

FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE RONDÔNIA



**RELATÓRIO
AVALIAÇÃO AMBIENTAL**

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

**Laboratório
BIOGEOQUÍMICA
AMBIENTAL
Wolfgang C. Pfeiffer**

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

Outubro/2012

Coordenação:

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos (wanderley@pq.cnpq.br)

Equipe Ambiental:

Prof. Dr. Angelo Gilberto Manzatto (UNIR)

Dr. Márcio Rodrigues de Miranda (UFRJ/UNIR)

MSc. Dario Pires de Carvalho (Doutorando-UNIR/UFRJ)

MSc. Cleber Calado Luz (Doutorando-UNIR/UFRJ)

MSc. Marília Higino Mussy (Doutoranda-UNIR/UFRJ)

MSc. Roberta Carolina Ferreira Galvão (UNIR)

MSc. Igor Bruno Barboza de Holanda (Mestrando/UNIR)

Quím. Leidiane Caroline Lauthartte (Mestranda/UNIR)

Quím. Maria Cristina Nery do Nascimento (Mestranda/UNIR/UFAM)

Biol. Maria Thereza Souza Bastos (UNIR)

Quim. Francisca Denilça dos Santos (UNIR)

Charliene Lima da Silva (Pedagoga/UNIR)

Andressa de Jesus França (Iniciação Científica/UNIR)

Júlia Yuones Herrmann (Iniciação Científica/UNIR)

Bruna Daniely Brito Viana (Iniciação Científica/UNIR)

Melissa de Souza Barbosa (Iniciação Científica/UNIR)

Antônio Gomes da Costa (Auxiliar de Serviços Gerais/UNIR)

Consultores:

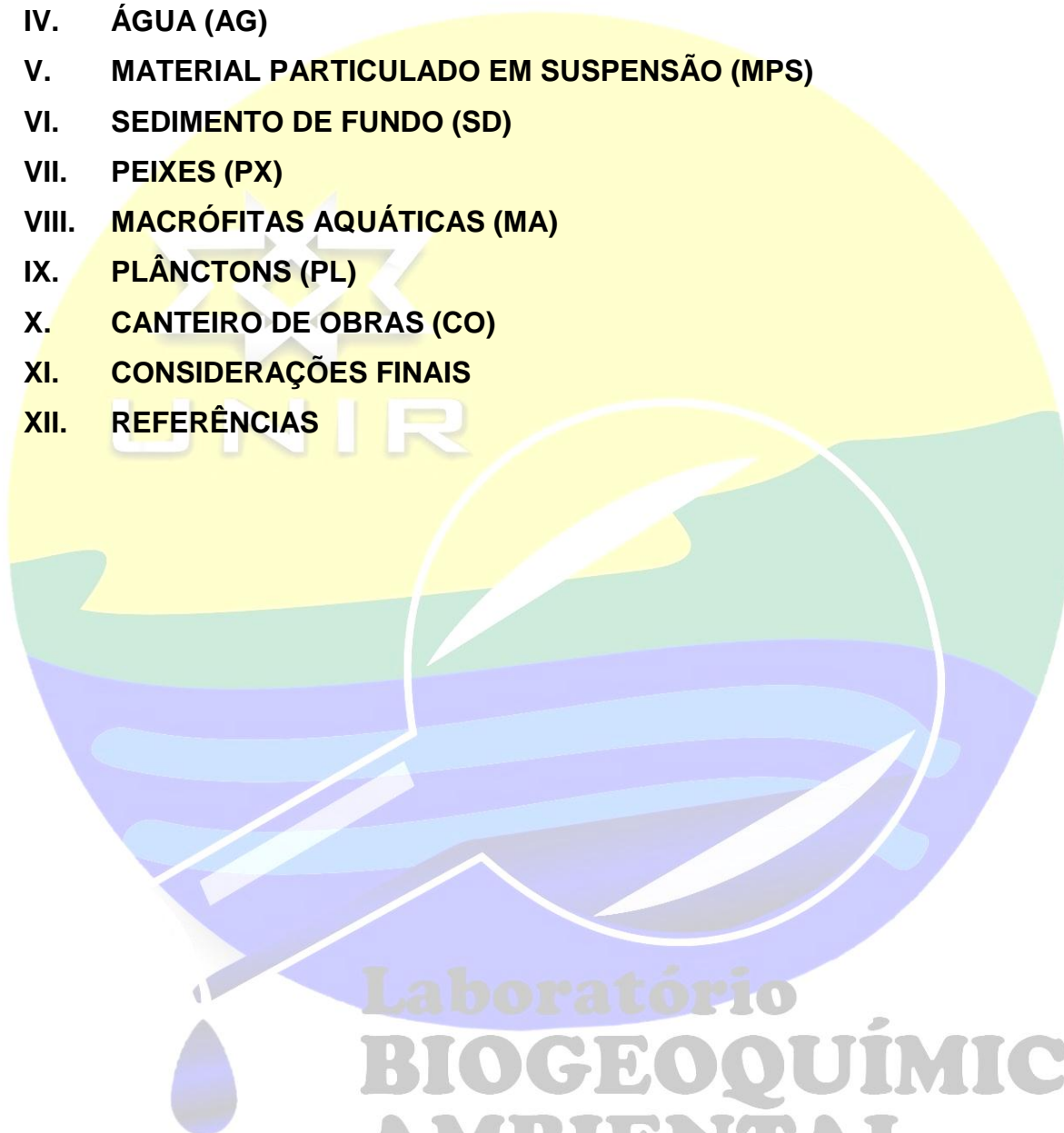
Dr. Olaf Malm (IBCCF/UFRJ)

Dr. Ronaldo de Almeida (UNIR/UFRJ/UFAM)

Laboratório
BIOGEOQUÍMICA
AMBIENTAL
Wolfgang C. Pfeiffer

Sumário

- I. APRESENTAÇÃO
- II. OBJETIVOS
- III. MATERIAIS E MÉTODOS
- IV. ÁGUA (AG)
- V. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)
- VI. SEDIMENTO DE FUNDO (SD)
- VII. PEIXES (PX)
- VIII. MACRÓFITAS AQUÁTICAS (MA)
- IX. PLÂNCTONS (PL)
- X. CANTEIRO DE OBRAS (CO)
- XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS
- XII. REFERÊNCIAS



Laboratório
BIOGEOQUÍMICA
AMBIENTAL
Wolfgang C. Pfeiffer

I. APRESENTAÇÃO

O presente relatório contém as atividades desenvolvidas nos meses junho de 2012 e a comparação/correlação com dados pretéritos ao enchimento do Reservatório, assim como os dados que contemplam a fase de pós-enchimento do Reservatório da UHE Santo Antônio. A finalidade desse estudo é dar continuidade ao Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do rio Madeira. Nesse trabalho foi realizado o monitoramento de mercúrio e outros metais pesados com coletas de amostras bióticas e abióticas e coleta na área de remoção de solos, sedimentos e fragmentos de rochas (Canteiro de Obras). Esta fase do estudo é fundamental para acompanhar e compreender a evolução do comportamento do mercúrio na fase de estabilização do enchimento do reservatório e operação das máquinas, estabelecendo os parâmetros de comparação com a fase de pré-enchimento. A seguir são apresentados os resultados do Programa. Nesse relatório também é apresentado um desenho amostral de bancos de macrófitas coletados dentro da área de influência do empreendimento SAE.

Esta fase do monitoramento é fundamental para acompanhar e compreender a evolução do comportamento do mercúrio nas áreas críticas durante a fase de enchimento e estabilização do reservatório, estabelecendo os parâmetros de comparação com a fase de pré-enchimento e previsão para a fase de operação.

Também é apresentada a justificativa e nova metodologia utilizada em substituição às análises de taxa de metilação já aprovadas pelo IBAMA, por meio do ofício 137/2012-COVID/CGENE/DILIC/IBAMA de 15.06.2012.

Desta forma, este estudo tem como o objetivo acompanhar os processos de evolução do mercúrio comparando as fases de enchimento, estabilização/operação e pós-enchimento do reservatório da UHE – Santo Antônio com o estudo pretérito.

Laboratório
BIOGEOQUÍMICA
AMBIENTAL
Wolfgang C. Pfeiffer

II. OBJETIVOS

II.1. Geral

- Efetuar monitoramento ambiental na área de estudo determinando as concentrações de poluentes organo-metálicos, a exemplo do mercúrio;
- Avaliar a dinâmica da relação de mercúrio total e MeHg e outros metais pesados em compartimentos bióticos e abióticos durante o período de enchimento, estabilização e pós-enchimento do reservatório da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio – Porto Velho/RO.

II.2. Específicos

- Monitorar as concentrações de Hg-total nas matrizes bióticas (plâncton, invertebrados bentônicos, macrófitas aquáticas, jacarés, tartarugas e peixes) e abióticas (água, material particulado em suspensão, sedimento de fundo, solo) nos principais afluentes nos trechos do rio Madeira a montante e jusante do reservatório da UHE Santo Antônio;
- Avaliar a contribuição de MeHg na água proveniente do reservatório da UHE Jirau na estação a jusante da barragem, para se obter dados comparativos da exportação de MeHg do reservatório da UHE Jirau para o reservatório da UHE Santo Antônio, assim como do reservatório da UHE Santo Antônio para a jusante;
- Monitorar a formação de MeHg nos potenciais bancos de macrófitas formados, priorizando o gênero *Eichornia* ssp. na área do reservatório da UHE Santo Antônio;
- Monitorar as concentrações de Hg-total em peixes do reservatório e a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio observando a distribuição e o comportamento das concentrações comparadas aos dados pretéritos (pré-enchimento);
- Monitorar as concentrações de MeHg nas matrizes que apresentarem destaque quanto aos teores de Hg-total;
- Monitorar as concentrações de outros metais pesados (Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas matrizes macrófitas, material particulado em suspensão, sedimento de fundo e solo nos principais afluentes nos trechos do rio Madeira a montante e jusante do reservatório UHE Santo Antônio;

- Monitorar registrando ocorrência de atividades garimpeiras de ouro na área de influência do empreendimento observando uso/não uso da retorta com potenciais perdas de Hg para atmosfera e leito do rio;
- Oferecer subsídios acerca das concentrações de Hg-Total no pescado para os estudos de exposição humana que avaliará a população estudada no pré-enchimento, observando potenciais novos grupos críticos a esta exposição;
- Subsidiar a modelagem de qualidade da água com dados de Hg-Total e metil-mercúrio na água;
- Subsidiar os Programas de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, Conservação da Ictiologia e no aspecto humano do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Santo Antônio, mais especificamente na Avaliação da Saúde Humana acerca dos dados produzidos nas diversas matrizes e área monitorada quando for necessário;
- Subsidiar com informações e orientações de utilização acerca do uso da retorta (destilador do amalgama ouro-mercúrio também chamado de “cadinho” pelos garimpeiros) o Programa de Educação Ambiental da UHE Santo Antônio;
- Alimentar o SGI da UHE Santo Antônio, com Banco de Dados relacional georreferenciado das matrizes bióticas e abióticas.



Laboratório
BIOGEOQUÍMICA
AMBIENTAL
Wolfgang C. Pfeiffer

III. MATERIAIS E METODOS

III.1. Descrição da área de estudo

A área de estudo localiza-se a montante e a jusante da construção da barragem da UHE Santo Antônio. O empreendimento está situado a montante 10 km da cidade de Porto Velho tendo como limite o eixo da barragem da UHE de Jirau (cerca de 120 km montante da cidade de Porto Velho) e a jusante do eixo da barragem da UHE Santo Antônio.

O trecho envolve a área do reservatório da UHE Santo Antônio e tem como limite a montante o eixo da barragem da UHE Jirau (cerca de 120 km montante da cidade de Porto Velho) e a jusante do eixo da própria barragem da UHE Santo Antônio na foz do igarapé Belmont. A Usina Hidrelétrica Santo Antônio situa-se na cachoeira homônima, no rio Madeira, cerca de 6 km medidos ao longo do rio, a montante de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, nas coordenadas geográficas: 8°47'31" S e 63°57'7" W.

III.2. Desenho Amostral

A coleta objetivou amostrar de modo que seja possível a análise espacial e temporal, estudar os processos biogeoquímicos que afetam a dinâmica do Hg-T e Metil-Hg, assim como outros metais pesados nas matrizes abióticas. Avaliar a evolução do Hg-T e Metil-Hg nas matrizes bióticas: comunidade fitoplantônica e zooplantônica, nas macrófitas e na ictiofauna de interesse, assim como nos répteis (jacarés e tartarugas).

Os pontos de coletas foram georreferenciados utilizando receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS (marca GARMIN's®, modelo GPS 12 XL Personal Navigator™), levando-se em conta a localização dos pontos estudados na fase do Pré-Enchimento.

A tabela III.1 apresenta o cronograma de atividades de campo e de laboratório no programa Hidrobiogeoquímica para os anos de 2012 e 2013.

III.3. Estações de Coleta

A área em estudo compreende trechos a montante e jusante da área considerada de influência do aproveitamento hidrelétrico de Santo Antônio (Figura III.1) e a frequência de coleta, assim como as diversas matrizes à serem monitoradas estão apresentadas no cronograma de atividades na tabela III.1. Na

tabela III.2 se encontra a descrição detalhada de cada estação, assim como a localização geográfica de cada ponto.

As estações de coletas foram definidas de acordo com as áreas monitoradas no pré-enchimento e nas áreas de maior relevância identificadas no prognóstico da qualidade da água do reservatório em formação da UHE Santo Antônio, que considera os braços do Igarapé Jatuarana I e Teotônio e rio Jaci Paraná, assim como o trecho do rio Madeira a montante e a jusante da barragem. Foram incluídas as estações JAT-I02 e MD-05C. No caso do JAT-I02 para termos um ponto dentro do rio Jatuarana I com menor influência do rio Madeira, o que ocorreu após o represamento. No segundo caso apenas para incluir mais um ponto na calha do rio Madeira a jusante, perfazendo 3 pontos a jusante, conforme no trecho a montante.

As estações de monitoramento estão dispostas no rio Madeira e seus principais afluentes compreendendo um trecho de aproximadamente 180 km ao longo do rio Madeira, estendendo-se desde as proximidades da UHE-Jirau até o Igarapé Belmont, a aproximadamente 26 km a jusante da UHE de Sto. Antônio. Neste trajeto estão dispostas 6 estações de monitoramento, sendo 3 a montante (MDCP, MD-01 e MD-02) e 3 a jusante (MD-03; MD-04 e MD-05) da UHE de Sto. Antônio, porém a estação de monitoramento MD-05 foi acrescentada, entre a MD-03 e a MD-04, após o início da fase de estabilização do reservatório da UHE Sto. Antônio (Figura III.1).

Para o monitoramento dos afluentes do rio Madeira, foram escolhidos 5 dos principais afluentes para instalar as estações de monitoramento, sendo que 3 destes encontram-se a montante e 2 a jusante da UHE de Sto. Antônio, estes afluentes estão listados na tabela III.3.

Todos os afluentes possuem apenas uma estação de monitoramento, com exceção o rio Jaci-Paraná e o rio Jatuarana I que possuem duas estações de monitoramento, conforme a tabela III.4. As estações de monitoramento do rio Jaci-Paraná são a J01 e a J02. A estação J01 está instalada próxima a foz do rio Jaci-Paraná e a J02 é localizada no meandro chamado Lago Madalena. Além destas duas estações de monitoramento dois afluentes (rio Contra e o rio Branco) possuem estações de monitoramento, estas estações são: CT 01 no rio Contra e a RBR 01 no rio Branco. Já o rio Jatuarana I possui a estação JAT I 01 instalada próximo de sua foz e, devido a formação do lago da UHE de Sto. Antônio foi instalada uma segunda estação de monitoramento (JAT I 02) localizada a aproximadamente 5 km a montante da estação Jat I 01.

Tabela III.1. Cronograma de atividades de campo e laboratorial do programa Hidrobiogeoquímica para 2012 e 2013.

PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO AMBIENTAL - FASE DE ENCHIMENTO E OPERAÇÃO																									
ANO	2012												2013												
MÊS	J*	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	
Amostragem de Sedimentos de Fundo																									
Amostragem de Peixes																									
Amostragem de Crocodilianos**																									
Amostragem de Quelônio**																									
Amostragem de Macrófitas																									
Amostragem de Plâncton																									
Amostragem de Invertebrados Bentônicos																									
Amostragem de Material Particulado em Suspensão																									
Amostragem de Águas																									
Amostragem de Solos																									
Amostragem no Canteiro de Obras***																									
Atividades Laboratoriais																									
Confecção de Boletins de Análises																									
Alimentação e Manutenção do Banco de Dados																									
Tratamento Estatístico dos Dados																									
Relatórios Parciais																									
Relatório Final																									

■ Fim do enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio; ■ Fim do período de estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio.

*Coleta realizada em Dezembro conciliada ao início do enchimento do reservatório.

**As avaliações nos crocodilianos e quelônios são dependentes da integração com o Programa de Conservação da Fauna para envio de amostras ao Laboratório de Biogeoquímica/UNIR.

***Atividade prevista para ocorrer enquanto houver escavações na área do Canteiro de Obras.

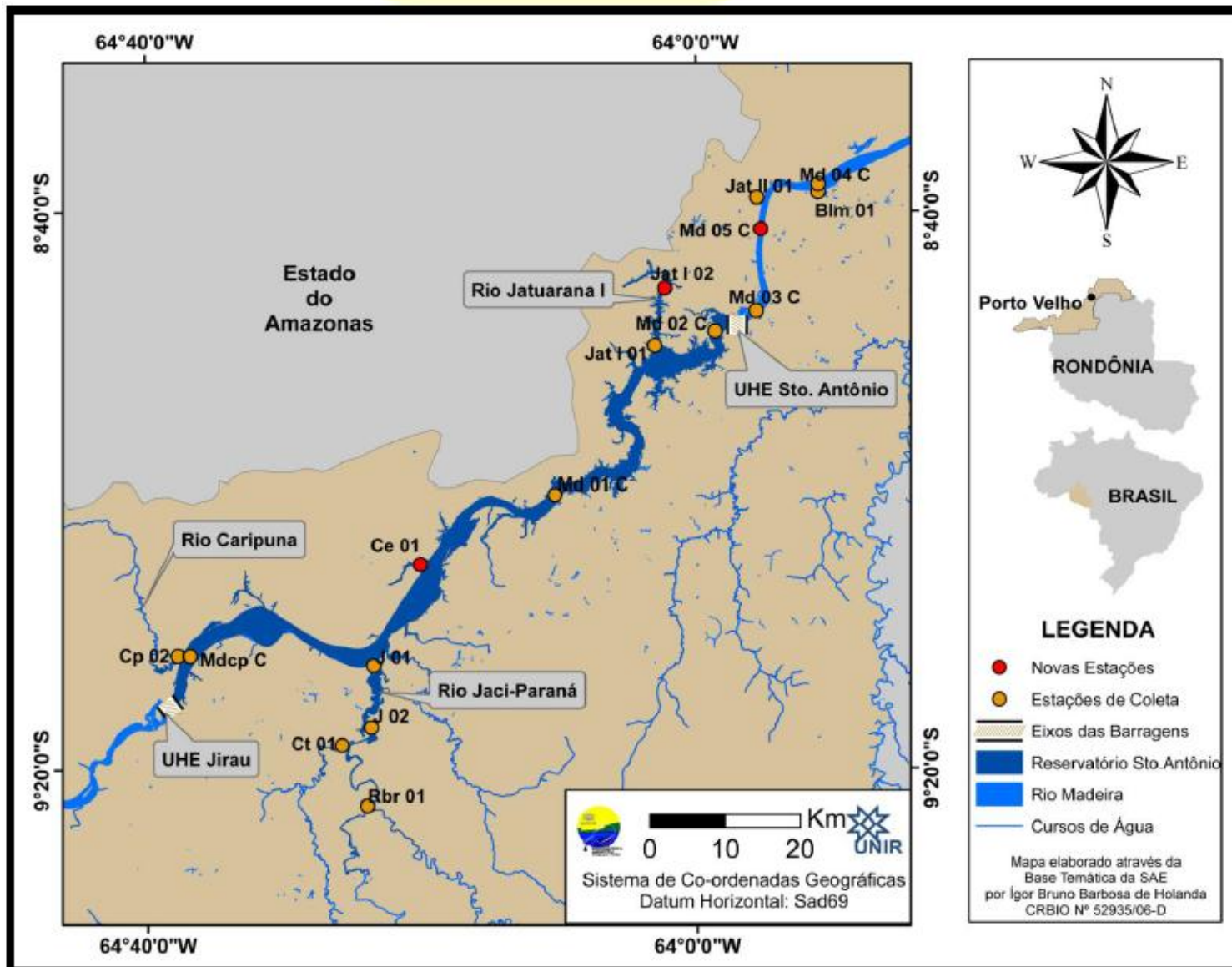


Figura III.1. Área de estudo no rio Madeira evidenciando as estações de monitoramento a montante e jusante do UHE-Santo Antônio para coleta das matrizes abióticas (água, material particulado em suspensão e sedimento de fundo), incluindo as 3 novas estações.

