorvido por inalação e difunde-se rapidamente através das barreiras hemo-encefálica e placentária (GALVÃO & CORREY, 1987). O Hg absorvido se liga aos grupamentos sulfidrilas de proteínas, podendo causar intoxicação aguda, onde predominam os sinais e sintomas respiratórios e intoxicação sub-agudas e crônicas, com efeitos, além do sistema nervoso, nos rins, fígado e pele (KOMYO *et al*, 1993).

Nos últimos anos, algumas descobertas importantes ocorreram, sendo que a descrição da formação do metil-Hg encontrado a partir da metilação do Hg por bactérias aeróbias e anaeróbias merece maior destaque. O metil-Hg formado no ambiente aquático é rapidamente absorvido pelos peixes, onde as maiores concentrações ocorrem nos carnívoros, topo da cadeia trófica. Seus fatores de concentração chegam a atingir números da ordem de 10^4 a 10^5 vezes o nível de “background”. O processo de acumulação do metil-Hg em peixes apresenta interesse particular, posto que, nesta forma química orgânica, ele é cerca de 100 vezes mais tóxico do que na forma química inorgânica (ATSDR, 1999).

O ciclo global do Hg envolve sua volatilização, transporte, deposição, acumulação e migração; é resultado de processos físicos, químicos e bioquímicos extremamente complexos, muitos dos quais ainda não foram bem definidos. A disponibilização do Hg na crosta terrestre ocorre pela evaporação tanto dos corpos hídricos naturais quanto dos solos e das emanções vulcânicas que contêm Hg em sua constituição. A deposição do Hg autóctone em solos ocorre com o processo intempérico, já o alóctone é depositada via transporte aéreo (volatilização) e pelas águas (rios, mares, lagoas, oceanos). O processo deposicional ocorre concomitantemente ao transporte. O processo de acumulação, o tempo de residência do Hg em ambientes aquáticos e sua distribuição corporal nas espécies de peixes precisam ser definidos, em paralelo a estudos dos processos evolutivos e comportamentais destas espécies; os condicionantes físico-químicos desta etapa também não estão bem compreendidos.

No auge da extração do ouro os garimpos chegaram a utilizar mais da metade do Hg importado pelo Brasil naquele período. Hoje, em uma escala significativamente inferior aos anos 70 e 80 ainda se encontram atividades de extração de ouro com o uso do Hg na região, mas em função dos estudos ambientais e, principalmente, por questões econômicas utilizam-se técnicas mais seguras e, conseqüentemente menos poluidoras. Certamente, as proporções Hg:Au (mercúrio:ouro) utilizadas hoje são inferiores aos cálculos realizados por Pfeiffer & Lacerda (1988) para o período da “Corrida do Ouro”.

A emissão de Hg atmosférico proveniente da atividade garimpeira e também pela queima de biomassa vegetal (queimadas), têm sido assinaladas por vários autores como sendo as duas fontes de dispersão de Hg na região, justificando assim, as elevadas concentrações de Hg na biota. Isto ocorre, principalmente, em processos de represamento, como as hidroelétricas, onde a vegetação de floresta não tenha sido

retirada o que promove ótimas condições para a organificação do Hg, contaminando, assim, a biota.

2.5. A Ictiofauna do Rio Madeira

A pesca é uma das atividades extrativistas mais importantes da bacia Amazônica, movimentando anualmente cerca de US\$ 200 milhões e envolve “mais de 70.000 empregos diretos, dos quais 30.000 são pescadores filados às Colônias de Pesca” (PETRERE, 1992; AMARAL, 1998). Para Santos *et al* (1991), o peixe é um dos recursos mais importantes para populações Amazônicas por ser de fácil acesso aos habitantes das inúmeras vilas e povoados, face à localização, às margens dos cursos d’água, fazendo a pescaria difusa de subsistência ser responsável por 61% da produção pesqueira. O estoque pesqueiro mais importante comercializado pertence às espécies reofilicas ou migratórias que perfazem 60% das capturas da bacia Amazônica, como piramutaba (*Brachyplatystoma vaillantii*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), jaraqui (*emaprochloodus sp.*), pacu (*Mylossoma sp.*) e jatuarana (*Bricon sp.*).

Os peixes, segundo Santos *et al* (1991), têm um papel decisivo como mantenedores da riqueza e do equilíbrio ecológico, como agentes biológicos de dispersão de sementes, enriquecedores naturais do sistema aquático pela conversão da biomassa vegetal em matéria animal e mineral, além de ser utilizado em larga escala como base alimentar das populações, tendo influência direta na economia local. Entretanto, a pesca na região Amazônica vivencia ligeiro declínio face aos seguintes fatores: introdução de fibra sintética para confecção de malhadeiras, aumento da frota pesqueira e das distâncias percorridas nas viagens de pesca, crescimento urbano com maior consumo de pescado e degradação ambiental causados pelos desmatamentos das matas de várzeas e atividades garimpeiras. A carência de informações temporais e espaciais sobre os recursos pesqueiros compromete a administração presente e futura da atividade de pesca, pois não permite relacionar a flutuação da captura com relação às variáveis ambientais e aos diferentes esforços de pesca ao longo dos anos (ISAAC & BARTHEM, 1995; AMARAL, 1998).

Com a criação de projetos hidroelétricos na região Amazônica, tais como Tucuruí/PA, Balbina/AM e Samuel/RO a produtividade biológica das áreas inundadas apresentou inicialmente um aumento progressivo no setor pesqueiro, provavelmente

pelo aumento da fitomassa submersa, retenção de nutrientes nos lagos e às estratégias ecológicas de várias espécies de peixes pré-adaptados a ambientes lênticos como os tucunarés (*Cicla spp*) e a pescada (*Plagioscion squamosissimus*) (AMARAL, 1994).

Muito se tem discutido sobre a problemática da utilização do mercúrio nos garimpos, dos danos que essa prática acarreta ao meio e dos prejuízos para a saúde das populações expostas, especialmente no que diz respeito à população tradicional ribeirinha Amazônica, exposta à contaminação via ingestão de pescado (MALM, 1998). Especificamente para o estado de Rondônia, tem-se inicialmente o estudo realizado por Martineli *et al* (1988) no rio Madeira registrando teores de 1,04 $\mu\text{g.Hg.g}^{-1}$ em macrófitas aquáticas coletadas em lagos, 100 Km distantes da fonte de emissão mais próxima. Gali *et al* (1997) avaliaram 20 espécies de peixes do rio Jacu Paraná, coletados e separados em grupos de espécies de hábito preferencial alimentar carnívoros e não carnívoros obtendo valor médio de concentração de Hg total de 0,78 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e de 0,13 $\mu\text{g.g}^{-1}$, respectivamente. Silva *et al* (1996) analisando algumas espécies de peixes do reservatório de Samuel constataram teores entre 0,19 $\mu\text{g.g}^{-1}$ e 1,36 $\mu\text{g.g}^{-1}$ com valor médio de 0,50 $\mu\text{g.g}^{-1}$ para as espécies carnívoras.

Boischio (1996) relacionou algumas espécies de peixes carnívoros que apresentaram teores maiores que 0,50 $\mu\text{g.g}^{-1}$ de Hg total, limite máximo recomendado pela Organização Mundial de Saúde (WHO, 1976), portanto não seguros para consumo humano, entre as quais: surubim (*Pseudoplatystoma fasciatum*), tucunaré (*Cicla sp.*), bico de pato (*Sorubim lima*), barba chata (*Pinirampus pirinampu*), aruanã (*Osteoglossum bicirrhosum*), peixe cachorro (*Hydrolicus scomberoides*), apapá (*Ilisha amazonica*), piranha-cajú (*Pygocentrus nattereri*), pescada (*Plagioscion squamosissimus*), filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*), pintadinho (*Pseudoplatystoma tigrinum*), jacundá (*Cremichichla sp.*), cara-açu (*Geophagus sp.*), pirarara (*Phractocephalus hemiliopterus*), piramutaba (*Brachytostoma vaillanti*), dourada (*Brachyplatystoma flavicans*), mandubé (*Ageneiosus brevifilis*), croatá (*Platynemathichthys notatus*), piraíba (*Brachyplatystoma filamentosum*), cubiu (*Anodus melanopogon*), pirandira (*Hydrolicus scomberoides*) e jeju (*Hoplrytrins unitaeniatus*).

É surpreendente observar que na Legislação Brasileira em 1998, através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), definiu para espécies predadoras,

como as citadas anteriormente, o valor máximo admitido para consumo de $1,00\mu\text{gHg.g}^{-1}$, sendo $0,50\mu\text{gHg.g}^{-1}$ para as espécies de hábito não carnívoros.

A mesma autora, Boishio (1996), relacionou também seis espécies de peixes que considerou para consumo restrito: caparari (*Pseudoplatystoma tigrinum*), traíra (*Hoplias malabaricus*), tambaqui (*Colossoma macropomum*), mapará (*Hypophthalmus marginatus*), jaú (*Paulicea luetkeni*) e cascuda (*Liposarcus pardalis*), com faixa de concentrações entre $0,20 - 0,50\mu\text{gHg.g}^{-1}$. Neste mesmo trabalho foi relatada apenas 15 espécies de peixes consideradas seguras para consumo humano: curimatá (*Proshilodus sp.*), pacú (*Myleus torquatus*), sardinha (*Triportheus albus*), branquinha (*Curimata inornata*), acari-bodó (*Liposarcus pardalis*), aracu-piau (*Leporinus fasciatus*), jatuarana (*Brycon cephalus*), pirapitinga (*Piaractus brachypomus*), cará (*Acarichthys heckellii*), jaraqui (*Semaprochilodus taeniurus*), cuiú-cuiú (*Oxydoras niger*), matrinhã (*Brycon cephalus*), bocó (*Colossoma macropomum*), bacu (*Platydoras costatus*), e tamuatá (*Hoplosternum littorale*), cuja faixa média de concentração de Hg total foi inferior a $0,20\mu\text{g.Hg.g}^{-1}$.

Silveira & Nunes (1997) em um estudo com 250 espécimes coletados nos rios Madeira, Jacu Paraná e Jamari, encontraram os respectivos intervalos de concentrações de Hg: $0,05 - 4,75\mu\text{g.Hg.g}^{-1}$, $0,02 - 1,93\mu\text{g.Hg.g}^{-1}$ e $0,01 - 2,13\mu\text{g.Hg.g}^{-1}$, respectivamente. Desse total cerca de 40% das espécies com hábito preferencial carnívoras apresentaram concentrações acima do máximo admitida pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 1976).

Bourgoin *et al.*, (2000) em estudo realizado entre 1996 a 1999 em 59 espécimes de peixes adquirido no Mercado de Rurrenabaque no rio Beni demonstraram que 86% das espécies de hábitos carnívoros ultrapassaram o limite da OMS (WHO, 1976). Os teores totais variaram de $0,33$ a $2,30\mu\text{g.Hg.g}^{-1}$ com intervalos entre 73 a 98% de metil-Hg.

As cidades de Porto Velho-RO e a de Humaitá-AM, ambas situadas às margens do rio Madeira, constituem-se nos principais entrepostos de comercialização do pescado proveniente deste rio e de seus tributários. Segundo Souza (2002) em estudo recente entre a Colônia de Pescadores e o Terminal Pesqueiro do município de Porto Velho, as espécies de maior representatividade no Mercado de Porto Velho para comercialização

são: *Prochilodus* sp. (Curimatã, 29%), *Brachyplatistoma flavicans* (Dourada, 18%), *Mylossoma* sp. (Pacú, 14%) e *Semaprochilodus theraponera* (Jaraqui, 10%) (Figura 8).

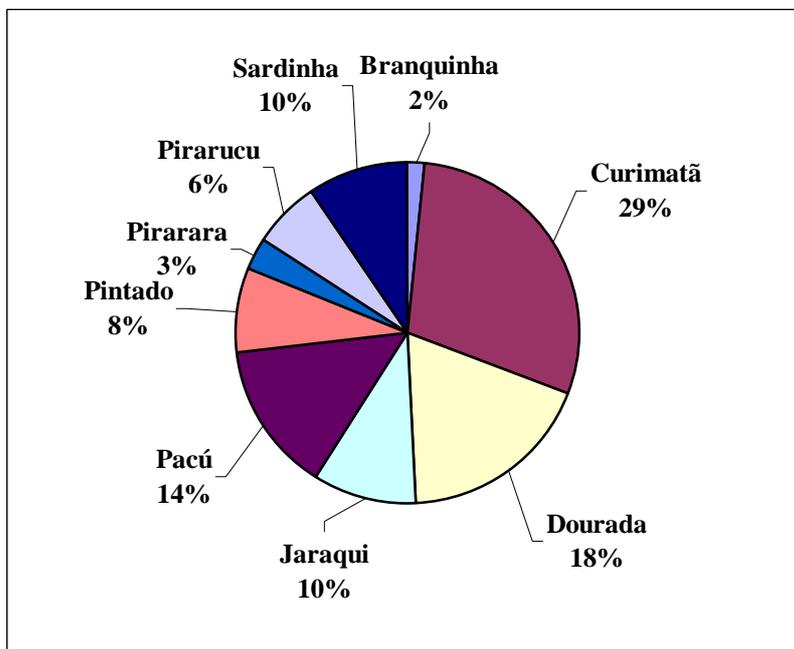


Figura 8. Espécies de peixes com maior representatividade no Mercado Pesqueiro de Porto Velho entre os anos de 1999 e 2001 (SOUZA, 2002).

2.6. Exposição Humana

Os registros históricos dos casos de intoxicação aguda por Hg na população em geral estão relacionados à utilização incorreta de preparações à base do metal. Esta condição tem proporcionado doses significativamente altas, em especial a metilmercúrio (forma orgânica mais tóxica). Tais situações, em condições normais, são impossíveis de ocorrer na natureza sem o favorecimento antropogênico (CANO, 2001).

O metilmercúrio, o mais tóxico dos alquil-mercuriais, constitui o mais importante composto orgânico a base de mercúrio com eficiência na contaminação do ambiente. Desde a segunda metade do século passado, grande atenção tem recebido o acidente ocorrido em Minamata, Japão (1953-1960) que ocasionou o envenenamento de milhares de pessoas e o surgimento da chamada “doença de Minamata”. Neste acidente, cerca de 3 mil pessoas receberam indenização do Governo japonês, embora esteja estimado cerca de 10 mil intoxicados. A causa da tragédia foi o consumo de peixes e frutos do mar contaminados por metilmercúrio oriundo de efluentes industriais (KINJO *et al.*, 1991; IPCS, 1990). Os acidentes continuaram logo em seguida com os dois

envenenamentos no Iraque nas décadas de 60 e 70 devido ao consumo de pão produzido com sementes de trigo tratadas com fungicidas a base de compostos organo-mercuriais com aproximadamente 1200 casos fatais (BAKIR, 1973).

Estimativas realizadas em meados dos anos 70 revelam que desde meados dos anos 30 mais de 1400 mortes e cerca de 20.000 seres humanos sofreram ou sofrem de danos físicos e/ou neurológicos, causados por acidentes ou descasos com o mercúrio em todo o globo terrestre, relevando um índice de mortalidade entre 7 e 11% do total de intoxicados por este metal (D'ITRI, 1977).

O mercúrio orgânico pode ser transferido do sangue da mãe para o filho através da placenta, sendo este mais sensível a pequenas doses do mercúrio orgânico do que indivíduos adultos. Segundo Boischio & Henshel (2000), o cabelo é um bom indicador biológico de exposição ao mercúrio e, que cerca de 30% da concentração do mercúrio no cabelo da criança pode ser explicado pela média do mercúrio no cabelo da mãe.

Além de ser um excelente bioindicador, o cabelo humano é de fácil coleta, armazenamento e transporte, não causando nenhum risco ao paciente; possibilitando também, dependendo de seu comprimento, a fazer um histórico da concentração de mercúrio, uma vez que em média o cabelo do ser humano cresce cerca de 1 cm.mês⁻¹. A concentração de mercúrio no cabelo de mães pode ser uma medida estimada da dose de metil-mercúrio que alcança o cérebro fetal durante a gestação (GRANDJEAN, 1993).

2.6.1. População Ribeirinha

Considera-se que o consumo semanal de 200 gramas de peixe contendo 0,50 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ do alimento resultará na ingestão de 100 μg de Hg, predominantemente metil-Hg. Este valor corresponde três vezes a quantidade tolerada e aceita pela OMS (WHO, 1989). No entanto, a ingestão de pescado com elevado teor de mercúrio pode ser crítica se esse consumo for rotineiro, pois aproximadamente 90% do Hg presente no pescado está na forma de CH₃-Hg e sua absorção é superior a 95%. Segundo Boischio & Henshel (2000) a média diária no consumo de pescado no baixo rio Madeira é de 243g/dia, sugerindo a necessidade de uma comunicação oficial do risco dessa exposição, ressaltam os autores.

As investigações sobre a contaminação de mercúrio em populações da região Amazônica têm demonstrado que os níveis de mercúrio, algumas vezes, atingem valores

equivalentes aos encontrados na população japonesa, devido ao desastre ocorrido na Baía de Minamata (WHO, 1976; MALM et al, 1991; MALM et al, 1995; LODENIUS & MALM, 1998).

Necessita-se de mais estudos enfocando populações de ribeirinhos da bacia do rio Madeira, como: a continuidade na observação dos teores de Hg nas espécies de peixes mais consumidas, variável sazonalidade; aplicações de inquérito alimentar juntamente com análise de cabelo, utilizada como indicador da contaminação humana, principalmente, nas mulheres gestantes e neonatos.

3. OBJETIVOS

3.1. Gerais

- Contribuir com o conhecimento do ciclo global do mercúrio no ambiente tropical, fornecendo novas informações quanto aos processos biogeoquímicos deste elemento;
- Caracterizar a evolução da contaminação por Hg na região, através de estudos nos compartimentos bióticos e abióticos, correlacionando com dados anteriores;
- Monitorar mudanças nos níveis de exposição nas populações.

3.2. Específicos

- Determinar os teores de Hg total em amostras ambientais (poeira, sólidos em suspensão, sedimento de fundo, solo, macrófitas aquáticas e peixes) e humanas (cabelo);
- Monitorar o interior das lojas de comercialização de ouro na cidade de Porto Velho, fontes puntiformes de vapor de Hg metálico;
- Correlacionar os teores de Hg em cabelos com as diferentes faixas etárias dos ribeirinhos, priorizando gestantes e crianças em idade de até 5 anos.

4. ÁREA DE ESTUDO

Este trabalho utilizou-se de 2 áreas para o desenvolvimento do estudo.

1. A área de estudo compreendeu o centro da cidade de Porto Velho ($08^{\circ}45'43''\text{S}$ $63^{\circ}54'14''\text{W}$), capital de Rondônia, para estudo de uma fonte pontual regional de vapores de Hg (Figura 9). Atualmente, estão instaladas nessa área 5 lojas de comercialização de ouro (Figura 10).

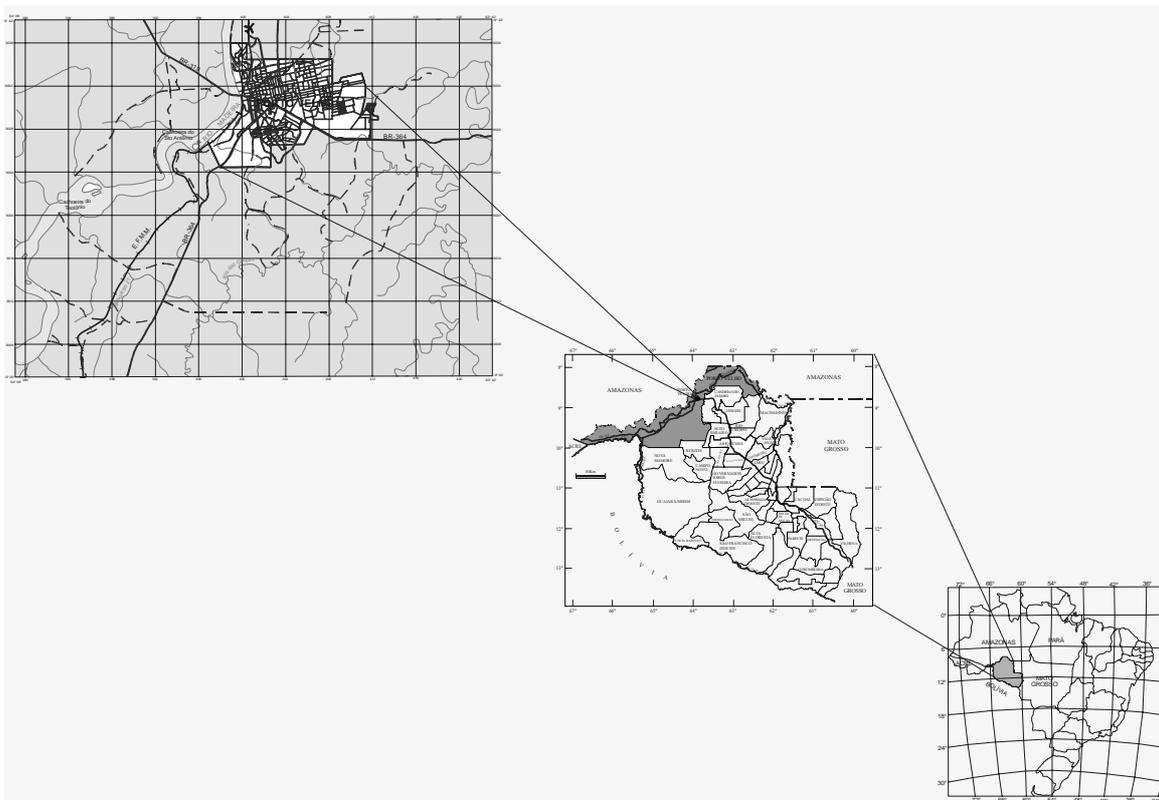
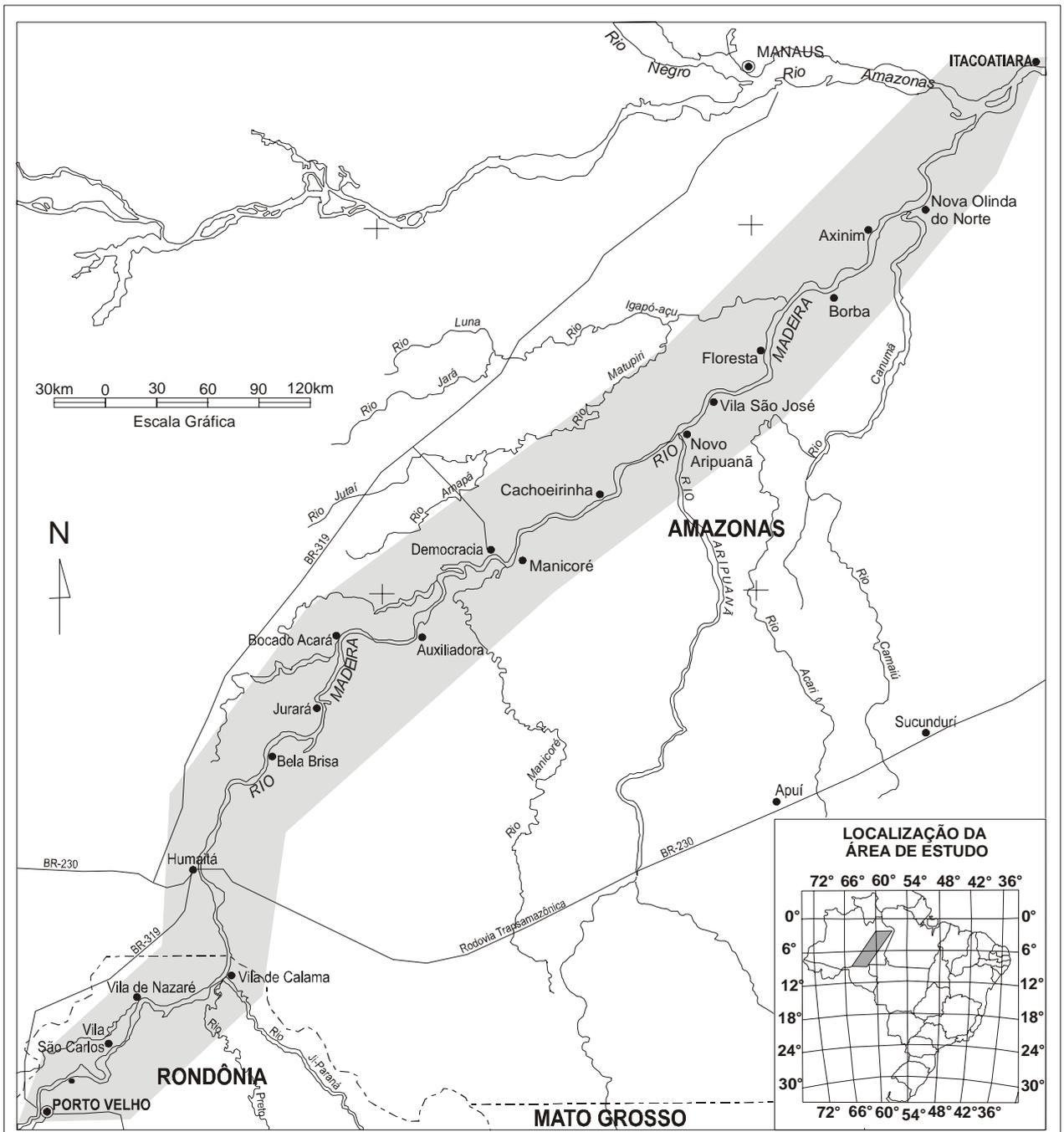


Figura 9. Localização da cidade de Porto Velho-RO onde estão concentradas as lojas de comercialização de ouro.



