

## RELATÓRIO 3º. TRIMESTRE AVALIAÇÃO AMBIENTAL

# Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais Pesados no Rio Madeira - UHE Santo Antônio -

Coordenação: Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos ([bastoswr@unir.br](mailto:bastoswr@unir.br))

### **Equipe Ambiental:**

MSc. Ronaldo de Almeida (UNIR/UFRJ)  
MSc. Elisabete Lourdes Nascimento (UNIR/UFRJ)  
MSc. Márcio Rodrigues de Miranda (UFRJ)  
MSc. Joiada Moreira da Silva (UNIR)  
Biol. Roberta Carolina F. Galvão (UNIR)  
Biol. Dário Pires de Cavalho (UNIR)  
Biol. Igor Bruno Barboza de Holanda (UNIR)  
Biol. Marília Higino Mussy (UNIR)  
Biol. Maria Thereza Souza Bastos (UNIR)  
Biol. Ricardo José Bastos Guimarães (UFRJ)  
Biol. Levi Ribeiro de Amorim (UFRJ)  
Quím. Leidiane Caroline Lauthartte (UNIR)  
Charlliene Lima da Silva (UNIR)  
Francisco Martho Nogueira Militão Junior (UNIR)  
Lucilene de Moraes Nóbrega (RIOMAR/UNIR)

<http://www.biogeoquimica.unir.br>

**Dezembro/2009**

## 1. APRESENTAÇÃO

O presente relatório, referente ao 3º. Trimestre do contrato UNIR/RIOMAR/MESA 005/2009, tem por objetivo apresentar os resultados parciais das concentrações de metais pesados nas amostragens (bióticas e abióticas) realizadas no período de Outubro/Novembro/Dezembro de 2009 (T3). Apresentar também os resultados parciais das concentrações de mercúrio (Hg) nos sedimentos da 3ª. coleta no Canteiro de obras da AHE - Santo Antonio, realizada em Novembro/2009. Informar também a etapa em que se encontram as análises referentes aos outros elementos traço, assim como apresentar o cronograma de campo para o próximo trimestre (4º. Trimestre).

As atividades realizadas tiveram como objetivo coletar e analisar as amostras abióticas (perfis de sedimentos de fundo, material particulado e solos) e bióticas (plânctons, macrófitas e invertebrados aquáticos) e medidas de taxa potencial de metilação nas áreas indicadas no PBA Santo Antônio.

Após última reunião com o Coordenador do Meio Biótico Aloisio as amostras de tecido de peixes passaram a ser coletadas em conjunto com o Programa de Ictiofauna e estão sendo armazenadas nos freezers do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental/UNIR, portanto para o 4º. Relatório resultados serão apresentados.

A amostragem compreende o estudo de mercúrio (Hg), além de outros elementos químicos (Fe, Zn, Cd, Cr, Cu, Mn, Co, Ni e Pb), nas matrizes bióticas e abióticas que continuam em processo de análises no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer/UNIR. Todas essas atividades em cumprimento ao que dispõe a LICENÇA PRÉVIA Nº 251/2007 nos itens 2.7 e 2.8 relacionado ao estudo Hidrobiogeoquímica do Mercúrio no Rio Madeira - UHE Santo Antônio.

Todas estas atividades mencionadas serão realizadas para estabelecer parâmetros de comparação na medida em que houver mudança na dinâmica do mercúrio e outros elementos químicos logo após o início das obras do empreendimento. Desta forma apresentamos as principais atividades e resultados obtidos no 3º. Trimestre desse projeto de pesquisa, iniciado em Março/2009.

## Consolidação dos Dados

A seguir são apresentados resultados do monitoramento Hidrobiogeoquímico referente ao 3º. Trimestre (Outubro/Novembro/Dezembro 2009) (T3).

## Solos

A caracterização desta matriz com a identificação da geometria dos volumes e horizontes em diferentes escalas servirá para identificar a gênese do solo, principalmente nos horizontes subsuperficiais, associando tipo de solo com a concentração de elementos traço e delimitando valores mais próximos do *background* natural.

Em conformidade com o projeto de instalação, a área do reservatório da Usina Hidrelétrica Santo Antonio (UHE - Santo Antonio) será de 271 km<sup>2</sup> sendo 161 km<sup>2</sup> área de inundação natural de acordo com a sazonalidade regional e 110 km<sup>2</sup> a área que irá se incorporar a este processo de inundação. Os processos de inundações nos solos alteram o equilíbrio dos elementos químicos e dos compostos dos solos e, conseqüentemente resultam nas mudanças de parâmetros físicos, químicos e biológicos podendo influenciar nos processos de sorção e desorção de íons (Lima *et al*, 2005).

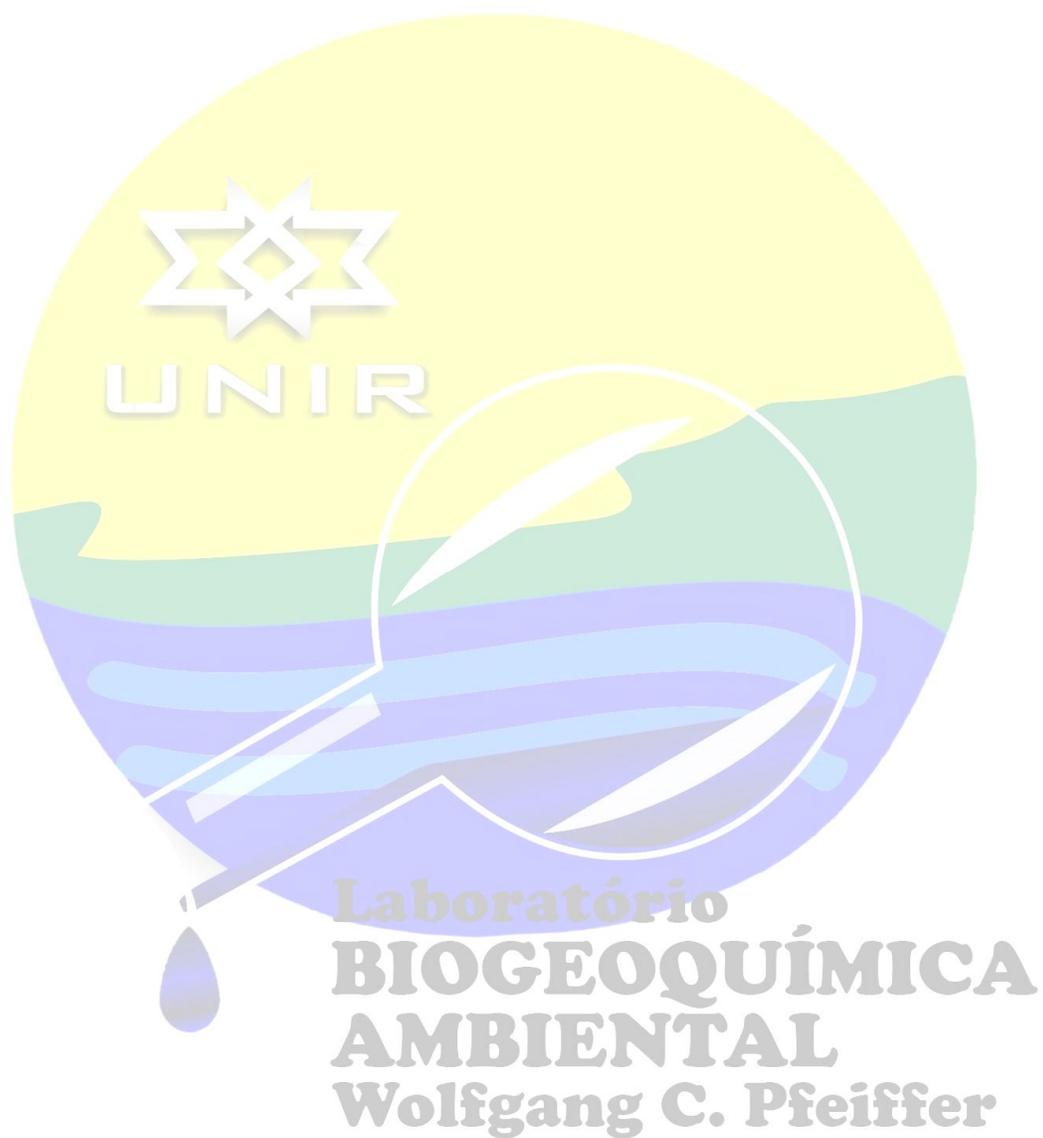
A área em estudo, localiza-se a montante da construção da barragem da UHE Santo Antonio a 10 km da cidade de Porto Velho, e a jusante. De acordo com o plano de trabalho e seguindo as diretrizes do Projeto Básico Ambiental Santo Antonio (PBA- Santo Antonio), as estações de coletas foram definidas seguindo o mapa pedológico disponível para área do PBA – Santo Antonio, considerando as diferentes unidades pedológicas e sendo distribuídos estações de monitoramento de solo as margens do rio Madeira e seus principais afluentes (Figura 1).