Tabela III.2. Descrição detalhada das estações de amostragens na área em monitoramento.

Número de Estações de Monitoramento	Estações de Monitoramento Hidrobiogeoquímica	Coordenadas: UTM/Datum: Sad 69/ Zona: 20L		Descrição das Estações de Monitoramento	Estações de Monitoramento Limnologia
		Longitude	Latitude		
01	BLM 01	406273,967	9044400,601	Igarapé Belmont	BEL
02	CP 02	321048,621	8982950,455	Segunda Estação do rio Caripunas	CAR
03	CT 01	342919,204	8971136,310	Rio Contra	-
04	RBR 01	346294,888	8963076,064	Rio Branco	-
05	J 01	347109,686	8981698,192	Próximo a Foz do rio Jací-Parana	JAC01
06	J 02	346781,596	8973505,777	Meandro do Rio Jací-Paraná (Lago Madalena)	-
07	JAT I 01	384539,715	9024006,687	Rio Jatuarana I, próximo a Foz no rio Madeira	JAT I
08	JAT I 02	385860,000	9031612,000	Rio Jatuarana I, a cerca de 2km a montante da Foz no rio Madeira	JAT I 01
09	JAT II 01	398124,206	9043686,424	Rio Jatuarana II	JAT II
10	MDCP	322645,757	8982927,388	Rio Madeira, próximo ao rio Caripunas à Montante da UHE-Santo Antônio	MON 05
11	MD 01	371247,682	9004371,914	Rio Madeira, próximo às Corredeiras do Morrinho	-
12	MD 02	392579,799	9025917,021	Rio Madeira à Montante UHE-Santo Antônio	MON 01
13	MD 03	398060,995	9028624,335	Rio Madeira à Jusante UHE-Santo Antônio	JUS 01
14	MD 04	406280,354	9045466,597	Rio Madeira à Jusante UHE-Santo Antônio em frente ao Igarapé Belmont	JUS 02
15	MD 05	398645,000	9039495,000	Rio Madeira a Jusante UHE-Santo Antônio entre as estações MD 03 e MD 04	-
16	CE 01	353334,000	8995132,000	Igarapé Ceará aproximadamente 7km a montante de sua foz	CEA 01

Tabela III.3: Afluentes do rio Madeira monitorados pelo Programa de Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais.

MONTANTE da UHE de Sto. Antônio	JUSANTE da UHE de Sto. Antônio
Rio Caripuna Rio Jaci-Paraná Rio Jatuarana I Igarapé Ceará	Rio Jatuarana II Igarapé Belmont

Tabela III.4. Descrição das estações de monitoramento instaladas nos afluentes do rio Madeira.

Estações de Monitoramento	Descrição
CP 02	Instalada no rio Caripuna, próximo a UHE de Jirau.
J 01	Instalada próximo a foz do rio Jaci-Paraná.
J 02	Instalada no Lago Madalena
CT 01	Instalada no rio Contra, afluente do rio Jaci-Paraná
RBR 01	Instalada no rio Branco, Afluente do rio Jaci-Paraná
JAT I 01	Instalada próximo a foz do rio Jatuarana I
JAT I 02	Instalada no rio Jatuarana I, a cerca de 2 km a montante da estação Jat I 01
JAT II 02	Instalada no rio Jatuarana II
BLM 01	Instalada no Igarapé Belmont
CE 01	Igarapé Ceará aproximadamente 7km a montante de sua foz

Laboratório
BIOGEOQUÍMICA
AMBIENTAL
Wolfgang C. Pfeiffer

IV. ÁGUA (AG)

A amostragem das águas vem sendo realizada conforme cronograma (Tabela III.1), a amostragem realizada nos meses de novembro (08 a 11/11/11); dezembro (06 a 12/12/11); março (19 a 23/03/12) e junho (25 a 29/06/12) objetiva-se observar a dinâmica do mercúrio total em sua fração total e dissolvida e metilmercúrio em sua fração dissolvida na água superficial no intuito de subsidiar a compreensão da disponibilização deste elemento nos ecossistemas aquáticos.

As amostras foram coletadas em frascos de vidro âmbar, previamente descontaminados com HNO_3 , e mantidas sob refrigeração em caixas térmicas até o laboratório. No laboratório as amostras foram cadastradas e filtradas em filtros de celulose de $0,45 \mu\text{m}$ de porosidade (Millipore). Previamente a filtração foi retirada uma alíquota da amostra que representa a fração total (amostra não filtrada). Após a filtração da amostra foi retirada uma alíquota da fração dissolvida (amostra filtrada; sem material particulado acima de $0,45 \mu\text{m}$). Ambas as alíquotas foram utilizadas para a quantificação de mercúrio total (Hg-T) e metilmercúrio (Metil-Hg).

Na quantificação de Hg-T em água foram utilizados 25g da amostra, adquirida gravimetricamente e armazenada em frascos de 40mL. Foram adicionados as amostras $100\mu\text{L}$ de monocloreto de bromo. Após 40 minutos, foram adicionados $100\mu\text{L}$ de cloridrato de hidroxilamina 30%. Após a agitação (3x) foram adicionados $100\mu\text{L}$ de cloreto estanoso 20%. Após 10 minutos foi realizada a leitura das amostras no CG - AFS.

Para a avaliação de Metil-Hg na fração dissolvida foi utilizado o método de determinação de Metil-Hg em água por destilação, etilação aquosa, *purge and trap* e cromatografia gasosa acoplado a espectrometria de Fluorescência Atômica - GC-AFS (Sistema MERX da Brooks Rand Labs). Todos os procedimentos utilizados para coleta e manipulação das amostras seguiram o método EPA-1669 para determinação de metais traço em água, e o método EPA-1630. A sequência está ilustrada nas figuras IV.1 e IV.2.

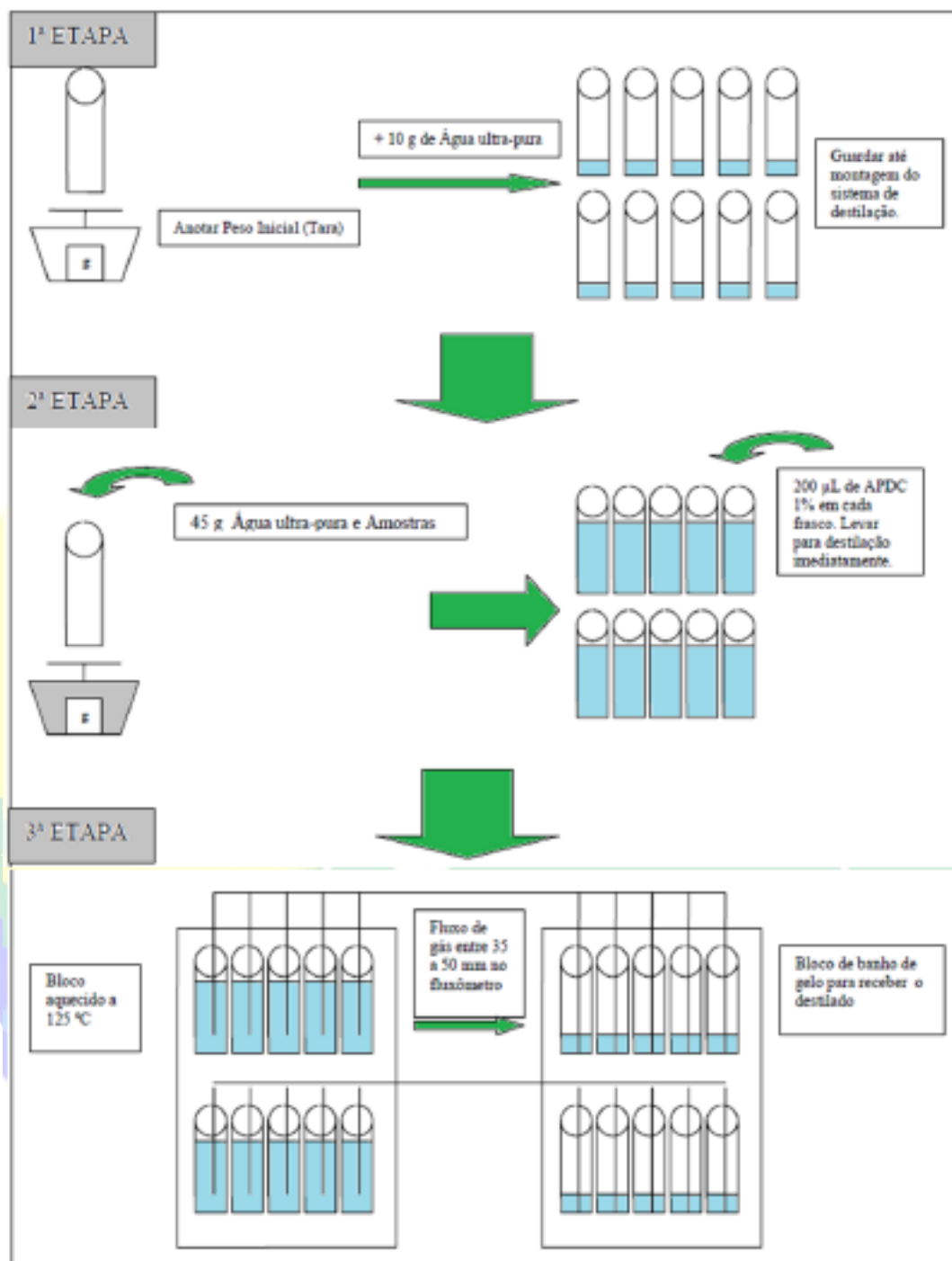


Figura IV.1. Esquema da destilação para quantificação de Metil-Hg em água (adaptado de MACHADO, 2011).

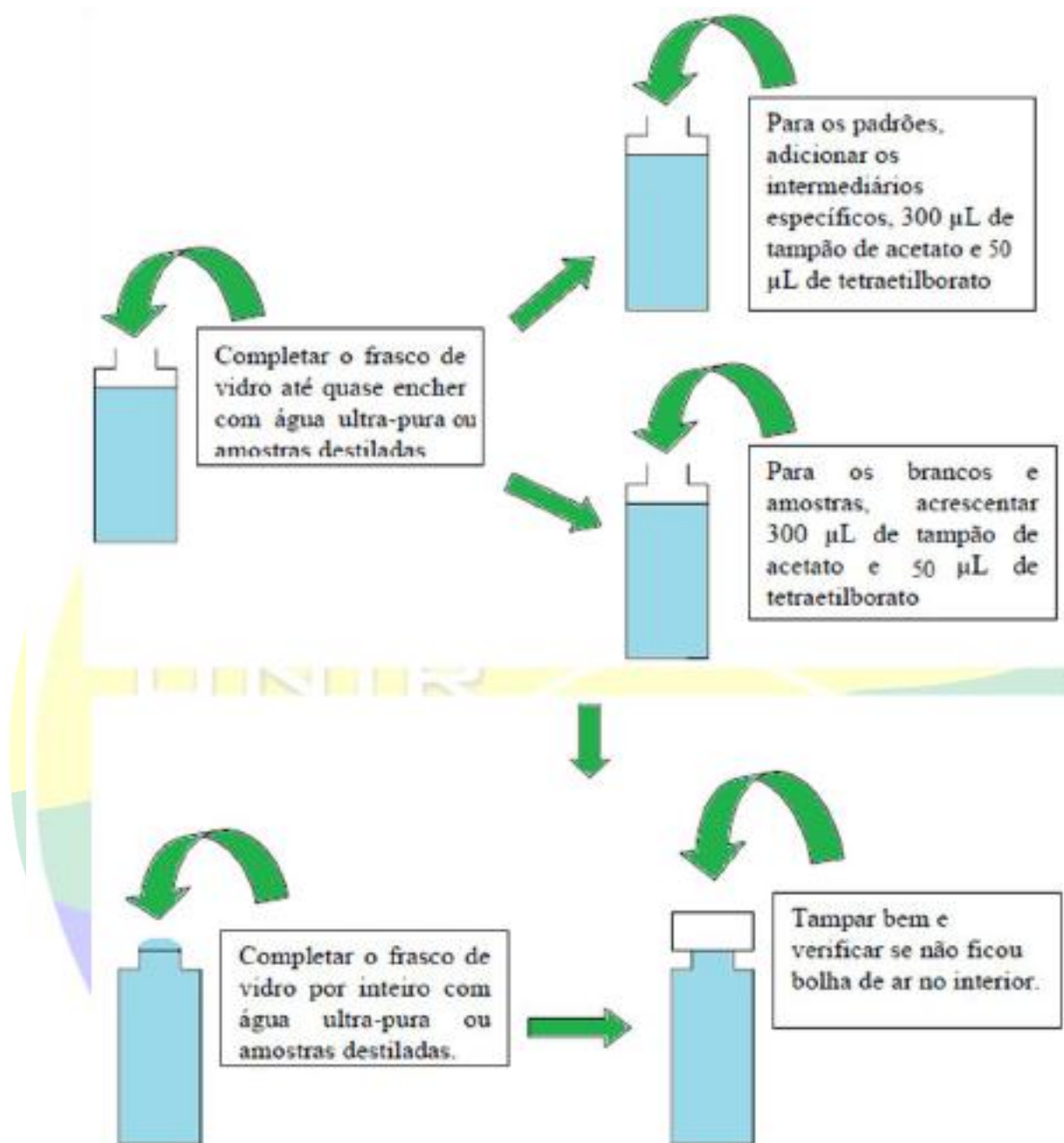


Figura IV.2. Etapas do preparo para análise no CG-AFS (adaptado de MACHADO, 2011).

IV.1. Resultados

Os valores médios de Hg-T e Metil-Hg nas águas do rio Madeira e tributários entre os meses de novembro de 2011, dezembro de 2011, março de 2012 e junho de 2012 estão representados na tabela IV.1 e nas figuras IV.3 e IV.4.

Tabela IV.1. Concentrações de Hg-T (fração total) e Metil-Hg (fração total) nas águas do rio Madeira e Tributários (média ± DP) com o n amostral entre os meses de novembro/2011 e dezembro/2011 (enchimento) e de março/2012 a setembro/2012 (estabilização). Os valores estão expressos em ng/L.

Período	Hg-T		Hg-T		Me-Hg		Me-Hg	
	Fração Total	n	Fração Total	n	Fração Total	n	Fração Total	n
	Rio Madeira		Tributários		Rio Madeira		Tributários	
nov/11	7,510 ± 1,100	05	3,760 ± 1,290	05	-	-	-	-
dez/11	15,490 ± 5,850	05	10,280 ± 7,000	08	-	-	-	-
mar/11	9,470 ± 2,390	05	2,400 ± 0,650	08	-	-	-	-
abr/12	4,877 ± 1,488	09	3,091 ± 2,643	14	0,220 ± 0,134	09	0,214 ± 0,190	16
mai/12	7,029 ± 1,020	08	2,012 ± 1,575	14	0,166 ± 0,075	10	0,131 ± 0,138	16
jun/12	4,028 ± 1,069	12	3,592 ± 1,414	18	0,082 ± 0,087	12	0,126 ± 0,128	18
jul/12	4,584 ± 1,934	12	2,964 ± 1,868	16	0,021 ± 0,018	12	0,075 ± 0,096	16
ago/12	5,156 ± 1,174	14	4,275 ± 1,953	16	0,124 ± 0,255	14	0,105 ± 0,114	16
set/12	4,272 ± 1,213	13	3,204 ± 3,240	16	0,044 ± 0,048	13	0,166 ± 0,196	16
Média	6,618 ± 1,642	83	4,147 ± 1,886	115	0,110 ± 0,084	70	0,136 ± 0,041	98

IV.1.1. Mercúrio total em água na fração total

A concentração de Hg-T em água nos meses de novembro de 2011 e dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho (vazante) nos tributários foi de $3,76 \pm 1,29$ ng/L; $10,28 \pm 6,70$ ng/L; $2,40 \pm 0,64$ ng/L e $3,34 \pm 1,68$ ng/L, respectivamente. No rio Madeira foi de $7,51 \pm 1,09$ ng/L; $15,49 \pm 5,85$ ng/L; $9,47 \pm 7,27$ ng/L e $4,55 \pm 0,68$ ng/L, respectivamente (Figura IV.3). Em média as concentrações de Hg-T na água do rio Madeira foram mais elevadas que os tributários, fato este que pode estar associado a uma maior quantidade de material particulado em suspensão que este rio carrega.

Observa-se uma dinâmica sazonal na concentração de Hg-T na fração total com maiores valores no mês de dezembro/11(enchente), tanto nas estações do rio Madeira quanto nos tributários. A contribuição para o aumento da média de Hg-T nos tributários se deve, principalmente, as estações de monitoramento a jusante do eixo da barragem instaladas nos igarapés Belmont e Jatuarana II ($25,90$ e $12,06$ ng/L, respectivamente) e a montante no rio Branco ($13,10$ ng/L) no mês de dezembro de 2011.

De acordo com a resolução CONAMA 357/05 para águas doces classe 2 a concentração máxima de mercúrio total permitida é de $0,0002$ mg/L (200 ng/L). Até o momento todos os valores encontrados de Hg-T na água estão abaixo do preconizado pela referida legislação.

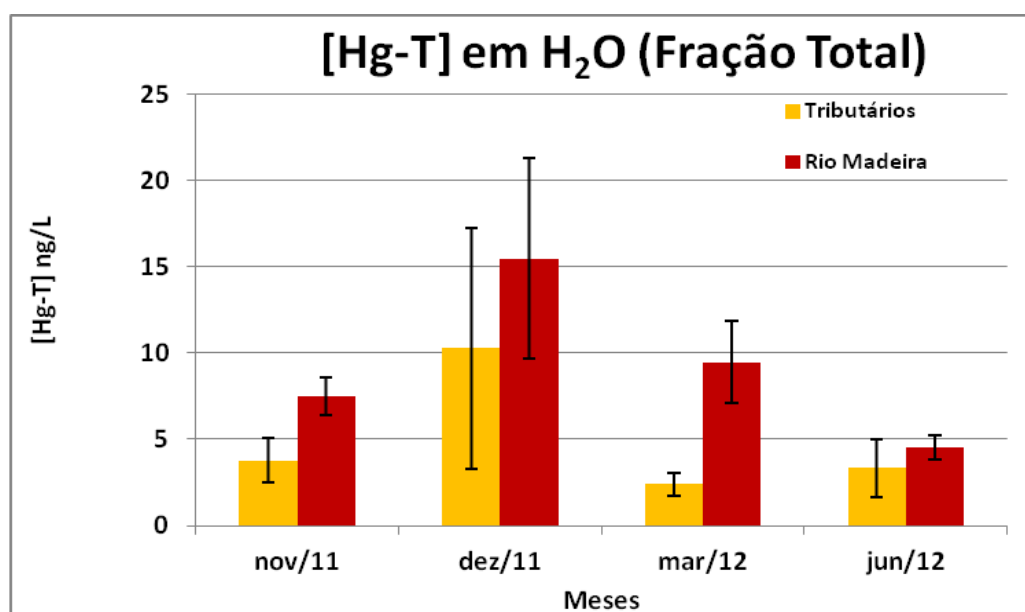


Figura IV.3. Concentrações de Hg-T na H₂O *Fração Total* (H₂O+MPS) no rio Madeira e nos Tributários de novembro/11; dezembro/11; março/12 e junho/12.

IV.1.2. Mercúrio total em água na fração dissolvida

No período avaliado a concentração média global de Hg-T na água em sua fração dissolvida nos tributários avaliados foi de $1,65 \pm 1,36$ ng/L ($n=29$), com valores entre 0,44 – 6,40 ng/L tendo o menor teor na estação JAT I 02 no mês de março de 2012. O maior valor foi encontrado na estação JAT II no mês de dezembro de 2011. No rio Madeira a concentração média foi de $1,30 \pm 0,76$ ng/L ($n=21$) com valores entre 0,39 – 3,14 ng/L, tendo a menor concentração na estação MD02 no mês de março de 2012 e o maior valor na estação MD04 no mês de dezembro de 2011.

A concentração de Hg-T na fração dissolvida no mês de novembro de 2011 (enchente), dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi de $1,28 \pm 0,45$ ng/L; $3,17 \pm 1,60$ ng/L; $0,97 \pm 0,38$ ng/L e $1,11 \pm 1,02$ ng/L, respectivamente. No rio Madeira foi de $1,19 \pm 0,77$ ng/L; $1,99 \pm 1,02$ ng/L; $1,14 \pm 0,84$ e $0,94 \pm 0,23$ ng/L, respectivamente. Os resultados supracitados podem ser observados na figura IV.4.