Figura 10. Queima de purificação do ouro para a comercialização em uma das lojas.

2. No rio Madeira a área estudada compreendeu o trecho entre chamado de baixo rio Madeira que compreende a partir de Porto Velho (RO) até sua foz no rio Amazonas, próximo à cidade de Itacoatiara/AM (Figura 11). Este trecho compreende cerca de 1100km onde foram coletadas amostras ambientais e humanas realizadas em 3 expedições.



Base Cartográfica extraída do Mapa Amazônia Legal escala 1:3.000.000
 IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 1995.
 Projeção Policônica

Figura 11. Localização do trecho de aproximadamente 1100km do baixo rio Madeira de Porto Velho até sua foz no rio Amazonas.

4.1. Aspectos Gerais da Área de Estudo

4.1.1. Geologia

O rio Madeira, entre o trecho de Porto Velho e sua foz no Rio Amazonas, corta depósitos sedimentares aluviais e eluviais do cenozóico, processados pelo intemperismo do cristalino, designado por Formação Solimões originado no período Quaternário e Terciário.

Áreas ribeirinhas livres dos enchimentos sazonais denominadas por “teso de Terraço Fluvial” são terrenos geológicos superficiais mapeados no Projeto RADAM-Brasil e localizados nos rios Madeira e Amazonas. Os tesos são áreas que se elevam de 6 a 15 metros acima do nível médio d’água do rio Madeira, representando terrenos mais antigos que os das várzeas e dos igapós. São constituídos por sedimentos arenosos e síltico-argilosos (PETRI & FÚLFARO, 1983).

Os Terraços soerguidos, jamais atingidos pela água dos rios são formações de tesos relativamente altos (acima de 20 metros do nível d’água) sendo bem drenados, correspondendo à parte mais ampla do relevo na planície Amazônica, constituindo os depósitos mais antigos.

Em vista do baixíssimo gradiente do rio Madeira após a intrusão granítica da região do Santo Antônio (cachoeira do Santo Antônio a montante da cidade de Porto Velho), os detritos transportados, principalmente os sedimentos em suspensão, pelo rio Madeira são depositados sob a forma de diques formando camadas de sedimentos que originaram as extensas várzeas (do Cuniã e da foz do rio Madeira). Nas várzeas, os sedimentos acumulam-se por ocasião das cheias periódicas na forma de grandes massas de materiais sedimentares trabalhados pelo rio, sobretudo de argila, silte e areia constituindo os depósitos de aluviões (SOUZA & ARAÚJO, 2002).

4.1.2. Geomorfologia

No Planalto Rebaixado da Amazônia Ocidental pode-se incluir a planície de inundação do rio Madeira (SILVEIRA, 1998). A planície fluvial do rio Madeira surge a partir do paralelo 8° 30’ de latitude sul a aproximadamente 40 Km a jusante da cidade de Porto Velho. Sua elevada taxa de sedimentação promove, nessa planície de várzea,

grandes depósitos de colmatagem que originam lagos e áreas periodicamente inundadas, apresentando também na calha do rio Madeira depósitos com detritos arenosos dando origem aos bancos de areias constituídos e reconstituídos a cada ciclo de cheia (BRASIL, 1978).

Os terraços ou tesos estão limitados a uma estreita faixa de terrenos situados a uma altitude que varia de quinze a trinta metros acima do nível da lâmina d'água do rio Madeira. Seriam os terraços de idade geológica subatual, formados por materiais argilosos, conforme foram identificados em Humaitá e Manicoré. Também no trecho estudado do Madeira encontram-se terraços fluviais de idade geológica mais recente que os terraços pleistocênicos. Nos terraços holocênicos correspondentes a várzea baixa e alta do Madeira desenvolvem-se solos Glei Húmico e Glei Pouco Húmico, turfas, Latossolo, lateritas hidromórficas e solos aluviais.

4.1.3. Hidrografia

A rede hidrográfica da área em estudo compreende o rio Madeira e seus principais tributários que drenam regiões de florestas e cidades, como os rios Jamari, Machado, Manicoré e Novo Aripuanã. O rio Madeira corta rochas pré-cambrianas e sedimentos cenozóicos desde seu alto curso até a cidade de Porto Velho. Neste trecho o rio apresenta-se encaixado, apresentando desníveis altimétricos em suas margens, assim como afloramentos rochosos em seu leito, responsáveis por várias cachoeiras e corredeiras (SILVEIRA, 1998). Abaixo de Porto Velho, o rio Madeira não apresenta mais cachoeiras e nem corredeiras, sendo, a partir de então, um rio meandrante, formando vários depósitos, aflorando inúmeras praias nos períodos de seca. Esses depósitos têm comprometido a navegabilidade, levando a constantes dragagens para a manter em funcionamento a hidrovia (Hidrovia do Madeira). Em resumo, os rios da região passam 8 meses subindo e 4 meses descendo seus níveis.

4.1.4. Clima

Estudos recentes revelam que a massa de ar Equatorial (MEC), formada pela convecção termodinâmica dos ventos do NE, do anticiclone dos Açores e da

convergência intertropical (CIT), predomina no estado de Rondônia e freqüentemente está sujeita a instabilidade causadora de chuvas abundantes (RONDÔNIA, 1998).

O estado de Rondônia possui características do domínio climático mais pluvioso do Brasil com duas estações bem definidas: a das secas no verão e das chuvas no inverno. O norte do estado enquadra-se na área de maior pluviosidade anual, com valores que ultrapassam os 2500 mm. Existe um decréscimo acentuado da precipitação de norte para sul, em decorrência da circulação atmosférica atuante na área (RONDÔNIA, 1998).

A existência de período ou estação seca não se caracteriza por secas intensas, podendo ocorrer, nestas épocas, dias de chuvas abundantes. A precipitação máxima, em três meses consecutivos, dezembro, janeiro, fevereiro, ocorre na parte sudoeste do estado, e no restante da área o período vai de janeiro a março. A amplitude pluviométrica anual varia de norte para sul do estado. Enquanto no Norte ela fica entre 350 a 400 mm, no Sul varia de 250 a 300 mm. O comportamento térmico, desta área, é bastante variado em virtude dos fatores geográficos e dinâmicos atuantes (RONDÔNIA, 1998).

As temperaturas baixas estão relacionadas à ação dos anticiclones polares. Com as frentes frias de inverno são registradas grandes quedas de temperatura que podem provocar as “friagens”. Na primavera-verão predominam as altas temperaturas. O Inverno, sujeito a máximas diárias elevadas, é uma estação caracterizada por temperaturas amenas e frias, devido ao efeito da latitude e da maior penetração de massa polar. As passagens de frentes frias são comuns no inverno, porém as “friagens” não são freqüentes. Em 2001, a temperatura média anual em Rondônia foi de 25° C, a umidade relativa média de 87% e a precipitação de 2290mm (RONDÔNIA, 2001).

4.1.5. Vegetação

O Estado de Rondônia possui grande diversificação de domínios florísticos, adaptados a um clima definido essencialmente por altas temperaturas e disponibilidade de água no ambiente. Utilizando-se a terminologia fitogeográfica proposta por Kuhlmann (1977), para espécies que compõem as bacias hídricas dos rios Madeira, Jacy - Paraná e Jamari, destacam-se como as mais abundantes: Floresta Ombrófila Aberta

(Floresta de Transição), Savanas e Áreas de Tensão Ecológica e Ação Antrópica (SILVEIRA, 1998).

A Floresta Ombrófila Aberta ocupa os espaços intermediários entre os domínios ombrófilo denso e a Floresta Estacionária Semidecidual (MELO, 1978), também denominada como uma variação da Floresta Ombrófila Densa (IBGE, 1991).

A vegetação do tipo Cerrado e/ou Savana aparece no Estado de Rondônia associada a terrenos mesozóicos de cobertura arenítica, em áreas planas com sedimento argilosos do cenozóico. De um modo geral a vegetação do tipo Cerrado caracteriza-se por apresentar uma florística herbácea mais ou menos densa, mais bem representada pelas gramíneas, que intercala os indivíduos arbóreos com alturas que variam de 10 a 15 m, isoladas ou agrupadas sobre o revestimento graminóide. A vegetação lenhosa possui brotos foliares bem protegidos, apresentam-se com cascas grossas e rugosas, com folhas também grossas e protegidas por pêlos (IBGE, 1993; SILVEIRA, 1998).

Áreas de Tensão Ecológicas e de Ação Antrópica foi inicialmente proposto por AB'SABER para definir as “faixas de transição e contatos entre grandes domínios paisagísticos brasileiros”; assim, por definição segundo IBGE (1991), corresponde às áreas entre duas regiões fitoecológicas, justapondo-se ou interpenetrando-se, formando os contatos, identificados respectivamente em encraves e ecótonos. Na região em estudo, ocorrem em zonas próximas à margem esquerda do rio Madeira, correspondente a zona de contato e transição cerrado - floresta. A área de Ação Antrópica corresponde à região onde ocorre processo de urbanização e/ou implantação de programas agropecuários, que são, eventualmente, abandonados e recobertos de vegetação secundária dando, assim, origem aos capoeirões (IBGE, 1993; SILVEIRA, 1998).

4.1.6. Aspectos Humanos

A população ribeirinha Amazônica ainda é uma categoria às margens da sociedade brasileira, carente de recursos e à revelia de projetos agro-políticos e debates nacionais ou internacionais sobre o seu *habitat* (CORREA, 2002). Os ribeirinhos, também chamados de “beiradeiros” ou caboclos são homens, mulheres, jovens e crianças que nascem, vivem e se criam à beira dos rios. A maioria é predominantemente de ascendência indígena, pois o tipo físico se assemelha por sua pele, cabelo e olhos. No

entanto, existe a miscigenação com nordestinos vindo nos períodos do ciclo da borracha e da corrida do ouro.

Na dieta dos ribeirinhos, majoritariamente, estão presentes diariamente a farinha d'água e o peixe. Dedicam-se à agricultura em seus roçados, à pesca, ao extrativismo da castanha, da goma não elástica (látex), do óleo de copaíba e de andiroba, da coleta de açaí, do tucumã e de outras frutas da época, durante as cheias dos rios (CORREA, 2002).

Segundo Correa (2002), no período da seca, é comum encontrar as famílias dos povoados às margens do rio Madeira dedicando-se ao cultivo do milho, da mandioca, da melancia, da banana ou fazendo farinha d'água, não só para o consumo próprio, mas também para comercializar na cidade. A pesca, a farinha, a coleta da castanha e o artesanato (no caso, feito pelos indígenas) são produtos que, vendidos na cidade, ajudam na renda familiar. Atualmente, o açaí tem sido um produto muito procurado por atravessadores do Sul/Sudeste do Brasil.

Essas comunidades ao longo do rio Madeira estão em pleno crescimento, algumas já passaram a municípios que juntos possuem cerca de 135mil habitantes, segundo CENSO 2000 (IBGE, 2002). Embora nessa região não se fale em escassez de água, temos nela os grandes problemas, sobretudo pelo crescimento sem o mínimo planejamento. Doenças veiculadas a água como: amebíase, disenteria, diarreia infantil, leptospirose, dengue e malária são frequentes.

5. MATERIAL E MÉTODOS

A operacionalização metodológica deste estudo teve 2 etapas divididas entre a amostragem de campo, relatada no item 5.1 e a laboratorial que foi toda realizada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental da Universidade Federal de Rondônia.

Na estratégia de definição dos pontos de coleta realizou-se um desenho experimental com uso de imagens LANDSAT TM 7 e cartas altimétricas da área proposta, onde se definiu intervalos de 25km para a coleta de solo, selecionou-se alguns lagos marginais para as coletas de sedimentos de fundo e peixes e se estabeleceu algumas comunidades para inquérito alimentar e diagnóstico epidemiológico a ser realizado junto à população ribeirinha. Paralelamente, foram medidos, *in loco*, alguns parâmetros físico-químicos da água (pH, condutividade elétrica, oxigênio dissolvido e temperatura).

5.1. Expedições

Segundo o Censo, a população de ribeirinhos residentes no baixo rio Madeira, a partir de Porto Velho até a foz do Rio Madeira, ultrapassa os 135mil habitantes e em crescimento (IBGE, 2002) (Tabela 1).

Tabela 1. População dos principais municípios do baixo Rio Madeira, segundo o Censo 2000 (IBGE, 2002).

Localidades	População (habitantes)
Cujubim-RO	6.536
Humaitá-AM	32.796
Manicoré-AM	38.038
Novo Aripuanã-AM	17.119
Borba-AM	28.619
Uricurituba-AM	12.264
TOTAL	135.372

As amostragens ao longo da calha do rio Madeira foram realizadas de forma integrada em expedições com a participação de pesquisadores do Departamento de Geografia da UNIR e de outras instituições como: EMBRAPA-RO (Laboratório de Solos), UFRJ (Laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca/Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho e Instituto de Biologia/Laboratório de Limnologia), Departamento de Geoquímica da UFF e Laboratório de Ciências Ambientais da UENF. Com objetivos de realizar toda a amostragem de Porto Velho até a foz do Rio Madeira foram necessárias 3 expedições.

A primeira expedição ocorreu em abril de 2001 (final do período de cheia) onde se realizou o trecho de Porto Velho-RO a Humaitá-AM (Tabela 2); a segunda em novembro 2001 (final do período de seca) de Humaitá-AM a Novo Aripuanã-AM (Tabela 3); e a terceira em maio 2002 (início do período de seca) de Novo Aripuanã-AM a Itacoatiara-AM (Tabela 4). Em todos os trechos foram coletadas amostras ambientais e humanas, completando assim, uma amostragem de cerca de 1100km no baixo rio Madeira.

Tabela 2. Número de integrantes da 1ª Expedição realizada em abril/2001 entre os trechos de Porto Velho-RO a Humaitá-AM.

ORIGEM	DOCENTES	DISCENTES*	MÉDICOS	TOTAL
UNIR	04	17	01	22
UFRJ	01	-	01	02
EMBRAPA	01	-	-	01
TOTAL	06	17	02	25

*Acadêmicos dos cursos de Enfermagem, Ciências Biológicas e Geografia da UNIR.

A repercussão dessas expedições teve um significativo impacto na cidade de Porto Velho o que levou a imprensa local a fazer a cobertura no “zarpar” e no “atracar” da cidade nas 3 expedições realizadas (Figura 12). Nas entrevistas foi dada ênfase na integração dos projetos de pesquisa desenvolvidos na UNIR, a participação de pesquisadores de outras instituições, e, principalmente na transferência de conhecimentos para os graduandos da UNIR que estão inseridos no Programa de Iniciação Científica do CNPq (PIBIC/CNPq).



Figura 12. Entrevista para emissora local sobre os objetivos das expedições.

As duas primeiras expedições foram realizadas na embarcação Comandante Ribeiro II e a terceira na embarcação Capitão Azevedo. Essas embarcações são bastante utilizadas em toda a região Amazônica e para se locomoverem utilizam-se de motores MWM de 115cv (Figuras 13 e 14).



Figura 13. Embarcação Comandante Ribeiro II, estilo bastante comum na região, utilizada na 1ª e 2ª expedições. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*



Figura 14. Embarcação Capitão Azevedo utilizada na 3^a expedição, ancorada em uma das localidades. Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).

Apesar dessas embarcações não estarem preparadas para as atividades de pesquisas, uma base com vários equipamentos foi improvisada nas partes inferior e superior da embarcação (equipamentos de campo, computadores, *notebook* e impressora). Ambas embarcações possuem geradores a *diesel* o que permitia a manutenção dos *freezers* onde foram armazenadas as amostras perecíveis e o uso dos demais equipamentos elétricos.

Duas “voadeiras”, barco de alumínio com motor de popa (25 e 40HP), deram suporte nas investidas das equipes “água” e “solo”, como foram designadas para facilitar a operação (Figura 15). Essas equipes se distanciavam da embarcação “mãe” por algumas horas utilizando-se de equipamentos básicos de segurança como coletes salva-vidas, rádios comunicadores, lanternas, além dos equipamentos para o cumprimento das atividades de coleta como *global position system* (GPS), medidores de parâmetros físico-químicos, perfilador, vasilhames plásticos, trado, dentre outros.



Figura 15. Equipe em uma saída de voadeira para coleta de solo. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

Tabela 3. Integrantes da 2ª Expedição realizada em novembro/2001, entre os trechos de Humaitá-AM a Novo Aripuanã-AM.

ORIGEM	DOCENTES	DISCENTES*	MÉDICOS	REPÓRTER	TOTAL
UNIR	03	17	-	01	21
UFRJ	02	-	01	-	03
EMBRAPA	01	-	-	-	01
IMPrensa	-	-	-	02	02
TOTAL	06	17	01	03	27

*Acadêmicos dos cursos de Ciências Biológicas e Geografia da UNIR.



Figura 16. Médico e fotógrafo da expedição em uma localidade ribeirinha. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

Pelo menos um médico participou de cada uma das expedições com objetivo de dar assistência aos integrantes das expedições, assim como atendimentos nas comunidades abordadas (Figura 16). Ressalta-se que esses atendimentos médicos foram aumentados na medida que se distanciou das cidades como Porto Velho e Humaitá-AM. Algumas comunidades estavam há mais de 1 ano sem receber visita de um médico ou agente de saúde, fato que nos estimulou a encaminhar um relatório para a Secretaria de Saúde e de Meio Ambiente dos estados de Rondônia e Amazonas (BASTOS & SILVEIRA, 2003).

Reuniões com todos os componentes da equipe ocorriam diariamente com objetivo de discutir a operacionalidade das atividades, assim como a fidedignidade máxima na coleta de amostras ambientais e das informações com os sujeitos da pesquisa nas comunidades visitadas.

Todas as atividades desenvolvidas tiveram cobertura fotográfica. Nas três expedições todos os integrantes apresentaram seminários em temas relativos aos seus respectivos projetos. Estes seminários foram realizados no piso superior das embarcações, que em várias oportunidades, ocorreram com estas em movimento.

O êxito das duas primeiras expedições fez com que a assessoria de imprensa da UNIR aglutinasse um grupo de artistas que culminou com a criação do Projeto ArteComCiência. Este grupo, composto de escritores, artistas plásticos, vídeo-marker, fotógrafo, dentre outros, passou a utilizar o tema desse estudo para suas criações. Com isso, na 3ª expedição dois componentes desse grupo embarcaram: um produziu telas plásticas e o outro realizou a cobertura áudio-visual, uma espécie de documentário-vídeo-arte que recebeu o nome de “*Amálgama*”. Foram gravadas aproximadamente 80 horas de filmagem e mais de 1000 fotos foram tiradas por fotógrafo profissional e cerca de 1000 imagens em câmara digital (origem amadora), realizada pelos integrantes da expedição. O documentário encontra-se em fase de edição, em que serão editados um filme de 15 minutos e um de 30 minutos.

Tabela 4. Integrantes da 3ª Expedição realizada em maio/2002 entre os trechos de Novo Aripuanã-AM a Itacoatiara-AM.

ORIGEM	DOCENTES	DISCENTES*	MÉDICOS	ARTISTAS	TOTAL
UNIR	02	15	01	-	18
UFRJ	04	-	-	-	04
UENF	01	-	-	-	01
UFF	01	-	-	-	01
ARTE/CIÊNCIA	-	-	-	02	02
COLÉGIO	-	01	-	-	01
TOTAL	08	16	01	02	27

*Acadêmicos dos cursos de Ciências Biológicas e Geografia da UNIR.

5.2. Amostragem

O procedimento metodológico iniciou-se com o planejamento para a realização da coleta das amostras ambientais e humanas delimitando a área de estudo. Nos pontos selecionados para as amostragens no ambiente aquático foram, *in loco*, medidos alguns parâmetros físico-químicos. Nas amostragens humanas utilizou-se a coleta do cabelo, após o esclarecimento e autorização dos sujeitos da pesquisa. Um formulário com questões sócio-econômicas foi aplicado aos ribeirinhos, população alvo do estudo e realizada a coleta do cabelo (anexos).

A metodologia empregada para a avaliação dos teores de mercúrio dos diferentes compartimentos ambientais e humanos constou das seguintes etapas:

1. Planejamento e estruturação da equipe de campo (expedições);
2. Levantamento da área potencial;
3. Amostragem (biótica e abiótica);
4. Georreferenciamento dos pontos de amostragens;
5. Tratamento químico das amostras;
6. Determinação de Hg Total;
7. Armazenamento dos resultados em banco de dados;
8. Tratamento estatístico dos dados;
9. Interpretação dos resultados.

5.2.1. Atmosfera

A atmosfera do centro da cidade de Porto Velho, onde se encontra uma fonte pontual de volatilização de Hg proveniente das lojas de comercialização de ouro, foi avaliada através de 3 parâmetros:

- a) Coleta de ar por borbulhamento no interior das lojas (SILVA *et al*, 2001);
- b) Coleta de poeira de rua (sedimento superficial atmosférico) (SILVA *et al*, 2002);
- c) Exposição do biomonitor *Tillandsia usneoides* (L.) no interior das lojas (FONSECA, 2002).

a) Borbulhamento

A coleta de ar atmosférico foi realizada de modo mecânico com a utilização de borbulhador acoplado a uma bomba de sucção e um fluxômetro (Figura 17), contendo 50,0mL de uma solução retentora de mercúrio (H_2SO_4 10% e $KMnO_4$ 0,05N), onde o ar do ambiente é aspirado com fluxo controlado. Posteriormente, adicionou-se $NH_2OH.HCl$ a 12%, para análise do teor de mercúrio da solução por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (FIMS-400). O sistema de coleta foi

exposto, em média, por 4 horas com uma vazão ajustada em $0,537\text{L}\cdot\text{min}^{-1}$. Uma das lojas foi selecionada para uma amostragem durante todo o dia com troca dos borbulhadores de 2 em 2 horas.