A amostragem dos perfis verticais de solo foi realizada no período de 28/08/2008 a 19/09/2008 para caracterização no período de pré enchimento seguindo protocolo estabelecido no Manual de Descrição e Coleta de Solos no Campo, desenvolvido por Santos *et al* (2005), recomendado pela Sociedade Brasileira de Ciências do Solo – SBCS e Centro Nacional de Pesquisa de Solo da EMBRAPA.

Os pontos de coleta foram georeferenciados utilizando receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS, modelo GARMIN's<sup>®</sup>, modelo GPS 12 XL Personal Navigator<sup>™</sup>.

Após a coleta no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental/UNIR, as amostras de solos passaram por um processo gravimétrico de separação (peneiração a úmido), reduzindo-as a uma fração menor que 0,075mm ou 200 mesh. Para a análise de Hg foi feita a solubilização das amostras seguindo protocolo da técnica proposta por Bastos *et*

al. (1998). A análise de Hg foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio da Perkin-Elmer (FIMS 400). Equipado com um sistema de injeção de fluxo (FIAS) com amostrador automático (AS90) utilizando software (Winlab-Perkin-Elmer).



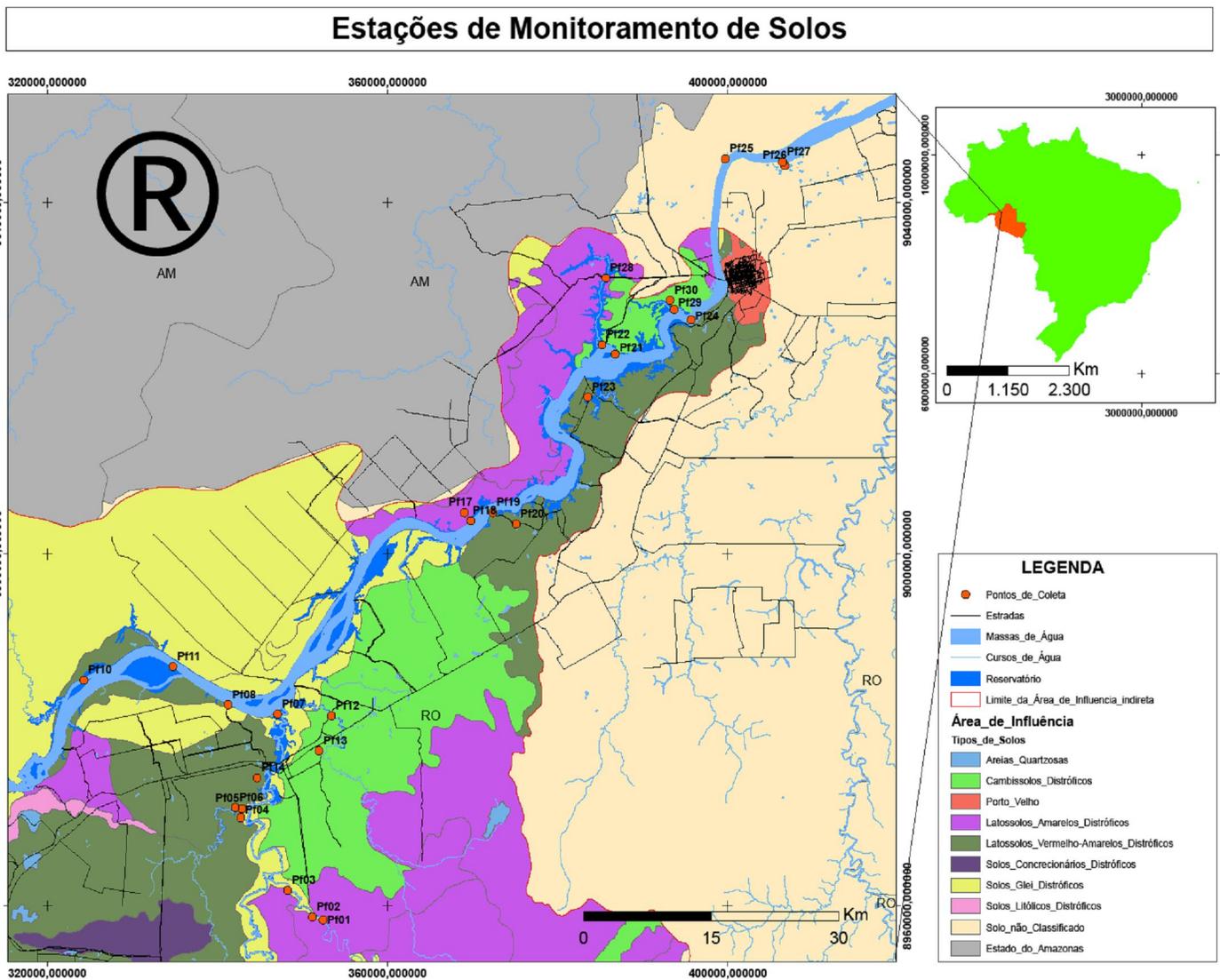
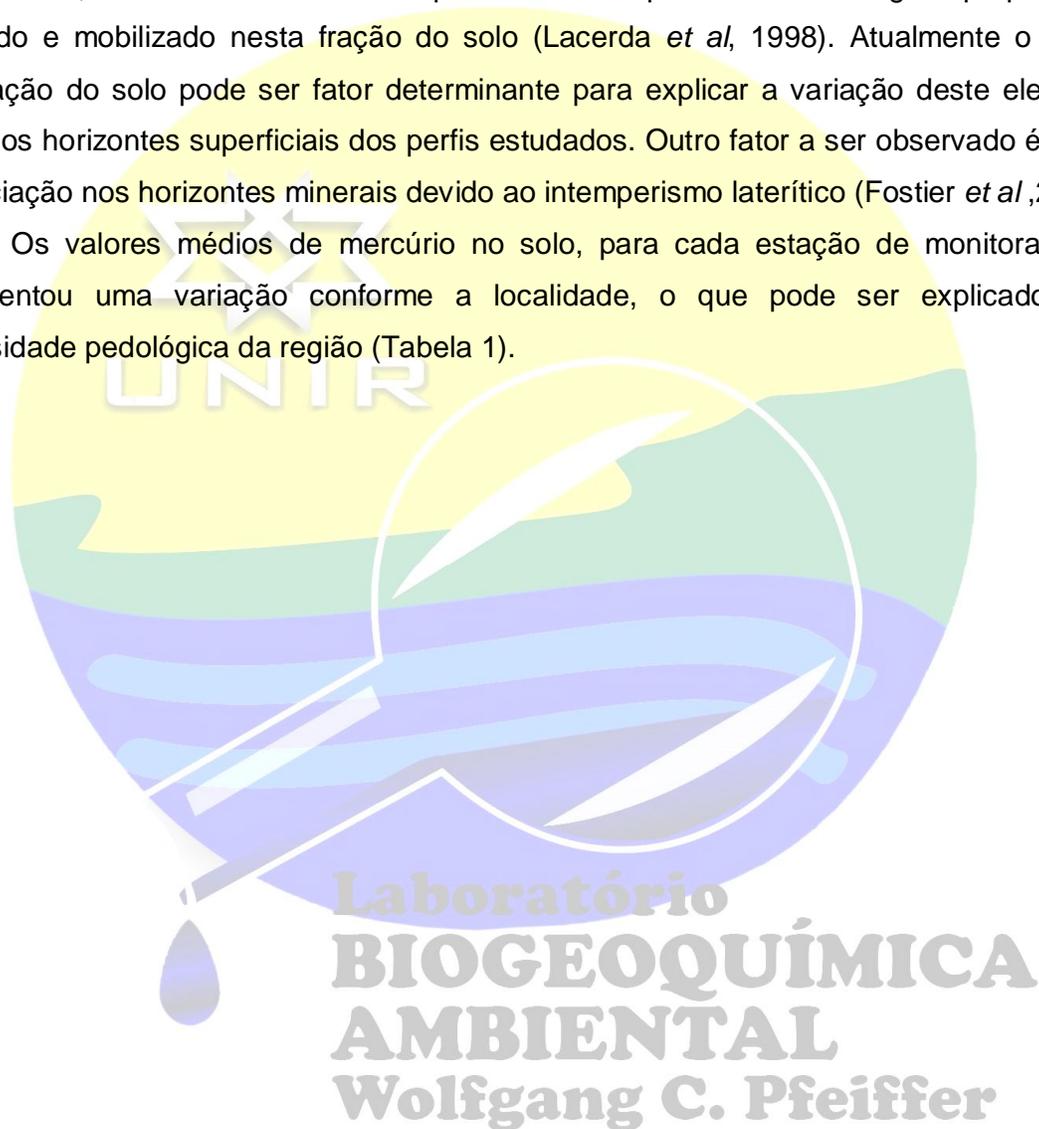