Observa-se uma dinâmica sazonal na concentração de Hg-T na fração dissolvida com valores mais elevados no mês de dezembro de 2011 (enchente), tanto nas estações do rio Madeira quanto nos tributários, similar a dinâmica encontrada na fração total. Em média, as concentrações de Hg-T na fração dissolvida no rio Madeira foram semelhantes as concentrações dos tributários. Os tributários apresentaram uma tendência de aumento apenas no mês de dezembro de 2011. Entretanto, a relação em porcentagem entre a concentração de Hg-T na fração dissolvida e fração total foi em média maiores nos tributários ($38,05 \pm 18,74$ %) que no rio Madeira ($16,52 \pm 8,27$ %).

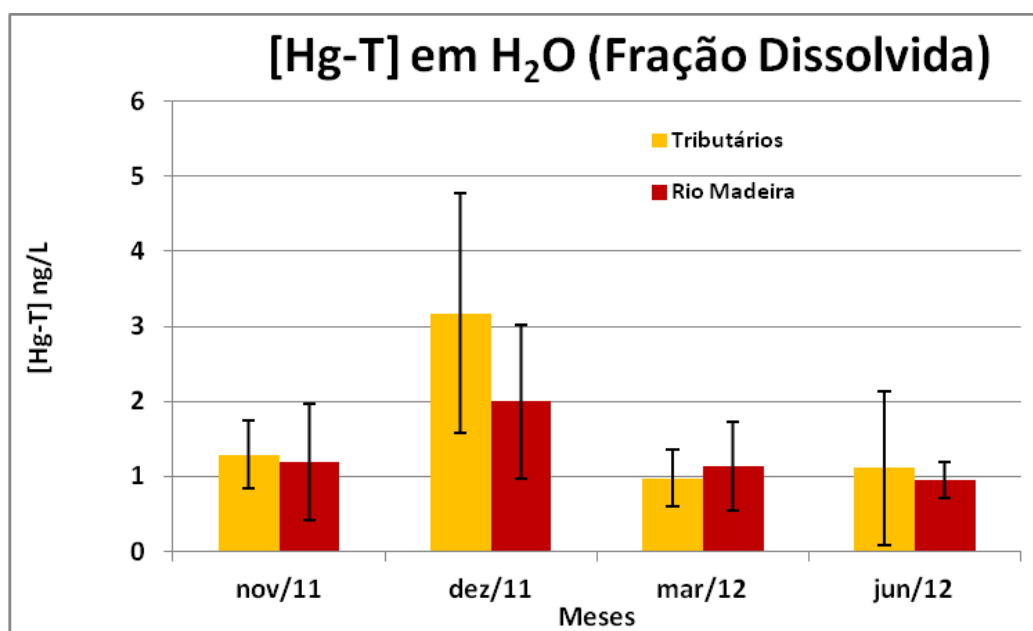


Figura IV.4. Concentrações de Hg-T na H₂O *Fração Dissolvida* (H₂O-MPS) no rio Madeira e nos Tributários de novembro/11; dezembro/11; março/12 e junho/12.

IV.1.3. Metil-Hg em água na fração dissolvida

No período avaliado a concentração média de Metil-Hg na água em sua fração dissolvida nos tributários avaliados foi de $0,07 \pm 0,06$ ng/L ($n=29$) com valores entre 0,01 – 0,26 ng/L. Foi observado que tanto a menor (março de 2012) quanto a maior (junho de 2012) concentração de metilmercúrio foi encontrada na estação JAT I 02. No rio Madeira a concentração média de Metil-Hg foi de $0,05 \pm 0,05$ ng/L ($n=21$) com valores entre 0,01 – 0,27 ng/L, tendo a menor concentração nas estações MON 2, MD02 e MDCP no mês de março de 2012 e o maior na estação MD04 no mês de dezembro de 2011.

A concentração de Metil-Hg na fração dissolvida no mês de novembro de 2011 (enchente), dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi de $0,05 \pm 0,02$ ng/L, $0,12 \pm 0,05$ ng/L, $0,07 \pm 0,06$ ng/L e $0,07 \pm 0,08$ ng/L, respectivamente. No rio Madeira foi de $0,04 \pm 0,03$ ng/L, $0,11 \pm 0,09$ ng/L, $0,03 \pm 0,02$ e $0,03 \pm 0,02$ ng/L, respectivamente. Os resultados supracitados podem ser observados na Figura IV.5.

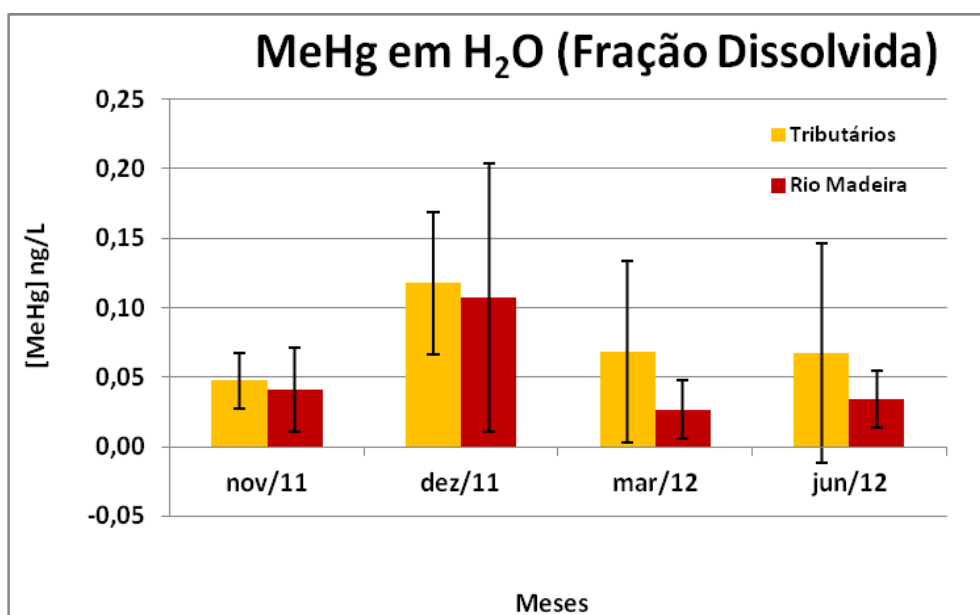


Figura IV.5. Concentrações de Metil-Hg na H₂O *Fração Dissolvida* (H₂O-MPS) no rio Madeira e nos Tributários de novembro/11; dezembro/11; março/12 e junho/12.

Em relação ao Metil-Hg observa-se em média uma tendência de acréscimo em sua concentração nos tributários em relação ao rio Madeira. Comparando a concentração de Metil-Hg na fração dissolvida com Hg-T na mesma fração, observa-se um maior aumento percentual em média nos tributários (6%) do que no rio Madeira (4%).

Observa-se uma dinâmica sazonal na concentração de Metil-Hg na fração dissolvida, com maiores valores no mês de dezembro de 2011(enchente), tanto nas estações do rio Madeira quanto nos tributários. Esse resultado é similar a dinâmica encontrada na avaliação do Hg-T.

Os valores de metilmercúrio na fração dissolvida encontrados nos tributários durante o trabalho realizado no pré-enchimento do reservatório mostraram uma variação sazonal com maiores valores no período de águas altas e menores valores no período de águas baixas (Tabela IV.2).

Tabela IV.2. Concentrações de metilmercúrio em água na fração total (MeHgT) e fração dissolvida (MeHgD) no rio Madeira e seus tributários durante o período de pré-enchimento.

Localização/ Período Hidrológico	MeHg ng/L	MIN-MAX	Referência mês/ano
Tributários			
Vazante	MeHgT	0,046 - 0,409	Maio/2010
Águas baixas	MeHgT	0,026 - 0,085	Agosto/2010
Enchente	MeHgT	0,042 - 0,599	Novembro/2010
Águas altas	MeHgT	0,061 - 0,606	Fevereiro/2011
Vazante	MeHgD	0,026 - 0,161	Maio/2010
Águas baixas	MeHgD	0,014 - 0,051	Agosto/2010
Enchente	MeHgD	0,033 - 0,375	Novembro/2010
Águas altas	MeHgD	0,151 - 0,541	Fevereiro/2011
Rio Madeira			
Vazante	MeHgT	0,049 - 0,068	Maio/2010
Águas baixas	MeHgT	0,031 - 0,069	Agosto/2010
Enchente	MeHgT	0,048 - 0,636	Novembro/2010
Águas altas	MeHgT	0,256 - 0,307	Fevereiro/2011
Vazante	MeHgD	0,042 - 0,075	Maio/2010
Águas baixas	MeHgD	0,017 - 0,044	Agosto/2010
Enchente	MeHgD	0,028 - 0,035	Novembro/2010
Águas altas	MeHgD	0,058 - 0,070	Fevereiro/2010

VI.2. Análises dos Dados

A análise de variância (ANOVA) com efeitos aleatórios foi aplicada com o propósito de testar diferenças entre as médias dos valores de **MeHg na água na fração total e dissolvida** nas coletas de água do Pré-enchimento e Pós-enchimento da UHE-Santo Antônio. A partir destas análises podemos inferir que:

i) Não há diferença significativa entre as concentrações de **MeHg** na água total e dissolvida ao compararmos as fases de pré e pós-enchimento, considerando o trecho da UHE- Santo Antonio – “Sistema Madeira” que consiste do trecho do rio Madeira e seus afluentes sob interferência da UHE – Santo Antonio. As tabelas IV.3 e IV.4 mostram, respectivamente, os valores obtidos pelo teste de Fisher (LSD) para as concentrações de **MeHg na água fração total e dissolvida**.

Tabela VI.3. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre Pré-enchimento vs Pós-enchimento nas concentrações de **MeHg na água na fração total** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
PRE vs POS	-0,027	-1,032	2,145	0,320	Não

Tabela IV.4. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre Pré-enchimento vs Pós-enchimento nas concentrações de **MeHg na água na fração dissolvida** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
PRE vs POS	-0,033	-0,856	2,145	0,406	Não

ii) Não há diferença significativa entre as concentrações de **MeHg na água na fração total e dissolvida** ao compararmos as interações entre as fases de pré-enchimento e pós-enchimento e as localidades rio Madeira e tributários. As tabelas IV.5 e IV.6 mostram, respectivamente, os valores obtidos pelo teste de Fisher (LSD) para as concentrações de **MeHg na água na fração total e dissolvida**.

Tabela IV.5. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento e as localidades Madeira (MD) e Tributários (TB) nas concentrações de **MeHg na água na fração total** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
PRE(Localização-MD) vs PRE(Localização-TB)	-0,045	-1,959	1,981	0,053	Não
PRE(Localização-MD) vs POS(Localização-TB)	-0,033	-1,449	1,981	0,150	Não
PRE(Localização-MD) vs POS(Localização-MD)	-0,011	-0,449	1,981	0,654	Não
POS(Localização-MD) vs PRE(Localização-TB)	-0,035	-1,630	1,981	0,106	Não
POS(Localização-MD) vs POS(Localização-TB)	-0,022	-1,065	1,981	0,289	Não
POS(Localização-TB) vs PRE(Localização-TB)	-0,013	-0,647	1,981	0,519	Não

Tabela IV.6. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento e as localidades Madeira (MD) e Tributários (TB) para as concentrações de **MeHg na água na fração dissolvida** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
POS(Localizacao-MD) vs PRE(Localizacao-TB)	-0,044	-1,504	1,981	0,135	Não
POS(Localizacao-MD) vs POS(Localizacao-TB)	-0,020	-0,707	1,981	0,481	Não
POS(Localizacao-MD) vs PRE(Localizacao-MD)	-0,003	-0,079	1,981	0,937	Não
PRE(Localizacao-MD) vs PRE(Localizacao-TB)	-0,041	-1,297	1,981	0,197	Não
PRE(Localizacao-MD) vs POS(Localizacao-TB)	-0,017	-0,560	1,981	0,576	Não
POS(Localizacao-TB) vs PRE(Localizacao-TB)	-0,024	-0,887	1,981	0,377	Não

Com relação as interações envolvendo Pré-enchimento vs Pós-enchimento vs Sazonalidade (*Agua Altas* – **AA**; *Agua Baixas* – **AB**; *Vazante* – **V** e *Enchente* – **EN**) os valores obtidos para as concentrações de **MeHg na água na fração total e dissolvida** estão sintetizados nas tabelas IV.7 e IV.8, respectivamente.

Tabela IV.7. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento e a sazonalidade nas concentrações de **MeHg na água na fração total** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
PRE(Sazonalidade-AB) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,199	-4,987	1,982	< 0,0001	Sim
PRE(Sazonalidade-AB) vs POS(Sazonalidade-EN)	-0,075	-2,091	1,982	0,039	Sim
PRE(Sazonalidade-AB) vs POS(Sazonalidade-AA)	-0,075	-1,882	1,982	0,063	Não
PRE(Sazonalidade-AB) vs PRE(Sazonalidade-EN)	-0,069	-1,742	1,982	0,084	Não
PRE(Sazonalidade-AB) vs PRE(Sazonalidade-V)	-0,068	-1,700	1,982	0,092	Não
PRE(Sazonalidade-AB) vs POS(Sazonalidade-V)	-0,059	-1,760	1,982	0,081	Não
POS(Sazonalidade-V) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,139	-4,131	1,982	< 0,0001	Sim
POS(Sazonalidade-V) vs POS(Sazonalidade-EN)	-0,016	-0,540	1,982	0,591	Não
IPOS(Sazonalidade-V) vs POS(Sazonalidade-AA)	-0,016	-0,462	1,982	0,645	Não
POS(Sazonalidade-V) vs PRE(Sazonalidade-EN)	-0,010	-0,298	1,982	0,766	Não
POS(Sazonalidade-V) vs PRE(Sazonalidade-V)	-0,008	-0,248	1,982	0,805	Não
PRE(Sazonalidade-V) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,131	-3,288	1,982	0,001	Sim
PRE(Sazonalidade-V) vs POS(Sazonalidade-EN)	-0,007	-0,202	1,982	0,840	Não
PRE(Sazonalidade-V) vs POS(Sazonalidade-AA)	-0,007	-0,182	1,982	0,856	Não
PRE(Sazonalidade-V) vs PRE(Sazonalidade-EN)	-0,002	-0,042	1,982	0,966	Não
PRE(Sazonalidade-EN) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,129	-3,245	1,982	0,002	Sim
PRE(Sazonalidade-EN) vs POS(Sazonalidade-EN)	-0,006	-0,155	1,982	0,877	Não
PRE(Sazonalidade-EN) vs POS(Sazonalidade-AA)	-0,006	-0,139	1,982	0,889	Não
POS(Sazonalidade-AA) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,124	-3,106	1,982	0,002	Sim
POS(Sazonalidade-AA) vs POS(Sazonalidade-EN)	0,000	0,000	1,982	1,000	Não
POS(Sazonalidade-EN) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,124	-3,452	1,982	0,001	Sim

Tabela IV.8. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações **PRÉ vs PÓS vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água na fração dissolvida** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
PRE(Sazonalidade-AB) vs PRE(Sazonalidade-AA)	-0,099	-3,147	1,982	0,002	Sim
PRE(Sazonalidade-AB) vs POS(Sazonalidade-EN)	-0,052	-1,839	1,982	0,069	Não
PRE (Sazonalidade-AB) vs PRE (Sazonalidade-EN)	-0,048	-1,537	1,982	0,127	Não
IPRE (Sazonalidade-AB) vs POS (Sazonalidade-V)	-0,041	-1,550	1,982	0,124	Não
PRE (Sazonalidade-AB) vs PRE (Sazonalidade-V)	-0,036	-1,142	1,982	0,256	Não
PRE (Sazonalidade-AB) vs POS (Sazonalidade-AA)	-0,024	-0,766	1,982	0,445	Não
POS (Sazonalidade-AA) vs PRE (Sazonalidade-AA)	-0,075	-2,381	1,982	0,019	Sim
POS (Sazonalidade-AA) vs POS (Sazonalidade-EN)	-0,028	-0,988	1,982	0,325	Não
POS (Sazonalidade-AA) vs PRE (Sazonalidade-EN)	-0,024	-0,771	1,982	0,442	Não
POS (Sazonalidade-AA) vs POS (Sazonalidade-V)	-0,017	-0,646	1,982	0,520	Não
POS (Sazonalidade-AA) vs PRE (Sazonalidade-V)	-0,012	-0,376	1,982	0,707	Não
PRE (Sazonalidade-V) vs PRE (Sazonalidade-AA)	-0,063	-2,005	1,982	0,047	Sim
PRE (Sazonalidade-V) vs POS (Sazonalidade-EN)	-0,016	-0,570	1,982	0,570	Não
PRE (Sazonalidade-V) vs PRE (Sazonalidade-EN)	-0,012	-0,395	1,982	0,694	Não
PRE (Sazonalidade-V) vs POS (Sazonalidade-V)	-0,005	-0,201	1,982	0,841	Não
POS (Sazonalidade-V) vs PRE (Sazonalidade-AA)	-0,058	-2,167	1,982	0,032	Sim
POS (Sazonalidade-V) vs POS (Sazonalidade-EN)	-0,011	-0,472	1,982	0,638	Não
POS (Sazonalidade-V) vs PRE (Sazonalidade-EN)	-0,007	-0,265	1,982	0,792	Não
PRE (Sazonalidade-EN) vs PRE (Sazonalidade-AA)	-0,051	-1,610	1,982	0,110	Não
PRE (Sazonalidade-EN) vs POS (Sazonalidade-EN)	-0,004	-0,131	1,982	0,896	Não
POS (Sazonalidade-EN) vs PRE (Sazonalidade-AA)	-0,047	-1,658	1,982	0,100	Não

Diante da variabilidade de interações ocorridas, mostradas nas tabelas IV.9 e IV.10, sintetizam a formação de grupos em função das interações **PRÉ vs PÓS vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água na fração total e dissolvida**, respectivamente.

Tabela IV.9. Síntese após Teste de Fisher (LSD) entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento vs Sazonalidade nas concentrações de **MeHg na água na fração total** ($\alpha = 0,05$).

Categoria	Média Estimada (H₂O Total)	Grupos
ID-PRÉ (Sazonalidade-AB)	0,049	A
ID-PÓS (Sazonalidade-V)	0,109	A B
ID-PRÉ (Sazonalidade-V)	0,117	A B
ID-PRÉ (Sazonalidade-EN)	0,119	A B
ID-PÓS (Sazonalidade-AA)	0,124	A B
ID-PÓS (Sazonalidade-EN)	0,124	B
ID-PRÉ (Sazonalidade-AA)	0,248	C

Tabela IV.10. Síntese após Teste de Fisher (LSD) entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento vs Sazonalidade nas concentrações de **MeHg na água na fração dissolvida** ($\alpha = 0,05$).

Categoria	Média Estimada (H₂O Dissolvida)	Grupos
ID-PRÉ (Sazonalidade - AB)	0,028	A
ID-PÓS (Sazonalidade - AA)	0,052	A
ID-PRÉ (Sazonalidade - V)	0,064	A
ID-PÓS (Sazonalidade - V)	0,070	A
ID-PRÉ (Sazonalidade - EN)	0,077	A B
ID-PÓS (Sazonalidade - EN)	0,080	A B
ID-PRÉ (Sazonalidade - AA)	0,127	B

Ainda, com relação as interações envolvendo Madeira (MD) vs Tributários (TB) vs Sazonalidade (*Águas alta* – AA; *Águas baixas* – AB; *Vazante* – V e *Enchente* – EN) os valores obtidos para as concentrações de **MeHg na água na fração total e dissolvida** estão sintetizados nas tabelas IV.11 e IV.12, respectivamente.