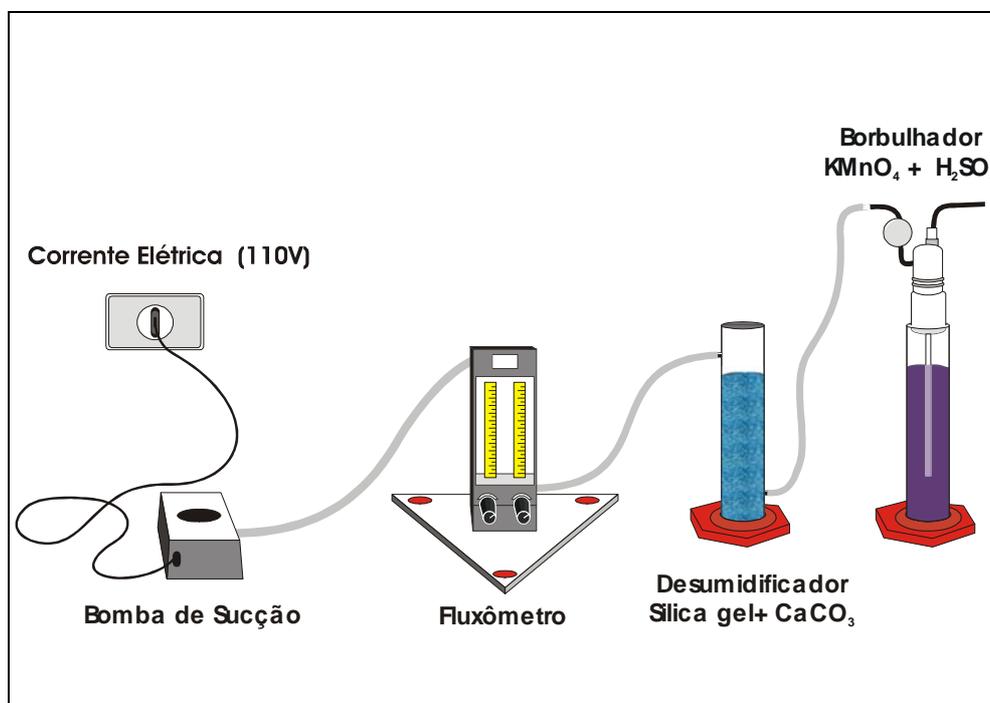


Figura 17. Sistema de coleta de ar atmosférico realizado no interior das lojas de comercialização de ouro na cidade de Porto Velho (FONSECA, 2002).

b) Material Particulado Atmosférico

A coleta de amostra de poeira de rua foi realizada em 18 pontos de amostragem nas proximidades das lojas de comercialização de ouro no centro da cidade de Porto Velho e dividido em duas etapas, sendo uma no período de estiagem e outra no período chuvoso. No laboratório as amostras foram peneiradas em 200 *mesh* ($<74\mu\text{m}$), secas a 40°C em estufa e armazenadas em frasco de vidro para posterior determinação de Hg total.

Para o procedimento de extração pesou-se cerca de 400mg de material seco e adicionou-se 3,0mL de água régia ($\text{HCl}:\text{HNO}_3$ 3:1) em banho-maria por 30 minutos a 60°C . Na etapa seguinte adicionou-se 5,0mL de KMnO_4 a 5% e mais 15 minutos no banho-maria (60°C). Após resfriamento as amostras foram filtradas por gravimetria, utilizando-se filtros de celulose, pré-reduzidas com gotas de $\text{NH}_2\text{OH}\cdot\text{HCl}$ a 12% e, na

seqüência, determinou-se os teores de Hg total por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (FIMS-400, Perkin-Elmer).

c) Biomonitor Atmosférico

Amostras do biomonitor atmosférico *Tillandsia usneoides* (L.) (Bromeliaceae), provenientes do Jardim Botânico do Rio de Janeiro foram utilizadas pela técnica de transplante vegetal. Esta técnica, como método de avaliação da contaminação por mercúrio, consiste basicamente em transferir plantas coletadas em áreas sem influência de fontes poluidoras para o local a ser monitorado (CALASANS, 1994).

Alíquotas de aproximadamente 5 gramas do biomonitor foram expostas nas lojas de comercialização de ouro na cidade de Porto Velho e no ponto controle na Cachoeira Teotônio e no Campus da UNIR. O biomonitor foi colocado em cestas de polietileno (Figura 18) e fixado no interior de cada uma das lojas onde permaneceram por 30 dias. Após o período de exposição, foram acondicionadas em frascos de vidro previamente descontaminados e armazenadas em freezer (-15°C). Após o degelo as plantas foram lavadas com água ultrapura (Milli-Q), e secas a temperatura ambiente e, em seguida picotadas com tesoura de aço para melhorar a eficiência de solubilização, para posterior determinação de mercúrio.

No procedimento de análise, segundo Fonseca (2002), pesou-se para cada ponto de coleta quatro alíquotas de aproximadamente 500mg (peso úmido): três alíquotas foram pesadas em tubos de vidro para a determinação de Hg e uma alíquota foi pesada em copos de alumínio para a determinação do teor de umidade da planta e, posterior correção para peso seco para efeito de cálculo da concentração de Hg.



Figura 18. Alíquotas do biomonitor *Tillandsia usneioides* sendo colocadas nas cestas de polietileno para posterior exposição nas lojas de comercialização de ouro. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

As alíquotas pesadas para a determinação dos teores de umidade foram colocadas em estufa a 105°C por 24 horas e, após o esfriamento, foram novamente pesados até se obter pesos constantes, obtendo-se assim, um fator de correção de umidade (FCU) para cada amostra.

A solubilização das amostras realizou-se em banho-maria com 4,0mL de solução 1:1 de H₂SO₄ e HNO₃ a 100° C por 1 hora; resfriou-se em banho de gelo, adicionou-se 5,0mL de KMnO₄ a 5% e retornou-se ao banho-maria por mais 30 minutos. Após a digestão, para pré-redução das amostras adicionou-se gotas de NH₂OH.HCl a 12%, aferiu-se o volume em 10 mL com água ultrapura (Milli-Q) e se determinou a concentração de mercúrio total por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (*Flow Injection Mercury System- Perkin Elmer*) (FONSECA, 2002).

No apêndice segue artigo recentemente publicado em *Environmental Research* em uma avaliação das lojas de comercialização de ouro nas cidades de Porto Velho-RO e Alta Floresta-MT.

5.2.2. Solos

As técnicas e, principalmente, os equipamentos empregados nas pesquisas ambientais variaram conforme a finalidade do estudo realizado, as condições de acesso aos pontos no rio ou lago considerado e, sobretudo, com os recursos disponíveis para a realização do trabalho o que perfeitamente justifica o trabalho de campo integrado com outros grupos de pesquisa.

As amostragens de solos marginais (várzea) foram realizadas fora e dentro da área de influência do rio Madeira, coleta que dependeu principalmente da topografia dos pontos de coleta e a viabilidade de acesso (Figura 19). Realizou-se um desenho experimental linear que ocorreu em intervalos de 25km de Porto Velho, num total de 1100km e 44 pontos, até a foz do rio Madeira no rio Amazonas (Figura 20). Com uso de trado holandês foram amostrados perfis verticais com frações de 10cm até cerca de 80cm. Depois de coletadas, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes, identificadas e armazenadas sob refrigeração ($<5^{\circ}\text{C}$). No laboratório as amostras passaram por seleção granulométrica onde se utilizou para análise as partículas menores que 200 *mesh*.



Figura 19. Coleta de solo de várzea realizada pela equipe do projeto orientada pelo Prof. Ângelo Mansur (Pedólogo da EMBRAPA-RO). *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

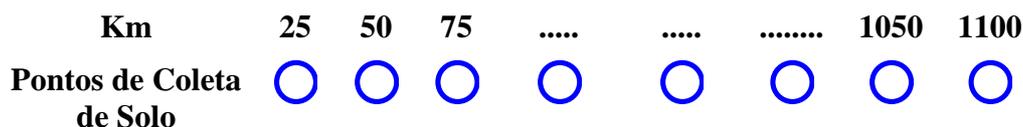


Figura 20. Desenho experimental linear usado na amostragem de solo ao longo da calha do rio Madeira.

5.2.3. Sedimentos de Fundo

As coletas de amostras de sedimentos de fundo foram realizadas com draga de *Eckman* (SILVA, 1993). Os perfis de sedimento, material importante na avaliação temporal de processos de contaminação, foram amostrados nos pontos de deposição, preferencialmente nos lagos marginais. A amostragem utiliza um perfilador que introduz um tubo de PVC ou acrílico de 7,0cm de diâmetro e aproximadamente 50 cm de comprimento (Figura 21) no sedimento. Após coleta foi fracionado em segmentos de 5,0cm para os procedimentos analíticos. Em seguida, foram armazenadas em sacos plásticos e resfriadas para serem transportadas até o laboratório, para posterior digestão/extração e determinação dos metais pesados por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio e chama (BASTOS *et al.*, 1998).



Figura 21. Coleta de sedimento de fundo com perfilador vertical e com draga de *Eckman* nos lagos marginais ao baixo rio Madeira. Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).

Antecedendo as amostragens de sedimentos nos sistemas aquáticos foram medidos os parâmetros físico-químicos da água no local das coletas (Figura 22).



Figura 22. Medição dos parâmetros físico-químicos da água que antecederam as coletas de sólidos em suspensão e sedimento de fundo. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

5.2.4. Água e Sólidos em Suspensão

Ao longo do rio Madeira foram coletadas amostras de água em frascos de vidro de 500mL e adição de conservantes (HNO_3 5% + $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ 0,01N) com posterior, tratamento químico no laboratório e determinação de Hg total.

Os sólidos em suspensão não dissolvido na coluna d'água são compostos por substâncias inorgânicas e orgânicas, incluindo-se os organismos planctônicos (fito e zooplâncton) e foram coletados em garrafões de polietileno (aproximadamente 20 litros), previamente descontaminados. Após a coleta, adicionou-se 40mL de NaOH 1N e 50mL de $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ 10% sob agitação, ainda no campo. No laboratório, após decantação, desprezou-se o sobrenadante por sifonamento. A fração particulada decantada no fundo do frasco foi seca em estufa a 40°C e, se utilizou a mesma metodologia para sedimento e solo nas determinações de Hg total (MALM *et al*, 1989; BASTOS *et al*, 1998) (Figura 23). Para quantificação precisa do total de sólidos em suspensão (TSS) cerca de 1000mL de água foi filtrada em filtro de celulose de 0,45 μm .



Figura 23. Coleta de água para obtenção das partículas em suspensão por floculação com Sulfato de Alumínio. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

5.2.5. Ictiofauna

A amostragem das espécies de peixes foi realizada nos entrepostos de pesca (mercado de peixe) (Figura 24), com pescadores informais (ribeirinhos), e também, pescados por integrantes das expedições com uso de vara e anzóis. Nos mercados, as espécies foram selecionadas priorizando as mais consumidas e por gradientes de tamanho.



Figura 24. Aquisição dos espécimes de peixes no mercado Municipal da cidade de Humaitá/AM. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

Os espécimes foram identificados pelo nome vulgar, com a comunidade local e o nome científico com uso da chave de identificação. As medidas biométricas foram realizadas dentro da embarcação como a pesagem e medidas de tamanho padrão e total e a retirada de uma porção de tecido da região dorsal de 50 a 100 gramas com uso de balança, estiletes, trenas, pinças e bisturis (Figuras 25 e 26). Em seguida, as amostras foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes devidamente identificadas (espécie e origem) e armazenadas nos *freezers* da embarcação, até a chegada ao laboratório para posterior determinação de Hg total.



Figura 25. Identificação e biometria realizadas dentro da embarcação dos espécimes de peixes coletados.



Figura 26. Exemplar da espécie *Colossoma macropomum* (tambaqui) com a porção da região dorsal retirada para análise.

5.2.6. Macrófitas Aquáticas

Os primeiros estudos com bioindicadores aquáticos utilizaram diversos organismos aquáticos, como indicadores dos níveis de poluição, por possuírem uma grande capacidade de concentrar poluentes em sistemas aquáticos. Muitos autores chamam a atenção para as plantas aquáticas vasculares, principalmente pelas suas características particulares como a alta produtividade, taxa de crescimento e capacidade de absorção dos poluentes metálicos (LAYBAUER & ORTIZ, 1999). Dois biomonitores bastante utilizados para indicar os níveis de poluentes metálicos em ambientes aquáticos - *Eichiornia crassipes e azurea* - vulgarmente conhecidas como aguapés, endêmicas dos ambientes aquáticos lênticos, foram aqui investigadas para Hg.

As amostras do biomonitor aquático foram coletadas e acondicionadas em sacos plásticos (Figura 27). Na embarcação “mãe” essas amostras foram identificadas, separado folhas e talos, codificadas e armazenadas em *freezer*. No laboratório foram lavadas com água deionizada, secas em estufas a 40°C, trituradas/pulverizadas em liquidificador e armazenadas em frascos de vidro para posterior determinação de Hg total.



Figura 27. Coleta de macrófita aquática (*Eichiornia azurea*) em um dos lagos amostrados. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

5.2.7. Cabelo

Estima-se que o couro cabeludo tenha cerca de 100 mil a 150 mil fios de cabelo, que o seu crescimento é em torno de 10mm por mês e que haja uma queda normal de 60 a 100 fios por dia; porém existem patologias que podem fazer com que o cabelo não cresça (agenesia pilar), que aumente o número, espessura e cor dos pêlos (hipertricose) e, que faça com que ocorra sua queda parcial ou total (alopecia) (GUYTON, 1988).

Além da mensuração de metais pesados utilizando a técnica de espectrofotometria de absorção atômica, o cabelo pode subsidiar "exames clínicos prévios, inclusive do ponto de vista hormonal, biópsia tridimensional, microscopia polarizada, dosagem de enxofre, microscopia de varredura, técnicas de fluorescência e imunofluorescência" (GUYTON, 1988), métodos que estão sendo utilizados em inúmeros estudos científicos.

Com o crescimento em torno de 10mm por mês pode se avaliar a exposição recente e passada, por meio da reconstrução de episódios passados relevantes à saúde, mesmo que a ação mercurial já tenha cessado, isto embasado no traçado do referido metal em cabelos longos.

Após a identificação dos "casos" e dos "casos suspeitos", medida imediata seria o tratamento das pessoas intoxicadas. O diagnóstico da intoxicação pode se feito pela anamnese, notadamente pela história ocupacional, exames clínicos e pelas análises laboratoriais, que dependem do tipo de composto mercurial responsável pelo quadro clínico. Não se tem registro de um tratamento eficaz das intoxicações por metil-Hg podendo ser realizada a medicação para os casos de contaminação por Hg⁰ ou algumas formas inorgânicas e, seguindo critérios rígidos, a administração das drogas quelantes, tais como o BAL (*British.Anti.Lewsite*), EDTA.Ca e outras. O mais importante é a realização do diagnóstico precoce, para imediato afastamento da fonte de exposição (CÂMARA *et al.*, 1998).

Além das dificuldades observadas para encontrar um tratamento eficaz para as intoxicações mercuriais, existe também o fato de os órgãos de saúde da região Amazônica estarem mais preocupadas e atenta aos eventos agudos mais freqüentes, tal como a malária, do que a exposição ao mercúrio, cujos efeitos aparecem de forma insidiosa, não dando assim devida importância (CÂMARA, *et al.*, 1998). É importante se levar em conta a relação homem e meio ambiente no processo saúde-doença,

sobretudo na região Amazônica, onde a floresta, os rios e os organismos aquáticos fazem parte do cotidiano das populações.

As amostras de cabelo foram coletadas próximas ao couro cabeludo com tesoura de aço-inox em mechas de aproximadamente 500 mg, diferenciando a parte distal da proximal para a possibilidade de uma avaliação longitudinal, o que representaria uma retrospectiva histórica de exposição (Figura 28). Em seguida, foram acondicionadas em sacos plásticos transparentes para posterior determinações de Hg por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (BASTOS *et al.*, 1998). Esta avaliação foi realizada especificamente nas comunidades de ribeirinhos tradicionais, alvos da exposição ao metil-mercúrio devido ao elevado consumo de pescado, que representa a sua principal fonte de proteína animal.

A concentração de Hg total foi determinada nas matrizes biológicas e não biológicas conforme mostra o quadro 1.



Figura 28. Coleta de cabelo sendo realizada em um participante da pesquisa por um dos integrantes da equipe, após a aplicação do termo de consentimento. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

5.2.8. Termo de Consentimento

Todos os sujeitos da pesquisa consentiram suas participações assinando termos de consentimentos livres e esclarecidos (apêndice 1). Esses termos de consentimento e a pesquisa em geral, atentaram minuciosamente para vários códigos, diretrizes e normas que objetivam respaldar legalmente os sujeitos da pesquisa e os profissionais/pesquisadores (PILOT & HUNGLER, 1995; RONDÔNIA, 2000; BRASIL, 1997) (Figura 29).



Figura 29. Aplicação do questionário após o esclarecimento da pesquisa e consentimento de um dos sujeitos da pesquisa. *Fonte: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental (2002).*

5.2.9. Formulários

Os formulários aplicados nas comunidades contêm informações sobre hábitos alimentares relacionados ao consumo de peixes, direcionando as perguntas para a obtenção de dados sobre as espécies de peixes mais consumidas, a proveniência do pescado, frequência de consumo e algumas questões sócio-econômicas como a ocupação (profissão) e exposição ao Hg (Apêndice 1).

5.2.10. Cuidados Éticos

Quando um indivíduo é usado como sujeito de uma investigação científica necessita-se ter muito cuidado para assegurar que seus direitos sejam protegidos (PILOT & HUNGLER, 1995).

Um dos princípios éticos mais fundamentais em pesquisa é o da beneficência, que defende acima de tudo não causar dano ao sujeito da pesquisa. Foi criada pelo Ministério da Saúde a Diretriz e Norma Regulamentadoras de Pesquisa Envolvendo

Seres Humanos (BRASIL, 1997) que reporta no capítulo III, que se deve ter o consentimento livre e esclarecido dos indivíduos-alvo e a proteção a grupos vulneráveis e aos legalmente incapazes; para serem "mensurados" os riscos e benefícios tanto atuais como potenciais, individuais e coletivos; prever procedimentos que assegurem a confidencialidade e a privacidade, a proteção da imagem e a não estigmatização, garantindo a não utilização das informações em prejuízo das pessoas; respeitando sempre os valores culturais, sociais, morais, religiosos e éticos, assim como os hábitos e costumes quando as pesquisas envolverem comunidades, garantindo também o retorno dos benefícios dessas pesquisas para as comunidades foram realizadas, além de comunicar às autoridades sanitárias os resultados da pesquisa, sempre que os mesmos puderem contribuir para a melhoria das condições de saúde da coletividade.

A partir de então, elaborou-se um termo de consentimento onde foram abordados requisitos fundamentais para o andamento legal dessa pesquisa (Apêndice 2), tomando em todos os momentos condutas que respeitem o sujeito da pesquisa como ser humano. Este procedimento muitas vezes leva a críticas em relação ao número de amostras para se diagnosticar uma determinada comunidade.

Estudos envolvendo humanos, como essa proposta, mais que justamente carecem de uma avaliação e autorização de um Comitê de Ética Institucionalizado conforme a Legislação preconiza. Este projeto foi submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisas do Núcleo de Estudos de Saúde Pública da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CEP-NESC/UFRJ), para desenvolver estudos com coleta de material humano na bacia do rio Madeira. Está registrado e autorizado no órgão supracitado sob o N^o. 026/02 (Este procedimento não foi submetido ao Comitê local, pois na época o comitê estava em formação na Universidade Federal de Rondônia).

5.2.11. Controle de Qualidade

Para se trabalhar na determinação do Hg em amostras ambientais e humanas necessita-se de ambientes limpos, isentos de poeiras e evitar equipamentos que contenham este metal. A união entre a limpeza do ambiente de trabalho, a ausência de contaminação pelo metal e a pureza dos reagentes utilizados na digestão é decisiva para um melhor limite de detecção e maior sensibilidade da técnica. Objetiva-se, desta

forma, menores coeficientes de variação entre as réplicas e a obtenção da acurácia nos resultados.

Uma forma eficaz de controle analítico é a determinação da concentração de Hg de uma amostra de referência certificada em cada bateria analítica, com esta amostra sofrendo o mesmo procedimento de solubilização química e determinação do elemento em questão (HORVAT, 1997). Este procedimento é de grande importância mesmo que a amostra utilizada não seja certificada, pois sendo de concentração conhecida, pode-se ter controle de eventuais erros no referido procedimento (Tabela 5). Além desta forma de controle, a participação em programas de exercícios de intercalibração, entre grupos brasileiros e de outros países, também tem sua importância na avaliação do desempenho analítico do laboratório.

Para garantia da qualidade analítica deu-se continuidade ao Programa de Exercícios de Intercomparação Laboratorial com o laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da UFRJ (Universidade Federal do Rio de Janeiro). A partir de junho/2000, o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental passou a participar do Programa Interlaboratorial com o *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo do Ministério de Trabajo y Seguridad Social do Governo de Cantabria, Espanha.*

Tabela 5. Concentração de Hg Total em amostras de Referência e de Referência Certificadas de solo, sedimento, peixe e cabelo humano ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$).

AMOSTRA REFERÊNCIA	VALOR DE REFERÊNCIA		VALOR DO LAB. DE BIOGEOQUÍMICA (UNIR)		
	Média \pm D.P.	Intervalo	Média \pm D.P.	Intervalo	Recuperação Média (%)
IAEA-356	7,62 \pm 0,88	(6,74 - 7,98)	6,59 \pm 0,71 (n= 15)	(5,32 - 7,58)	86
AFPX-5130	13,87 \pm 0,86	(12,90-14,40)	12,70 \pm 0,64 (n= 57)	(11,74 - 13,59)	92
IAEA-085	23,20 \pm 1,13	(22,40–24,00)	22,84 \pm 1,74 (n= 28)	(18,91 - 24,37)	98
IAEA-086	0,57 \pm 0,06	(0,53 – 0,61)	0,61 \pm 0,11 (n= 10)	(0,59 - 0,75)	107
IAEA-350	3,65 \pm 0,35	(3,32 - 4,01)	3,70 \pm 0,54 (n= 16)	(2,90 - 4,33)	101

5.2.12. Análise Geoestatística

Para a construção de mapas de isotores das concentrações de Hg dos solos e nas comunidades ribeirinhas do baixo rio Madeira foi utilizada a técnica da krigagem ordinária pontual como interpoladora, a partir do programa *Surfer 8 inc.*, (2004). A técnica de krigagem usa a estimativa de uma matriz de covariância espacial que determina os pesos atribuídos às diferentes amostras; o tratamento da redundância dos dados; a vizinhança a ser considerada no procedimento inferencial e; o erro associado ao valor estimado (LANDIM, 1997).

O processo de krigagem estima um valor de um atributo, em uma posição $Z(x_i)$ não amostrada, a partir de um conjunto de amostras. O método de krigagem é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, porém na krigagem os pesos dados a cada observação são determinados a partir de uma pré-análise espacial utilizando semi-variogramas experimentais. O valor estimado no processo de krigagem é dado por:

$$z(\chi_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i z(\chi_i)$$

Onde: N é o número de vizinhos medidos, $Z(x_i)$ utilizados na estimativa da variável e λ_i são os ponderadores aplicados a cada $Z(x_i)$, os quais são selecionados de forma que a estimativa obtida seja não tendenciosa. Desta forma, tem-se o estimador não tendencioso da krigagem ordinária pontual dado pela fórmula: $E[Z_0 - Z^*]$ (BERNARDI, 2001; BERNARDI *et al.*, 2001).

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

6.1. Ambiente Atmosférico

6.1.1. Borbulhamento

Utilizando-se da técnica de borbulhamento para obtenção vapor de Hg em um experimento dentro de uma loja observou-se que no início do dia e no final do dia as concentrações de Hg são mais elevadas (Figura 30). Embora esse experimento necessite de mais amostragens, inclusive mantendo-o por toda a noite, pode-se inferir que o fechamento da loja aprisiona o Hg, provavelmente devido à falta de circulação de ar.