Figura 1: Estações de Monitoramento de solos evidenciando os diferentes tipos de solos da área em estudo no rio Madeira.

Os resultados médios das análises de mercúrio total [Hg] nos perfis verticais de solos estão expressos em  $\text{mg.kg}^{-1}$  estão apresentados na tabela 1.

As concentrações de mercúrio nos perfis de solos nesta região em via de regra está associada a matéria orgânica no horizonte superficial, devido a deposição atmosférica, onde o mercúrio emitido para atmosfera por atividades de garimpo pode ser oxidado e mobilizado nesta fração do solo (Lacerda *et al*, 1998). Atualmente o uso e ocupação do solo pode ser fator determinante para explicar a variação deste elemento entre os horizontes superficiais dos perfis estudados. Outro fator a ser observado é a sua associação nos horizontes minerais devido ao intemperismo laterítico (Fostier *et al*, 2000).

Os valores médios de mercúrio no solo, para cada estação de monitoramento apresentou uma variação conforme a localidade, o que pode ser explicado pela diversidade pedológica da região (Tabela 1).





Os resultados obtidos nos perfis de solos, demonstraram que os solos localizados próximo aos tributários do rio Madeira evidenciaram concentrações médias de mercúrio total de  $0,1156 \pm 0,0425 \text{ mg.kg}^{-1}$ , sendo maiores que os localizados próximo ao rio Madeira com médias de  $0,0775 \pm 0,0418 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Figura 02) onde houve maior diversidade de solos analisados.

Os valores médios encontrados nos solos analisados são superiores a concentração deste elemento na crosta terrestre de  $0,050 \text{ mg.kg}^{-1}$  (Kabata-Pendias e Pendias, 2001).



Figura 2. Valores médios da concentração de Hg em solos das proximidades do rio Madeira e de seus principais tributários.

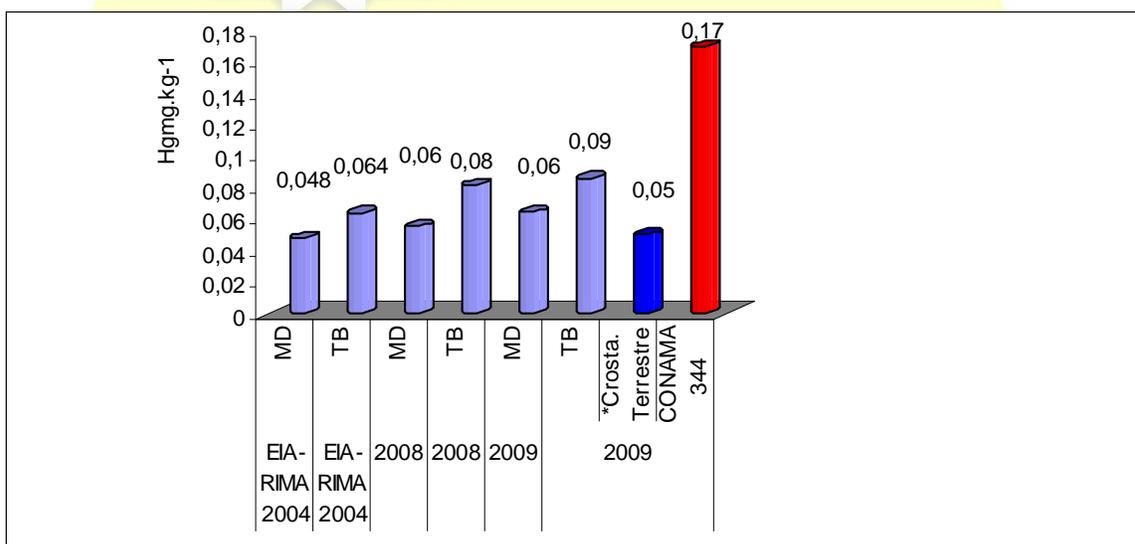
Torna-se pertinente ressaltar que o solo exerce papel fundamental nos ciclos biogeoquímico do mercúrio onde ele pode agir como receptor e emissor deste elemento para atmosfera e para os ecossistemas aquáticos. A lixiviação, o uso e ocupação do solo nas áreas de terra firme e as alterações físico-químicas nas áreas alagadas podem comprometer a dinâmica de mobilização e fixação deste elemento, alterando a capacidade suporte do ecossistema.

### **Sedimento de Fundo**

Os resultados obtidos das concentrações de Hg total nos sedimentos superficiais de fundo do alto rio Madeira estão apresentados na figura 18. Um descritivo das estações amostradas é apresentado na tabela 2.

Assim como nos dados de solos, os sedimentos de fundo dos tributários do rio Madeira também apresentam valores médios de Hg mais elevados do que o rio principal. Esta tendência vem sendo observada desde a realização dos primeiros estudos na região em 1987, confirmados no levantamento do EIA-RIMA. Contudo, como se pode observar nas tabelas 2 e 3 ocorre uma variabilidade nas concentrações de Hg no sedimento nos tributários (TM) e nos rio principal (MD).

O valor mínimo encontrado desde os estudos do EIA-RIMA no rio Madeira não excede os valores médios da crosta terrestre (Tabela 2). Conforme se observa nos dados de solos, seus valores em geral são maiores que os valores para sedimento de fundo na região estudada. Os valores máximos encontrados nos sedimentos são inferiores aos valores orientadores da Resolução 344 do CONAMA (2004), cujo valor orientador para sedimentos de nível 1 é de 0,17 mgHg.Kg<sup>-1</sup> (Figura 3).



\*Kabata-Pendias & Pendias (2001). TB= Tributários - MD = Rio Madeira

Figura 3. Distribuição temporal das concentrações médias de Hg total no sedimentos de fundo do rio Madeira e tributários.

Estes resultados se apresentam como de nível 1, ou seja, limiar abaixo do qual prevê-se baixa probabilidade de efeitos adversos à biota. Esta mesma Resolução (Conama 344) ainda prevê um valor de 0,480 mgHg.kg<sup>-1</sup> para sedimento de nível 2 - limiar acima do qual prevê-se um provável efeito adverso à biota. Até o presente momento nenhuma das amostras analisadas excederam ao limiar de nível 1.

Para efeito de comparação até a aprovação da Resolução do CONAMA 344 de 2004 a CETESB propunha os valores de referência de qualidade do solo como sendo 0,050 mgHg.kg<sup>-1</sup> para o estado de São Paulo e utilizava os mesmos critérios para o

sedimento. Os valores de prevenção para contaminação por Hg no solo de acordo com a CETESB e de 0,500 mgHg.Kg<sup>-1</sup>. Valores muito próximo a 0,480 mgHg.Kg<sup>-1</sup> estabelecidos para sedimento pela resolução do CONAMA 344.