Tabela IV.11. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações **MD vs TB vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água na fração total** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
MD (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,151	-2,645	1,982	0,009	Sim
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,130	-2,425	1,982	0,017	Sim
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,091	-1,739	1,982	0,085	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,087	-1,701	1,982	0,092	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,052	-0,962	1,982	0,338	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - V)	-0,026	-0,498	1,982	0,620	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - AB)	-0,001	-0,024	1,982	0,981	Não
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,150	-3,026	1,982	0,003	Sim
TB (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,128	-2,838	1,982	0,005	Sim
TB (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,090	-2,042	1,982	0,044	Sim
TB (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,085	-2,021	1,982	0,046	Sim
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,050	-1,104	1,982	0,272	Não
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - V)	-0,025	-0,559	1,982	0,577	Não
MD (Sazonalidade - V) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,125	-3,000	1,982	0,003	Sim
MD (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,103	-2,840	1,982	0,005	Sim
MD (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,065	-1,859	1,982	0,066	Não
MD (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,060	-1,851	1,982	0,067	Não
MD (Sazonalidade - V) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,025	-0,687	1,982	0,493	Não
MD (Sazonalidade - EN) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,099	-2,332	1,982	0,022	Sim
MD (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,078	-2,075	1,982	0,040	Sim
MD (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,039	-1,092	1,982	0,277	Não
MD (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,035	-1,030	1,982	0,305	Não
TB (Sazonalidade - V) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,064	-1,661	1,982	0,100	Não
TB (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,043	-1,296	1,982	0,198	Não
TB (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,005	-0,143	1,982	0,886	Não

TB (Sazonalidade - EN) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,060	-1,472	1,982	0,144	Não
TB (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,038	-1,086	1,982	0,280	Não
TB (Sazonalidade - AA) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,022	-0,512	1,982	0,610	Não

Tabela IV.12. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações **MD vs TB vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água na fração dissolvida** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
TB (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,094	-2,713	1,982	0,008	Sim
TB (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,070	-2,071	1,982	0,041	Sim
TB (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,053	-1,633	1,982	0,105	Não
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,036	-1,040	1,982	0,301	Não
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - V)	-0,031	-0,898	1,982	0,371	Não
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,021	-0,560	1,982	0,577	Não
TB (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - AB)	-0,012	-0,253	1,982	0,800	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,082	-2,011	1,982	0,047	Sim
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,058	-1,449	1,982	0,150	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,041	-1,056	1,982	0,293	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,025	-0,602	1,982	0,548	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - V)	-0,019	-0,473	1,982	0,637	Não
MD (Sazonalidade - AB) vs MD (Sazonalidade - AA)	-0,010	-0,221	1,982	0,825	Não
MD (Sazonalidade - AA) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,073	-2,255	1,982	0,026	Sim
MD (Sazonalidade - AA) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,048	-1,554	1,982	0,123	Não
MD (Sazonalidade - AA) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,031	-1,061	1,982	0,291	Não
MD (Sazonalidade - AA) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,015	-0,465	1,982	0,643	Não
MD (Sazonalidade - AA) vs MD (Sazonalidade - V)	-0,010	-0,300	1,982	0,765	Não
MD (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,063	-2,267	1,982	0,025	Sim
MD (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,039	-1,461	1,982	0,147	Não

MD (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,022	-0,882	1,982	0,380	Não
MD (Sazonalidade - V) vs MD (Sazonalidade - EN)	-0,006	-0,198	1,982	0,843	Não
MD (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,057	-2,002	1,982	0,048	Sim
MD (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,033	-1,209	1,982	0,229	Não
MD (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - V)	-0,016	-0,632	1,982	0,529	Não
TB (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,041	-1,619	1,982	0,108	Não
TB (Sazonalidade - V) vs TB (Sazonalidade - EN)	-0,017	-0,704	1,982	0,483	Não
TB (Sazonalidade - EN) vs TB (Sazonalidade - AA)	-0,024	-0,890	1,982	0,376	Não

Diante da variabilidade de interações ocorridas, apresentadas nas tabelas IV.13 e IV.14, sintetizam a formação de grupos em função das interações **MD vs TB vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água total e dissolvida**, respectivamente.

Tabela IV.13. Síntese após Teste de Fisher (LSD) entre as interações **MD vs TB vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água na fração total** ($\alpha = 0,05$).

Categoria	Média Estimada (H₂O Total)	Grupos
Localização – MD (Sazonalidade - AB)	0,049	A
Localização – TB (Sazonalidade - AB)	0,050	A
Localização – MD (Sazonalidade - V)	0,075	A
Localização – MD (Sazonalidade - EN)	0,100	A
Localização – TB (Sazonalidade - V)	0,135	A B
Localização – TB (Sazonalidade - EN)	0,140	A B
Localização – TB (Sazonalidade - AA)	0,178	B
Localização – MD (Sazonalidade - AA)	0,200	B

Tabela IV.14. Síntese após Teste de Fisher (LSD) entre as interações **MD vs TB vs SAZONALIDADE** nas concentrações de **MeHg na água na fração dissolvida** ($\alpha = 0,05$).

Categoria	Média Estimada (H₂O Dissolvida)	Grupos
Localização – TB (Sazonalidade - AB)	0,024	A
Localização – MD (Sazonalidade - AB)	0,035	A B
Localização – MD (Sazonalidade - AA)	0,045	A B
Localização – MD (Sazonalidade - V)	0,055	A B
Localização – MD (Sazonalidade - EN)	0,060	A B
Localização – TB (Sazonalidade - V)	0,077	A B C
Localização – TB (Sazonalidade - EN)	0,094	B C
Localização – TB (Sazonalidade - AA)	0,118	C

IV.3. Considerações

- Durante o pré-enchimento a concentração de metilmercúrio dissolvido no período de águas altas foi maior que no período de águas baixas ($p=0,07$).
- Durante o pós-enchimento a concentração de metilmercúrio dissolvido no período de águas baixas foi menor que no período de águas altas do pré-enchimento ($p=0,025$).
- Não há diferença significativa entre as concentrações de metilmercúrio dissolvido ao compararmos as fases de pré e pós-enchimento nos tributários ($p=0,469$).
- Não há diferença significativa entre as concentrações de metilmercúrio dissolvido ao compararmos as fases de pré e pós-enchimento no Rio Madeira ($p=0,787$).
- As concentrações de metilmercúrio dissolvido no “sistema madeira” foi maior no período de águas altas no pré-enchimento que no período correspondente no pós-enchimento ($p=0,004$).

V. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

A seguir serão apresentadas as concentrações dos elementos-traço: Cobalto (Co), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn) e Mercúrio (Hg) no material particulado em suspensão (MPS) referente as coletas realizadas nas semanas de 13 a 15 de dezembro de 2011, de 20 a 23 de março de 2012 e de 25 a 29 de junho de 2012.

V.1. Metodologia

As amostras de MPS foram obtidas a partir da água superficial (coletadas a cerca de 20 cm de profundidade) coletadas em frascos de 5L de polietileno transportadas sob refrigeração. No laboratório as mostras foram filtradas em filtros de 0,45 µm de porosidade (Millipore), previamente pesados em balança de precisão. Para a determinação da massa (mg) de material particulado retido nos filtros, quatro filtros de cada ponto de coleta foram secos em estufa a 60°C. A diferença entre as pesagens dos filtros antes e depois da filtragem equivale a massa de particulado (Total de MPS) presente no volume de água filtrado em cada ponto de coleta. Posteriormente, dois filtros sofreram extração química para quantificação de Hg-T pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer). Dois filtros sofreram extração química seguindo o método USEPA 3051 proposto pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) para a análise dos demais elementos-traço.

V.2. Resultados

V.2.1. Material Particulado em Suspensão

A concentração média do total de massa de material particulado em suspensão (média±DP, em mg/L) no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi de $53,79 \pm 47,26$ mg/L, $10,82 \pm 4,50$ mg/L, $28,66 \pm 30,01$ mg/L, respectivamente. No rio Madeira a concentração média foi de $248,10 \pm 202,63$ mg/L e $391,42 \pm 107,22$ mg/L e $121,67 \pm 19,67$ mg/L, respectivamente (Figura V.1).

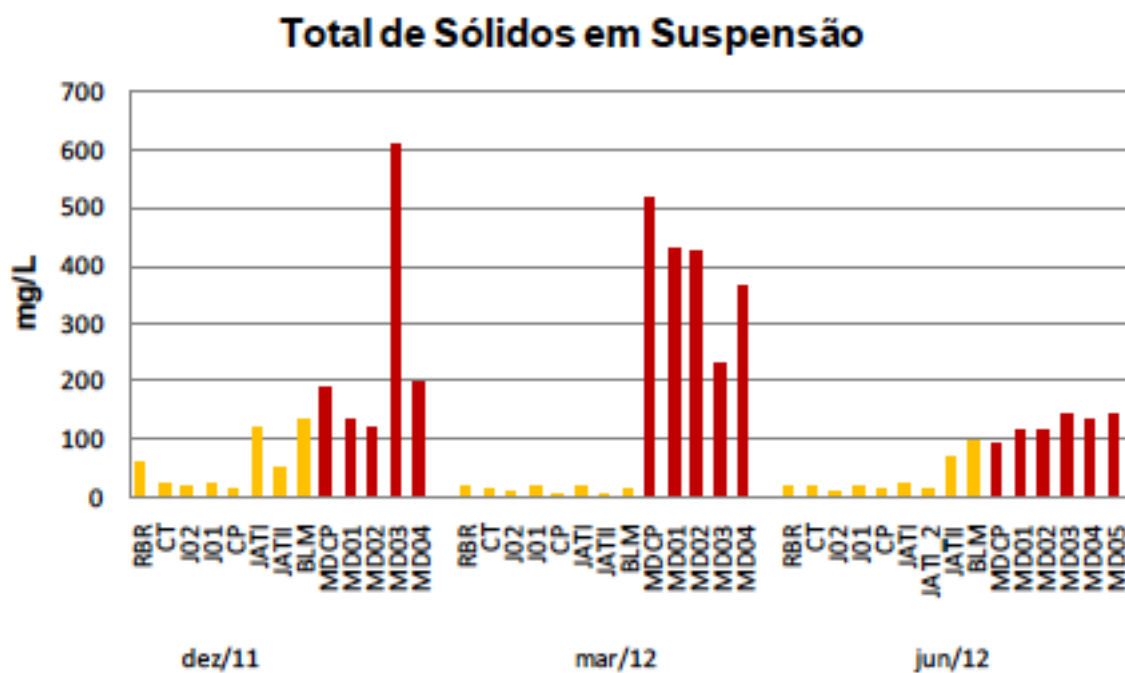


Figura V.1. Total de sólidos em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

V.2.2. Elementos-traço

Na tabela V.1 estão apresentados as concentrações de elementos-traço no MPS dos tributários, enquanto que na tabela V.2 estão apresentados as concentrações de elementos-traço no MPS do rio Madeira.

Tabela V.1. Concentração média de elementos-traço no Material Particulado em Suspensão dos tributários do rio Madeira. Os valores estão expressos em mg/kg.

Estações	Período	Cobalto	Manganês	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Ferro	Zinco	Mercúrio
RBR	dez./11	16,20	862,07	61,52	<LDT	130,38	8,82	60107,09	134,38	0,229
RBR	mar./12	31,65	412,60	85,25	39,12	197,36	39,00	48824,68	82,07	0,177
RBR	Jun./12	21,72	767,19	113,95	31,50	<LDT	41,81	52635,01	<LDT	0,750
CT	dez./11	16,81	525,55	76,83	<LDT	112,94	9,60	64751,69	149,68	0,164
CT	mar./12	<LDT	173,10	28,02	<LDT	66,34	31,23	51660,46	128,81	0,216
CT	Jun./12	16,01	215,79	89,92	86,06	<LDT	67,86	54101,06	116,65	N.N.
J02	dez./11	16,46	621,88	80,28	<LDT	73,57	7,66	61650,84	155,93	0,166
J02	mar./12	<LDT	339,42	71,61	<LDT	265,51	24,53	69003,67	121,90	0,087
J02	Jun./12	24,63	419,72	75,74	13,17	<LDT	45,86	45378,54	<LDT	1,200
J01	dez./11	24,94	1469,67	71,13	<LDT	179,75	6,32	79153,15	183,05	0,137
J01	mar./12	0,00	350,07	23,99	<LDT	171,42	25,70	83377,02	130,42	N.N.
J01	Jun./12	16,04	915,39	60,92	<LDT	<LDT	17,42	41355,72	168,71	0,650
CP	dez./11	16,02	303,11	79,04	<LDT	<LDT	10,99	74715,36	102,34	0,261
CP	mar./12	<LDT	214,27	47,64	<LDT	<LDT	45,61	95801,93	274,98	0,358
CP	Jun./12	16,41	172,33	99,93	12,49	<LDT	66,73	47146,57	118,07	1,130
JATI	dez./11	15,53	507,51	33,09	16,16	47,78	31,24	35790,88	105,33	0,165
JATI	mar./12	6,12	872,51	23,24	<LDT	<LDT	33,86	87550,29	128,52	0,201
JATI	Jun./12	21,67	699,22	68,33	43,06	3,33	32,33	56787,39	137,17	0,210
JATI-2	Jun./12	19,11	1481,68	111,46	37,14	77,14	34,07	84630,60	134,88	0,230
JATII	dez./11	12,36	46,20	55,34	<LDT	96,71	14,58	35763,16	110,00	N.N.
JATII	mar./12	<LDT	156,98	44,15	<LDT	<LDT	26,43	130427,81	263,93	0,306
JATII	Jun./12	14,62	539,89	34,04	22,06	20,82	33,73	44774,22	24,48	0,060
BLM	dez./11	7,81	54,32	41,47	<LDT	42,22	12,16	31971,42	59,44	0,158
BLM	mar./12	<LDT	567,62	15,68	<LDT	<LDT	22,85	126895,50	197,15	0,257
BLM	Jun./12	14,24	446,12	23,54	25,76	21,62	28,03	38328,08	47,94	0,060

<i>continuação</i>									
Média	13,13	525,37	60,64	13,06	60,28	28,74	64103,29	525,37	0,330
DP	9,10	380,02	28,46	21,05	76,42	16,62	26282,82	380,02	0,320
Mín.	<LDT	46,20	15,68	<LDT	<LDT	6,32	31971,42	46,20	0,060
Máx.	31,65	1481,68	113,95	86,06	265,51	67,86	130427,81	1481,68	1,200

<LDT= Menor que o Limite de Detecção da Técnica.

Tabela V.2. Concentração de elementos-traço no Material Particulado em Suspensão na calha do rio Madeira. Os valores estão expressos em mg/kg.

Estações	Período	Cobalto	Manganês	Cromo	Níquel	Chumbo	Cobre	Ferro	Zinco	Mercúrio
MDCP	dez./11	17,45	519,44	27,49	22,20	46,84	35,32	33906,94	103,11	0,107
MDCP	mar./12	15,17	416,40	7,57	24,06	28,47	22,69	37969,39	68,60	0,065
MDCP	Jun./12	13,55	487,31	32,25	24,74	9,85	31,11	35167,99	60,64	0,090
MD01	dez./11	16,21	487,55	33,13	10,11	47,59	29,92	34261,19	122,18	0,047
MD01	mar./12	13,21	430,02	7,51	18,07	45,57	20,78	35978,34	65,45	0,056
MD01	Jun./12	13,05	477,42	21,92	26,62	27,93	27,76	36814,18	60,47	0,060
MD02	dez./11	18,93	476,41	34,04	12,08	44,48	29,49	35892,70	103,22	0,085
MD02	mar./12	14,96	400,33	8,76	23,23	36,45	24,40	33278,76	75,22	0,059
MD02	Jun./12	14,32	465,59	32,64	20,87	44,68	27,37	38383,03	89,86	0,080
MD03	dez./11	13,19	431,11	18,18	17,74	22,95	22,00	22463,71	66,32	0,066
MD03	mar./12	14,19	444,34	10,71	24,52	39,91	23,84	39582,04	73,99	0,023
MD03	Jun./12	13,24	511,02	18,67	22,92	23,51	25,12	32548,76	53,90	0,060
MD04	dez./11	14,95	454,27	30,25	14,68	34,33	26,40	31567,57	90,52	0,086
MD04	mar./12	16,33	502,41	10,50	22,51	35,85	23,61	41295,71	84,75	0,063
MD04	Jun./12	20,44	764,99	29,78	35,71	29,50	38,23	51577,50	76,83	0,070
MD05	Jun./12	13,25	487,31	22,69	27,14	12,50	26,07	31793,07	49,65	0,060
Média		15,15	484,75	21,63	26,04	33,15	27,13	35780,06	77,80	0,070
DP		2,21	82,25	10,08	15,26	11,85	4,78	6005,45	19,93	0,020
Mín.		13,19	400,33	7,51	12,08	22,95	20,78	22463,71	65,45	0,020
Máx.		20,44	764,99	34,04	79,52	47,59	38,23	51577,50	122,18	0,110

No período avaliado a concentração média de cobalto no MPS nos tributários avaliados foi de $13,13 \pm 9,10$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $15,15 \pm 2,10$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.2.

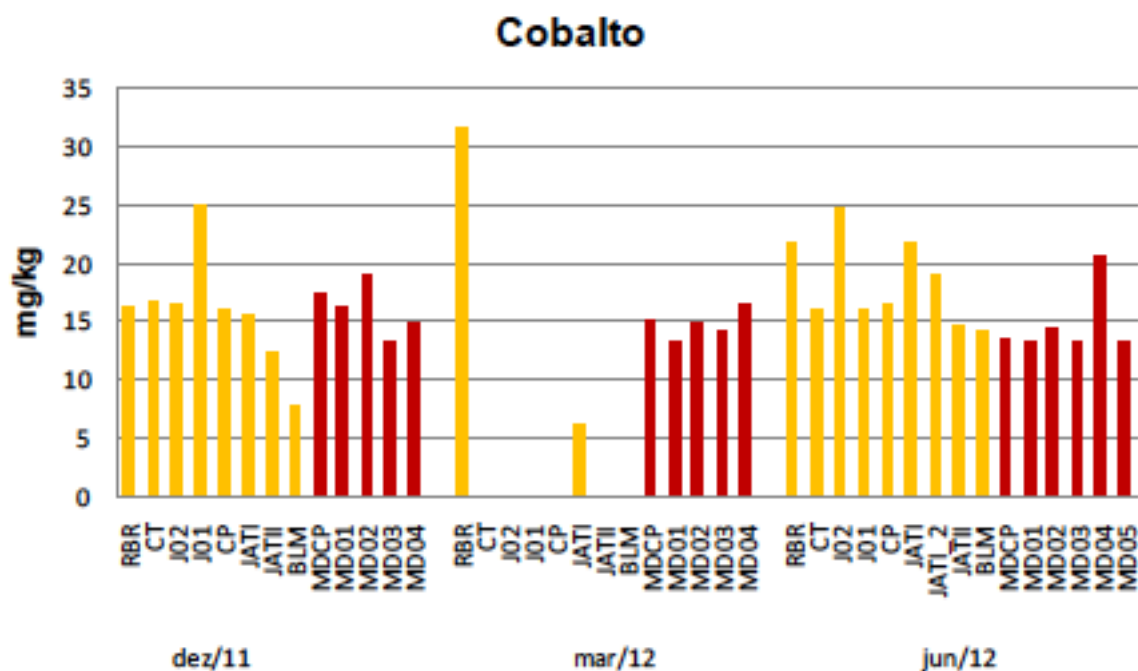


Figura V.2. Cobalto no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

Nos períodos avaliados a concentração média de cobre no MPS nos tributários avaliados foi de $28,74 \pm 16,62$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $27,13 \pm 4,78$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.3.

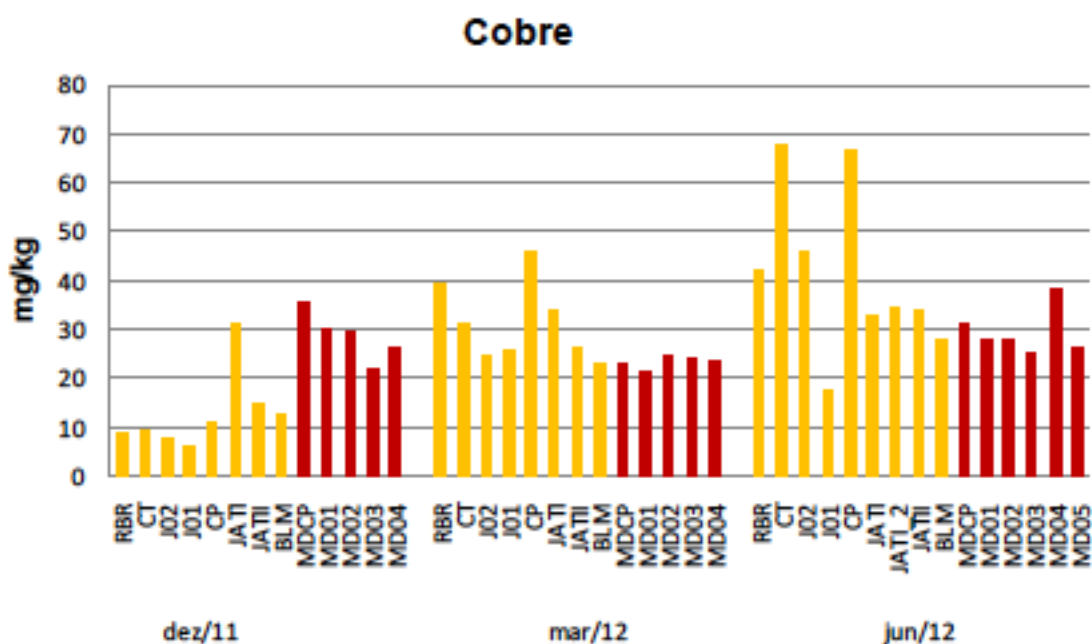


Figura V.3. Cobre no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

Nos períodos avaliados a concentração média de chumbo no MPS nos tributários avaliados foi de $60,28 \pm 76,42$ mg/kg ($n=25$) e no rio Madeira de $33,15 \pm 11,85$ mg/kg ($n=16$). Os resultados estão representados na figura V.4.