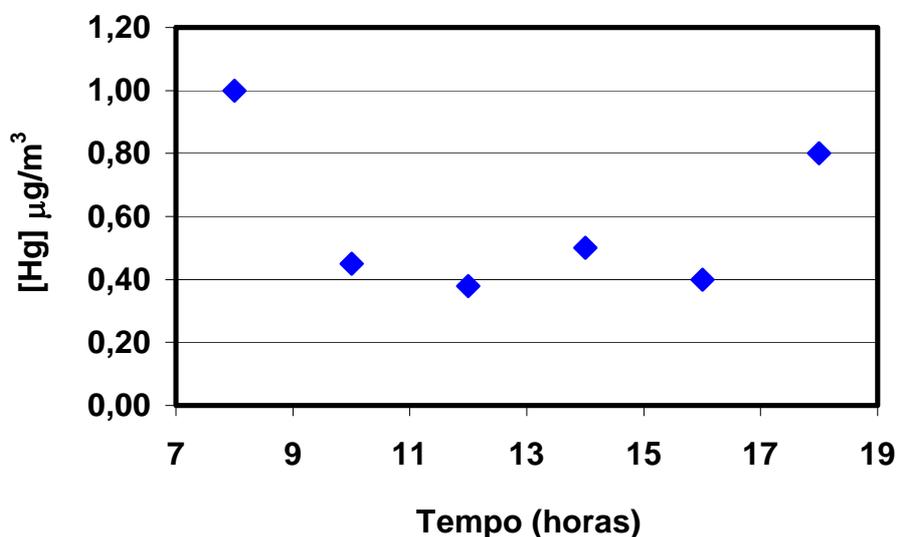


Figura 30. Concentração de vapor de Hg coletados ao longo de um dia, em intervalos de duas horas, no interior de uma loja de comercialização de ouro.

6.1.2. Material Particulado Atmosférico

Na Amazônia Ocidental as lojas de comercialização de ouro são a principal fonte pontual de dispersão de Hg nas cidades. Na cidade de Porto Velho-RO essa dispersão ocorre de forma oscilante devido à flutuação da mineração (Figuras 31 e 32).

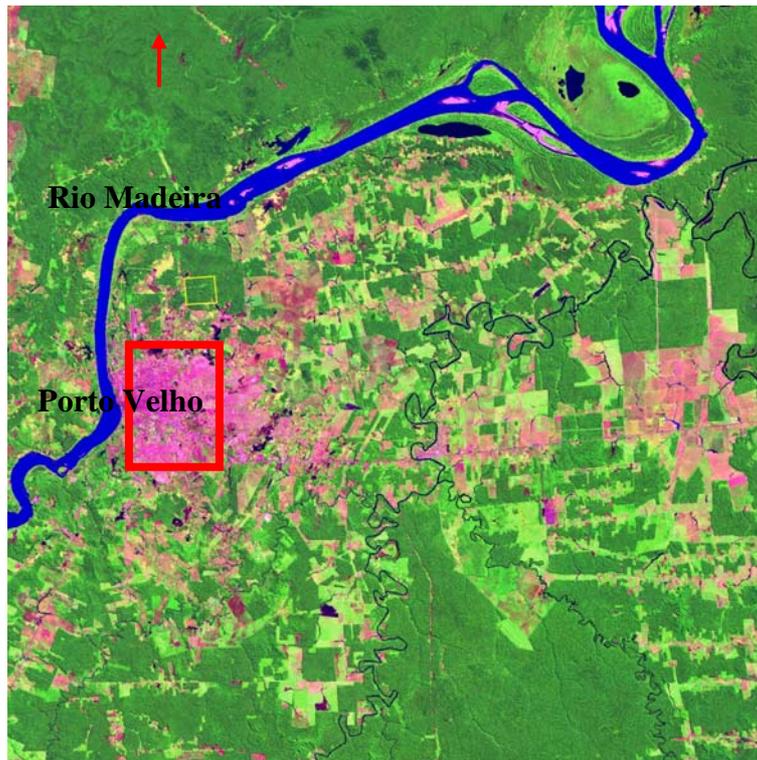


Figura 31. Imagem de satélite LANDSAT TM 7 do ano de 2000 evidenciando a cidade de Porto Velho do ano 2000 onde estão localizadas as lojas de comercialização de ouro.

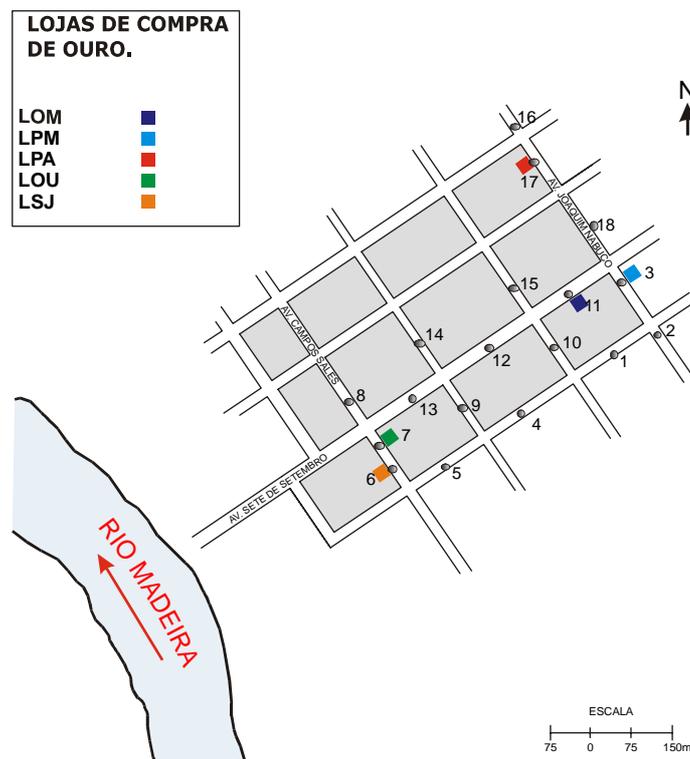


Figura 32. Croqui da localização das lojas de comercialização de ouro e pontos de amostragens de poeira no centro da cidade de Porto Velho.

A avaliação externa às lojas de comercialização de ouro, através das análises das poeiras, apresentou concentrações mais elevadas nos períodos de seca (Tabela 6). Dois fatores podem ter colaborado para isso:

1. No período chuvoso os sedimentos superficiais atmosféricos têm pouco tempo de residência no solo, evitando assim sua concentração, pois as chuvas são constantes nessa época, chovendo quase todos os dias;
2. No período seco, além de concentrar mais material em suspensão depositado nas ruas, é quando as atividades de mineração são mais intensas, pois o rio Madeira está cerca de 8 metros mais baixo, com várias áreas de sedimentação aparentes (formação de praias).

Importante ressaltar que todas as lojas de comercialização de ouro (Figura 33) situadas no centro da cidade de Porto Velho utilizam capelas com exaustão (Figuras 34), embora essas capelas funcionem apenas para transpor os gases da queima do ouro impregnado de Hg para o lado de fora da loja. Não existe nenhum processo de retenção dos vapores de Hg.



Figura 33. Uma das lojas de comercialização de ouro no centro da cidade de Porto Velho (SILVA *et al*, 2002).



Figura 34. Procedimento de rotina da purificação do ouro dentro da capela no momento da comercialização do metal.

Tabela 6. Concentração de Hg em poeira das ruas do centro da cidade de Porto Velho em dois períodos do ano de 2001.

	Período Chuvoso ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	Período de Estiagem ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
n	33	33
Média	0,185	0,589
D.P.	0,161	1,102
Mín.	0,017	0,016
Máx.	0,572	5,751
Mediana	0,108	0,271
r	0,3583	

6.1.3. Biomonitor

Nos estudos realizados no interior das lojas, através da utilização da bromeliácea *Tillandsia usneoides* como biomonitor do vapor de Hg, ocorreu o contrário que na avaliação externa pela poeira (Tabela 7). O biomonitor foi exposto por períodos variados (15, 30 e 60 dias) e o período chuvoso revelou as maiores concentrações. Embora no período chuvoso a comercialização do ouro seja mais baixa, conseqüentemente, menos queima do ouro, as lojas costumam ficar mais fechadas devido as fortes chuvas e o baixo movimento, o que impede a circulação do ar no interior das lojas.

Tabela 7. Valores médios das concentrações de mercúrio utilizando o biomonitor *Tillandsia usneoides* na avaliação atmosférica no interior de lojas de comercialização de ouro na cidade de Porto Velho (SANTOS *et al*, 2001).

LOCAL	[Hg] ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)	[Hg] ($\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$)
	Período de Chuvas	Período de Estiagem
Campus UNIR (área controle)	0,040 \pm 0,002	0,030 \pm 0,003
Cachoeira Teotônio	0,095 \pm 0,025	0,300 \pm 0,156
Loja PA	1,242 \pm 0,622	0,470 \pm 0,339
Loja OM	4,188 \pm 7,062	0,205 \pm 0,035
Loja PM	2,568 \pm 1,291	1,190 \pm 0,988
Loja SJ	0,090 \pm 0,005	0,030 \pm 0,008
Loja OU	-	0,410 \pm 0,010

Assim como outros autores (CALAZANS, 1994; BASTOS *et al*, 2004, FONSECA *et al*, 2004) observou-se que 15 dias de exposição é um período de exposição suficiente para se obter uma informação. Isto associado ao conhecimento das queimas realizadas no período de exposição da bromeliácea (Figura 35). A concentração de vapor de Hg no interior das lojas alcançou a 104 vezes superior a área controle.

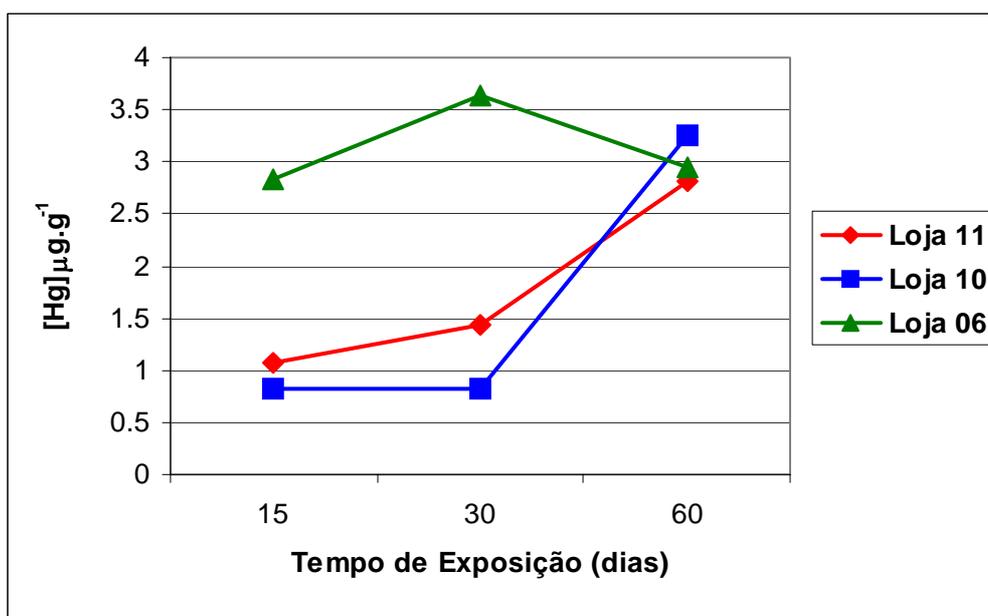


Figura 35. Concentração de Hg em *Tillandsia usneoides* expostas por 15, 30 e 60 dias em três lojas de comercialização de ouro na Cidade de Porto Velho.

No apêndice 3 está o artigo recentemente publicado na *Environmental Research* em que se realiza uma comparação entre as cidades Alta Floresta-MT e Porto Velho-RO, ambas com características semelhantes de comercialização de ouro.

6.2. Solos

Através da análise estatística pode-se observar nos solos marginais, nos 1100km do Rio Madeira entre Porto Velho e sua Foz no Rio Amazonas, valor de média $106,87 \pm 88,80 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$ com intervalos entre 34,76 a $401,93 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$. Esta variação, conforme tem relatado Lacerda *et al* (2004), pode estar relacionada ao uso da terra.

Na análise gráfica observa-se que a flutuação de Hg próximo à cidade de Porto Velho certamente está relacionada à proximidade da área de maior atividade de mineração de ouro, assim como à fonte pontual de vapores de Hg para atmosfera proveniente das lojas de comercialização de ouro (Figura 36). Os valores elevados próximos à foz do rio Madeira podem estar relacionados à área de maior deposição do rio onde os solos recebem grandes influências da sedimentação dos aluviões.

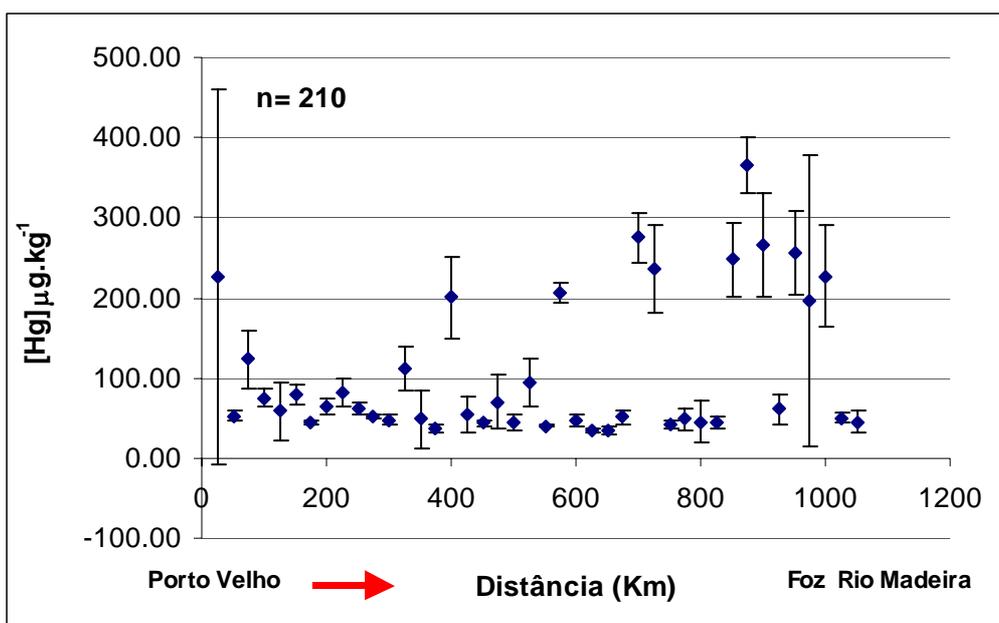


Figura 36. Valores médios de mercúrio em perfis verticais de solos de 42 localidades na várzea do rio Madeira no trecho de Porto Velho até a Foz no rio Amazonas.

A associação das concentrações de Hg com matéria orgânica apresentou $r^2=0,5784$ (Figura 37). Entretanto outros fatores como o uso do solo tem sido considerado um fator importante na redistribuição do Hg para atmosfera e cursos d'água. O aluvião, quando depositado sobre o solo, imobiliza-o por um período, podendo ser remobilizado na próxima cheia com a inundação dos igapós.

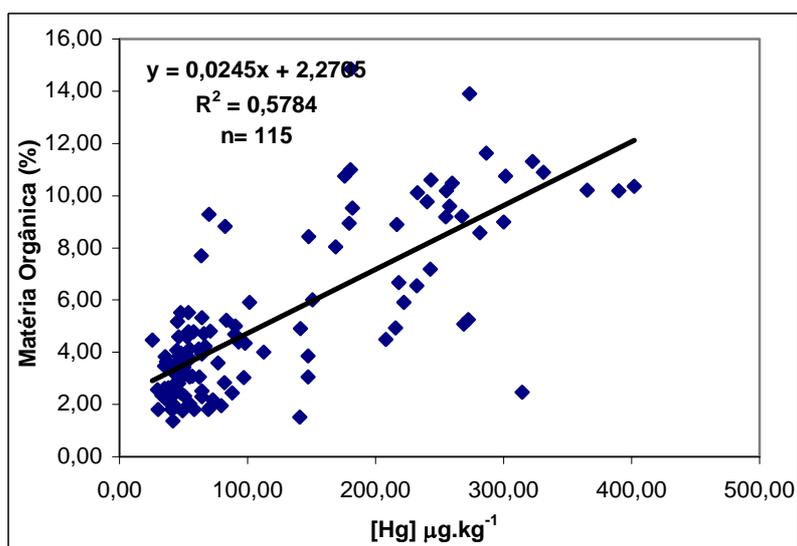


Figura 37. Relação da média da concentração de Hg com a matéria orgânica em solos marginais do rio Madeira.

Embora nos diferentes usos da terra a correlação de Hg e matéria orgânica tenha sido positiva, na utilização da terra no plantio de banana na localidade de São Carlos, essa correlação foi inversa e o teor de mercúrio foi menor na primeira camada do solo até os primeiros 20cm do perfil, aumentando a concentração de Hg entre 20 a 30cm. Já na localidade de Curicacas o teor de matéria orgânica se manteve ao longo dos 80cm do perfil, certamente pelo revolvimento da terra sendo preparada para o plantio (Figura 38).

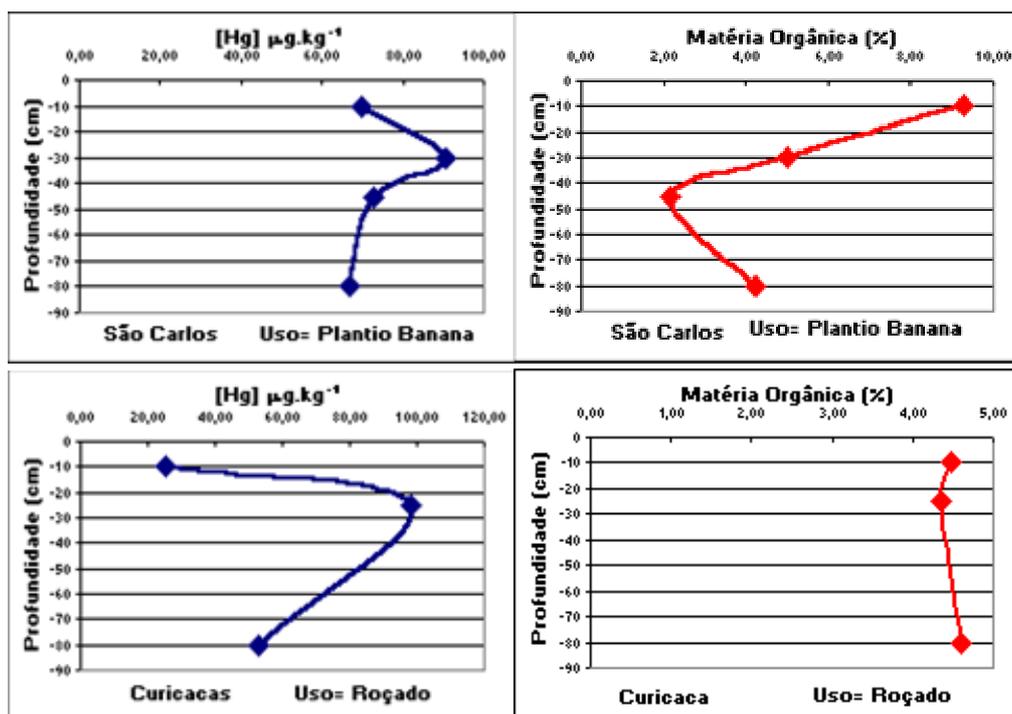


Figura 38. Concentração de Hg e Matéria orgânica em perfis verticais de solo da várzea do rio Madeira.

Os perfis verticais de solos característicos de mata ciliar, capoeira e agricultura apresentaram correlação positiva entre Hg e matéria orgânica com redução das concentrações do horizonte A para os seguintes. O mesmo não ocorre para o perfil com características de aluvião na localidade de Primavera (Figura 39). Os teores de matéria orgânica variaram entre 2 e 10% ocorrendo os maiores teores nos primeiros 20cm.

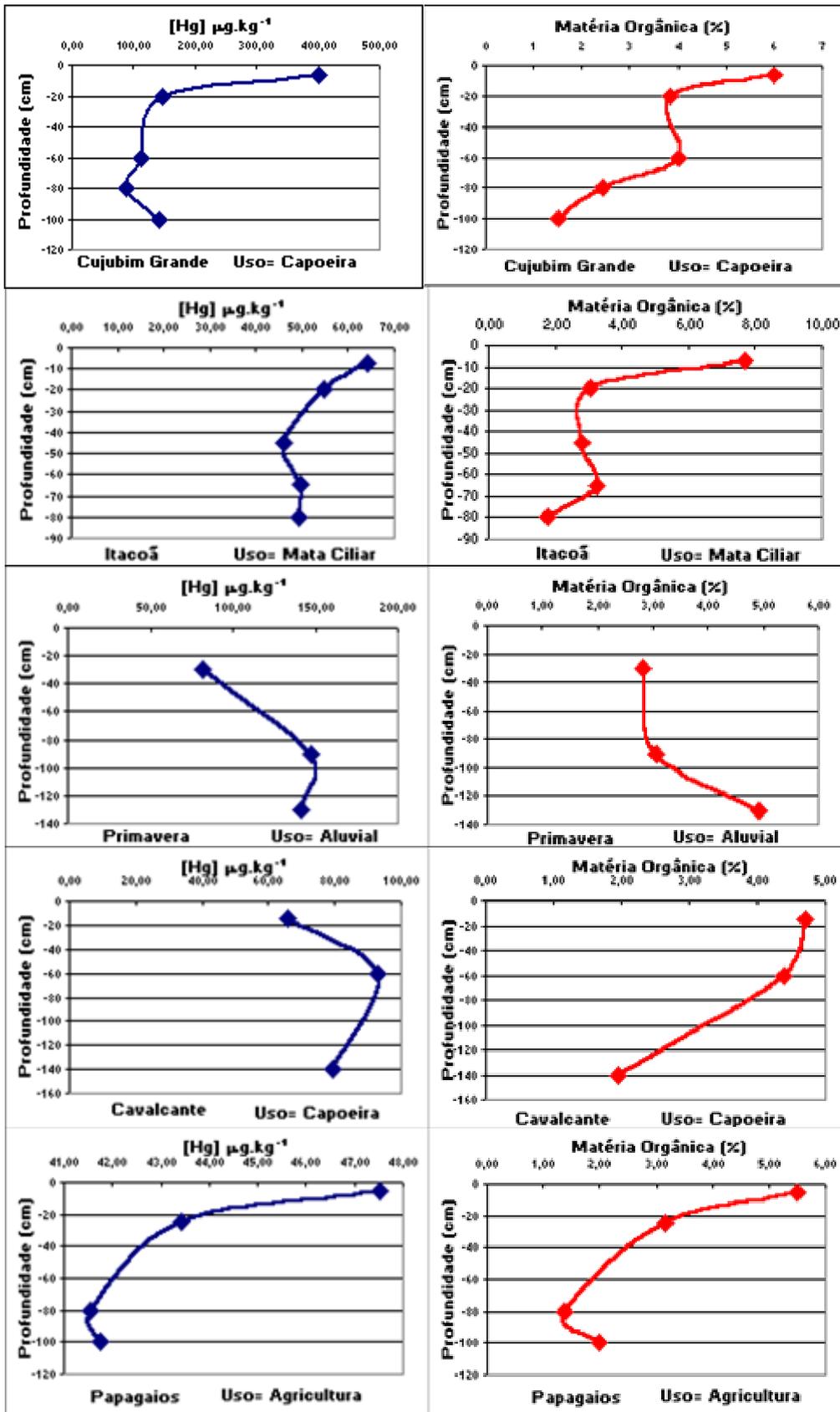


Figura 39. Concentração de Hg e Matéria orgânica em perfis verticais de solo da várzea do rio Madeira.

No trecho entre Porto Velho e Humaitá a variação na concentração de mercúrio em perfis verticais do solo foi maior apenas nos primeiros 20cm o que não aconteceu no trecho final do rio Madeira entre Novo Aripuanã e a Foz no Rio Amazonas, provavelmente pela maior deposição no curso final do baixo rio Madeira devido a contenção promovida pelo rio Amazonas (Figura 40).