Importante ressaltar que Pfeiffer *et al* (1989) encontraram no rio Mutum Paraná no final dos anos 80, tributário da margem direita do rio Madeira a montante do empreendimento UHE – Santo Antonio, uma concentração média de Hg de 19,00 mg.Kg<sup>-1</sup>. Segundo estes autores a alta concentração de Hg no rio Mutum-Paraná relaciona-se com a intensa utilização da foz deste rio para o concerto/manutenção de balsa e dragas utilizadas na mineração de ouro, que durante os períodos de atracagem eliminam este metal resultante da queima do amálgama de ouro/mercúrio (Au-Hg).

De acordo com dados do EIA-RIMA estas concentrações de Hg caíram significativamente nos últimos anos variando entre 0,124 e 0,134 mg.Kg<sup>-1</sup>. Esta diminuição nas concentrações de Hg deve-se a dois fatores principais. Primeiramente a diminuição da manutenção de dragas nesta área ao longo do tempo e, a recuperação do mercúrio no processo de extração de ouro através da utilização da retorta (destilador de Hg – chamada pelos garimpeiros de “cadinho”) que teve um ganho efetivo nos últimos anos diminuindo seu lançamento direto nos corpos d’água.

Tabela 2. Valores de concentração de Hg (mg.Kg<sup>-1</sup>) no sedimento de fundo nos tributários do rio Madeira (TB) e no rio Madeira (MD).

Mês/ano	Rios Amostrados	Média (mg.Kg <sup>-1</sup> )	Mínimo	Máximo	DP	n
EIA-RIMA 2004	MD	0,048	-	-	-	-
EIA-RIMA 2004	TB	0,064	-	-	-	-
Julho, 2008	MD	0,060	0,039	0,090	0,024	04
Julho, 2008	TB	0,080	0,040	0,141	0,037	10
Agosto, 2009	MD	0,060	0,031	0,128	0,033	10
Agosto, 2009	TB	0,090	0,044	0,136	0,034	10
*Valor Médio da Crosta Terrestre		0,050	-	-	-	-
CONAMA		0,170	-	-	-	-

\*Kabata-Pendias & Pendias (2001).

A tabela 4 apresenta os valores médios de metais pesados obtidos nos sedimentos de fundo do rio Madeira e seus principais tributários no período de estiagem comparados com valores médios do EIA-RIMA para o mesmo período e dos valores de referência de metais pesados para sedimentos, segundo a CETESB, assim como comparados com outros autores que estudam a mesma área.

Tabela 3. Concentrações médias de Hg obtidos para sedimento de fundo nas estações monitoradas.

MÊS/ANO	REGISTRO LAB_BGQ	ID_LOCALIDADE	LOCALIZAÇÃO EIXO DA BARRAGEM	[Hg] (mg.Kg <sup>-1</sup> )	[Hg] ± DP (mg.Kg <sup>-1</sup> )	
Julho_2008	SDMD12272	Rio Madeira	MD 02	Montante	0,040	
Julho_2008	SDMD12273	Rio Madeira	MD 03	Montante	0,052	<b>0,044 ± 0,007</b>
Julho_2008	SDMD12271	Rio Madeira	MDCP	Montante	0,040	
Julho_2008	SDCP12274	Tributário	CP 01	Montante	0,091	
Julho_2008	SDJP12269	Tributário	J 01	Montante	0,057	<b>0,092 ± 0,032</b>
Julho_2008	SDJP12281	Tributário	J 01	Montante	0,042	
Julho_2008	SDCP12275	Tributário	CP 02	Montante	0,124	
Julho_2008	SDJP12270	Tributário	J 02	Montante	0,109	
Julho_2008	SDCT12276	Tributário	CT 01	Montante	0,106	
Julho_2008	SDRB12277	Tributário	RBR 01	Montante	0,142	
Julho_2008	SDJT112279	Tributário	JAT I - 01	Montante	0,086	
Julho_2008	SDJT112280	Tributário	JAT I - 01	Montante	0,067	
Julho_2008	SDIB12278	Tributário	BLM 01	Jusante	0,044	
Julho_2008	SDJTII12268	Tributário	JAT II - 01	Jusante	0,041	
Agosto_2009	SDMD13480	Rio Madeira	MDCP	Montante	0,049	<b>0,064 ± 0,033</b>
Agosto_2009	SDMD13481	Rio Madeira	MDCP	Montante	0,051	
Agosto_2009	SDMD13519	Rio Madeira	MD 01	Montante	0,058	
Agosto_2009	SDMD13520	Rio Madeira	MD 01	Montante	0,107	
Agosto_2009	SDMD13522	Rio Madeira	MD 02	Montante	0,091	
Agosto_2009	SDMD13523	Rio Madeira	MD 02	Montante	0,031	
Agosto_2009	SDMD13525	Rio Madeira	MD 03	Montante	0,033	
Agosto_2009	SDMD13526	Rio Madeira	MD 03	Montante	0,051	
Agosto_2009	SDMD13528	Rio Madeira	MD 04	Montante	0,044	
Agosto_2009	SDMD13529	Rio Madeira	MD 04	Montante	0,128	
Agosto_2009	SDCP13478	Tributário	CP 01	Montante	0,084	
Agosto_2009	SDCP13477	Tributário	CP 02	Montante	0,136	<b>0,096 ± 0,031</b>
Agosto_2009	SDCP13479	Tributário	CP 02	Montante	0,083	
Agosto_2009	SDRB13516	Tributário	RBR 01	Montante	0,119	
Agosto_2009	SDJP13517	Tributário	J 02	Montante	0,134	
Agosto_2009	SDMD13518	Tributário	J 01	Montante	0,091	
Agosto_2009	SDCT13524	Tributário	CT 01	Montante	0,072	
Agosto_2009	SDJT 13521	Tributário	JAT I - 01	Montante	0,047	
Agosto_2009	SDBL13530	Tributário	BLM 01	Jusante	0,050	
Agosto_2009	SDJTII13527	Tributário	JAT II - 01	Jusante	0,045	<b>0,048 ± 0,004</b>

Tabela 4. Resultados médios de metais pesados em sedimentos do rio Madeira e seus principais afluentes na área de influencia do AHE-Santo Antônio. Período de Estiagem.

Localidades	Cd	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn	Hg
	(mg.Kg <sup>-1</sup> )									
Jaci Paraná	<0,0001	6,05	154,87	13,65	7,51	14,30	6,60	4688,04	88,22	0,069
Rio Madeira	<0,0001	3,70	370,96	16,05	19,18	14,04	15,80	21900,93	102,93	0,043
Rio Caripunas	<0,0001	3,65	52,04	9,60	7,31	14,62	5,52	3197,79	90,59	0,107
Rio Contra	<0,0001	0,15	10,38	2,59	0,00	3,04	0,56	391,31	79,00	0,105
Rio Branco	<0,0001	4,96	65,05	16,13	3,83	16,12	4,53	9965,96	97,92	0,142
Igarapé Belmont	<0,0001	9,02	171,86	19,40	21,17	13,19	15,35	13528,74	95,42	0,044
Jatuarana II	<0,0001	5,94	58,54	9,08	12,17	6,66	5,33	3179,63	88,26	0,063
Rio Madeira (EIA-RIMA, 2004)	--	8,21	638,15	13,48	--	6,70	10,17	31713,72	79,88	0,049
Rio Jacy-Paraná (EIA-RIMA, 2004)	--	<0,0001	40,89	<0,0001	--	11,69	<0,0001	4373,09	36,10	0,064
Rio Madeira (Pfeiffer et al, 1991)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,040 – 0,053
Rio Madeira (Bonotto & Silveira, 2003)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,050 – 0,280
Rio Madeira (Bastos et al 2006)	--	--	--	--	--	--	--	--	--	0,033 – 0,136

Tabela 5. Estações de coletas para sedimento de fundo no rio Madeira e principais tributários.