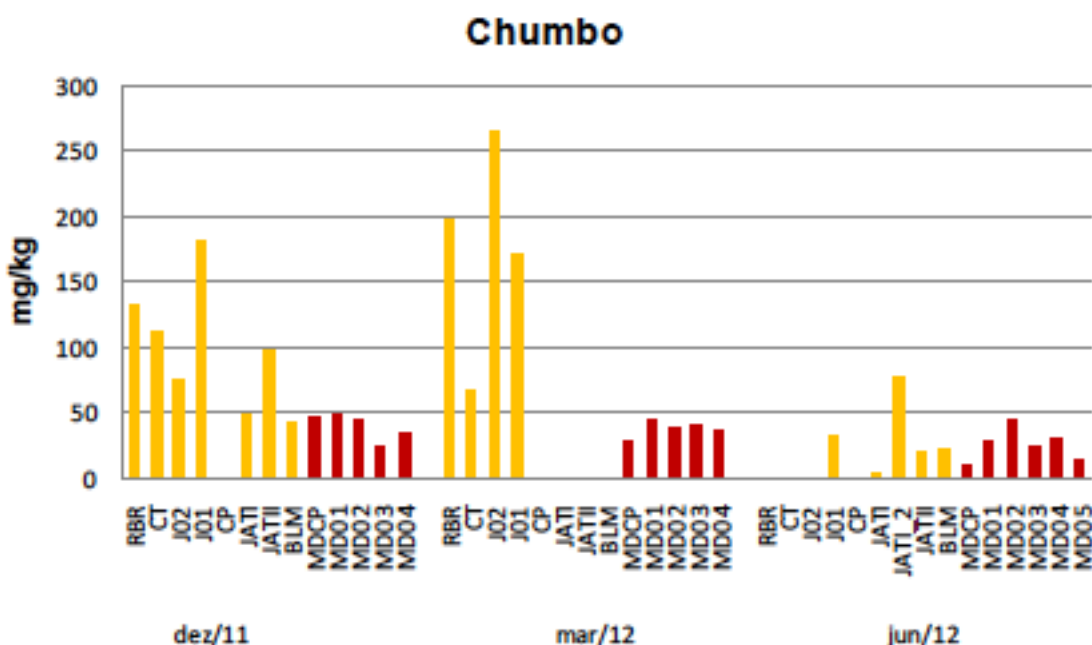


Figura V.3. Chumbo no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de cromo no MPS nos tributários avaliados foi de $60,64 \pm 28,45$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $21,63 \pm 10,08$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.4.

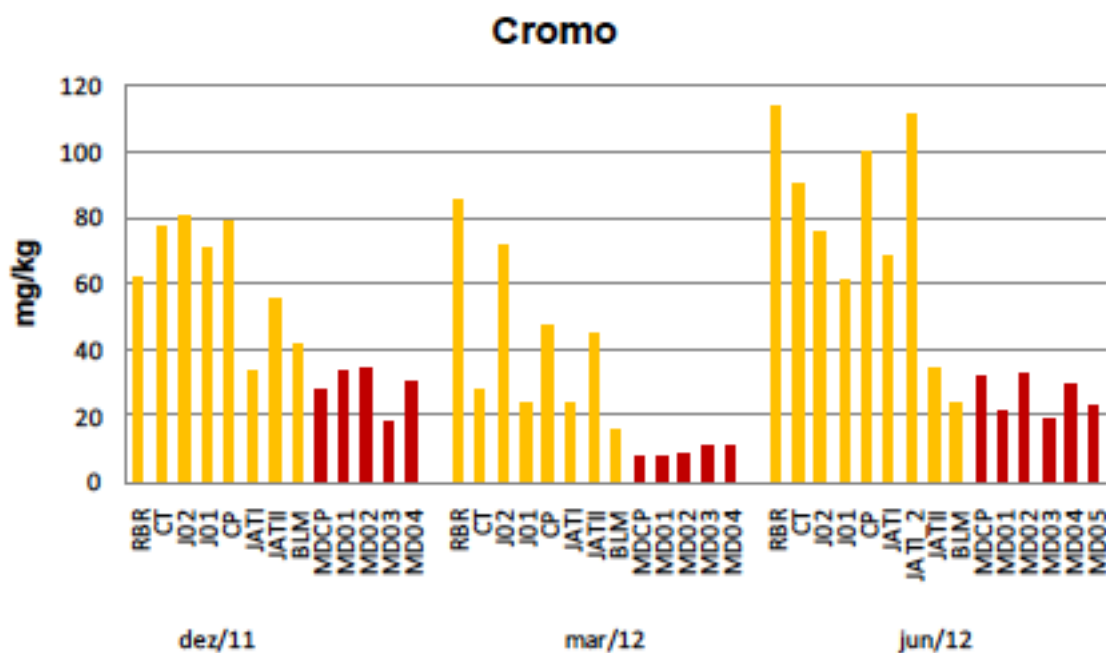


Figura V.4. Cromo no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de ferro no MPS nos tributários avaliados foi de $64103,29 \pm 26282,82$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $35780,06 \pm 6005,45$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.5.

Figura V.5. Ferro no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de manganês no MPS nos tributários avaliados foi de $525,37 \pm 380,02$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $484,75 \pm 82,25$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.6.

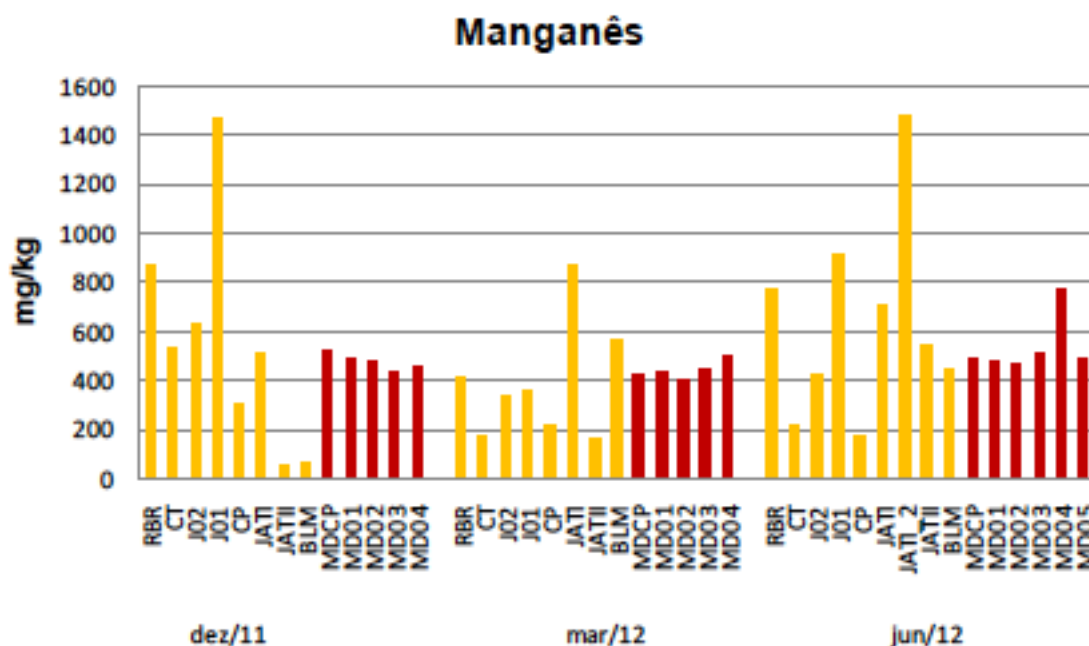


Figura V.6. Manganês no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de níquel no MPS nos tributários avaliados foi de $13,06 \pm 21,05$ mg/kg ($n=25$) e no rio Madeira de $26,04 \pm 15,26$ mg/kg ($n=16$). Os resultados estão representados na figura V.7.

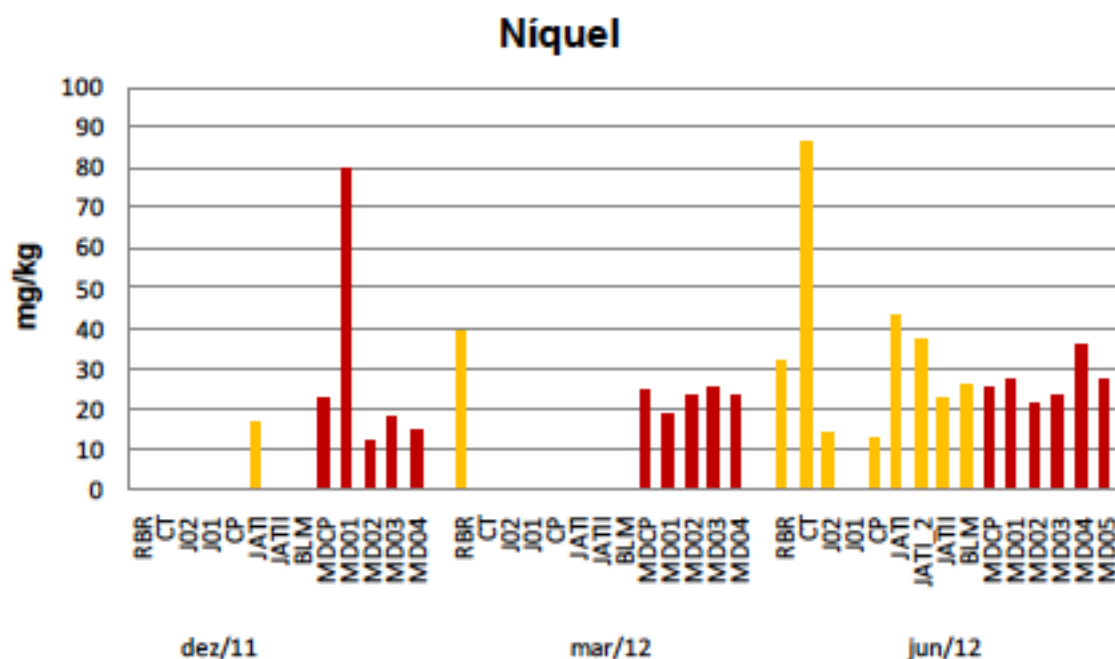


Figura V.7. Níquel no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

No período avaliado a concentração média de zinco no MPS nos tributários avaliados foi de $123,03 \pm 67,34$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $77,80 \pm 19,93$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.8.

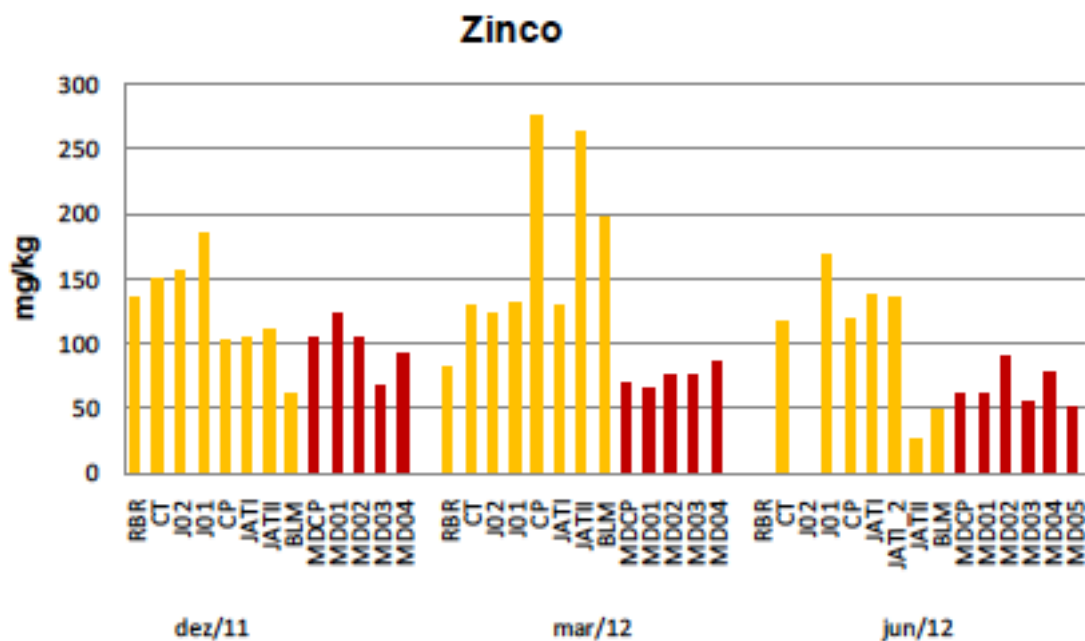


Figura V.8. Zinco no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e marrom.

No período avaliado a concentração média de mercúrio no MPS nos tributários avaliados foi de $0,33 \pm 0,32$ mg/kg (n=25) e no rio Madeira de $0,07 \pm 0,02$ mg/kg (n=16). Os resultados estão representados na figura V.9.

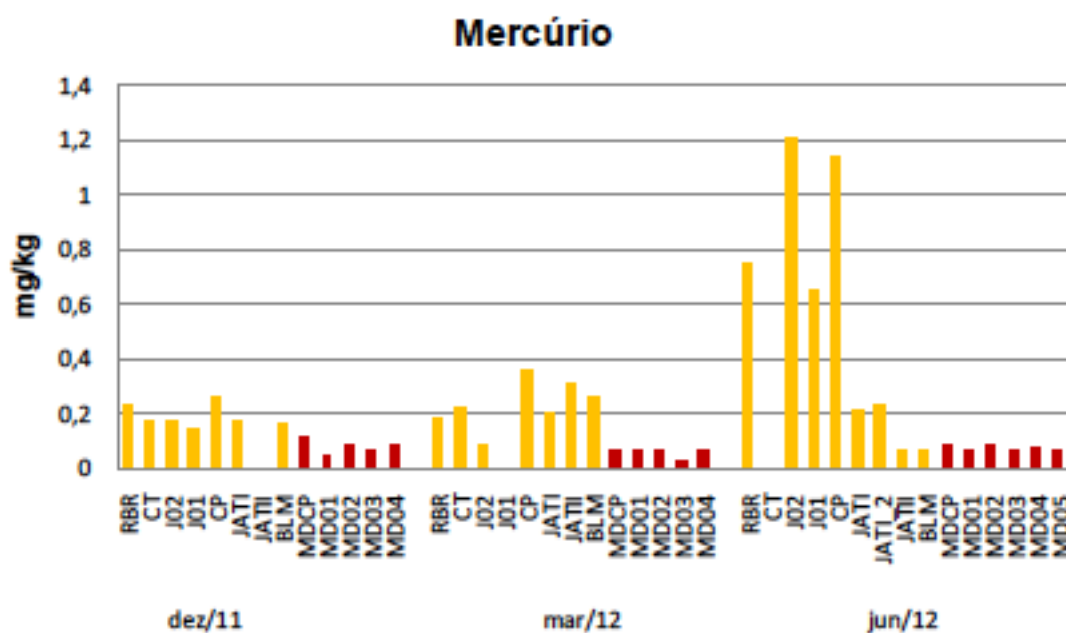


Figura V.9. Mercúrio total no material particulado em suspensão nas amostras de água, nos meses de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante). As estações nos tributários e rio Madeira estão representadas, respectivamente, por colunas de cor amarela e vermelha.

A análise de variância (ANOVA) com efeitos aleatórios foi aplicada com o propósito de testar diferenças entre as médias dos valores de Hg-T no material particulado em suspensão (MPS) avaliados no período. A partir destas análises podemos inferir que a concentração de mercúrio foi significativamente maior nos tributários do que no rio Madeira, tanto na fase de pré-enchimento quanto na fase de pós-enchimento (ver tabelas V.3 e V.4), entretanto não há diferença quando comparado os valores encontrados no pré-enchimento e pós-enchimento tanto no rio Madeira quanto nos tributários.

Tabela V.3. Teste de Fisher (LSD) visando análise das diferenças entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento e a localidade (Madeira vs Tributários) nas concentrações de **Hg-T no MPS** ($\alpha = 0,05$).

Contraste	Diferença	Diferença Padronizada	Valor Crítico	Pr > Dif	Significante
PRÉ (Localização - MD) vs PRÉ (Localização - TB)	-0,231	-4,918	2,010	< 0,0001	Sim
PRÉ (Localização - MD) vs PÓS (Localização - TB)	-0,178	-2,316	2,010	0,025	Sim
PRÉ (Localização - MD) vs PÓS (Localização - MD)	-0,038	-0,496	2,010	0,622	Não
PÓS (Localização - MD) vs PRÉ (Localização - TB)	-0,193	-2,591	2,010	0,013	Sim
PÓS (Localização - MD) vs PÓS (Localização - TB)	-0,140	-1,454	2,010	0,152	Não
PÓS (Localização - TB) vs PRÉ (Localização - TB)	-0,053	-0,714	2,010	0,479	Não

Diante da variabilidade de interações ocorridas a tabela V.4 sintetiza a formação de grupos em função das interações PRÉ vs PÓS vs SAZONALIDADE nas concentrações de Hg-T no MPS, respectivamente.

Tabela V.4. Síntese após Teste de Fisher (LSD) entre as interações Pré-enchimento vs Pós-enchimento e a localidade (Madeira vs Tributários) nas concentrações de Hg-T no MPS ($\alpha = 0,05$).

CATEGORIA	MÉDIA ESTIMADA	GRUPOS
ID-PRÉ (Localização - MD)	0,063	A
ID-PÓS (Localização - MD)	0,102	A B
ID-PÓS (Localização - TB)	0,242	B C
ID-PRÉ (Localização - TB)	0,295	C

V.3. Considerações

- Os tributários demonstraram maior discrepância na concentração dos elementos-traço do MPS em relação ao rio Madeira, refletindo ambientes mais heterogêneos;
- A concentração de Hg-T no MPS foi significativamente maior nos tributários do que no rio Madeira tanto na fase de pré-enchimento quanto na fase de pós-enchimento ($p=0,01$), entretanto não há diferença quando comparado os valores encontrados no pré-enchimento e pós-enchimento tanto no rio Madeira quanto nos tributários;
- As concentrações de mercúrio no MPS foram maiores nas amostras coletadas em junho de 2012 (pós-enchimento) que nos períodos de enchimento e águas baixas da fase de pré-enchimento ($p=0,035$ e $p=0,043$, respectivamente);
- Há de se acompanhar durante o período de pós-enchimento a dinâmica dos elementos-traço avaliados, principalmente nos tributários, pois o aumento na concentração de determinados elementos-traço pode estar associado à influência antropogênica nas áreas que ocorreram supressão de vegetação.

VI. SEDIMENTO DE FUNDO (SD)

Em seguida são apresentadas as concentrações médias dos elementos-traço no sedimento de fundo: Cobalto (Co); Manganês (Mn); Cromo (Cr); Níquel (Ni); Chumbo (Pb); Cobre (Cu); Ferro (Fe); Zinco (Zn); Mercúrio (Hg-T) e Metilmercúrio (MeHg) no sedimento referente aos meses de dezembro de 2011, março de 2012 e junho de 2012. Visa atender o Plano Básico Ambiental da Usina hidrelétrica de Santo Antonio (PBA - Santo Antônio) considerando os períodos de enchimento e estabilização do reservatório sendo comparado com os resultados pretéritos encontrados no período de pré-enchimento.

VI.1. Metodologia

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas utilizando a draga de Heckman. Este equipamento permite a coleta da camada mais reativa do sedimento de fundo – cerca de 5 cm de profundidade. Após a coleta, as amostras de sedimento de fundo foram acondicionadas em sacos plásticos e mantidas resfriadas até a preparação da amostra no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR. No laboratório, uma pequena alíquota dos sedimentos foi retirada, na sua fração total, acondicionadas em potes coletores de plástico rígido e liofilizadas para retirada de toda umidade para a então extração química do MeHg.

O restante das amostras de sedimentos foram homogeneizadas a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, através da aplicação de água ultra-pura (Milli-Q, Millipore) sendo, posteriormente, peneiradas na fração <200 *mesh* (<74 μ m), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção, por possuir maior área superficial. Em seguida, a fração fina do sedimento foi transferida para um gral de porcelana e seca em estufa a temperatura de 38°C para posterior extração química e quantificação dos elementos-traço: Hg, Cu, Cr, Co, Fe, Mn, Ni, Zn e Pb.

Para a extração do MeHg foi pesado cerca de 0,5 gramas de peso seco da amostra em tubos de teflon, em duplicata, em seguida adicionou-se 3 mL de hidróxido de potássio 25% em meio metanol e foram levadas à estufa a temperatura de 70°C durante 4 horas, com agitação das amostras de hora em hora. Ao término da extração, as amostras foram guardadas ao abrigo da luz, para evitar qualquer

tipo de degradação do metilmercúrio e, então foram analisadas dois dias depois, tempo suficiente para a estabilização das amostras.

Após os dois dias realizaram-se a etilação do MeHg, visto que o equipamento de fluorescência atômica faz leitura somente na forma de etil-metilmercúrio. O processo de etilação foi feito com 300 μ L de ácido acético e acetato de sódio (Solução tampão, pH-4,5), seguido de 30 μ L da amostra e 50 μ L de NaBEt₄ 1%. As amostras foram aferidas com água Milli-Q em menisco invertido nos *vials* de 40mL, específicos para a análise no cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrofotômetro de fluorescência atômica (CG-AFS).