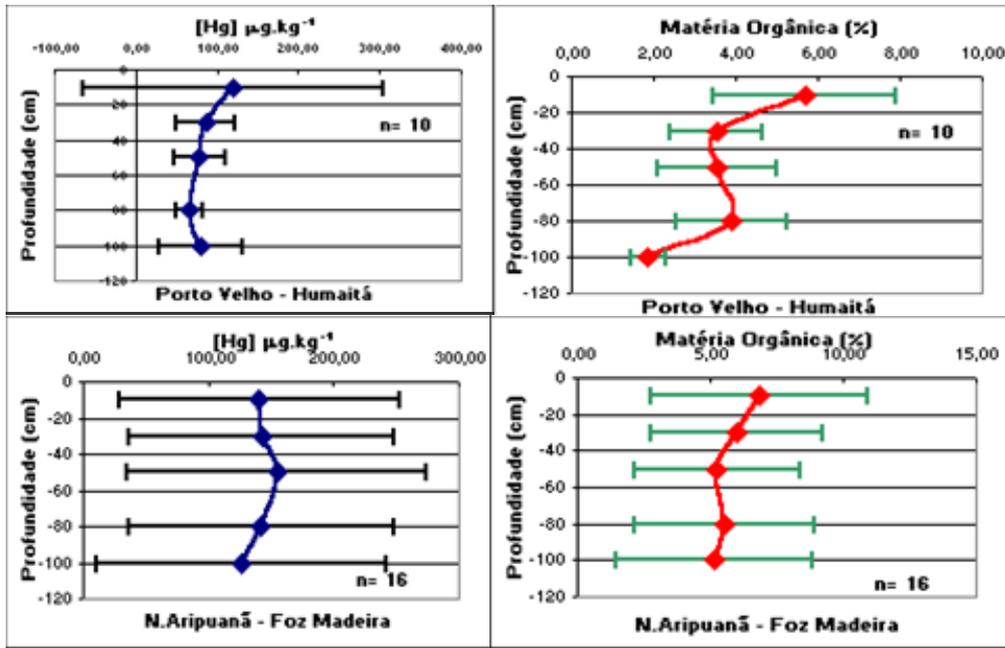


Figura 40. Concentração média de Hg e matéria orgânica em perfis de dois trechos do rio Madeira (Porto Velho a Humaitá e Novo Aripuanã a Foz no rio Amazonas).

Fazendo uso da técnica geoestatística de krigagem pode-se observar na figura 41 a distribuição espacial das concentrações de Hg na amostragem de solo no baixo rio Madeira. A técnica evidencia a elevação dos teores de Hg nos dois extremos da área estudada, próxima a cidade de Porto Velho e a foz no rio Amazonas.

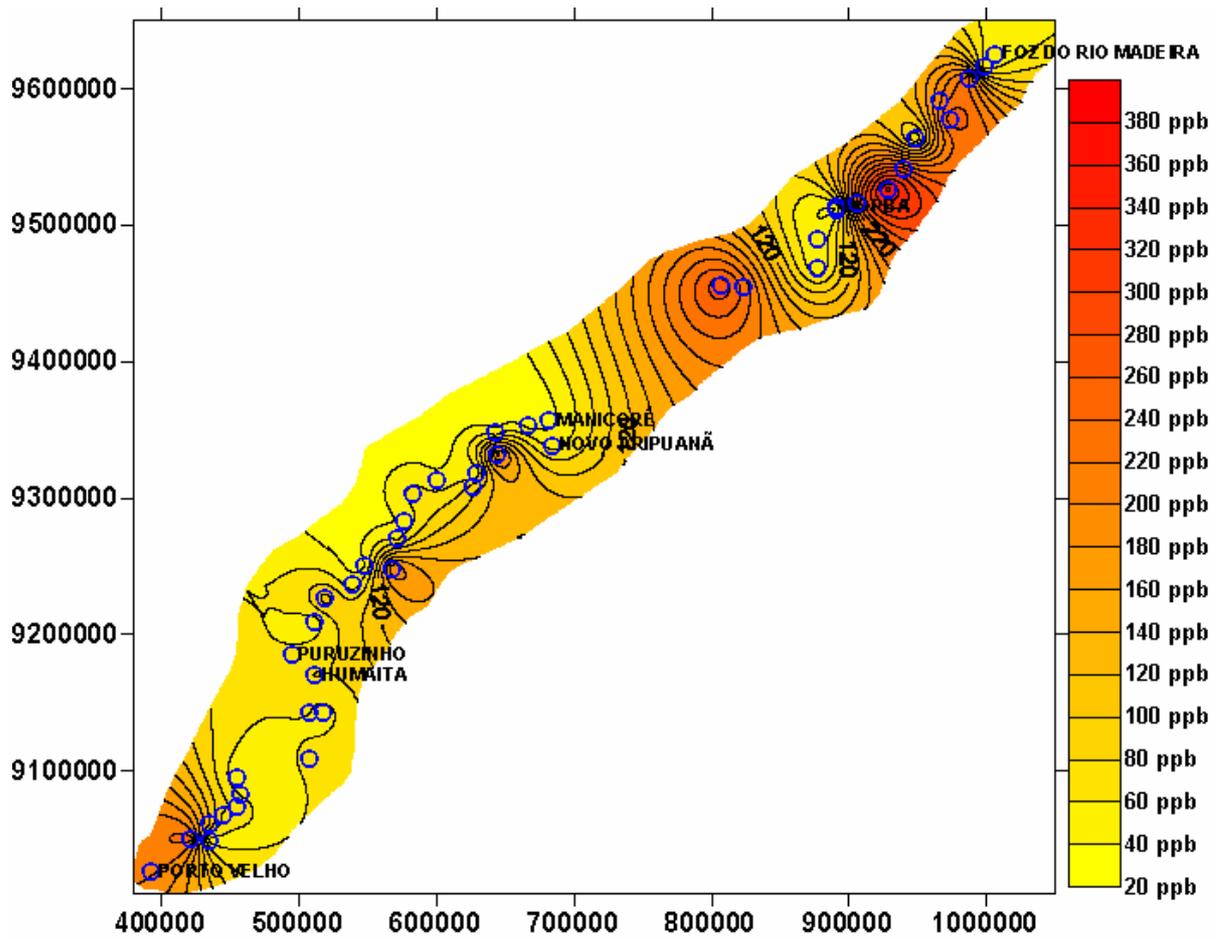


Figura 41. Distribuição espacial das médias de concentração de Hg nos perfis dos solos do baixo rio Madeira.

6.3. Sedimentos

Através dos grandes despejos de poluentes, principalmente dos elementos metálicos pelas indústrias e mineração, o sedimento de fundo é o principal compartimento dos ecossistemas aquáticos a concentrá-los, possibilitando uma retrospectiva histórica dos acontecimentos. A análise do sedimento de fundo é o monitor da presença dos metais que podem ter sido lançados em períodos anteriores e estarem sendo remobilizados e retrabalhados através da energia do rio.

Os sedimentos de fundo dos lagos apresentaram valores médios de $62,67 \pm 19,07 \mu\text{gHg.kg}^{-1}$, com o Lago Cuniã apresentando a maior média (Tabela 8). Esse lago fica dentro de uma reserva extrativista (RESEX).

Tabela 8. Concentrações de mercúrio ($\mu\text{g.kg}^{-1}$) em perfis verticais de sedimento de fundo dos lagos marginais do baixo rio Madeira.

LOCALIDADES	Coordenadas Geográficas		Média	Mín.	Máx.	Mediana	DP
Lago Cuniã	08° 18' 07" W	63° 27' 07" S	98,13	66,24	117,09	105,88	19,50
Lago Puruzinho	07° 22' 11" W	63° 03' 08" S	53,00	49,19	60,09	56,74	9,01
Lago Paraíso	07° 31' 28" W	63° 53' 12" S	49,21	25,99	71,79	47,54	12,87
Lago Sto. Antônio	06° 48' 04" W	62° 23' 33" S	60,34	46,91	74,74	59,20	9,00
Lago Mergulhão	06° 09' 21" W	62° 12' 10" S	90,64	73,02	109,02	96,15	15,90
Lago Acará	05° 32' 09" W	61° 11' 40" S	45,11	36,53	60,00	40,59	9,61
Lago Matupirizinho	05° 30' 21" W	61° 14' 42" S	59,93	35,14	99,06	57,66	19,36
Lago Preto	04° 42' 47" W	59° 54' 15" S	61,50	54,44	70,00	59,69	5,94
Rio Madeira (Foz)	03° 19' 02" W	58° 45' 26" S	46,21	40,00	53,63	44,38	4,95
Média Total			62,67	25,99	117,09	57,66	19,07

Embora não ocorra grande variação na concentração de Hg nos perfis verticais de sedimento de fundo, observam-se oscilações evidentes, principalmente nos lagos Paraíso e Santo Antônio que podem estar relacionados à atividades humanas, como por exemplo, a circulação de pequenas embarcações com motores de popa e a microorganismos que funcionariam como bioturbadores (Figura 42).

A partir de suas características naturais, o rio Madeira tem um potencial agregador de metais pesados devido a grande quantidade de sólidos em suspensão de seu sistema de drenagem (Tabela 9).

Tabela 9. Valores médios do total de sólidos em suspensão (TSS) e a concentração de Hg.

Localidades	TSS (mg.L^{-1})	[Hg] ($\mu\text{g.kg}^{-1}$)	Período
Lago Deolinda	13,73	18,87	Final estiagem/02
Lago Puruzinho	111,84	21,58	Final estiagem/02
Lago Brasileira	4,85	13,32	Final estiagem/02
Rio Mamoré	5,43	9,17	Final estiagem/02
Rio Madeira	183,00	23,09	Final estiagem/02
Rio Madeira	330,61	44,94	Final estiagem/03
Rio Madeira	523,48	48,75	Final cheia/04

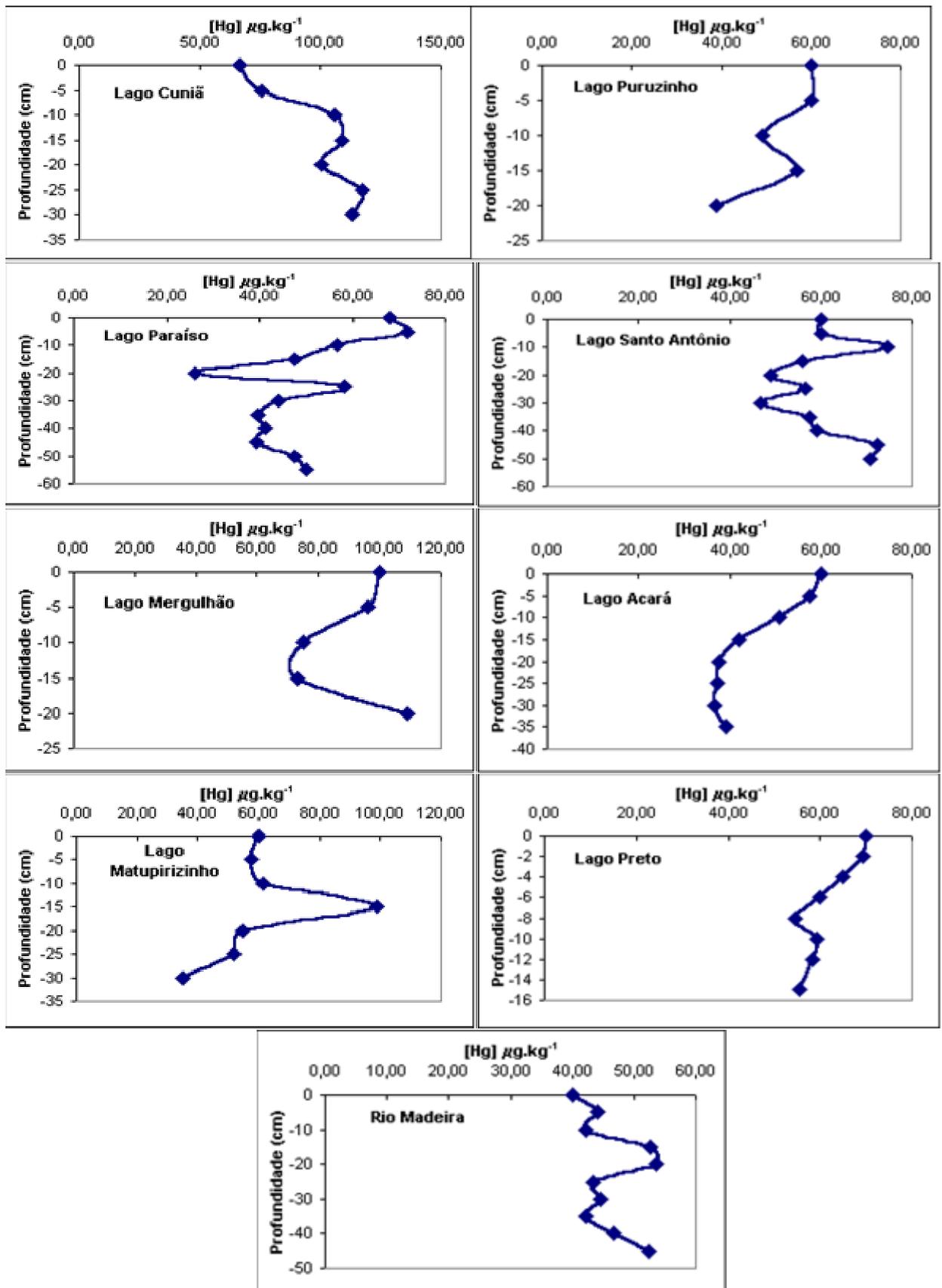


Figura 42. Concentração de Hg em perfis verticais de sedimento de fundo nos lagos marginais ao rio Madeira.

A relação de Hg total com outros elementos químicos como Fe, Mn, Cu, Co, Cr, Pb e Zn, também em sua forma total, nas amostras de sedimento de fundo, foram negativas (Figuras 43 a 48). Com o cobre a relação com Hg obteve-se $r^2 = -0,7829$, revelando uma relação inversa entre esses elementos (Figura 49). Já a relação com a matéria orgânica e Hg foi positiva, conforme esperado, com $r^2 = 0,6329$ (Figura 50).

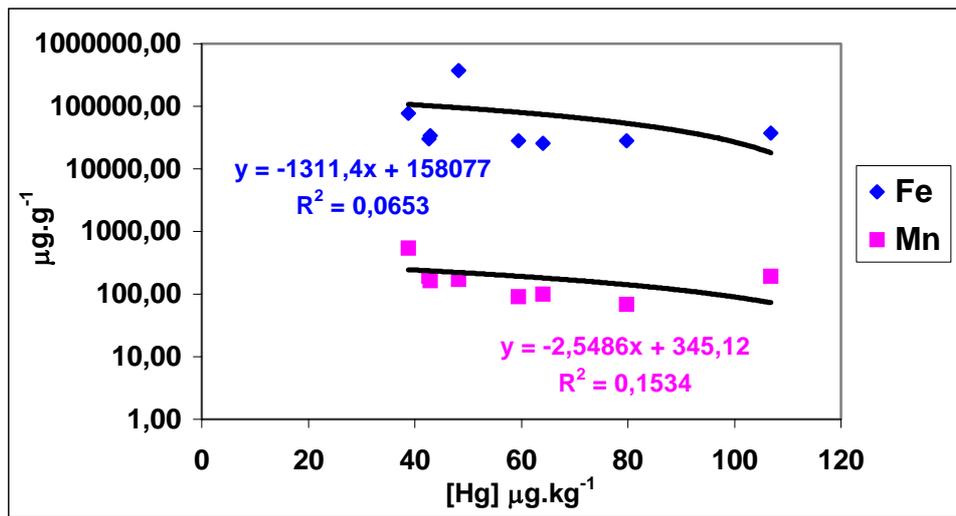


Figura 43. Relação de Hg com ferro e manganês em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

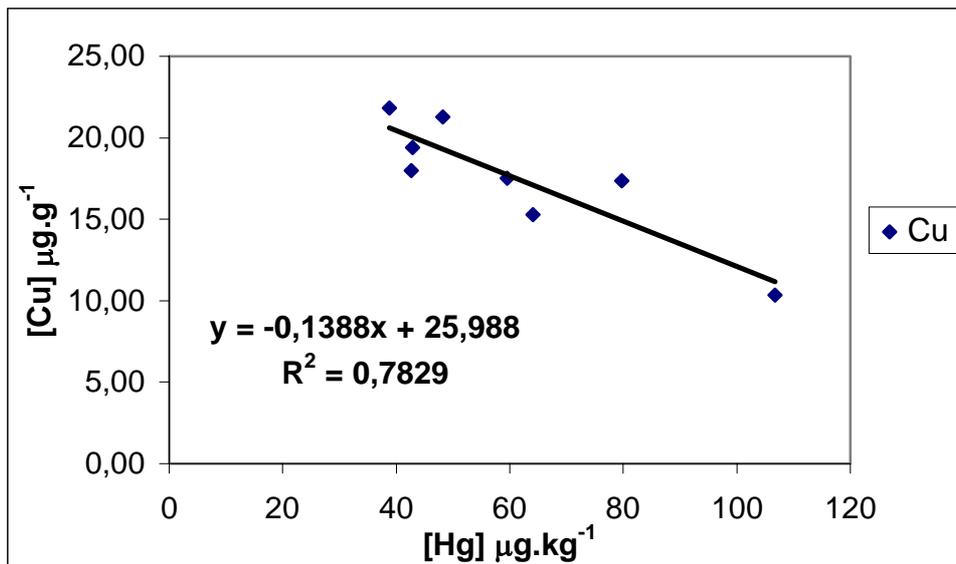


Figura 44. Relação de Hg com cobre em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

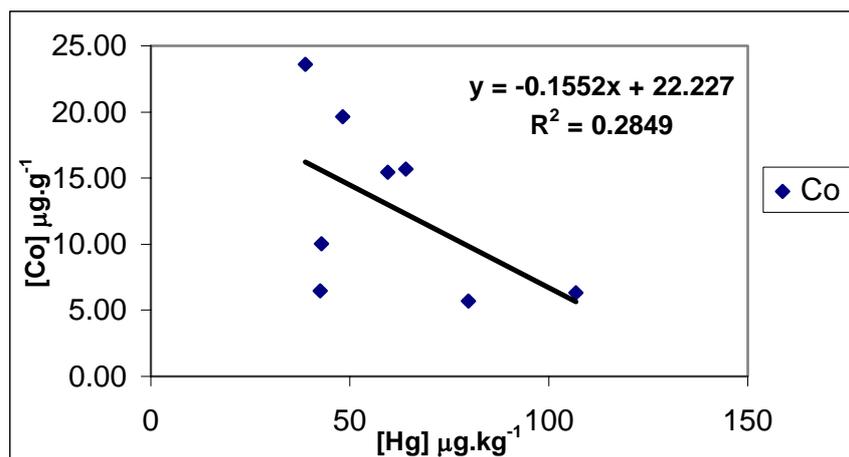


Figura 45. Relação de Hg com cobalto em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

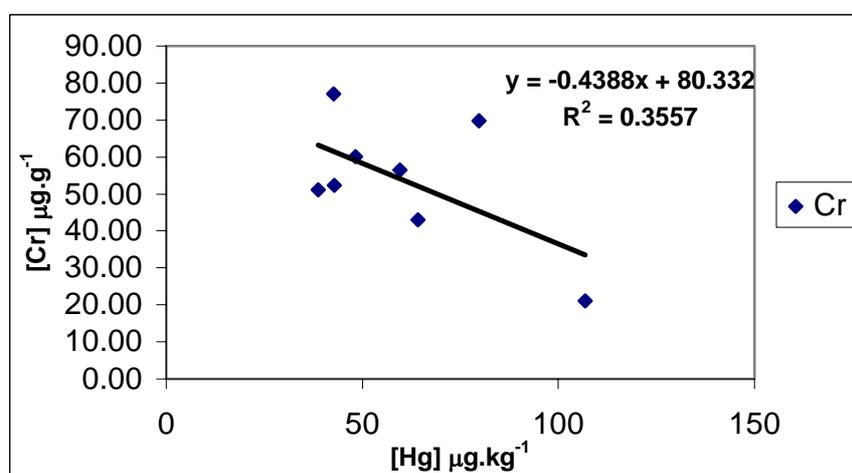


Figura 46. Relação de Hg com cromo em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

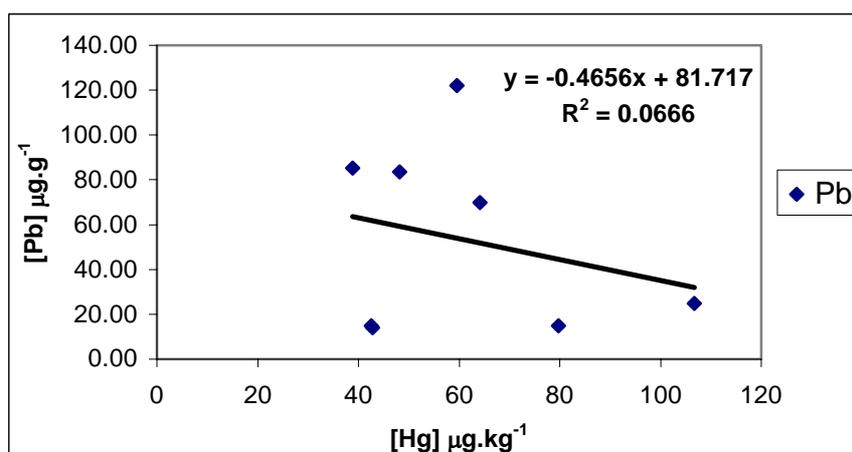


Figura 47. Relação de Hg com chumbo em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

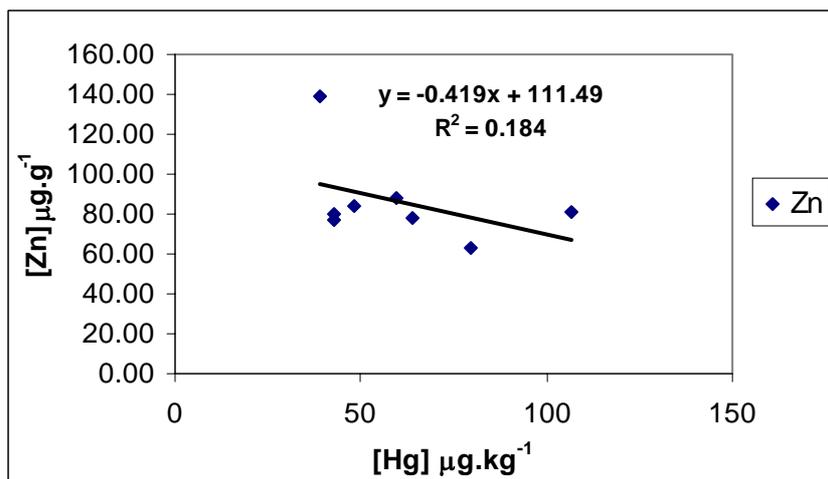


Figura 48. Relação de Hg com zinco em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

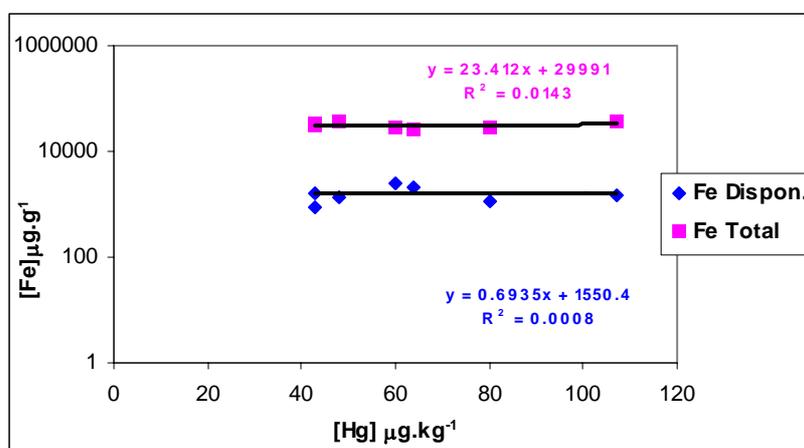


Figura 49. Relação de Hg com ferro total e disponível em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

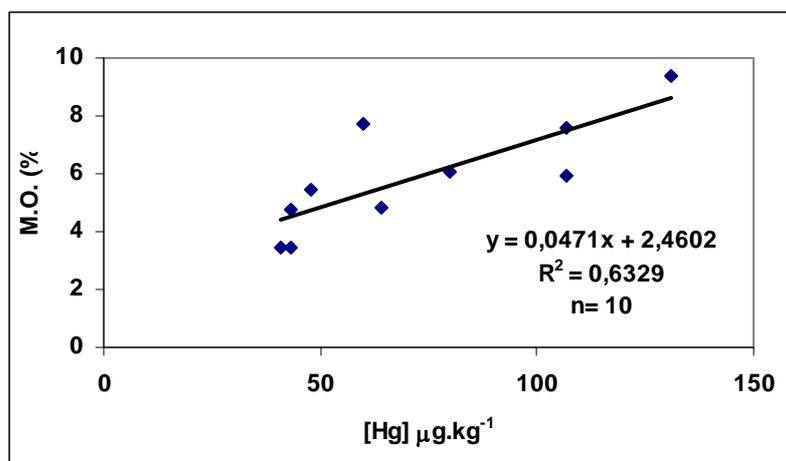


Figura 50. Relação de Hg com matéria orgânica em sedimento de fundo superficial nos lagos do baixo rio Madeira.