<b>Estações de Monitoramento - Projeto: Hidrobiogeoquímica do Madeira</b>			
<b>Código de Campo</b>	<b>Coordenadas: UTM/Datum: Sad 69</b>		<b>Descrição das Estações de Monitoramento</b>
	<b>Longitude</b>	<b>Latitude</b>	
BLM 01	406274	9044401	Igarapé Belmont
CP 01	321618	8983355	Primeira Estação do Rio Caripunas
CP 02	321049	8982950	Segunda Estação do Rio Caripunas
CT 01	342919	8971136	Rio Contra
J 01	347110	8981698	Rio Jacy-Paraná
J 02	346782	8973506	Meandro do Rio Jacy-Paraná
JAT I 01	384540	9024007	Rio Jatuarana I
JAT II 01	398124	9043686	Rio Jatuarana II
MD 01 c	371248	9004372	Centro do Rio Madeira Próximo às Corredeiras do Morrinho
MD 01 d	371858	9004063	Margem Direita do Rio Madeira Próximo às Corredeiras do Morrinho
MD 01 e	370825	9004876	Margem Esquerda do Rio Madeira Próximo às Corredeiras do Morrinho
MD 02 c	392580	9025917	Centro do Rio Madeira à Montante de Santo Antônio
MD 02 d	392970	9025859	Margem Direita do Rio Madeira à Montante de Santo Antônio
MD 02 e	392010	9026026	Margem Esquerda do Rio Madeira à montante de Santo Antônio
MD 03 c	398061	9028624	Centro do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio
MD 03 d	398298	9028325	Margem Direita do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio
MD 03 e	397743	9028988	Margem Esquerda do Rio Madeira à Jusante de Santo Antônio
MDCP c	322646	8982927	Centro do Rio Madeira Próximo ao Rio Caripunas
MDCP d	323530	8982763	Margem Direita do Rio Madeira Próximo ao Rio Caripunas
MDCP e	321891	8983260	Margem Esquerda do Rio Madeira Próximo ao Rio Caripunas
RBR 01	346295	8963076	Rio Branco

Levando-se em conta os critérios de avaliação da amostragem assumidos para o trabalho, juntamente com os resultados preliminares obtidos para sedimento de fundo. É possível observar que os resultados obtidos na área amostral demonstram que as concentrações de Hg presentes nos sedimentos superficiais de fundo estão em conformidade com os valores apresentados em condições naturais, destacando-se os tributários com as maiores concentrações de Hg. Os valores atuais de Hg não têm se alterado significativamente após a execução do EIA-RIMA.

Importante considerar que nenhuma alteração significativa nas condições físico-químicas da água e no uso da terra foi registrada no período de estudo. Entretanto, mesmo com a significativa redução nos lançamentos de Hg proveniente das atividades de mineração de ouro na região, constata-se sua presença 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, como apontado no EIA-RIMA, vem aumentando o aporte da erosão dos solos marginais e das práticas recentes da agricultura e pecuária, tais como a queimada das florestas e a “corrida da soja” na região. Sem, portanto, ignorar as centenas de toneladas de Hg lançadas no passado e que podem estar adormecidas em depósitos difusos na calha do rio Madeira e outros. Alterações nas condições físico-químicas e lixiviação do solo da bacia de drenagem para os tributários e rio principal são importantes fatores para a dinâmica de Hg no sedimento.

Enquanto a alterações físico-químicas como o aumento da acidez da água, diminuição do oxigênio dissolvido a aumento da atividade microbiana são fatores favoráveis à organificação do Hg, a lixiviação e a erosão nos solos da bacia promovem a disponibilidade do veículo de transporte (material particulado em suspensão) de Hg para o sistema aquático. Uma combinação destes fatores potencializa a organificação do Hg e posterior disponibilidade para biota com implicações para todo o sistema aquático.

### **Plânctons**

A partir do segundo trimestre deste estudo, estão sendo realizadas análises quali e quantitativas do plâncton apenas nos dois pontos de amostragem do rio Jacy-Paraná, já que estes ambientes mostraram-se com boas condições para serem adquiridos maior biomassa dessa comunidade para as análises de mercúrio, além do fato de já estarem sendo obtidos dados de densidade destes organismos no Programa de Limnologia.

Para o primeiro trimestre, os pontos selecionados para a coleta de plâncton foram àqueles cujas suas características físicas são mais propícias para o desenvolvimento desta comunidade, a fim de que o esforço amostral aplicado em campo pudesse gerar uma biomassa de organismos suficiente para as análises de mercúrio.

Entretanto, mesmo havendo esta seleção dos pontos, através da análise microscópica do material coletado e também do preparo destas amostras para determinação de mercúrio, foi observado uma elevada quantidade de partículas de origem orgânica, como folhas e pequenos gravetos em decomposição, e também inorgânica, sendo estes constituídos de um material particulado fino decorrente tanto de áreas inundadas pelo período de cheia, como trazidas da bacia de drenagem através da ação das correntezas.

Como consequência, durante a amostragem realizada pela técnica de arraste com o uso de redes de diferentes malhas, como já descrita anteriormente, estes materiais acabam por entrar nas redes se misturando aos organismos ali presentes, de forma que a concentração de mercúrio presente nesse material será um reflexo também destas partículas de origem orgânica e inorgânica. A figura 4 apresenta os valores de mercúrio encontrados e a tabela 6 apresenta os dados de densidade de cada ponto amostrado.

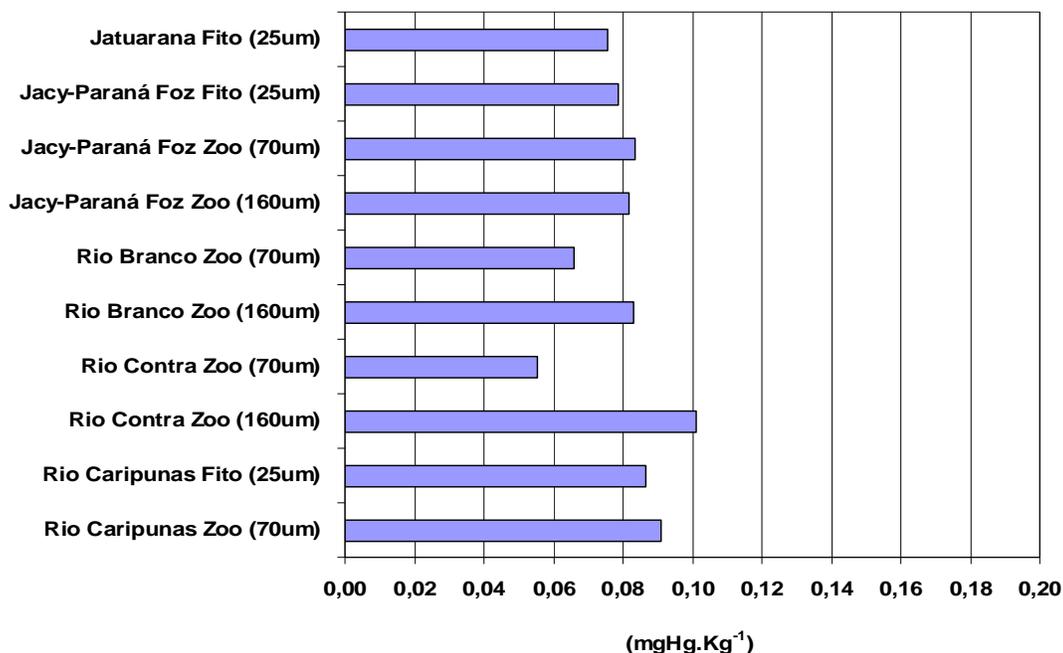


Figura 4. Concentração de mercúrio (mg.Kg<sup>-1</sup>) nas amostras de plâncton (fito + zoo) coletadas no 1º trimestre de 2009.

Tabela 6. Dados de densidade dos organismos planctônicos coletados no 1º trimestre de 2009.

Localidades	Fitoplâncton (org.L <sup>-1</sup> )	Zooplâncton (org.L <sup>-1</sup> )
Jacy-Paraná Foz Zoo (160um)	11,8	3,4
Jacy-Paraná Foz Zoo (70um)	18,6	11,2
Jacy-Paraná Foz Fito (25um)	3,63	2,2
Jatuarana Zoo (160um)	34,2	7,0
Jatuarana Zoo (70um)	9,5	3,3
Jatuarana Fito (25um)	6,4	1,6
Rio Branco Zoo (160um)	4,9	12,8
Rio Branco Zoo (70um)	3,7	4,1
Rio Branco Fito (25um)	3,3	3,0
Rio Contra Zoo (160um)	4,6	1,8
Rio Contra Zoo (70um)	9,0	4,1
Rio Contra Fito (25um)	7,2	1,2
Rio Caripunas Zoo (160um)	0,8	5,3
Rio Caripunas Zoo (70um)	4,0	0,9
Rio Caripunas Fito (25um)	4,5	0,7

Esta baixa densidade de organismos encontrada certamente está relacionada ao período que foram realizadas as coletas (maio de 2009), que corresponde ao período chuvoso da região, tornando os rios com características mais lóxicas e túrbidos; características estas que dificultam o desenvolvimento destes organismos.