Para extração de Hg-T foi pesado cerca de 0,5 gramas de peso seco da amostra em tubos de ensaio de borossilicato, em duplicata, em seguida foi adicionado 1mL de água ultra-pura (Milli-Q, Millipore) mais 5mL da solução química de HNO₃ e HCl (3:1), agitou-se manualmente e, então as amostras foram levadas para o bloco digestor a temperatura de 70°C por 30 minutos. Esperou-se até que as amostras voltassem à temperatura ambiente e, então adicionou-se 6mL de permanganato de potássio (KMnO₄ 5%), após isso as amostras foram levadas novamente ao bloco digestor por mais 30 minutos, a 70°C. Passado os 30 minutos, as amostras foram retiradas do bloco e quando atingiram a temperatura ambiente, foram cobertas com plástico filme e permaneceram em “*overnight*” por 12 horas.

No dia seguinte foi adicionado 1mL de cloridrato de hidroxilamina 12% as amostras e filtradas em filtros de celulose (marca Whatman) e funis de plástico em tubos *falcon* de 14mL. Por fim, a determinação de Hg-T foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor a frio (FIMS 400, Perkin Elmer).

Já para a extração dos demais elementos-traço, foi pesado cerca de 2 gramas de peso seco das amostras em béqueres, em duplicata. Foram adicionados 10mL de HNO₃ concentrado e levados à chapa quente até a total evaporação do ácido. Em seguida, foi adicionado 15mL da solução química de HNO₃ e HCl (3:1) e levados novamente à chapa quente, até a total evaporação do ácido. Por fim, foi adicionado 15mL de HCl 0,1N, filtrados em papel de celulose (marca Whatman) e funis de plástico em tubos de polipropileno de 15mL para a, então quantificação dos elementos-traço no espectrofotômetro de absorção atômica por chama (AA-400, Perkin Elmer).

VI.2. Resultados

VI.2.1. Mercúrio Total (Hg-T) e Metilmercúrio (MeHg)

Nas tabelas VI.1, VI.2 e VI.3 estão apresentados os resultados da concentração de Hg-T e MeHg no sedimento de fundo coletado durante os períodos de enchimento e estabilização em dezembro de 2011, março de 2012 e junho de 2012.

Tabela VI.1. Valores de concentração de mercúrio total (Hg-T) e metilmercúrio (MeHg) no sedimento de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de **enchimento em dezembro de 2011**. Os valores estão expressos em $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Localidade	Longitude	Latitude	Hg-T	MeHg
Rio Jacy-Paraná	347106,2	8981699	96,38	0,19
Lago Madalena (Jacy-Paraná)	346781,6	8973506	101,29	0,36
Rio Branco	346291,4	8963077	104,77	1,47
Rio Contra	342915,8	8971137	45,23	0,09
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	143,66	1,47
Rio Caripunas	321045,1	8982951	25,82	0,26
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	30,73	0,17
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	40,65	0,52
Rio Madeira MDCP (montante)	322645,8	8982927	52,29	0,48
Rio Madeira MD01 (montante)	371247,7	9004372	31,35	0,28
Rio Madeira MD02 (montante)	392579,8	9025917	32,74	0,39
Rio Madeira MD03 (jusante)	398061,0	9028624	13,09	0,16
Rio Madeira MD04 (jusante)	406280,4	9045467	21,00	0,25
Média			56,85	0,47
D.P.			40,69	0,46
Mínimo			13,09	0,09
Máximo			143,66	1,47

Tabela VI.2. Valores de concentração de mercúrio total (Hg-T) e metilmercúrio (MeHg) no sedimento de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de **estabilização em março de 2012**. Os valores estão expressos em $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Localidade	Longitude	Latitude	Hg-T	MeHg
Rio Jacy-Paraná	347106,2	8981699	90,82	0,12
Rio Branco	346291,4	8963077	114,51	0,19
Rio Contra	342915,8	8971137	65,73	0,03
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	106,01	5,94
Rio Caripunas	321045,1	8982951	68,22	0,36
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	40,00	0,46
Belmont	406274,0	9044401	63,80	0,70
Rio Madeira MDCP (margem direita)	323526,6	8982764	47,10	0,11
Rio Madeira MDCP (margem esquerda)	321887,8	8983261	29,84	0,05
Rio Madeira MD01 (margem direita)	371854,2	9004064	43,97	0,12
Rio Madeira MD01 (margem esquerda)	370821,6	9004877	55,89	0,19
Rio Madeira MD02 (margem direita)	392966,2	9025860	49,37	0,15
Rio Madeira MD02 (margem esquerda)	392006,2	9026027	32,28	0,15
Rio Madeira MD03 (margem direita)	398294,2	9028326	33,53	0,06
Rio Madeira MD03 (margem esquerda)	397739,2	9028989	24,87	0,05
Média			57,73	0,58
D.P.			27,57	1,49
Mínimo			24,87	0,03
Máximo			114,51	5,94

Tabela VI.3. Valores de concentração de Hg-T e MeHg ($\mu\text{g}/\text{kg}$) ($\mu\text{g}/\text{kg}$) no sedimento de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de **estabilização** em junho de 2012.

Localidade	Longitude	Latitude	Hg-T	MeHg
Rio Jacy-Paraná	347106,2	8981699	113,99	1,24
Lago Madalena (Jacy-Paraná)	346781,6	8973506	116,41	0,43
Rio Branco	346291,4	8963077	107,61	0,60
Rio Contra	342915,8	8971137	96,33	0,07
Igarapé Jatuarana I 01	384536,3	9024008	37,88	0,43
Igarapé Jatuarana I 02	385866,7	9031610	69,85	1,87
Rio Caripunas	321045,1	8982951	54,38	0,66
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	36,58	0,90
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	28,76	0,57
Rio Madeira MDCP (MD)	323526,6	8982764	32,26	0,20
Rio Madeira MDCP (ME)	321887,8	8983261	25,72	0,18
Rio Madeira MD01 (MD)	371854,2	9004064	26,23	0,25
Rio Madeira MD01 (ME)	370821,6	9004877	39,56	0,36
Rio Madeira MD02 (MD)	392966,2	9025860	28,60	0,20
Rio Madeira MD02 (ME)	392006,2	9026027	40,46	0,26
Rio Madeira MD03 (MD)	398294,2	9028326	39,52	0,15
Rio Madeira MD03 (ME)	397739,2	9028989	27,42	0,23
Rio Madeira MD04 (MD)	406654,2	9044698	40,04	0,19
Rio Madeira MD04 (ME)	405931,3	9045982	75,74	0,18
Rio Madeira MD05 (MD)	399075,7	9038835	28,29	0,17
Rio Madeira MD05 (ME)	398354,5	9039367	24,18	0,15
Média			51,90	0,44
D.P.			31,41	0,44
Mínimo			24,18	0,07
Máximo			116,41	1,87

MD= Margem Direita ME= Margem Esquerda

No período avaliado a concentração média de mercúrio total no sedimento dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $75,75 \pm 34,18 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $35,82 \pm 13,18 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP).

A concentração de Hg-T no mês de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nos tributários, foi respectivamente de, $73,56 \pm 43,39 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP); $80,12 \pm 25,05 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP) e $73,53 \pm 35,67 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP) no rio Madeira foi, respectivamente, de $30,09 \pm 14,77 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP); $39,61 \pm 10,95 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP) e $35,67 \pm 14,08 \mu\text{g}/\text{kg}$ (média \pm DP) (Figura VI.1).

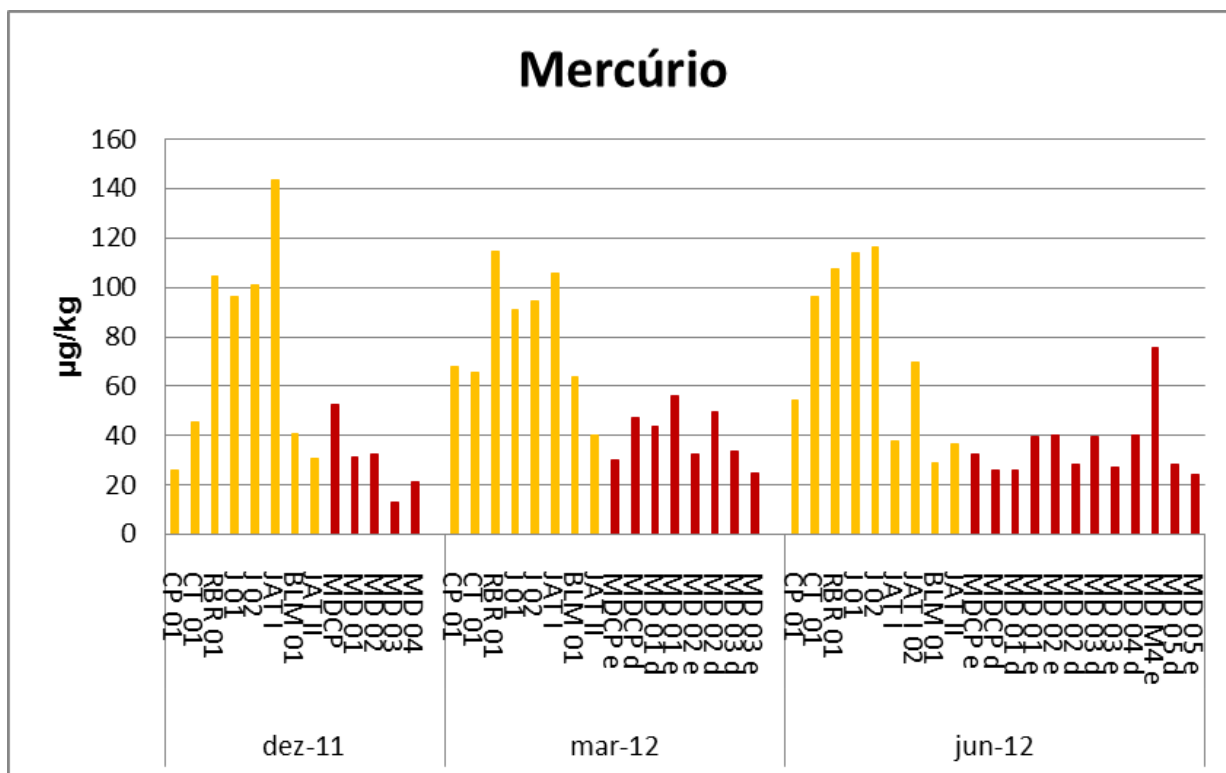


Figura VI.1. Concentração de Hg-T nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de MeHg no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $0,70 \pm 1,17 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $0,20 \pm 0,10 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP).

A concentração de MeHg no mês de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $0,57 \pm 0,57 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP); $1,04 \pm 1,99 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP) e $0,75 \pm 0,53 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $0,31 \pm 0,12 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP); $0,11 \pm 0,05 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP) e $0,21 \pm 0,06 \mu\text{g/kg}$ (média \pm DP) (Figura VI.2).

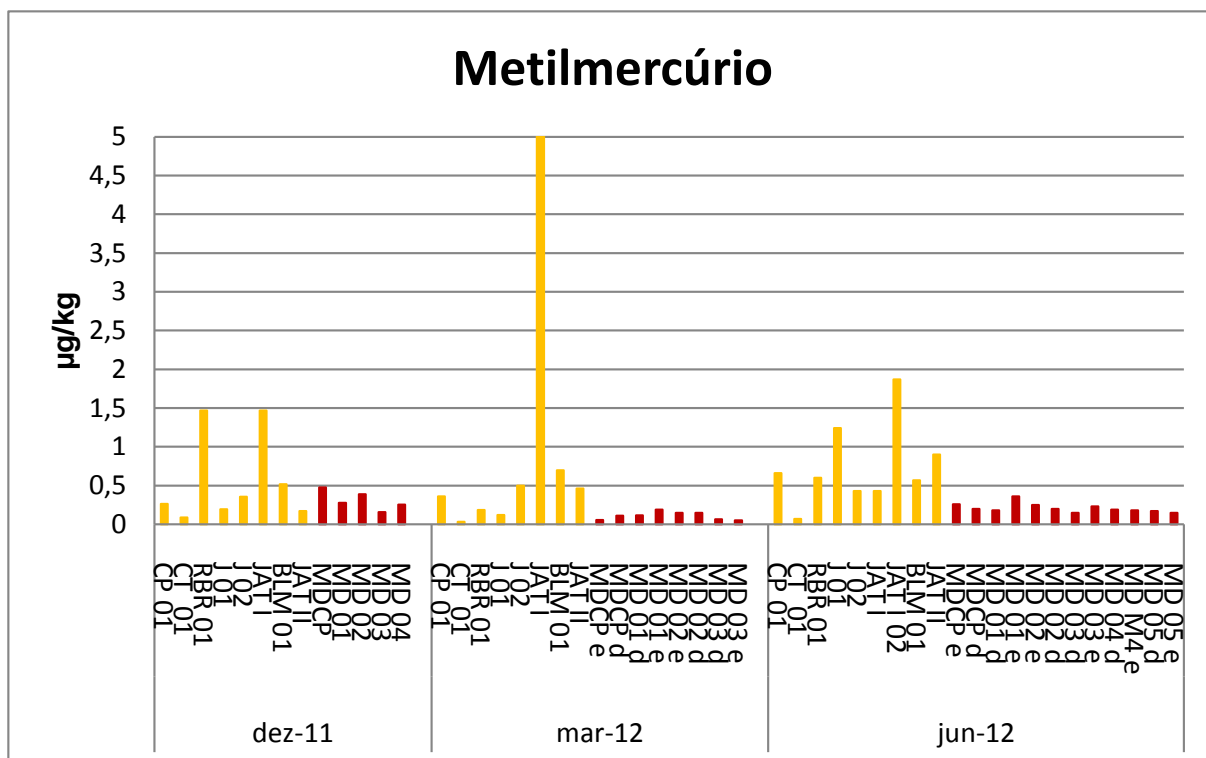


Figura VI.2. Concentração de MeHg nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a relação média de MeHg e Hg-T no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $1,07 \pm 1,18$ % (média \pm DP, Figura VI.3) e no rio Madeira ($n=25$) de $0,61 \pm 0,33$ % (média \pm DP, Figura VI.4).



Figura IV.3. Relação de MeHg e Hg-T no sedimento de fundo dos **tributários** avaliados nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante).

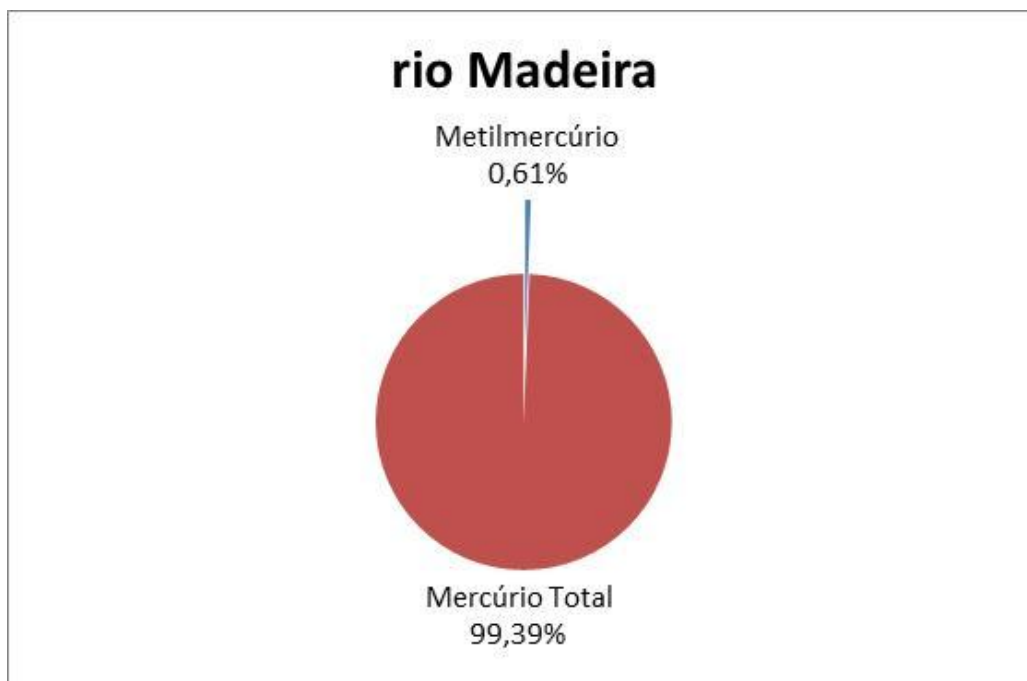


Figura IV.4. Relação de MeHg e Hg-T no sedimento de fundo do **rio Madeira** avaliados nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante).

A porcentagem de MeHg no mês de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $0,75 \pm 0,49\%$ (média \pm DP); $1,16 \pm 1,84\%$ (média \pm DP) e $1,28 \pm 0,92\%$ (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $1,07 \pm 0,16\%$ (média \pm DP); $0,27 \pm 0,09\%$ (média \pm DP) e $0,64 \pm 0,21\%$ (média \pm DP).

VI.2.2. Demais elementos-traço

Nas tabelas VI.4, VI.5 e VI.6 estão apresentados os resultados da concentração de Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn nos sedimentos de fundo coletados durante o período pós-enchimento em dezembro de 2011, março de 2012 e junho de 2012.

Tabela VI.4. Valores de concentração média de Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn nos sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de enchimento (dezembro de 2011). Os valores estão expressos em mg/kg.

Localidade	Longitude	Latitude	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
Rio Jacy-Paraná	347106,2	8981699	2,46	3,82	2,51	0,51	13,67	4,58	3836,31	13,54
Lago Madalena (JP)	346781,6	8973506	3,00	33,10	3,85	1,79	16,36	8,10	6659,38	21,26
Rio Branco	346291,4	8963077	8,22	551,43	5,59	1,71	10,58	5,74	27163,63	28,74
Rio Contra	342915,8	8971137	1,17	31,85	2,01	0,14	7,63	2,28	1647,19	6,61
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	1,09	20,84	5,24	<LDT	9,32	6,43	6562,08	9,02
Rio Caripunas	321045,1	8982951	12,99	440,27	5,98	9,83	1,68	16,78	25663,85	51,89
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	4,04	32,99	1,41	2,42	5,71	4,52	3736,05	7,74
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	9,33	238,92	6,66	8,89	15,14	18,26	28667,03	38,84
Rio Madeira MDCP (MON)	322645,8	8982927	11,99	675,56	7,48	12,42	8,63	22,91	27211,92	43,86
Rio Madeira MD01 (MON)	371247,7	9004372	10,35	409,76	6,62	11,71	13,98	17,37	24314,92	58,26
Rio Madeira MD02 (MON)	392579,8	9025917	11,01	451,80	8,48	10,11	12,68	17,40	25447,18	56,90
Rio Madeira MD03 (JUS)	398061,0	9028624	7,06	206,52	3,98	7,79	6,76	9,96	15387,02	34,11
Rio Madeira MD04 (JUS)	406280,4	9045467	8,83	335,96	5,64	8,67	9,49	13,08	21365,36	43,78
Média			7,04	264,06	5,03	6,33	10,13	11,34	16743,22	31,89
D.P.			4,21	230,23	2,16	4,63	4,18	6,64	10666,27	18,85
Mínimo			1,09	3,82	1,41	0,14	1,68	2,28	1647,19	6,61
Máximo			12,99	675,56	8,48	12,42	16,36	22,91	28667,03	58,26

MON = Montante JUS = Jusante

Tabela VI.5. Valores de concentração média de Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn nos sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de pós-enchimento/estabilização (março de 2012). Os valores estão expressos em mg/kg.