6.4. Ictiofauna

A média da concentração de Hg total nas 822 espécimes de peixes analisadas foi de $0,337 \pm 0,362 \mu\text{gHg.g}^{-1}$, com intervalo entre 0,010 a $2,520 \mu\text{gHg.g}^{-1}$ (Figura 51). Dentre esses peixes 196 (24%) apresentaram valor acima do estabelecido pela OMS para consumo humano ($0,500 \mu\text{g.g}^{-1}$). A relação de Hg por hábito alimentar e separados por grupos de massa apresentou, como esperado, correlação positiva para as espécies de hábito alimentar preferencial carnívoro ($r^2=0,8511$), correlação inversa para as herbívoras e onívoras ($r^2=-0,9114$ e $r^2=-0,8507$, respectivamente) e não sendo significativa para as espécies detritívoras ($r^2=0,0189$) (Figura 52).

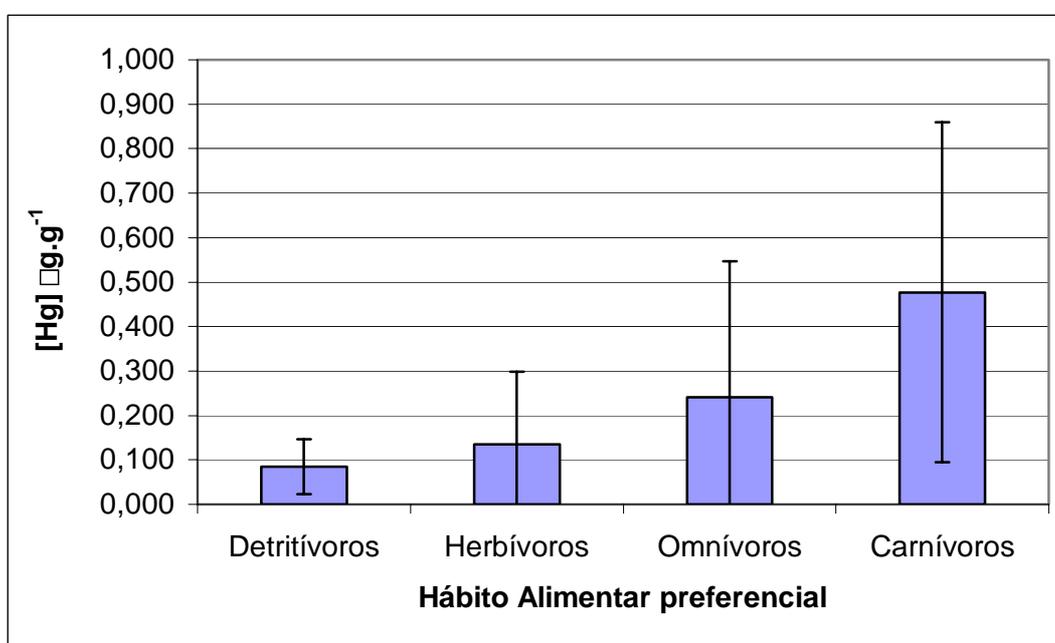


Figura 51. Concentração média de Hg nos espécimes de peixes selecionados por hábito alimentar preferencial.

Observando as espécies carnívoras individualmente, apenas as espécies *Serrassalmus rhombeus* (piranha preta) e *Pinirampus pirinambu* (barba-chata) revelaram boas relações entre suas massas e os teores de Hg com $r^2= 0,8196$ e $r^2= 0,6826$, respectivamente (Figura 53). Outras do gênero *Serrassalmus* sp. não revelaram o mesmo comportamento das espécie *Serrassalmus rhombeus* (Figura 54).

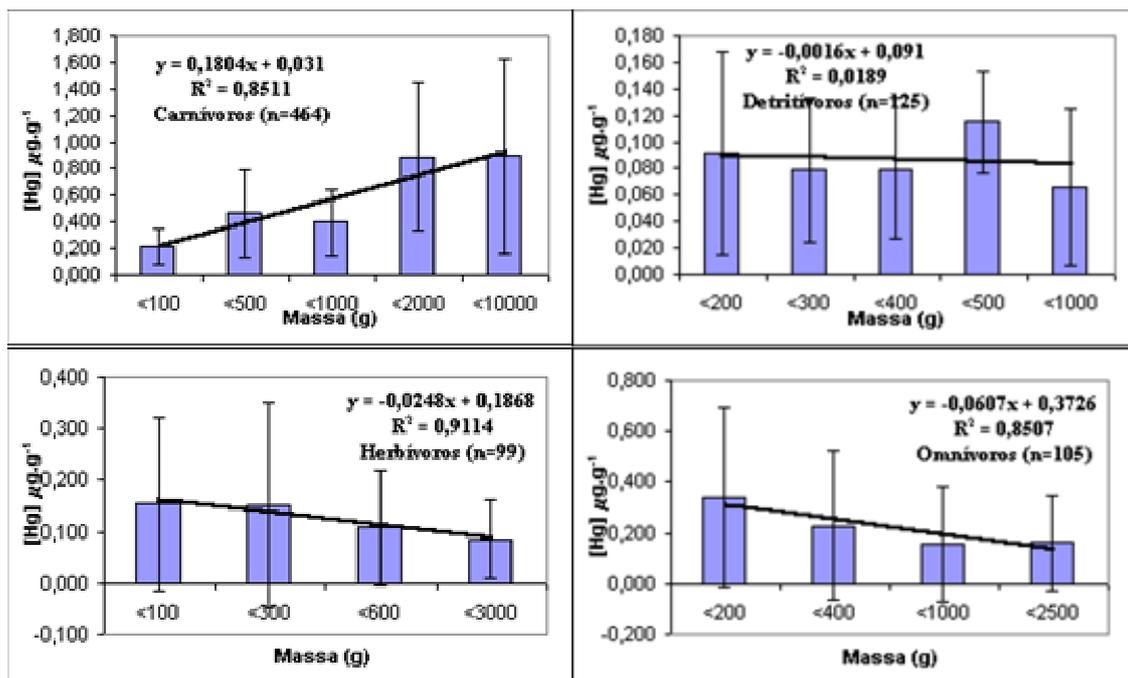


Figura 52. Concentração de Hg nas espécies de peixes por hábitos alimentares e agrupadas por massa dos espécimes.

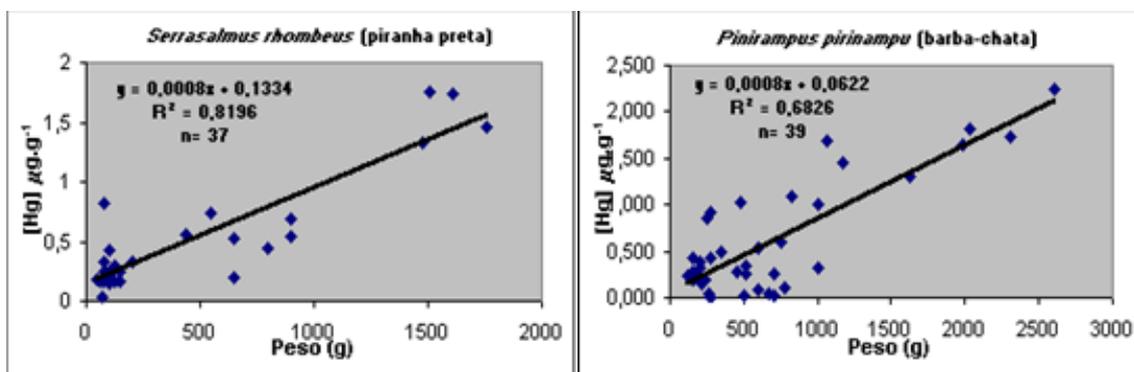


Figura 53. Relação das concentrações de Hg com a massa de espécies de peixes de hábito alimentar carnívoro.

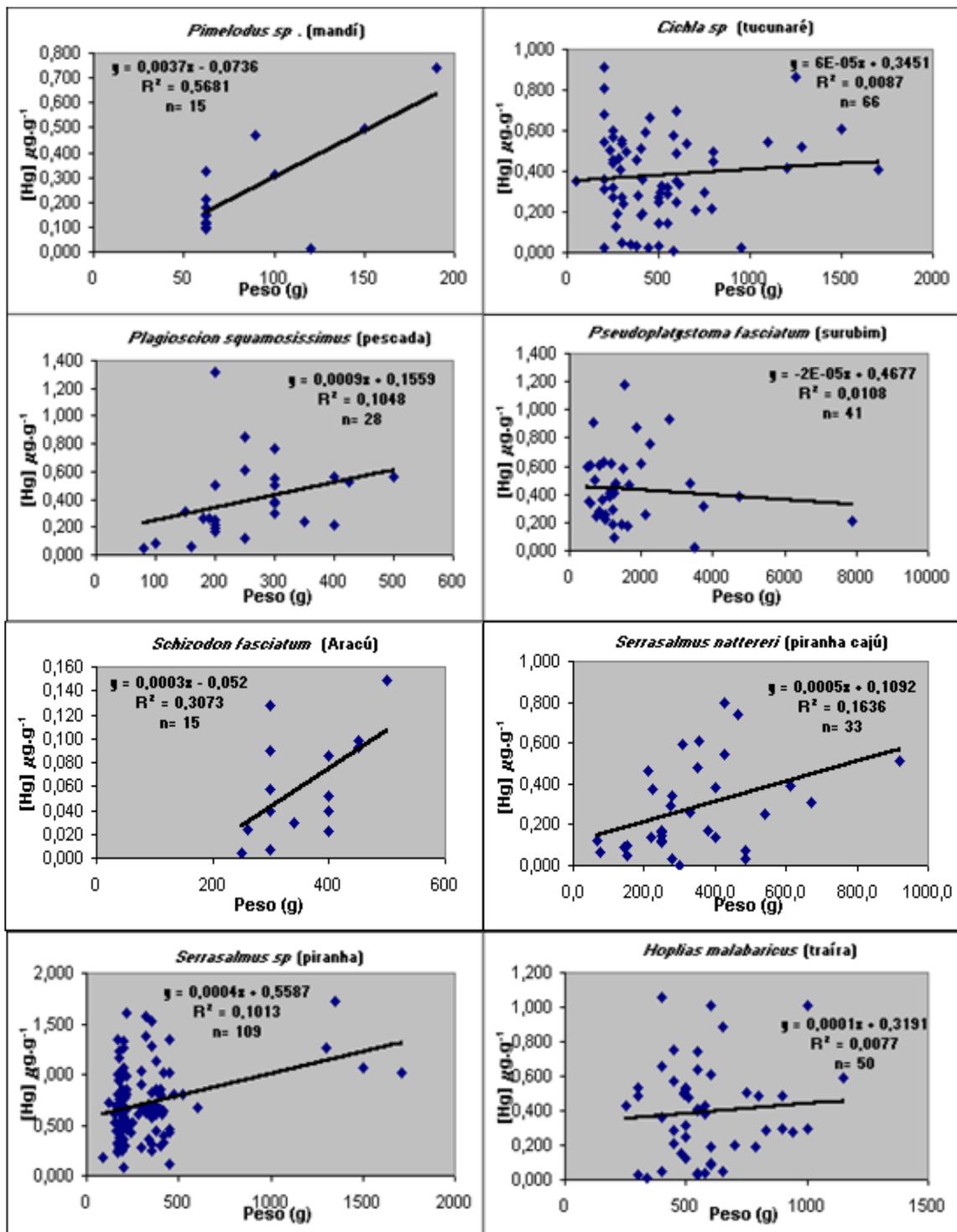


Figura 54. Relação das concentrações de Hg com a massa de espécies de hábitos preferenciais carnívoros.

6.5. Macrófita Aquática

Os resultados obtidos das concentrações de Hg total nas amostras de macrófitas aquáticas da área de estudo estão dispostos na tabela 10. Através da comparação entre a composição elementar das partes vegetais: talo e folha das macrófitas aquáticas *Eichornia sp.* concentrou Hg total nas folhas mais que nos talos. Esses resultados corroboram Bettinelli *et al.*, (2002) e Esteves (1998), segundo os quais as maiores concentrações de metais essenciais e não essenciais são obtidas nas partes da planta de maior metabolismo, como a folha e flor. Essas acumulações diferenciadas, embora em alguns casos com pequena variação, possivelmente estão relacionadas às diferenças das condições físico-químicas do corpo d'água, que influem na biodisponibilidade destes elementos para a biota. A concentração de Hg total na água do trecho em estudo foram inferiores a $0,20\mu\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$, limite de detecção da técnica para a espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio, valor limite para consumo humano pela legislação CONAMA n.º.20 (1986).

Tabela 10. Concentração de Hg total na macrófita aquática do gênero *Eichornia sp.*

Localidade	Folha [Hg] $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	Talo [Hg] $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$
Lago Cuniã	$1,016 \pm 0,095$	$0,178 \pm 0,015$
Lago Paraíso	$0,715 \pm 0,058$	$0,283 \pm 0,009$
Rio Mamoré	$2,040 \pm 0,080$	$0,600 \pm 0,032$

6.6. Exposição Humana

Num total de 45 comunidades amostradas ao longo do baixo Rio Madeira apenas a comunidade de Fazenda Tabocal, na qual só obtivemos 2 amostras, não ultrapassou a média considerada pela Organização Mundial de Saúde como não exposta ao Hg ($<6,00\mu\text{gHg}\cdot\text{g}^{-1}$). Nas demais 44 comunidades a concentração média ultrapassou esse limite e, em 16 comunidades ultrapassou o limite considerado pela OMS com presença de sinais da toxicologia pelo metal ($>16,00\mu\text{gHg}\cdot\text{g}^{-1}$), são elas: São Sebastião do Tapurú-AM ($62,76\mu\text{gHg}\cdot\text{g}^{-1}$ n=18), Livramento-AM ($36,89\mu\text{gHg}\cdot\text{g}^{-1}$ n=15), Três Casas-AM ($33,07\mu\text{gHg}\cdot\text{g}^{-1}$ n=09), Vista Nova-AM ($25,69\mu\text{gHg}\cdot\text{g}^{-1}$ n=04), Miriti-AM

(22,34 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=16), Curralinho-AM (19,69 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=05), Valparaíso- AM (18,93 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=21), Remanso-AM (18,16 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=12), Carará-AM (18,13 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=39), Nazaré do Retiro-AM (17,90 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=15), Arapapá-AM (16,56 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=07), Boa Ventura-AM (16,55 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=07), Bom Suspiro-AM (16,29 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=12), Vista Alegre-AM (16,02 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=17), Auará Grande-AM (15,97 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=19) e São Pedro-AM (15,77 $\mu\text{gHg.g}^{-1}$ n=14) (Tabela 11).

Tabela 11. Resultados da análise de amostras de cabelo das localidades ao longo do baixo Madeira com valores em $\mu\text{gHg.g}^{-1}$.

Localidade	[Hg]				n	[Hg]
	Média	D.P.	Mín.	Máx.		Mediana
Calama - RO	9,02	5,78	0,50	22,48	34	8,93
Boa Vitória - RO	13,82	3,10	10,86	17,05	03	13,55
Cujubim - RO	6,30	4,00	1,55	14,67	12	6,65
Firmeza - RO	11,21	2,54	9,40	14,80	04	10,32
Itacoã - RO	11,97	4,33	5,28	16,00	06	13,93
Nazaré - RO	10,65	5,65	0,63	22,60	64	9,53
Papagaios - RO	13,72	7,71	4,76	27,22	13	12,48
Santa Rosa - RO	13,99	3,12	7,68	20,78	19	14,08
São Carlos - RO	9,51	6,36	1,84	22,83	15	8,23
Terra Caída - RO	9,61	3,61	5,01	14,61	07	10,34
Sto Ant.do Pau Queimado - RO	14,69	6,45	5,87	26,86	14	12,48
Puruzinho - AM	14,83	5,59	4,57	28,27	28	14,04
Livramento - AM	36,89	11,99	18,96	63,54	15	36,48
Valparaíso - AM	18,93	17,16	2,98	82,38	21	19,33
Auxiliadora - AM	9,34	6,72	1,12	22,78	34	5,94
Curralinho - AM	19,69	9,42	10,70	34,49	05	18,10
Nazaré do Retiro - AM	17,90	4,21	9,69	24,77	15	18,23
Novos Prazeres - AM	11,90	5,53	2,77	24,28	20	12,44
São Pedro - AM	15,77	6,76	6,61	28,00	14	15,96
Barreira do Manicoré - AM	10,82	6,89	1,45	23,04	09	11,97
Cachoeirinha - AM	14,74	8,77	1,54	37,22	14	12,11
São Lázaro - AM	9,48	8,10	2,50	23,37	06	6,72
Maracá II - AM	11,37	2,74	8,57	15,69	06	10,82
Vista Nova - AM	25,69	3,09	21,40	28,54	04	26,41
Vista Alegre - AM	16,02	5,19	7,28	26,28	17	16,26
Bom Suspiro - AM	16,29	7,39	6,43	30,06	12	15,59
Carará - AM	18,13	9,19	4,18	34,71	39	15,79
Miriti - AM	22,34	10,04	6,70	50,37	16	21,03
São Sebastião (Lago Lúcio) - AM	12,84	4,10	6,61	18,52	17	12,22
Boca do Carapanatuba - AM	10,45	4,76	3,43	19,22	18	9,89
São Sebastião do Tapuru - AM	62,76	30,76	20,43	150,00	18	60,60
Moanenses - AM	12,73	6,06	3,26	20,49	13	14,85

Localidade	[Hg]					[Hg]
	Média	D.P.	Mín.	Máx.	n	Mediana
Três Casas - AM	33,07	23,21	5,62	70,70	09	24,26
Boa Ventura - AM	16,55	10,85	4,73	35,79	07	13,15
Auará Grande - AM	15,97	5,66	6,21	24,98	19	15,48
Fazenda Tabocal - AM	1,00	0,71	0,50	1,50	02	1,00
Remanso - AM	18,16	7,70	8,36	29,02	12	19,75
Arapapá - AM	16,56	3,54	10,43	21,33	07	16,33
Axinim - AM	8,65	5,20	3,27	23,02	13	7,17
Espírito Santo - AM	12,47	4,03	3,51	21,28	18	13,30
Santa Maria - AM	9,28	3,57	6,70	16,84	07	7,55
Caiçara - AM	10,04	4,71	1,94	17,98	23	10,45
Paquiqué - AM	9,23	1,73	7,49	11,57	06	8,99
Uricurituba - AM	9,09	4,25	0,36	19,12	46	9,53
Santa Rosa II - AM	11,65	3,58	5,81	16,89	12	12,03
MÉDIA TOTAL	15,22	9,60	5,99	29,24	713	12,48

Na análise dos formulários respondidos, 660 ribeirinhos citaram 32 espécies de peixes como as mais frequentes em sua alimentação diária. O pacú (*Mylossoma* sp.) foi a mais citada com 23%, assim como jaraqui (*Semaprochilodus ocellaris*) 12%, sardinha (*Triportheus albus*) 10%, curimatã (*Prochilodus* sp.) 7%, branquinha (*Curimata amazônica*) 7% e tambaqui (*Colossoma macropomum*) 5% (Figura 55). Aproximadamente 70% da preferência ribeirinha são de espécies de hábito preferencial não carnívoras.

Embora os questionários não tenham sido formulados com objetivos de uma avaliação da quantidade de peixe consumida diariamente por esses indivíduos, no entanto pode-se inferir que esse consumo é superior a 250g/dia para os adultos e, não menos que 150g/dia para as crianças menores que 12 anos. Tivemos oportunidade de participar de algumas refeições com habitantes das comunidades e pudemos observar que a alimentação é composta somente de peixe e farinha.

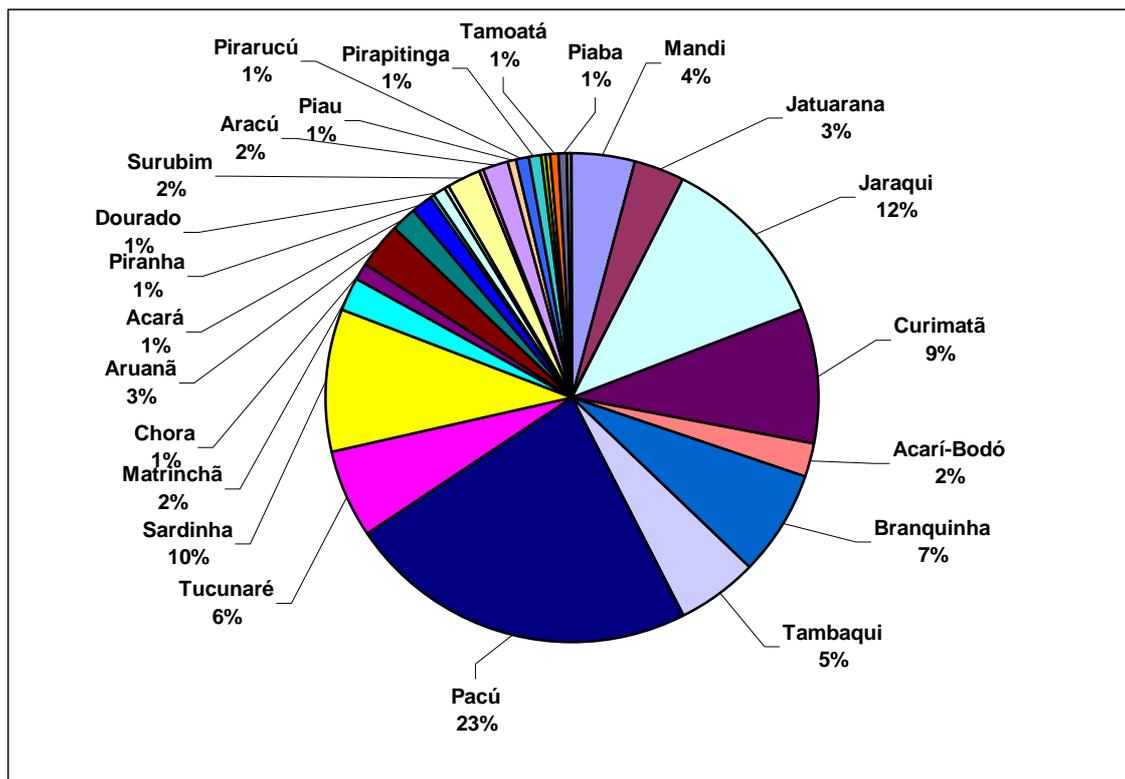


Figura 55. Espécies de peixes percentualmente mais consumidas pelas comunidades ribeirinhas do baixo rio Madeira.