No segundo trimestre os valores para concentração de Hg nos plânctons se apresentaram com sensível elevação para os rios Caripunas, Contra e Branco (Figura 5).

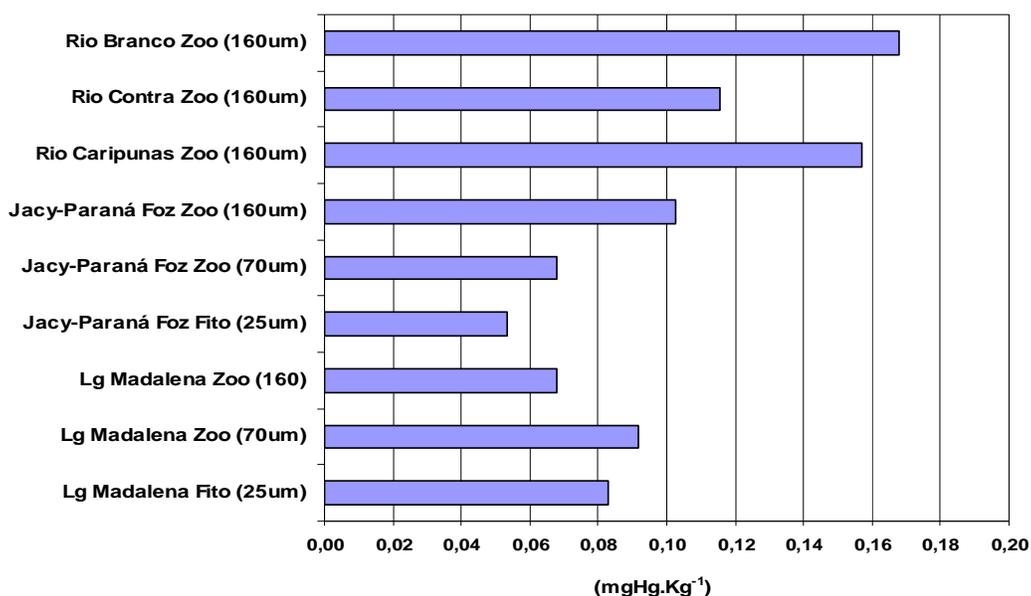


Figura 5. Concentração de mercúrio (mg.Kg<sup>-1</sup>) nas amostras de plâncton (fito + zoo) coletadas no 2º trimestre de 2009.

Até o momento do presente estudo, as concentrações de Hg nos plânctons encontram-se na faixa de concentração de outras áreas da região Amazônica, assim como de áreas sem histórico de lançamentos de mercúrio como o Reservatório de Ribeirão das Lajes (RJ) (Tabela 7).

Tabela 7. Concentrações mínimas e máximas de Hg encontradas no plâncton de lagos e reservatórios de outros estudos e este estudo.

<b>LOCALIDADES</b>	<b>[Hg] (mg.Kg<sup>-1</sup>) (Mín. – Máx.)</b>
Lago Rio Negro (AM)	0,242 – 0,452
Lago Rio Tapajós (AM)	0,150 – 0,264
Reservatório de Ribeirão das Lajes (RJ)	0,030 – 0,100
Reservatório de Québec (Canadá)	0,070 – 0,538
Reservatório U.H.E. Samuel (RO)	0,005 – 0,309
Lago Puruzinho (AM)	0,034 – 0,337
<b>Este Estudo</b>	<b>0,055 – 0,170</b>

### **Macroinvertebrados**

A Portaria N° 685/1998 da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) estabelece 0,500 mg.Kg<sup>-1</sup> como o limite máximo de tolerância de Hg permitido em peixes e produtos da pesca (exceto os predadores). Ao comparar o valor limite dessa Legislação com as concentrações médias de Hg encontradas nos camarões dos afluentes amostrados em julho de 2008 e agosto de 2009, apenas no igarapé Belmont os teores médios de Hg em camarões (0,658mg.Kg<sup>-1</sup>) foram superiores ao permitido pela ANVISA para o consumo humano (Tabela 8). Ressalta-se que esses camarões não são comercializados. O interesse dessa matriz neste estudo é utilizá-la como bioindicadora no processo de transferência de mercúrio dos sedimentos para a biota aquática.

As maiores concentrações de Hg em larvas de libélula foram registradas no indivíduo coletado no igarapé Belmont, que apresentou 0,034mg.Kg<sup>-1</sup> (Tabela 9). Constantino (2002), relata que tanto adultos como larvas de libélula são predadores, alimentando-se de vários tipos de invertebrados e também de alguns vertebrados pequenos como girinos e pequenos peixes, o que explica as concentrações de Hg encontradas nessa espécie.

Tabela 8. Concentrações médias de Hg em camarões nos afluentes amostrados em julho de 2008 (T0).

Localidade	Espécie	n	[Hg] mg.Kg <sup>-1</sup>	
			Média	Desvio Padrão
Igarapé Belmont	<i>Macrobrachium brasiliense</i>	08	0,658	0,945
Rio Branco	<i>Macrobrachium jelskii</i>	27	0,068	0,046
Rio Jaci-Paraná (foz)	<i>Macrobrachium jelskii</i>	91	0,147	0,163
Rio Jaci-Paraná (meandro)	<i>Euryrhynchus amazoniensis</i>	40	0,148	0,112

As maiores concentrações médias de Hg em besouros aquáticos foram encontradas em dois indivíduos coletados no rio Jaci-Paraná (meandro) que apresentaram média de 0,102 mg.Kg<sup>-1</sup>. Segundo Cremona et al. (2002), a característica de serem predadores não-comestíveis, confere a eles o potencial de viver mais do que os predadores comestíveis e, portanto, acumular ainda mais Hg.

Tabela 9. Concentrações médias de Hg em larvas de libélula (Odonata) e besouro (Coleoptera) nos afluentes amostrados em julho de 2008 (T0).

Localidade	Ordem	n	[Hg] mg.Kg <sup>-1</sup>	
			Valor absoluto/Média	Desvio Padrão
Igarapé Belmont	Odonata	01	0,034	-
Rio Branco	Odonata	01	0,010	-
Rio Jaci-Paraná	Odonata	02	0,020	0,002
Rio Branco	Coleoptera	05	0,057	0,036
Rio Jaci-Paraná	Coleoptera	02	0,102	0,031

Realizou-se uma comparação entre as concentrações médias de Hg quantificadas para larvas de libélula e para o sedimento do local onde estas foram amostradas e percebeu-se que as concentrações médias de Hg nas larvas de libélula estão bem abaixo das concentrações de Hg quantificadas para os sedimentos. A mesma comparação foi realizada para os besouros, e para os amostrados no rio Branco as concentrações de Hg foram menores que as quantificadas para o sedimento deste afluente, a exceção dos besouros coletados no rio Jaci-Paraná que apresentaram concentrações maiores que a quantificada para o sedimento deste afluente.

Os camarões foram organizados por espécie e classes de tamanho, conforme Spiegel & Stephens (1999). Comparando a concentração média de Hg dos camarões coletados no igarapé Belmont, todos pertencentes à espécie *Macrobrachium brasiliense*, com a concentração de Hg encontrada no sedimento percebeu-se que a concentração média de Hg nos camarões foi maior que a quantificada para o sedimento (Tabela 10).

Tabela 10. Comparação entre as concentrações de Hg em camarões (organizados por classes de tamanho), coletados no igarapé Belmont e o sedimento de fundo deste local.

Classes de tamanho (cm)	n	Camarões [Hg] mg.Kg <sup>-1</sup>		Sedimento [Hg] mg.Kg <sup>-1</sup>	
		Média/Valor absoluto	DP	Média	DP
1,5-1,8	03	1,032	1,499		
1,8-2,1	03	0,455	2,426		
2,1-2,4	01	0,149	-	0,044	0,001
2,4-2,7	-	-	-		
2,7-3,0	01	<LDT	-		

Foi comparada a concentração média de Hg dos camarões coletados no rio Branco, pertencentes à espécie *Macrobrachium jelskii*, com a concentração de Hg encontrada no sedimento deste afluente e percebeu-se que a concentração média de Hg nos camarões foi menor que a do sedimento (Tabela 11).