Localidade	Longitude	Latitude	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
Rio Jacy-Paraná	347106,2	8981699	9,92	116,63	8,63	4,42	18,47	4,89	13473,37	20,54
Rio Branco	346291,4	8963077	2,60	529,88	5,58	2,37	2,26	17,07	10718,84	18,64
Rio Contra	342915,8	8971137	2,16	754,86	7,78	3,37	3,78	13,54	5965,38	14,73
Igarapé Jatuarana I	384536,3	9024008	2,61	21,61	10,53	6,58	10,37	8,39	8392,61	8,60
Rio Caripunas	321045,1	8982951	2,85	14,70	5,81	5,08	16,23	4,17	3854,13	10,00
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	9,61	61,97	11,63	19,06	16,62	13,66	8580,71	22,21
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	12,42	251,63	12,51	26,27	17,72	19,08	23530,38	46,71
Rio Madeira MDCP (MD)	323526,6	8982764	14,14	429,43	13,19	31,88	22,06	24,63	19717,63	50,22
Rio Madeira MDCP (ME)	321887,8	8983261	13,10	300,65	10,15	24,35	15,78	20,41	14385,22	29,34
Rio Madeira MD01 (MD)	371854,2	9004064	11,19	375,06	11,28	25,59	16,49	21,27	13239,13	40,07
Rio Madeira MD01 (ME)	370821,6	9004877	10,95	285,90	8,85	19,69	16,18	18,80	15727,77	33,99
Rio Madeira MD02 (MD)	392966,2	9025860	17,91	308,51	13,31	32,51	22,60	25,65	15293,79	36,01
Rio Madeira MD02 (ME)	392006,2	9026027	12,78	171,80	12,24	27,89	16,18	18,82	12654,50	24,52
Rio Madeira MD03 (MD)	398294,2	9028326	11,01	130,24	10,69	20,43	13,86	16,32	11189,00	30,04
Rio Madeira MD03 (ME)	397739,2	9028989	11,32	170,57	11,10	22,22	11,91	15,36	10930,48	18,52
Média			9,64	261,56	10,22	18,11	14,70	16,14	12510,20	26,94
D.P.			4,84	202,44	2,44	10,81	5,71	6,40	5029,17	12,63
Mínimo			2,16	14,70	5,58	2,37	2,26	4,17	3854,13	8,60
Máximo			17,91	754,86	13,31	32,51	22,60	25,65	23530,38	50,22

MD= Margem Direita ME= Margem Esquerda

Tabela IV.6. Valores de concentração média de Co, Mn, Cr, Ni, Pb, Cu, Fe e Zn nos sedimentos de fundo do rio Madeira e seus tributários durante o período de pós-enchimento/estabilização (junho de 2012). Os valores estão expressos em mg/kg.

Localidade	Longitude	Latitude	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
Rio Jacy-Paraná	347106,2	8981699	2,84	32,15	2,23	1,55	17,28	3,94	4941,05	13,77
Lago Madalena (JP)	346781,6	8973506	3,16	29,27	3,16	3,27	20,79	7,23	7406,37	28,97
Rio Branco	346291,4	8963077	7,46	184,91	3,22	2,29	19,09	5,05	22646,52	28,09
Rio Contra	342915,8	8971137	2,36	40,81	2,48	1,10	18,46	3,88	8204,27	7,27
Igarapé Jatuarana I 01	384536,3	9024008	11,48	288,90	7,71	20,54	15,41	16,31	27090,13	49,89
Igarapé Jatuarana I 02	385866,7	9031610	14,86	202,94	9,89	25,60	28,47	29,24	33602,05	60,54
Rio Caripunas	321045,1	8982951	0,87	9,83	2,01	<LQ	12,48	1,99	2702,09	5,14
Igarapé Jatuarana II	398120,8	9043688	10,64	164,95	3,39	19,17	15,52	14,84	25522,10	60,71
Igarapé Belmont	406274,0	9044401	10,52	259,28	3,28	16,91	14,13	14,58	25338,10	52,91
Rio Madeira MD01 (MD)	323526,6	8982764	11,41	427,06	3,62	16,66	14,20	14,11	24438,95	49,64
Rio Madeira MD01 (ME)	321887,8	8983261	9,39	253,03	3,09	15,05	11,75	13,23	16817,84	37,73
Rio Madeira MD02 (MD)	371854,2	9004064	9,79	402,14	2,75	14,88	11,14	15,00	21303,42	46,01
Rio Madeira MD02 (ME)	370821,6	9004877	10,73	456,86	2,97	15,81	16,38	14,98	26663,89	46,13
Rio Madeira MD03 (MD)	392966,2	9025860	11,81	428,42	3,27	18,98	14,89	15,58	24922,21	44,04
Rio Madeira MD03 (ME)	392006,2	9026027	12,80	464,45	7,42	19,55	13,67	15,73	20628,50	40,34
Rio Madeira MD04 (MD)	398294,2	9028326	9,02	267,41	2,58	12,95	10,16	10,66	16947,75	35,05
Rio Madeira MD04 (ME)	397739,2	9028989	9,18	239,14	5,81	13,92	14,84	16,01	29901,44	37,96
Rio Madeira MD05 (MD)	406654,2	9044698	13,48	549,02	3,21	20,68	18,45	19,96	31053,24	63,28
Rio Madeira MD05 (ME)	405931,3	9045982	11,70	420,29	3,20	17,03	15,26	17,05	28551,41	53,90
Rio Madeira MD05 (MD)	399075,7	9038835	11,81	264,70	2,50	13,82	10,76	9,16	20753,12	42,48
Rio Madeira MD05 (ME)	398354,5	9039367	9,78	273,15	2,86	14,22	10,86	12,02	19253,42	41,71
Média			9,29	269,46	3,84	13,52	15,43	12,88	20889,90	40,26
D.P.			3,85	158,06	2,07	7,42	4,20	6,25	8696,89	16,30
Mínimo			0,87	9,83	2,01	<LQ	10,16	1,99	2702,09	5,14
Máximo			14,86	549,02	9,89	25,60	28,47	29,24	33602,05	63,28

MD= Margem Direita ME= Margem Esquerda

No período avaliado a concentração média de cobalto no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=25) foi de $6,01 \pm 4,50$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira (n=25) de $11,30 \pm 2,12$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de cobalto no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, $5,29 \pm 4,37$ mg/kg (média \pm DP); $5,48 \pm 4,38$ mg/kg (média \pm DP) e $7,13 \pm 4,98$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, $9,85 \pm 1,97$ mg/kg (média \pm DP); $12,80 \pm 2,37$ mg/kg (média \pm DP) e $10,91 \pm 1,48$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.5).

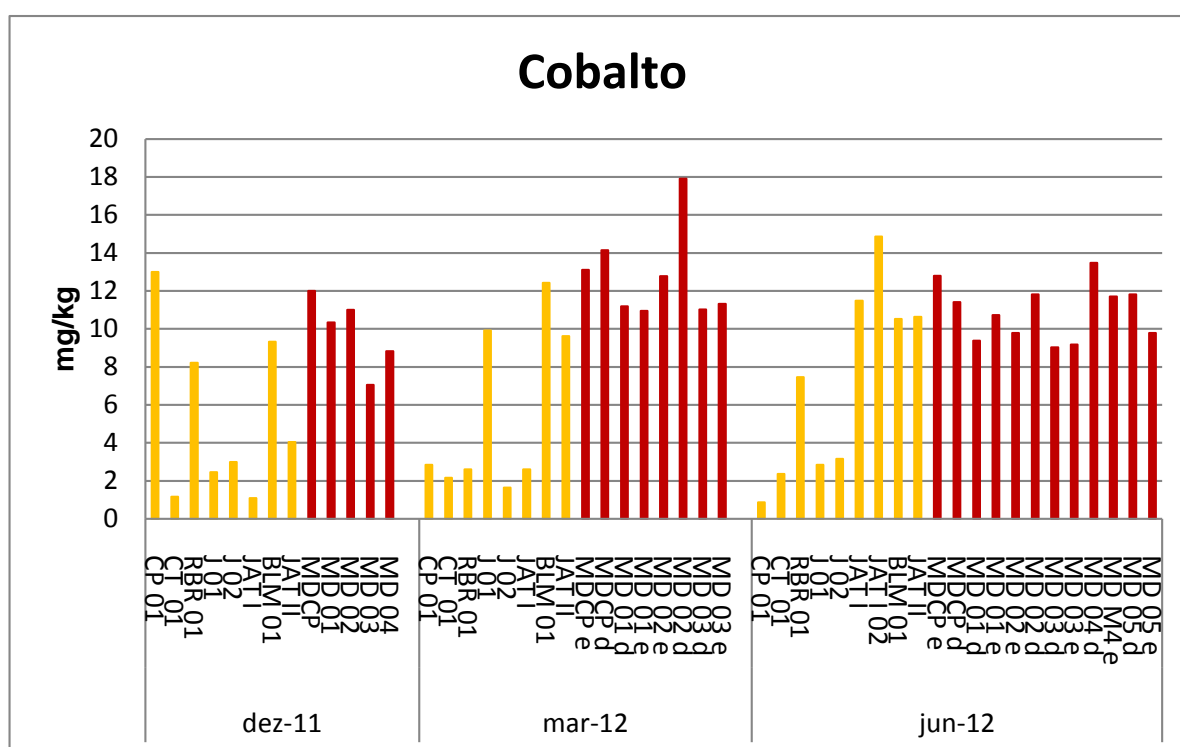


Figura VI.5. Concentração de cobalto nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de manganês no sedimento de fundo dos tributários avaliados (n=25) foi de $173,10 \pm 203,99$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira (n=25) de $347,90 \pm 128,06$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de manganês no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $169,15 \pm 217,04$ mg/kg (média \pm DP), $220,16 \pm 278,87$ mg/kg (média \pm DP) e $134,78 \pm 108,07$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $415,92 \pm 172,47$ mg/kg (média \pm DP), $271,52 \pm 105,68$ mg/kg (média \pm DP) e $370,47 \pm 104,68$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.6).

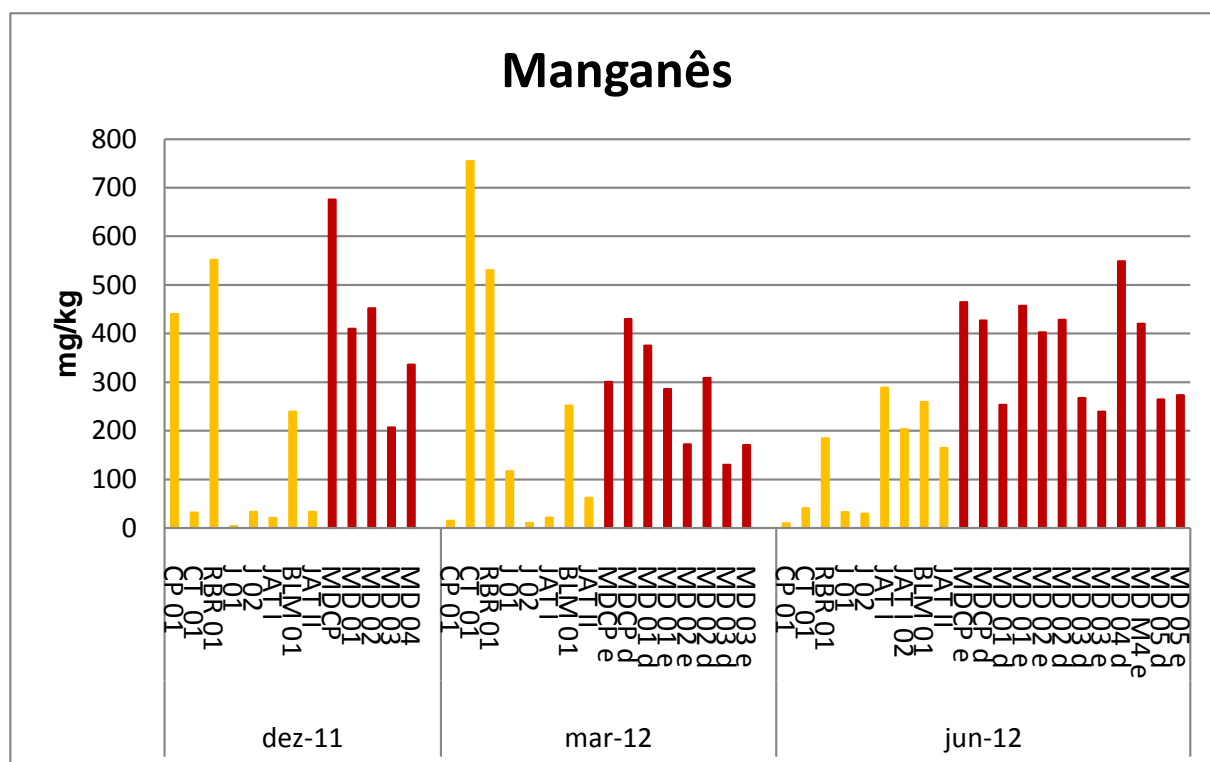


Figura VI.6. Concentração de manganês nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de cromo no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $5,53 \pm 3,20$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $6,65 \pm 3,76$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de cromo no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $4,16 \pm 1,99$ mg/kg (média \pm DP); $8,44 \pm 2,88$ mg/kg (média \pm DP) e $4,15 \pm 2,74$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $6,44 \pm 1,73$ mg/kg (média \pm DP); $11,35 \pm 1,52$ mg/kg (média \pm DP) e $3,61 \pm 1,48$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.7).

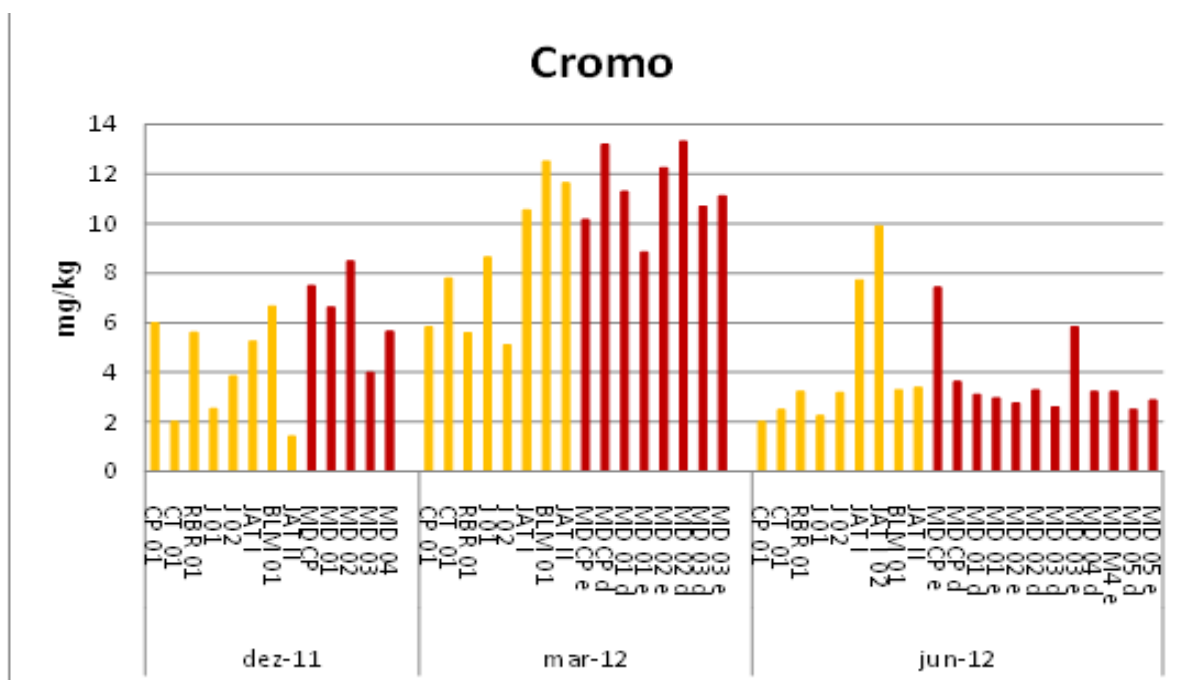


Figura VI.7. Concentração de cromo nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de níquel no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $9,93 \pm 11,10$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $16,05 \pm 8,86$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de níquel no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $3,61 \pm 4,01$ mg/kg (média \pm DP); $16,25 \pm 12,56$ mg/kg (média \pm DP) e $10,04 \pm 10,27$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $10,14 \pm 1,96$ mg/kg (média \pm DP); $19,75 \pm 9,58$ mg/kg (média \pm DP) e $16,13 \pm 2,49$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.8).

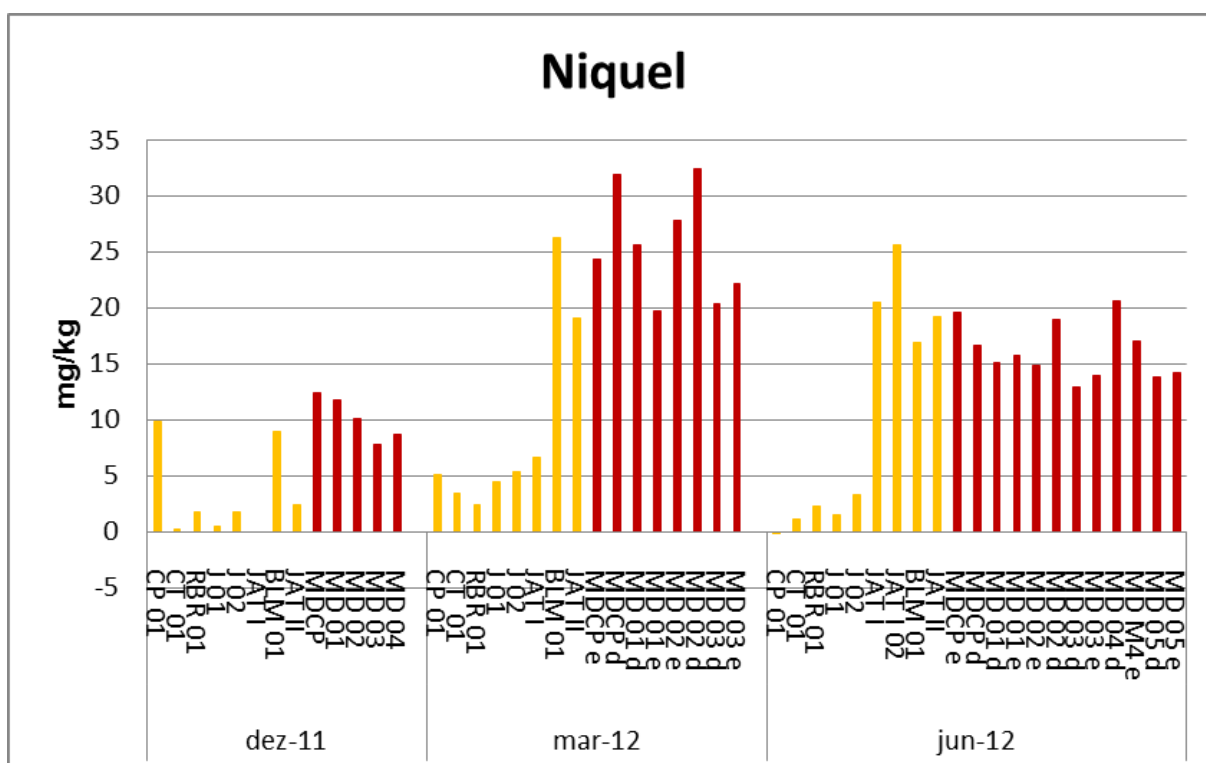


Figura VI.8. Concentração de níquel nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de chumbo no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $13,81 \pm 6,25$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $13,96 \pm 3,77$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de chumbo no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $10,01 \pm 4,99$ mg/kg (média \pm DP); $12,93 \pm 6,64$ mg/kg (média \pm DP) e $17,96 \pm 4,71$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $10,31 \pm 2,97$ mg/kg (média \pm DP); $16,88 \pm 3,70$ mg/kg (média \pm DP) e $13,53 \pm 2,60$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.9).

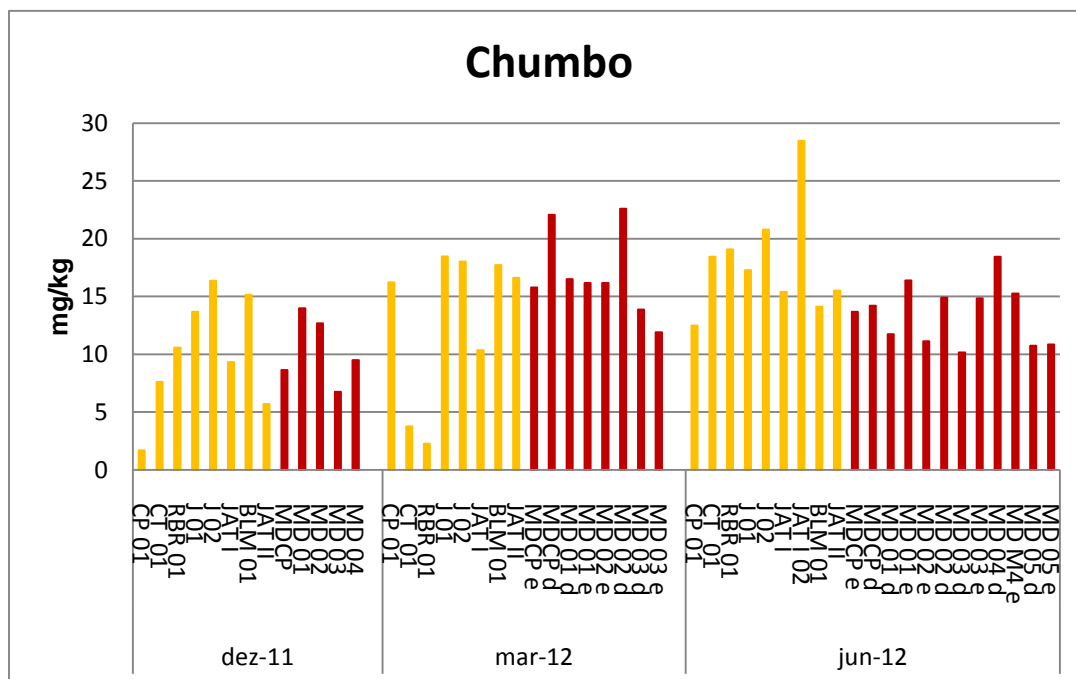


Figura VI.9. Concentração de chumbo nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de cobre no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $9,82 \pm 7,05$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $16,62 \pm 4,28$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de cobre no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $8,34 \pm 5,92$ mg/kg (média \pm DP); $10,22 \pm 6,58$ mg/kg (média \pm DP) e $10,79 \pm 8,80$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $16,14 \pm 4,91$ mg/kg (média \pm DP); $20,16 \pm 3,64$ mg/kg (média \pm DP) e $14,46 \pm 2,91$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.10).