As espécies mais consumidas por essas comunidades estão ligadas à oferta de espécies no momento, pois a cultura dessas populações é a de pescar diariamente, algumas horas antes de consumi-los. Cerca de 78% dessas comunidades consomem peixes duas vezes ao dia sete vezes por semana (Tabela 12), as quais se observa a concentração de Hg mais elevada (Tabela 13).

Tabela 12. Frequência de consumo de pescado das comunidades ribeirinhas ao baixo rio Madeira.

Frequência de Consumo/Semana	Nº. Indivíduos	%
Não Come	05	0,70
Lactente	07	1,00
Uma vez	10	1,50
Duas vezes	26	4,00
Três vezes	49	7,50
Quatro vezes	29	4,40
Cinco vezes	16	2,40
Seis vezes	04	0,60
Sete vezes	512	77,90
Total	658	100

Tabela 13. Concentração média de Hg no cabelo ($\mu\text{gHg.g}^{-1}$) da população ribeirinha ao baixo Rio Madeira em relação ao consumo de pescado (n=658).

Frequência de Consumo/Semana	[Hg] Média	D.P.	Mín.	Máx.	n	Mediana
Não Come	8,74	8,15	1,12	20,90	05	4,73
Lactente	14,48	17,43	3,26	52,15	07	6,94
Uma vez	4,85	3,12	0,50	10,90	10	3,95
Duas vezes	10,99	5,54	2,12	22,83	26	10,80
Três vezes	10,14	7,46	1,03	34,71	49	8,55
Quatro vezes	8,94	6,50	0,36	26,28	29	8,23
Cinco vezes	16,91	13,94	3,51	51,99	16	11,17
Seis vezes	11,77	8,31	4,70	22,18	04	10,11
Sete vezes	16,77	13,70	0,50	150,00	512	14,07

Embora a variedade de espécies de peixes no rio Madeira seja grande, apenas 6 espécies aparecem como as mais representativas na região, tanto no mercado de pesca em Porto Velho, como na preferência das comunidades ribeirinhas. Juntas essas espécies têm representação média de 73% entre a preferência das comunidades ribeirinhas e frequência de entrada no mercado da capital Porto Velho (Tabela 14).

A única espécie que tem grande oferta no mercado de Porto Velho e baixo consumo ribeirinho é a dourada (*Brachyplatistoma flavicans*). É uma espécie nobre e com características de pesca não usual dos ribeirinhos, salvo aqueles que vivem majoritariamente da pesca, e, além disso, tem ótimo valor comercial, o que certamente, venha a fazê-los comercializá-lo ao invés de consumi-lo.

Tabela 14. Espécies de maior consumo das comunidades ribeirinhas e as mais comercializadas na capital Porto Velho.

Espécies	Nome Científico	Mercado Peixe (PV) (%)	Consumo Ribeirinho (%)	[Hg] $\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$	D.P.	n
Branquinha	<i>Curimata amazônica</i>	02	07	0,095	0,045	21
Curimatã	<i>Prochilodus nigricans</i>	29	09	0,083	0,058	25
Dourada	<i>Brachyplatistoma flavicans</i>	18	01	0,477	0,500	03
Jaraqui	<i>Semaprochilodus theraponera</i>	10	12	0,099	0,068	57
Pacú	<i>Mylossoma aureum</i>	14	23	0,046	0,039	23
Sardinha	<i>Triportheus albus</i>	10	10	0,231	0,252	31
Total		83	62			160

Cerca de 66% das pessoas avaliadas foram do sexo feminino (n=480) e 34% do sexo masculino (n=245) e apresentaram valores médios de Hg total de $13,99 \pm 11,71\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$ e $16,71 \pm 14,07\mu\text{g}\cdot\text{g}^{-1}$, respectivamente (Figura 56).

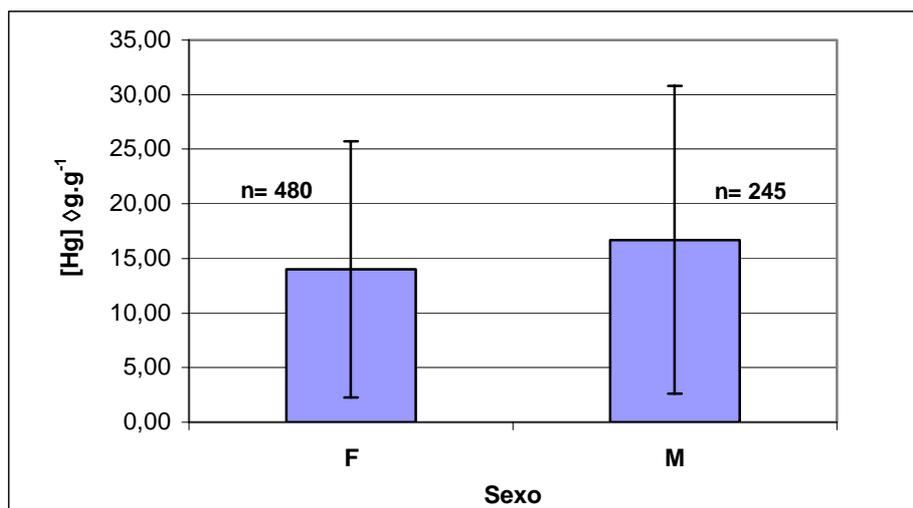


Figura 56. Concentração de Hg no cabelo nas mulheres e homens residentes nas comunidades ribeirinhas do rio Madeira.

Não se encontrou relação entre sete mães e seus respectivos filhos com idade inferiores a 3 anos, com médias de $18,80 \pm 16,70 \mu\text{gHg.g}^{-1}$ e $11,37 \pm 7,32 \mu\text{gHg.g}^{-1}$, respectivamente (Figura 57). Observou-se, em relação à faixa etária, valores mais elevados até os 10 anos de idade; redução dos 11 aos 20 anos; elevação a partir dos 20 até os 60 anos e; novamente reduzindo após os 60 anos; no entanto as médias de Hg em todas as faixas etária foram superiores a $6,00 \mu\text{gHg.g}^{-1}$ (Figura 58).

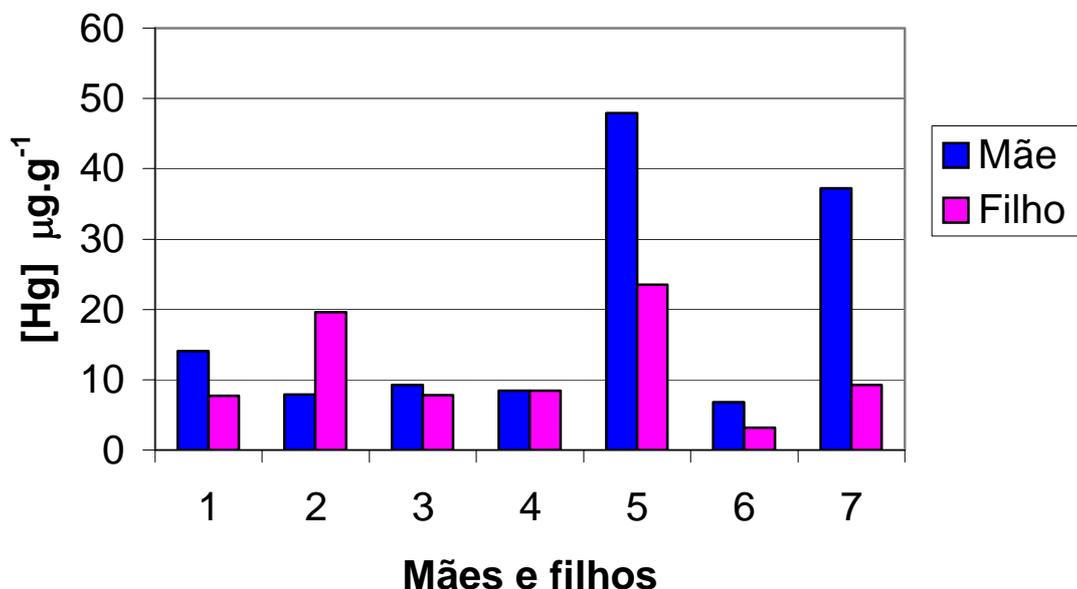


Figura 57. Concentração média de Hg total em cabelos de 7 mães e seus respectivos filhos.

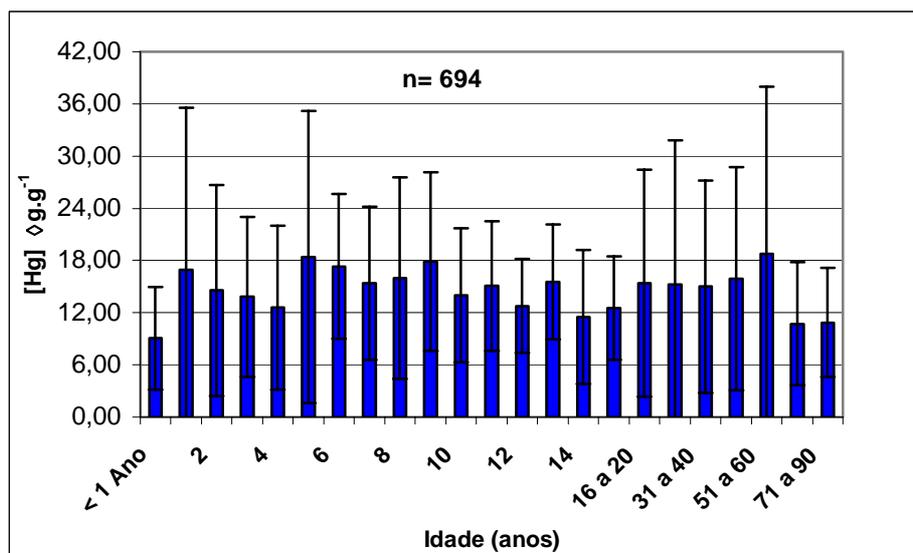


Figura 58. Concentração de Hg no cabelo das comunidades por faixa etária.

Avaliando a comunidade ribeirinha em função de suas atividades profissionais observa-se nos garimpeiros e nos pescadores as maiores médias de Hg, ultrapassando os $20,00\mu\text{gHg.g}^{-1}$ (Figura 60). É importante ressaltar que esses indivíduos que se caracterizaram como garimpeiros são ribeirinhos tradicionais, que hoje atuam na região por terem aprendido a técnica de garimpagem com objetivos de uma renda extra. Sua participação nessa atividade também recebeu uma contribuição, uma delas facilmente identificada, como as coberturas das balsas com palhas de palmeiras, que antes eram cobertas por plásticos azul ou preto pelos garimpeiros convencionais (Figura 59).



Figura 59. Balsa de mineração de ouro com adaptações realizadas pelos ribeirinhos.

Foto: Laboratório de Biogeoquímica Ambiental/UNIR 2003.

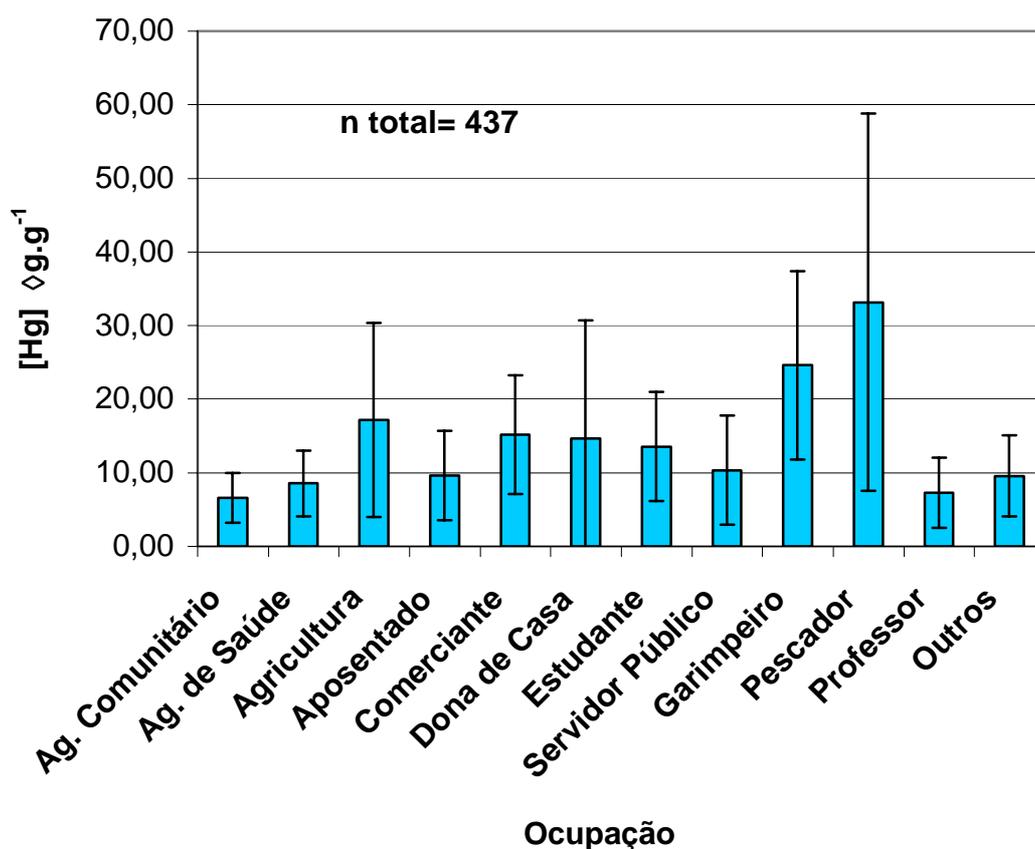


Figura 60. Concentração de Hg no cabelo de indivíduos das comunidades por atividade ocupacional.

A figura 61 revela a distribuição espacial dos isótopos de Hg nas comunidades ribeirinhas apresentando as maiores concentrações entre as cidades de Humaitá-AM e Novo Aripuanã-AM. Este trecho é o de maior potencial piscívoro de todo o rio Madeira o que provavelmente propicie um maior consumo de peixes dessas comunidades.

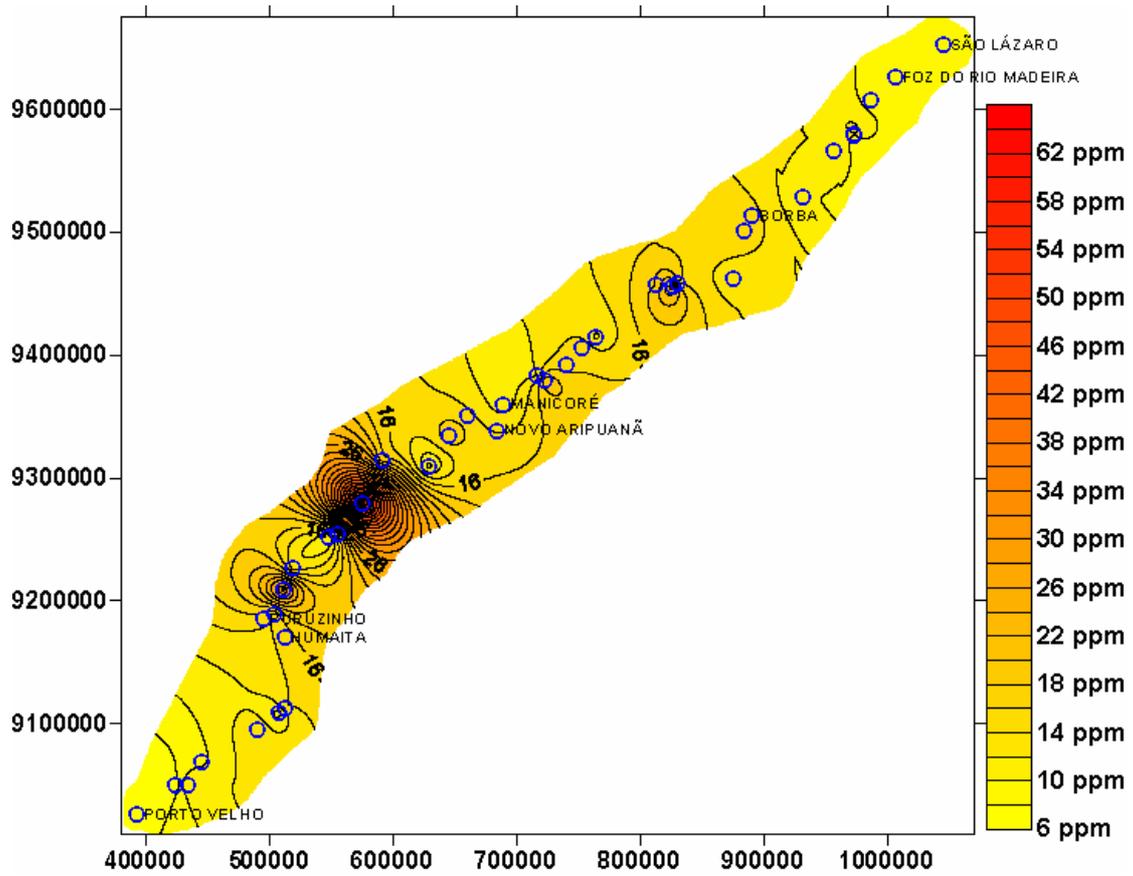


Figura 61. Distribuição espacial dos teores de Hg no cabelo de comunidades do baixo rio Madeira.

7. CONCLUSÕES

Este estudo vem revelar que mesmo com a significativa redução nos lançamentos de Hg proveniente das atividades garimpeira na região, constata-se sua presença na atmosfera da cidade de Porto Velho e no meio aquático da bacia de drenagem do rio Madeira, sobretudo porque essa atividade vem recebendo contribuição da mineração de ouro provenientes do Peru e da Bolívia, bastante ampliada nos últimos 5 anos. Além disso, vem aumentando o aporte da erosão dos solos marginais e das práticas recentes da agricultura, tais como a queimada das florestas e a “corrida da soja” na região.

7.1. Atmosfera

Observou-se que no período das chuvas as amostras do biomonitor apresentaram maiores concentrações de mercúrio que no período de estiagem na cidade. O contrário foi verificado nas amostras expostas em Cachoeira de Teotônio, área afastada do centro de Porto Velho, onde as maiores concentrações foram no período de estiagem, que pode estar relacionado às queimadas, de ocorrência sazonal. Confirmou-se também que 15 dias de exposição da bromeliaceae é um período de boa integração da adsorção/absorção de vapor de Hg para o monitoramento.

7.2. Solos e Sedimentos

Confirmou-se a associação de Hg com matéria orgânica nos solos, embora esse comportamento tenha sido inverso em solos constantemente manipulados, como nos roçados para plantio de banana. A média de Hg no solo em todo o trecho foi próximo ao dobro de Hg nos sedimentos de fundo.

A busca por uma relação do Hg em sedimentos de fundo com outro elemento químico chamou atenção pela relação inversa com Cu. Os metais pesados Fe, Mn, Co, Cr, Pb e Zn não apresentaram correlação com Hg.

As constantes dragagens dos sedimentos depositados no leito do baixo Madeira para viabilização da Hidrovia do Madeira nos períodos de seca associada a grandes empreendimentos, como o projeto hidroelétrico proposto para a calha do rio Madeira, poderão, teoricamente remobilizar o Hg sedimentado no leito do rio.

A hipótese já levantada da origem geológica do Hg na região cada dia fica mais evidente.

7.3. Pescado

Apesar do consumo do pescado ser majoritariamente de espécies não carnívoras, portanto dentro da concentração considerada normal, os ribeirinhos do baixo Madeira apresentam níveis elevados. Muito embora os valores médios de Hg nessa população estejam acima do que recomenda a OMS, aparentemente as pessoas não apresentam e nem reclamam de distúrbios que se possam relacionar aos causados pela presença do Hg. Alerta-se para o fato que esses ribeirinhos tem nas espécies não carnívoras a sua principal dieta, ou seja, os valores acima da média ocorrem pelo elevado consumo. Por esse motivo não se pode concordar com o valor de $1,00 \mu\text{gHg.g}^{-1}$ como limite máximo permitido para consumo para espécies predadoras, regulamentado pela Legislação Brasileira através da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA). Entendemos que esse limite é tolerável para a população urbana com baixa ingestão de pescado ($<30\text{g.dia}^{-1}$), mas não pode ser considerada para a expressiva comunidade ribeirinha Amazônica que chega a ingerir cerca de 500g de peixe por dia.

Sabe-se que o pescado é o principal vetor da entrada de Hg nas comunidades ribeirinhas, e, graças a esta importante fonte protéica observa-se comunidades aparentemente saudáveis, embora as verminoses e a exposição à malária sejam, a princípio, os maiores problemas de saúde, principalmente para as crianças.

As espécies com hábito alimentar preferencial carnívoras, pelo fenômeno da biomagnificação, vêm apresentando os maiores teores de Hg nos espécimes de maiores massa, comportamento que não se observa para as espécies omnívoras, detritívoras e herbívoras. A espécie *Serrassalmus rhombeus* (piranha preta) demonstrou ser a mais indicada para se relacionar com a massa, juntamente com a *Pinirampus pirinampu* (barba-chata), embora não se possa ignorar a sazonalidade, ou seja, essa relação não funcionará comparando espécimes coletadas em períodos variados.

7.4. População

Cerca de 36% das comunidades ribeirinhas ao baixo rio Madeira avaliadas, todas dentro do estado do Amazonas, apresentam valores médios de Hg no cabelo elevados e, portanto preocupantes, baseado nos índices recomendados pela OMS, pois são

superiores a $15,00 \mu\text{g.g}^{-1}$, valores considerados capazes de apresentar sintomas da toxicologia do Hg, embora isto não tenha sido observado neste estudo. A orientação para que essas comunidades priorizem se alimentar das espécies de peixes não carnívoras não promoveria grandes efeitos, pois a maioria deles assim já o faz. Entretanto, o alerta para grupos e em períodos mais susceptíveis a preferência a estes peixes críticos fosse aconselhável. Obteve-se neste estudo um expressivo banco de dados de matrizes ambientais e humanas no baixo rio Madeira, que estará sendo disponibilizado nos *site* <http://www.biogeoquimica.com.br>.

8. RECOMENDAÇÕES

Embora existam apenas 5 lojas de comercialização de ouro na cidade de Porto Velho, recomenda-se que sejam adaptados nas capelas exaustoras das lojas sistemas de retenção de vapores de Hg.

Este trabalho aponta algumas localidades que se destacam em seus níveis médios mais elevados, as quais consideramos populações críticas à exposição ao metilmercúrio, muito embora não tenha sido identificado nenhum caso que possa caracterizar o “Mal de Minamata”.

Portanto, entendemos haver necessidade de se fazer estudos localizados (estudo de caso) associando um estreito estudo dos parâmetros ambientais nas proximidades de comunidades selecionadas, assim como estudos de alterações neuro-comportamentais em algumas comunidades. Paralelamente, estudar a dieta dessa comunidade quantificando o elemento selênio nos alimentos consumidos, principalmente nas frutas.

Para estudos futuros indicamos a localidade de Puruzinho-AM, próximo a cidade de Humaitá-AM; embora não seja uma das comunidades que esteja entre as de médias mais altas, é uma comunidade que temos mais informações, de relativo acesso fácil (na Amazônia a logística é extremamente importante, principalmente nos estudos continuados).

Recomenda-se também:

- Ampliar o acesso ao Sistema Único de Saúde;
- Ampliar ações de extensão universitária;
- Planejar ações conjuntas, via Organização Panamericana de Saúde (OPAS), com a Bolívia e Peru.

9. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAMY, A. & ROMANINI, S. J. Geologia da região de Porto Velho-Abunã. Brasília, Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM/Companhia de Pesquisa e Recurso Mineral - CPRM. **Programa de Levantamentos Geológicos Básicos do Brasil**, Folhas Porto Velho, Mutum-Paraná, Jacy-Paraná e Abunã. 1990.