Tabela 11. Comparação entre as concentrações de Hg em camarões (organizados por classes de tamanho), coletados no rio Branco e o sedimento de fundo deste local.

Classes de tamanho (cm)	n	Camarões [Hg] mg.Kg <sup>-1</sup>		Sedimento [Hg] mg.Kg <sup>-1</sup>	
		Média	DP	Média	DP
2,2-2,7	03	0,139	0,121		
2,7-3,2	04	0,058	0,017		
3,2-3,7	08	0,049	0,012	0,142	0,004
3,7-4,2	07	0,058	0,020		
4,2-4,8	05	0,079	0,020		

A comparação realizada entre as concentrações médias de Hg dos camarões coletados no rio Jaci-Paraná (foz), pertencentes à espécie *Macrobrachium jelskii*, com a concentração de Hg encontrada no sedimento percebe-se que a concentração média de Hg dos camarões pertencentes às classes de tamanho 1,3-2,0 e 2,0-2,8 cm foram maiores que a do sedimento (Tabela 12), entretanto os camarões inseridos nas classes de tamanho de 2,8-3,6; 3,6-4,4 e 4,4-5,2 cm apresentaram concentrações médias de Hg menores que a do sedimento de fundo.

Tabela 12. Comparação entre as concentrações de Hg em camarões (organizados por classes de tamanho), coletados no rio Jacy-Paraná (foz) e o sedimento de fundo deste local.

Classes de tamanho (cm)	n	Camarões		Sedimento	
		[Hg] mg.Kg <sup>-1</sup> Média	DP	[Hg] mg.Kg <sup>-1</sup> Média	DP
1,3-2,0	24	0,383	0,215		
2,0-2,8	21	0,299	0,202		
2,8-3,6	18	0,093	0,067	0,109	0,002
3,6-4,4	26	0,055	0,016		
4,4-5,2	11	0,055	0,017		

Comparando a concentração média de Hg dos camarões coletados no rio Jacy-Paraná (meandro), pertencentes à espécie *Euryrhnchus amazoniensis*, com a concentração de Hg encontrada no sedimento percebe-se que a concentração média de Hg nos camarões foi maior que a do sedimento (Tabela 13).

Tabela 13. Comparação entre as concentrações de Hg em camarões (organizados por classes de tamanho), coletados no rio Jacy-Paraná (meandro) e o sedimento de fundo deste local.

Classes de tamanho (cm)	n	Camarões		Sedimento	
		[Hg] mg.Kg <sup>-1</sup> Média	DP	[Hg] mg.Kg <sup>-1</sup> Média	DP
1,2-1,4	09	0,260	0,104		
1,4-1,7	09	0,120	0,072		
1,7-1,9	08	0,147	0,154	0,042	0,001
1,9-2,2	08	0,122	0,079		
2,2-2,5	06	0,066	0,011		

Vários autores têm demonstrado a existência de Hg adsorvido ao sedimento de fundo do rio, assim, pode-se inferir que durante a ingestão dos grãos de sedimento, os indivíduos pertencentes ao gênero *Macrobrachium* remobilizam o material depositado, influenciando a biodisponibilização do Hg. Sabendo que os camarões juvenis constituem importantes agentes de bioturbação do sedimento, já que nos estágios iniciais de suas vidas vivem mais próximos a ele, e têm nele sua principal fonte de alimento, realizou-se uma comparação das concentrações de Hg nos camarões com a dos sedimentos onde foram amostrados e percebeu-se que justamente no afluente onde foi encontrada a maior concentração média de Hg em camarões (0,658 mg.Kg<sup>-1</sup>) está a menor concentração no sedimento (0,044 mg.Kg<sup>-1</sup>). Os resultados vêm revelando que as menores concentrações de mercúrio nos sedimentos correspondem às maiores concentrações de Hg nos camarões.

## Material Particulado em Suspensão

A tabela 14 apresenta os teores médios dos sólidos em suspensão e as concentrações de elementos traço, a exemplo de Hg total, no material particulado em suspensão. Destaque para os teores de Hg de  $0,087 \text{ mg.Kg}^{-1}$  na calha do rio Madeira, significativamente inferior em relação aos afluentes.

Tabela 14. Resultados médios do total de sólidos em suspensão e de elementos traço no material particulado em suspensão do rio Madeira e seus principais afluentes deste estudo e do EIA-RIMA.

Localidades	TSS $\text{mg.L}^{-1}$	Hg $\text{mg.Kg}^{-1}$	Co $\text{mg.Kg}^{-1}$	Pb $\text{mg.Kg}^{-1}$	Cu $\text{mg.Kg}^{-1}$	Fe $\text{mg.Kg}^{-1}$
Igarapé Belmont	22,230	0,109	<LDT	238,883	18,324	18,324
Rio Caripunas	15,165	0,207	0,879	30,808	17,397	68794,592
Rio Jacy-Paraná	13,967	0,246	0,803	45,241	72,348	106405,103
Rio Jatuarana	23,890	0,136	2,619	222,811	18,872	44794,371
Rio Madeira	109,173	0,087	4,388	75,320	25,310	51946,258
Rio Branco	16,755	0,241	<LDT	17,977	8,484	120525,646
EIA-RIMA (2004)	8,13 – 523,48	0,025 – 0,350	LDT – 9,908	LDT – 15,655	LDT – 25,210	18587,0 – 49418,0

## Considerações

Levando-se em conta os critérios de avaliação da amostragem assumidos para o trabalho, juntamente com os resultados obtidos, o 3º. Trimestre do estudo permite concluir que:

- Os elementos-traço encontram-se na sua maioria mobilizados aos sedimentos superficiais em suspensão e não na forma dissolvida, com exceção do ferro. Único elemento que apresenta para matriz água, em alguns pontos, valores superiores aos preconizado pela Legislação Brasileira.
- De forma geral os valores das concentrações de elementos traços estão em similaridade com os valores apresentados em condições naturais.
- As elevadas concentrações nos sedimentos de fundo e nos sólidos em suspensão de Fe e Mn em quase todos os pontos amostrados está associado à formação geológica da bacia de drenagem e dos tipos de solos da região, onde estão presentes majoritariamente os latossolos, que se caracterizam por apresentar altos teores de Fe e Mn na sua formação.
- Os elementos-traço considerados traçadores industriais e da vida moderna como Cd, Cr, Cu e Pb continuam a apresentarem concentrações relativamente baixas nos compartimentos estudados.

- A tabela 15 apresenta o cronograma e as necessidades de logística para a próxima atividade de campo.