AMARAL, G. Províncias Tapajós e Rio Branco. In: ALMEIDA, F. F. M. & HASUI, Y. eds. O Pré-cambriano do Brasil. São Paulo, **Edgard Blucher**. p. 6 - 35. 1994.

AMARAL, B. D. **Manejo e Conservação dos Recursos Pesqueiros nos Tributários da Bacia do Alto rio Juruá. Estudo de Caso: a Reserva Indígena Ashaninka/Kaxinawá, rio Breu, Acre, Brasil/Peru**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo, São Carlos. 1998.

ARAÚJO, A. M. **Brasil, Histórias, Costumes e Lendas** - São Paulo: Editora Três, 2000.

ATSDR – Agency for Toxic Substances and Disease Registry. **Toxicological Profile for Mercury**. U.S. Department of Health & Human Services. Public Health Service, 1999.

BAKIR, F.; DAMLUJI, S. F. & AMIN-ZAKI, L., 1973. Methyl mercury poisoning in Iraq. **Science**, 181: 230-241. 1973.

BASTOS, J. B. S. Principais depósitos minerais brasileiros, VOL. III PP.575-580. **DNPM**. 1988.

BASTOS, W.R.; MALM, O.; PFEIFFER, W.C. & CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon-Brasil. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, V.50(4), 255-260. 1998.

BASTOS, W.R. & SILVEIRA, E.G. **Avaliação da contaminação ambiental e humana por mercúrio na bacia do rio Madeira – RO**. Relatório Técnico de atividades referente ao período 2001/2002 enviado para as Secretarias do Meio

Ambiente e de Saúde do Estado de Rondônia, Fevereiro, 37p. 2003.

BASTOS, W.R.; FONSECA, M.F.; PINTO, F.N.; REBELO, M.F.; SANTOS, S.S.; SILVEIRA, E. G.; MALM, O. & PFEIFFER, W.C. Mercury persistence in indoor environments in the Amazon Region. **Environmental Research**. Vol 96/2, p.235-238, 2004.

BERNARDI, J.V.E. **Estudo quantitativo da estrutura de vegetação do Parque Estadual da Ilha do Cardoso, SP**. Tese de Doutorado ao Instituto de Geociências e Ciências Exatas da Universidade Estadual Paulista, Campus de Rio Claro, 174p. 2001.

BERNARDI, J.V.; FOWLER, H.G. & LANDIM, P.M.B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. **Holos Environment**. Unesp/Rio Claro, 2(1):162 – 172. 2001.

BETTINELLI, M.; PEROTTI, M.; SPEZIA, S.; BARN, C.; BEONE, G.M.; ALBENCI, F.; BERGONZI, S.; BEUMEM, C.; CANTARINI, P. & MASCETTI, L. The role of analytical methods for the determination of trace elements in environmental biomonitors, **Microchemical Journal** 73, 131-152. 2002.

BOISCHIO, A. A. P. **Human ecology of the riverine people (caboclos or ribeirinhos) along the upper Madeira River with focus on mercury pollution through fish consumption**. Tese de Doutorado, Indiana University – School of Public and Environmental Affairs. 283pp. 1996.

BOISCHIO, A.A.P. & HENSHEL, D. Fish consumption, fish lore, and mercury pollution – Risk communication for the Madeira River people. **Environmental Research**, section A 84, 108-126. 2000.

BOURGOIN, L.M.; QUIROGA, I; CHINCHEROS, J. & COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira Rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **The Science of the Total Environment**, 260, 73-86. 2000.

BRASIL. **Projeto RADAM Brasil: Geologia, Geomorfologia, Pedologia, Vegetação, Climatologia**. Folhas SC-20 Porto Velho e Folhas SB-19 Purus. Brasília: IBGE. 1978.

BRASIL. **Ministério da Saúde**. Diretrizes e normas regulamentadoras de pesquisa envolvendo seres humanos. Brasília. 1997.

CALASANS, C.F. **Utilização de *Tillandsia usneoides* como bioindicador da contaminação atmosférica por mercúrio**. Dissertação de Mestrado - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho, Universidade Federal do Rio de Janeiro. 101pp. 1994.

CÂMARA, V. M.; SILVA, A. P; CANCIO, J. A. **Notas para a construção de um programa de vigilância ambiental dos riscos e efeitos da exposição do mercúrio metálico em áreas da produção de ouro. Informe epidemiológico do SUS**. ano VII, N. 2, ABR./JUN. 1998.

CANO, S.E. Toxicología del mercurio. Actuaciones preventivas en sanidad laboral y ambiental. **Jornada Internacional sobre el impacto ambiental del mercurio utilizado por la minería aurífera artesanal en IberoAmérica**. Lima, Peru. 2001.

CARVALHO NETO, D. **Extração de Cassiterita e Ouro em Rondônia. Relatório técnico para o Departamento Nacional de Pesquisas Minerais (DNPM-RO)**. 1998.

CONAMA. RESOLUÇÃO Nº 20, de 18 de junho de 1986, Publicado no D.O.U. de 30/07/86. 1986.

CORREA, M.T. Ribeirinhos do Madeira. **Primeira Versão**, ISSN 1517-5421, Ano I, Nº 95 - Maio - PORTO VELHO. 2002.

DNPM-MME. **Garimpos do Brasil**. Avulso Número 05; 378p. 1983.

D'ITRI, P. A. & D'ITRI, F. M.. Mercury contamination: A human tragedy. **John Wiley & Sons**, New York. 1977.

ESTEVES, F.A. **Fundamentos de Limnologia**, 2^a. ed, Rio de Janeiro: Interciência. 1998.

FONSECA, M.F. **Calibração do Biomonitor *Tillandsia usneoides* (L.), Bromeliaceae, para avaliação ambiental e ocupacional de Hg Atmosférico**. Dissertação de Mestrado no Instituto de Biofísica C.C.F^o. da UFRJ. 186p. 2002.

FONSECA, M.F.; BASTOS, W.R.; REBELO, M.F.; PINTO, F.N.; TORRES, J.P.M.; MALM, O. & PFEIFFER, W.C. Atmospheric Hg biomonitoring by a tropical chloralkali plant. - A continuous assessment of the occupational and environmental risk by using *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae). (Submitted). 2004.

GALI, P.A.S. **Contaminação mercurial em peixes carnívoros do rio Madeira, Jacypará e Jamari – Rondônia**. Monografia de bacharelado apresentada ao Departamento de Geografia da Fundação Universidade Federal de Rondônia. 57pp. 1997.

GALVÃO, L.A.C. & COREY, G. Mercúrio. Centro Panamericano de Ecologia Humana y Salud. **Serie Vigilancia** (OPS/OMS), nº7. 1987.

GRANDJEAN, P. Application of neurobehavioral methods in environmental and occupational health - Symposium Synthesis. **Environmental Research**. 60:57-61. 1993.

GUYTON. **Fisiologia Humana**, 6ª ed., Rio de Janeiro, Guanabara. 1988.

HACON, S.S., ROCHEDO, E.R.R., CAMPOS, R.C., ROSALES, G. AND LACERDA, L.D. Risk assessment of mercury in Alta Floresta, Amazon basin - Brazil. **Water, Air & Soil Pollution**, 97, 209-216. 1997.

HORVAT, M.; LIANG, L.; AZEMARD, S.; MANDIÉ, V.; VILLENEUVE, J.-P. & COQUERY, M. Certification of total mercury and methylmercury concentrations in mussel homogenate (*Mytilus edulis*) reference material, IAEA-142. **Fresenius Z. Anal.Chem**, 358:411-418. 1997.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Geografia do Brasil**. Volume 3 – Região Norte. Diretoria de Geociências, MEFP, Rio de Janeiro. 1991.

IBGE; IBDF. **Mapa da Vegetação do Brasil**. Brasília : IBGE; IBDF (Mapa físico, Escala 1:5.000.000). 1993.

IBGE, 2002. **Tabulação avançada do censo demográfico 2000: resultados preliminares da amostra**. IBGE: Rio de Janeiro. 2002.

IPCS (International Programme on Chemical Safety). Methylmercury. Environmental Health Criteria – 101. Geneva: **World Health Organization**. 144p. 1990.

ISAAC, V. J.; BARTHEM, R. B. Os Recursos Pesqueiros da Amazônia Brasileira. **MPEG**. **11 (2)**. pp 295-399. 1995.

KINJO, Y.; NAKANO, A.; SAKAMOTO, M.; FUTATSUKA, M. & KATO, H. Clarification of mortality patterns among Minamata disease patients. **Environmental Sciences**. 1-2:73-88. 1991.

KOMYO, E.; OYANAGI, S.; ITAI, Y.; TOKUNAGA, H.; TAKIZAWA, Y. & SUDA, I. Pathological Findings on a Fetal type of Minamata Disease. In: **Proceedings of the international Symposium on “Assessment of Environmental Pollution and Health Effects from Methylmercury”**. Kumamoto. 242pp. 1993.

KUHLMANN, E. Noções de Biogeografia. **Boletim Geográfico**. Ano XXXV, n. 254, pp. 48-111. 1977.

LACERDA, L.D. Amazon mercury emissions. **Nature**, 374, 20-21. 1995.

LACERDA, L.D.; MALM, O.; GUIMARÃES, J.R.D.; SALOMONS, W. & WILKEN, R.D. Mercury and the new gold rush in the South In: **Biogeochemistry of Pollutants in soils and Sediments**. (Salomons, W; Stigliani, W.M., Eds), pp 213-245, Springer Verlag, Berlin/Germany. 1995.

LACERDA, L.D. Global emissions of mercury from gold and silver mining. **Water, Air & Soil Pollution**, 97, 209-221. 1997.

LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. **Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb**. Springer Verlag, Berlin, 146p. 1998.

LACERDA, L. D., REZENDE, C. E., OVALLE, A. R. C., CARVALHO, C. E. V. Mercury distribution in continental shelf sediments from two offshore oil fields in southeastern Brazil. **Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology**. Springer Verlag, Berlin. v.72, n.1, p.178 – 185. 2004.

LANDIM, P.M.B. **Análise estatística de dados geológicos**. Editora da Fundação Estadual de São Paulo (FEU), SP, 226p. 1997.

LAYBAUER, L. & ORTIZ, L. S. Absorção de metais pesados por *Eichornia Azurea* nas Minas de Camaquã, Rio Grande do Sul, Brasil. Porto Alegre: UFRGS, p. 35-53. 1999.

LINHARES, D.P.; BASTOS, W.R. & SILVEIRA, E.G. Mercúrio em sólidos em suspensão no rio Madeira. **PIBIC/CNPq/RO**. 2004.

LODENIUS, M. & MALM, O. Mercury in the Amazon. **Rev Environ Contam Toxicol** 157:25-52. 1998.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; BASTOS, W.R. & SOUZA, C.M.M. Utilização do Acessório de Geração de Vapor Frio para Análise de Mercúrio em Investigações Ambientais por Espectrofotometria de Absorção Atômica. **Ciência e Cultura**, 41 (1), p. 88-92. 1989.

MALM, O. **Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do rio Madeira, Amazônia**. Tese (Doutor em Ciências) - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1991.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C. & SOUZA, C.M.M. Main pathways of mercury in the Madeira River area, Rondonia, Brazil. In: **Proc 8th Intern Conf Heavy Metals in the Environment**, pp: 515-518, Edingburgh/UK. 1991.

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

MALM, O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**. Section A. 77, 73-78. 1998.

MARINS, R.V., IMBASSAY, J.A., PFEIFFER, W.C. & BASTOS, W.R. Contaminação atmosférica de mercúrio em area produtora de ouro no distrito de Poconé, Mato Grosso,

MT. **Proc. I Inter. Simp. Environm. Studies Tropical Forest**. Manaus, 1, 199-203. 1991.

MARINS, R.V. & TONIETTO, G. An evaluation of the sampling and measurements techniques of mercury in the air. In: **Proc. 5th Brazilian Geochemical Congress**, Niterói, Analytical Geochemistry Section, 1, 1-4. 1995.

MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, J.R.; FORSBERG, B.R. & VICTORIA, R.L. Mercury contamination in the Amazon: A gold rush consequence. **Ambio** 17, p. 252-254. 1988.

MELO, D. P; COSTA, R. C. R; NATALI FILHO, T. **Geomorfologia**. In: BRASIL. Departamento Nacional da Produção Mineral. Projeto RADAM. Folha SC.20 Porto Velho. Rio de Janeiro. 668p. (Levantamento de Recursos Naturais 16).p. 187 - 250. 1978.

NRIAGU, J.O. Mercury pollution from the past mining of gold and silver in the Americas. **The Science of the Total Environmental**, 149, 177-182. 1994.

PETRERE Jr., M. **As comunidades humanas ribeirinhas na Amazônia e suas transformações sociais**. In Diegues (ed). IV Encontro de Ciências Sociais e o mar no Brasil: Populações humanas, Rios e Mares da Amazônia. PPCAUB-USP, SP. pp. 31-68. 1992.

PETRI S. & FULFARO, V.J. **Geologia do Brasil**, São Paulo, Universidade de São Paulo Ed., 632 p. 1983.

PFEIFFER, W. C & LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. **Environmental Technology Letter**, London, 9-p. 325-350. 1988.

PILOT, D. F. & HUNGLER. B. P. **Fundamentos de pesquisa em enfermagem**, 3^a ed. Porto Alegre, Artes Médicas, 391p. 1995.

RONDÔNIA. **Diagnóstico sócio-econômico do Estado de Rondônia e assistência técnica para formulação da segunda aproximação do zoneamento sócio-**

econômico-ecológico – Climatologia, v.1. Governo de Rondônia/PLANAFLORO, Porto Velho, Brasil, 401p. 1998.

RONDÔNIA. **Conselho regional de enfermagem de Rondônia**. Legislação Porto Velho. 2000.

RONDÔNIA. Secretaria do Estado do Desenvolvimento Ambiental (SEDAM), **Boletim Climatológico de Rondônia**, Porto Velho, 22p. 2001.

SANTOS, G. M.; FERREIRA, E. J. G. & JEGU, M. **Catálogo dos Peixes do Rio Jamari, Rondônia**. Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia/INPA. Manaus, Amazonas. 123p. 1991.

SANTOS, S.S.; SILVEIRA, E.G. & BASTOS, W.R. Avaliação da contaminação atmosférica por mercúrio através do biomonitor *Tillandsia usneoides* (bromeliaceae). **X Seminário de Iniciação Científica no Campus da Universidade Federal de Rondônia** (PIBIC/CNPq), Porto Velho, Rondônia, Rondônia, 02 a 06 de julho, p.67-68. 2001.

SEDAM. **Atlas Geoambiental de Rondônia**. Porto Velho: SEDAM, , p.V2. 2002.

SILVA, A.P. Coleta de amostras em solos, sedimentos e águas de ambientes impactados por mercúrio para monitoramento ambiental. **Série vigilância 12**, p.99-105. Metepec, México, Centro Pan-americano de Ecologia Humana e Saúde, ECO/OPS/OMS. 1993.

SILVA, A. P. **Mercúrio em ambientes aquáticos de Poconé/MT**. São Paulo. 118p. Tese de Doutorado - Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo. 1996.

SILVA, G.S.; SILVEIRA, E.G. & BASTOS, W.R. Avaliação da contaminação atmosférica e humana por mercúrio na cidade de Porto Velho. **XI Seminário de Iniciação Científica no Campus da Universidade Federal de Rondônia** (PIBIC/CNPq), Porto Velho, Rondônia, Rondônia, 08 a 11 de julho, p.296-301. 2002.

SILVEIRA, E.G. & NUNES, D.D. **Impacto ambiental por Mercúrio em peixes no rio Madeira-RO e afluentes: rios Jacy-Paraná e Jamari**. Relatório técnico para Secretaria de Desenvolvimento Ambiental de Rondônia (SEDAM). 30p. 1997.

SILVEIRA, E. G. **Mobilização do mercúrio e outros elementos entre as cachoeiras de Teotônio e Santo Antônio no rio Madeira/RO**. Tese de Doutorado, Instituto de Geociências – UNESP/Rio Claro. 1998.

SOUZA, S.T.B. **Recursos pesqueiros no Mercado de Porto Velho: Estrutura das comunidades e características biológicas das cinco espécies de peixes mais exploradas no mercado Cai N'Água**. Monografia a Universidade Federal de Rondônia, 59p. 2002.

SOUZA, R.S. & ARAÚJO, L.M.N. **Análise geoambiental preliminar da Hidrovia do Rio Madeira-Amazônia, Brasil**. Relatório do Serviço Geológico do Brasil da CPRM. 16p. 2002.

TEIXEIRA, M.A.D. & FONSECA, D.R. **História Regional de Rondônia**. ABG Gráfica e Editora, Porto Velho-RO. 2^a. Edição. 231p. 2001.

THORNTON, I.; CLEARY, D. & WORTHINGTON, S. Mercury contamination in the Brazilian Amazon. **A cooperative Research study conducted by Gedebam, Brazil e Sol 3** (Switzerland and Luxemburg), p. 45. 1992.

TRINDADE, R.B.E. & BARBOSA FILHO, O. **Extração de Ouro - Princípios, Tecnologia e Meio Ambiente**. ISBN 85-7227-150-3. Editores CETEM/MCT & PUC-RJ 322 p. 2002.

TUNDISI, J.G. **Água no século XXI: Enfrentando a Escassez**. Editora RIMA, IIE, 248p. 2003.

WHO. Environmental Health Criteria. 1. Mercury. **World Health Organization, Geneve, Switzerland, 1-131. 1976**.

WHO. IPCS (International Program on Chemical Safety). **Inorganic Mercury - Environmental Health Criteria**, 118. Geneva: World Health Organization, 168 p. 1989.

10. APÊNDICE

1. Termo de Consentimento e Formulário Sócio-Ambiental

2. Artigos Resultantes

Artigo 1. Analysis of laboratory intercomparison data. A matter of independence.

Mauro de Freitas Rebelo; José M. Monserat & **Wanderley Rodrigues Bastos**. *Química Nova* ISSN 0100-4042, May/June 2003, vol.26, n^o.3, p.417-419.

Artigo 2. Mercury persistence in indoor environments in the Amazon region, Brazil.

Wanderley Rodrigues Bastos; Márlon de Freitas Fonseca; Fernando Neves Pinto; Mauro de Freitas Rebelo; Sérgio Silva Santos; Ene Glória da Silveira; Olaf Malm & Wolfgang Christian Pfeiffer. *Environmental Research*. 2004. Vol 96/2 pp 235-238.

Artigo 3. A brief descriptive study of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil.

Wanderley Rodrigues Bastos; Mauro de Freitas Rebelo; Márlon de Freitas Fonseca; Daniele Braga Brasil; Ene Glória da Silveira; João Paulo Machado Torres; Olaf Malm & Wolfgang Christian Pfeiffer. **A ser submetido à Química Nova.**

Artigo 4. Assessment of occupational exposure to mercury in a Brazilian chlor-alkali plant using the Spanish moss *Tillandsia usneoides* L. (Bromeliaceae).

Márlon de Freitas Fonseca, M.F.; **Wanderley Rodrigues Bastos**; Mauro de Freitas Rebelo; Fernando Neves Pinto; João Paulo Machado Torres; Olaf Malm & Wolfgang Christian Pfeiffer. **A ser submetido.**

Artigo 5. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, western Amazon, Brazil.

Marcelo Domingues Almeida; Luiz Drude de Lacerda; **Wanderley Rodrigues Bastos** & Herrmann, J.C. **A ser submetido à Environmental Pollution/2004.**

Artigo 6. O Mercúrio no Rio Madeira: Uma Breve Revisão.

Wanderley Rodrigues Bastos & Luiz Drude de Lacerda. **A ser submetido à Geochemistry Brasiliensis/2004.**

Artigo 7. An interdisciplinary study in the model riparian community of Puruzinho Lake, Amazon: Um estudo interdisciplinar na comunidade ribeirinha

modelo do Lago do Puruzinho, Amazônia. Márton de Freitas Fonseca, **Wanderley Rodrigues Bastos**, Mauro de Freitas Rebelo, João Paulo Machado Torres, José Vicente E. Bernardi, Antônio Azeredo, Giselle Cavalcante Saldanha, Ronaldo C. Oliveira, Ronaldo Almeida, Ene Glória da Silveira & Olaf Malm. **Enviado para** Environmental Neuroscience/2004.

Artigo 8. Análise espacial das concentrações mercúrio em sedimentos de fundo do Lago Puruzinho/Amazônia, Brasil. Ronaldo Almeida, **Wanderley Rodrigues Bastos**, José Vicente Elias Bernardi, Ronaldo Cavalcante Oliveira, Márton Freitas Fonseca, Luiz Drude de Lacerda & Ene Glória da Silveira. Em fase de conclusão.

Artigo 9. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River basin, Amazon, Brazil. **Wanderley Rodrigues Bastos**; João Paulo Oliveira Gomes; Ronaldo Cavalcante Oliveira; Ronaldo Almeida; Elisabete Lourdes Nascimento; José Vicente Elias Bernardi, Luiz Drude de Lacerda, Ene Glória da Silveira & Wolfgang Christian Pfeiffer. **Enviado a** The Science of the Total Environmental.

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

PROJETO: OCORRÊNCIA AMBIENTAL DO MERCÚRIO E SUA PRESENÇA EM POPULAÇÕES RIBEIRINHAS DO BAIXO RIO MADEIRA-AMAZÔNIA.

Estou sendo orientado (a) com relação ao estudo que está sendo realizado pela equipe de pesquisadores do Laboratório de Biogeoquímica/UNIR e do Instituto de Biofísica/UFRJ, que tem como objetivo avaliar os teores de mercúrio no cabelo (será coletado por uma enfermeira da equipe). Esta coleta não terá nenhum risco para os participantes. No estudo também será aplicado um formulário com perguntas de relevância para a avaliação da contaminação por mercúrio.

É de grande importância o estudo de populações ribeirinhas, pois pode ocorrer intoxicação via ingestão de peixe contaminado, assim como os trabalhadores expostos ao vapor de mercúrio. O grupo de estudo, acima mencionado, compromete-se a utilizar as amostras coletadas e os dados obtidos exclusivamente para fins científicos, mantendo total sigilo da identificação dos participantes deste estudo.

Porto Velho,.....de.....de 2004.

MSc. Wanderley Rodrigues Bastos

Pesquisador do LABIOGEOQ – UNIR Tel.: 2182-2122

Estou ciente sobre a minha participação nesta pesquisa, mediante a informação completa sobre a mesma, e também tendo liberdade de desistir de minha participação no momento que desejar. Concordo com o que está discriminado acima, autorizando minha participação neste estudo na condição de que os resultados obtidos sejam utilizados apenas para fins de publicação no âmbito da pesquisa, e que seja garantido o sigilo de minha identificação.

Porto Velho,.....de.....de 2004.

Assinatura do participante da pesquisa: _____

DIAGNÓSTICO SÓCIO ECONÔMICO E ALIMENTAR

Identificação Pessoal:

Nome: _____

Data de Nasc.: _____ Naturalidade: _____

Idade: _____ Sexo: _____ Altura : _____ Peso: _____

Ocupação: _____ Grau de escolaridade: _____

Local de moradia: _____

Tempo de residência: _____ Moradia anterior: _____

Trabalhou no garimpo? _____ Quanto tempo e quando? _____

Tipo de atividade: _____ Fuma? _____ Bebe? _____

Já teve malária? _____ Quantas vezes? _____

Já teve algum aborto? _____ Quando? _____ Provocado ou natural? _____

Tem algum filho com problemas? _____ Qual? _____

Dieta principal: _____

Quantas refeições de peixe por semana? _____

Espécies mais freqüentes? _____

Núcleo Familiar:

Cônjuge: _____

Data de nascimento: _____ Ocupação: _____

Quantos filhos? _____ Malária(S/N) quantas? _____

Moradia:

Paredes? _____ Cobertura? _____

Tem fossa? _____ Se não, qual o destino das fezes? _____

Tem poço d'água? _____ Qual a profundidade? _____

Água encanada? _____ Faz algum tipo de tratamento de água? _____

Qual? _____

Qual o destino do lixo doméstico? _____