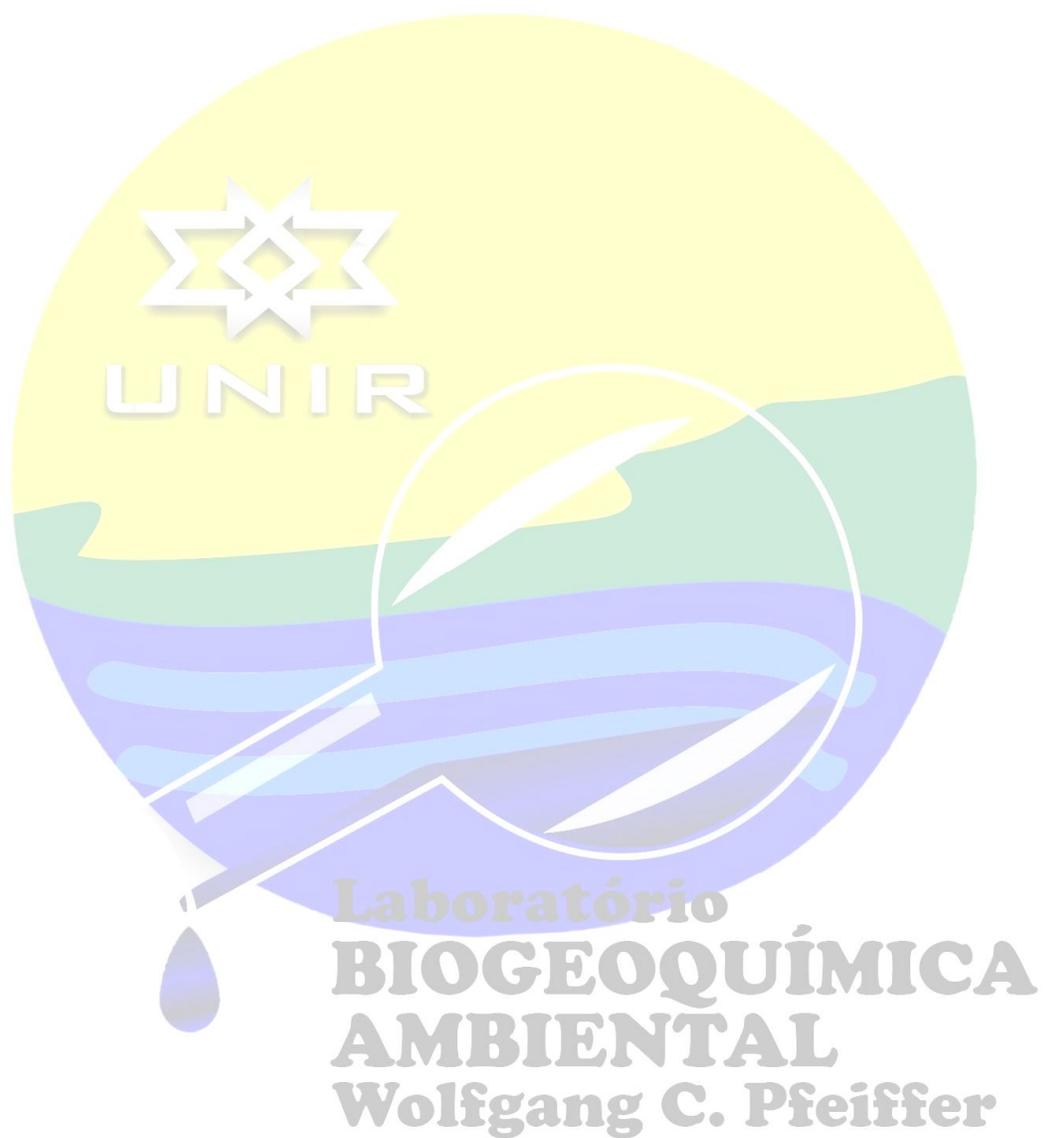


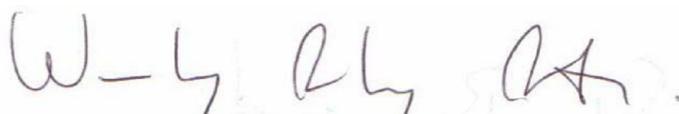
Tabela 15. Programação preliminar do Programa Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e outros elementos-traço no Rio Madeira - AHE Santo Antônio para o 4º. Trimestre do monitoramento. Avaliação Ambiental: Coordenação: Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos

<b>Nome</b>	<b>Permanência da equipe em campo</b>	<b>Necessidade de Logística. Planejamento de atividades a serem realizadas no período.</b>
Ronaldo de Almeida	08-28/02/2010	<b>Coleta no rio Madeira e seus afluentes na área de influencia direta e indireta do empreendimento, incluindo o canteiro de obras.</b>
	01-10/02/2010	
Marcio Rodrigues de Miranda	08-28/02/2010	<b>1. Logística necessária</b> <b>1.1 Coleta no canteiro de obras</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>1 caminhonete entre os dias 08 a 11/02/2010. (Neste período não há necessidade de barco).</li> </ul>
Dario Pires de Carvalho	08-28/02/2010	
Elisabete Lourdes do Nascimento	01-15/02/2010	<b>1.1.1 Matrizes a serem coletadas:</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>Solo (SL), Sedimento (SD).</li> </ul>
	01-15/02/2010	
Igor Bruno Barbosa de Holanda	08-28/02/2010	<b>1.2 Coleta no rio Madeira e afluentes</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>3 caminhonetes, 3 barcos comprimento de 6 metros frente chata e motor de 25HP entre o dia 12 a 20/02/2010.</li> <li>2 caminhonetes e dois barcos a partir do dia 21/02/2010 até o dia 28/02/2010.</li> </ul>
Marília Higino Mussy	01-15/02/2010	
Leidiane Lautarthe	08-28/02/2010	<b>1.2.1 Matrizes a serem coletadas</b> Água(SS), Sedimento (SD), Macrófitas (MC), Plânctons (PL) e Macro – Invertebrados Aquáticos (MI), Medidas de Taxa de Metilação (TM), Medidas Físico-Químicas da Água.
Roberta Carolina Ferreira Galvão	08-28/02/2010	
Juliana Moreira de Menezes	08-28/02/2010	

## 7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, W.R.; MALM, O.; PFEIFFER, W.C. & CLEARY, D. 1998. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon – Brazil. *Sci. Cult. J. Brazil*. **50**: 255 – 260.
- BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.O; OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E.L.; LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G. & PFEIFFER, W.C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Science of Total Environment**. v.368, p.344 – 351. 2006.
- BICUDO, C. E. M. & BICUDO, R. M. T. Algas de Águas Continentais Brasileiras (chave ilustrada para identificação de gêneros). Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências. 1970. 228p.
- BICUDO, C.E.M. & MENEZES, M. Gêneros de Algas de Águas Continentais do Brasil (chave para identificações e descrições). São Carlos: Rima, 2005. 508p.
- BONOTTO, D. M. & SILVEIRA, E. G. Preference ratios for mercury and other chemical elements in the Madeira River, Brazil. **Journal of South American Earth Sciences** V.15, p. 911-923. 2003.
- BROOK, A. J. The Biology of Desmids. Oxford, Blackwell Sc. Publ. (Botanical Monographs, vol. 16), 1981. 276p.
- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL. DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005.
- CONAMA (Conselho Nacional de Meio Ambiente). 2004. Resolução nº 344, de 25 de março de 2004.
- ELMOOR-LOREIRO, L. M. A. Manual de identificação de Cladóceros límnicos do Brasil. Brasília, Universa. 1997. 156p.
- EDMONDSON, W. T. Fresh-Water Biology. Washington, 1959. 1248p.
- FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; GUIMARÃES, J. R. D.; MELFI, A. J.; BOULET, R.; ESPIRITO SANTO, C. M. & KRUG, F. J. 2000. *Sci. Total Environ.* **260**, 201.
- GILBERT, J. J. Suppression of rotifer populations by *Daphnia*: A review of the evidence, the mechanisms, and the effects on zooplankton community structure. *Limnology Oceanograph*, 1998. 33(6): 1286-1303.
- HUSZAR, V. L. M. Fitoplâncton. p. 91. Lago Batata: Impacto e recuperação de um ecossistema Amazônico. Org. Bozelli, R. L., Esteves, F. A. & Roland, F. Edts: IB-UFRJ/SBL. Rio de Janeiro, 2000. p.91. 332p.
- KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. 2001. Trace elements in soils and plants, 3<sup>rd</sup> ed, Boca Raton, CRC Press, 413p.
- LACERDA, L. D.; SOUZA, M. & RIBEIRO, M. G. 2004. *Environ. Pollut.* **129**, 247.
- LIMA, H.N.; MELLO, J.W.V.; SCHAEFER, C.E.G.R. & KER, J.C. 2005. Dinâmica da mobilização de elementos em solos da Amazônia submetidos à inundação. *Acta Amazônica* v. **35(3)**. p 317-330. 2005.
- PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D. & SILVEIRA, E.G. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondônia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Vol. 38, No. 3/4, p 239-245, 1991.
- REID, J. W. Chave de Identificação e Lista de Referências Bibliográficas para as Espécies Continentais e Sulamericanas de Vida Livre da Ordem Cyclopoida (Crustácea Copepoda). Boletim de Zoologia da Universidade de São Paulo, 1985. vol. 9. 17-143.
- SANTOS, R.D. et al. Manual de Descrição e Coleta de Solo no Campo. 5. ed. Viçosa: SBCS, 2005. 92 p.

Porto Velho, 31 de Dezembro de 2009.



Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos.

[bastoswr@unir.br](mailto:bastoswr@unir.br)

Tel 69 2182-2122 – 9239-4177