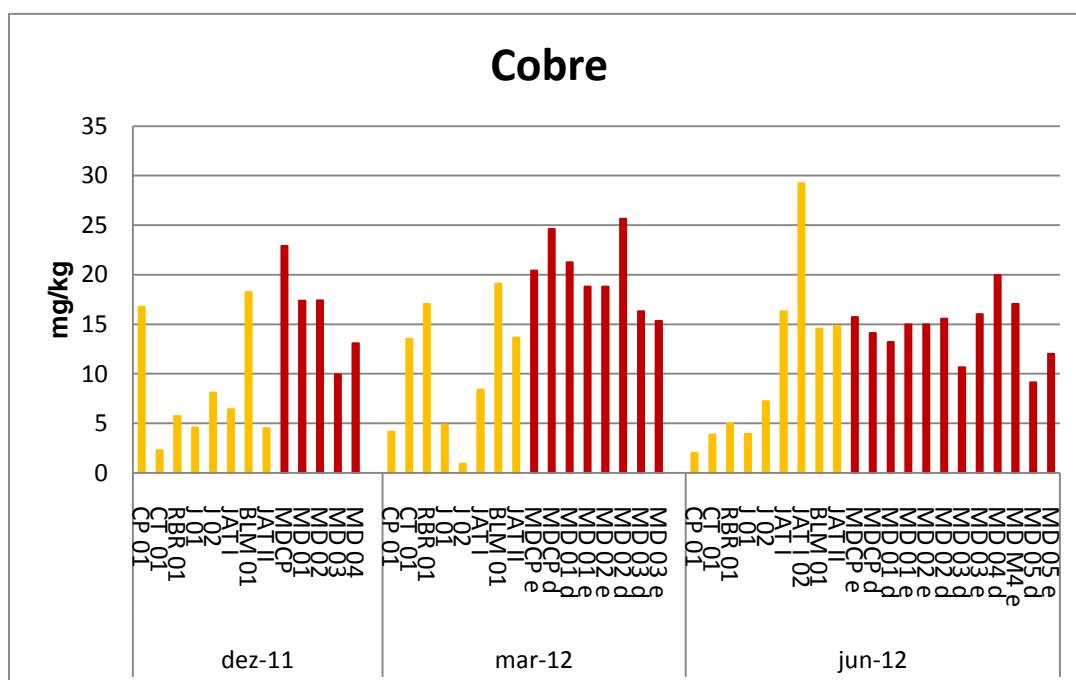


Figura VI.10. Concentração de cobre nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de ferro no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $13589,85 \pm 10413,29$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $20323,96 \pm 5974,68$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de ferro no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $12991,94 \pm 11872,94$ mg/kg (média \pm DP); $10645,06 \pm 6472,86$ mg/kg (média \pm DP) e $17494,74 \pm 11557,09$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $22745,28 \pm 4630,42$ mg/kg (média \pm DP); $23436,27 \pm 4886,39$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.11).

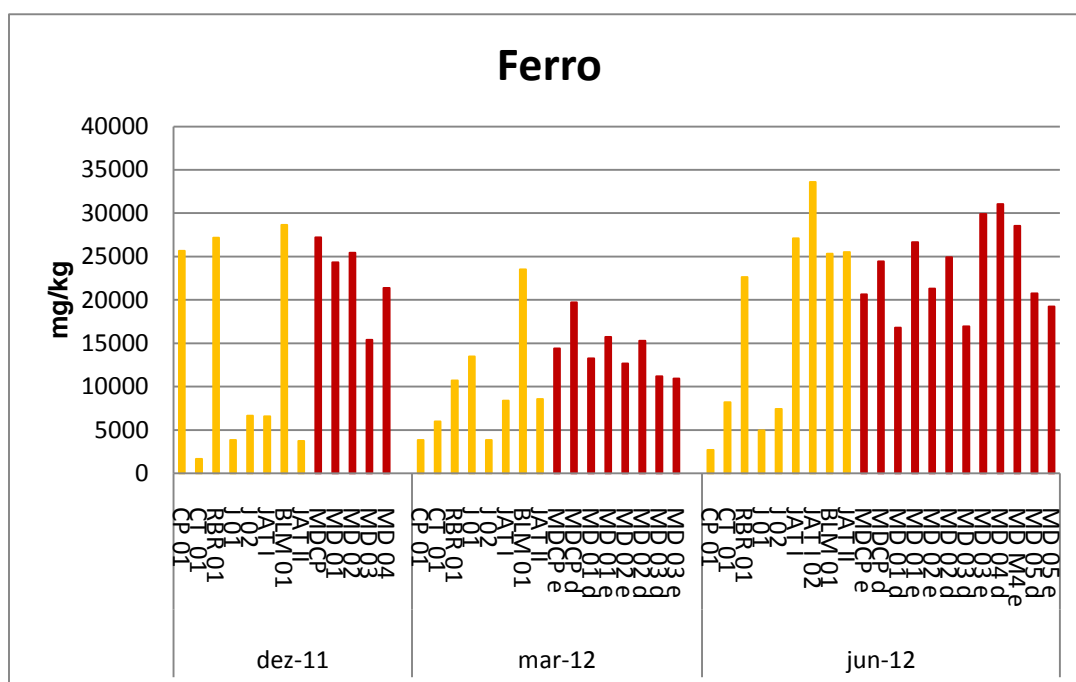
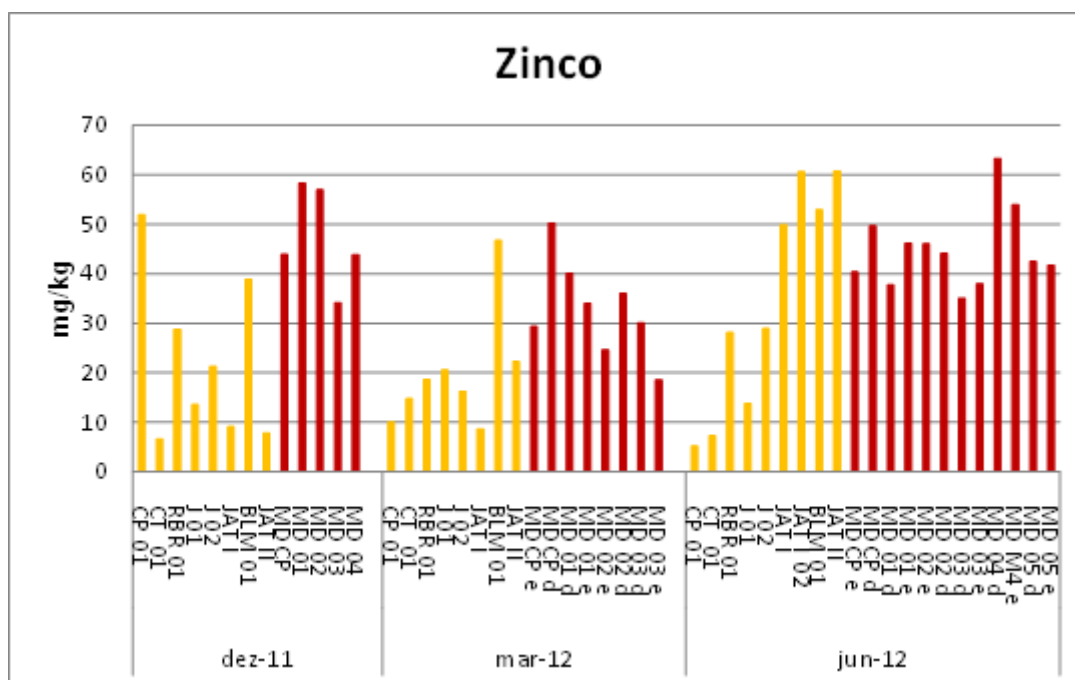


Figura VI.11. Concentração de ferro nos sedimentos de fundo nos períodos de dezembro/2011 (enchente), março/2012 (águas altas) e junho/2012 (vazante) nas estações do rio Madeira (colunas vermelhas) e tributários (colunas amarelas).

No período avaliado a concentração média de zinco no sedimento de fundo dos tributários avaliados ($n=25$) foi de $25,70 \pm 18,21$ mg/kg (média \pm DP) e no rio Madeira ($n=25$) de $41,51 \pm 10,52$ mg/kg (média \pm DP).

A concentração de zinco no mês de dezembro de 2011 (enchente), março de 2012 (águas altas) e junho de 2012 (vazante) nos tributários foi, respectivamente, de $22,20 \pm 16,49$ mg/kg (média \pm DP); $20,20 \pm 12,77$ mg/kg (média \pm DP) e $34,14 \pm 22,49$ mg/kg (média \pm DP). No rio Madeira foi, respectivamente, de $47,38 \pm 10,13$ mg/kg (média \pm DP); $32,84 \pm 9,71$ mg/kg (média \pm DP) e $44,85 \pm 7,85$ mg/kg (média \pm DP) (Figura VI.12).



VII. PEIXES (PX)

O rio Madeira é muito produtivo na sua ictiofauna e a pescaria é de grande importância para a população local. Monitorar os níveis de concentração de mercúrio em peixes é de fundamental importância em todo o mundo, principalmente em áreas onde o peixe é o componente básico da dieta protéica da população (SILVA-FILHO et al, 2008). Diversas pesquisas realizadas com populações ribeirinhas da Amazônia revelaram que o peixe constitui a base da dieta alimentar desse grupo, constituindo-se assim como a principal via de exposição ao Hg para esta população (BASTOS et al, 2004; BASTOS et al, 2006; OLIVEIRA et al, 2010).

As amostras de peixes foram coletadas através da integração com o Programa de Ictiologia e Pesca/UNIR. Alíquotas do tecido muscular dos indivíduos foram retiradas ao final de cada despesca no Laboratório de Ictiofauna/UNIR, onde se obteve também as informações de identificação, assim como dados biométricos das diversas espécies de peixes coletados.

Para este relatório trimestral (out/nov 2012) estão aqui apresentados resultados de Hg-T de 256 espécimes de peixes das localidades: igarapé Belmont, igarapé Jatuarana e lago Cuniã, coletadas após o período pós-enchimento/estabilização do reservatório da UHE- Santo Antônio (Tabela VII.1). Paralelamente, é apresentada a comparação das concentrações médias de Hg-T por hábito alimentar preferencial das espécies do pré **vs** pós-enchimento (Figura VII.1). No momento, amplia-se a amostragem do pós-enchimento/estabilização para melhor tratamento dos dados para o próximo relatório (jan/2012).

VII.1. Metodologia

As amostras foram pesadas em balança de precisão com peso fresco (pu), para os de hábito alimentar carnívoros pesou-se cerca de 200mg e os não carnívoros pesou-se 400mg. Para o controle de qualidade analítico utilizou-se uma amostra de referência certificada (DORM-2, NRC-Canadá).

A análise de mercúrio total (Hg-T) foi realizada seguindo-se os métodos de Bastos et al. (1998), com adição de H₂O₂ concentrado, solução sulfunídrica 1:1 (HNO₃:H₂SO₄) e KMnO₄ (5%). Após este processo estas foram deixadas em descanso (*overnight*), após este período colocou-se 1,0mL de cloridrato de

hidroxilamina a 12% e realizou-se a quantificação de Hg-T (em mg/kg) no espectrofotômetro de absorção atômica por vapor frio de Hg (CV-AAS, Flow Injection Mercury System-FIMS-400 Perkin-Elmer, Germany).

A análise de metilmercúrio (MeHg) foi realizada segundo a metodologia de EPA 1630 (2001). A extração do MeHg do tecido muscular dos peixes foi feita com KOH/metanol 25% em estufa por 6 horas a 70 °C e etilação com água, ácido acético, acetato e sódio e NaBEt₄, seguido da quantificação de MeHg no cromatógrafo gasoso acoplado ao espectrômetro de fluorescência atômica (*MERX™ Automated Methyl Mercury Analytical System – Brooks Rand*).

Como esperado, as espécies de hábitos alimentares com concentrações mais elevadas de Hg são as piscívoras, liderados pela espécie *Raphiodon vulpinus* com 1,434mg/kg. Destaque também para os de hábito planctívoros como a espécie *Hypophthalmus marginatus* com 0,560mg/kg de Hg-T (Tabela VII.1). Ambas as espécies estão acima do preconizado pela legislação brasileira (ANVISA).

Os valores médios de MeHg relacionados com Hg-T mostraram uma relação alta para as espécies carnívoras com 97% e para as espécies planctívoras com 87% (Tabela VII.2). Ou seja, para a o *Raphiodon vulpinus* e o *Hypophthalmus marginatus* as concentrações de MeHg são de 1,391mg/kg e 0,487mg/kg, respectivamente.

Tabela VII.1. Resultados das concentrações de Hg em peixes do período de pós-enchimento/estabilização da UHE-Santo Antônio de acordo com a localidade, espécie e hábitos alimentares.

Localidade	Espécie	Hábito alimentar	Hg (mg.kg ⁻¹)	n
Belmont - montante	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	piscívoros	1,4339	01
Cuniã	<i>Mylossoma duriventre</i>	herbívoros	0,0281	01
Cuniã	<i>Psectrogaster amazonica</i>	detritívoros	0,0522	08
Cuniã	<i>Psectrogaster rutiloides</i>	detritívoros	0,1072	01
Cuniã	<i>Roeboides myersi</i>	lepdófagos	0,2716	02
Cuniã	<i>Serrasalmus elongatus</i>	carnívoros	0,0344	05
Cuniã	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	carnívoros	0,2012	05
Cuniã	<i>Triportheus angulatus</i>	onívoros	0,1722	08
Jatuarana	<i>Acestrorhynchus falcirostris</i>	piscívoros	0,4139	01
Jatuarana	<i>Anodus elongatus</i>	planctívoro	0,3086	29
Jatuarana	<i>Auchenipterus ambyiacus</i>	insetívoros	0,3528	02
Jatuarana	<i>Auchenipterus nuchalis</i>	insetívoros	0,2945	01
Jatuarana	<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	piscívoros	0,6406	01
Jatuarana	<i>Brycon amazonicus</i>	onívoros	0,1737	02
Jatuarana	<i>Bryconops giacopini</i>	#	0,4069	02
Jatuarana	<i>Calophysus macropterus</i>	onívoros	0,2822	02
Jatuarana	<i>Curimata knerii</i>	detritívoros	0,0982	01
Jatuarana	<i>Hemiodus unimaculatus</i>	detritívoros	0,2282	01
Jatuarana	<i>Hoplias malabaricus</i>	carnívoros	0,1520	01
Jatuarana	<i>Hypophthalmus edentatus</i>	planctívoro	0,5598	03
Jatuarana	<i>Hypophthalmus marginatus</i>	planctívoro	0,5092	01
Jatuarana	<i>Jurengraulis juruensis</i>	planctívoro	0,5783	02
Jatuarana	<i>Leporinus fasciatus</i>	onívoros	0,3767	01
Jatuarana	<i>Mylossoma aureum</i>	onívoros	0,1093	01
Jatuarana	<i>Potamorhina altamazonica</i>	detritívoros	0,0719	11
Jatuarana	<i>Potamorhina latior</i>	detritívoros	0,0727	44
Jatuarana	<i>Prochilodus nigricans</i>	detritívoros	0,0628	02

Localidade	Espécie	Hábito alimentar	Hg (mg.kg ⁻¹)	n
Jatuarana	<i>Psectrogaster amazonica</i>	detritívoros	0,0827	08
Jatuarana	<i>Psectrogaster essequibensis</i>	#	0,0968	02
Jatuarana	<i>Psectrogaster rutiloides</i>	detritívoros	0,0831	43
Jatuarana	<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	piscívoros	1,2287	01
Jatuarana	<i>Rhytiodus argenteofuscus</i>	herbívoros	0,1115	01
Jatuarana	<i>Roestes molossus</i>	carnívoros	0,2681	01
Jatuarana	<i>Schizodon fasciatus</i>	herbívoros	0,2436	02
Jatuarana	<i>Serrasalmus hollandi</i>	piscívoros	0,1584	03
Jatuarana	<i>Serrasalmus rhombeus</i>	carnívoros	0,2287	11
Jatuarana	<i>Triportheus albus</i>	onívoros	0,6087	11
Jatuarana	<i>Triportheus angulatus</i>	onívoros	0,2200	34
Total		Média geral	0,298	256
Média peixes não carnívoros			0,173	
Média peixes carnívoros			0,460	
OMS			0,500	
ANVISA - peixes não carnívoros			0,500	
ANVISA - peixes carnívoros			1,000	

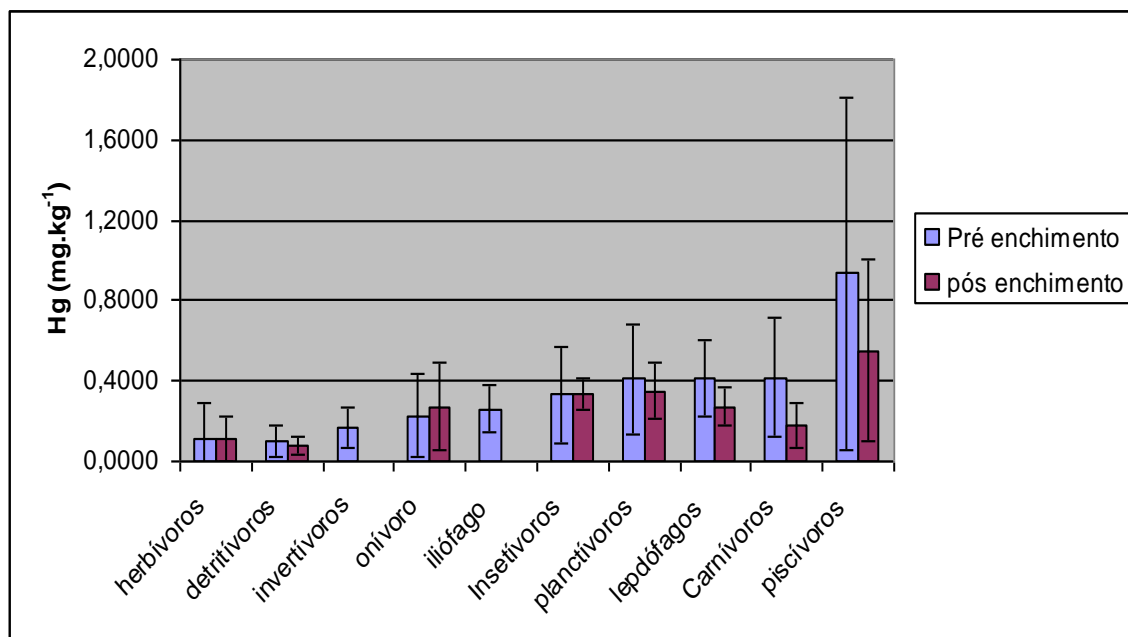


Figura VII.1. Comparação entre a concentração média de Hg-T das espécies de peixes coletadas durante os períodos de pré-enchimento e pós-enchimento/estabilização.

Tabela VII.2. Relação percentual média entre Hg-T e MeHg em peixes da área em monitoramento de acordo com os hábitos alimentares.

Hábito Alimentar	Relação Média MeHg e Hg-T (%)
Carnívoros	97
Detritívoros	73
Herbívoros	70
Piscívoros	72
Planctívoros	82

VII.2. Considerações

As espécies *Raphiodon vulpinus* (piscívora) e *Hypophthalmus marginatus* (planctívora) são dois representantes que devem fazer parte das espécies à serem monitoradas ao longo dos tempos, pois elas vem se destacando com altos teores de Hg e também altos percentuais de MeHg.

No momento, amplia-se a amostragem do pós-enchimento/estabilização para melhor tratamento dos dados para o próximo relatório (jan/2012). Entendemos que esse procedimento melhor definirá as espécies que serão utilizadas daqui para frente no monitoramento.

VIII.MACRÓFITA (MC)

Conforme proposto no item 4.2 do Programa Básico Ambiental (PBA) que prevê um favorecimento da proliferação de bancos de macrófitas no reservatório da UHE-Santo Antônio em sua fase de enchimento/estabilização e operação, este relatório visa apresentar as primeiras concentrações de mercúrio total (Hg-T), cobalto (Co), Cromo (Cr), cobre (Cu), níquel (Ni), chumbo (Pb), zinco (Zn), ferro (Fe) e manganês (Mn) nas macrófitas aquáticas amostradas no período de pós-enchimento. A evolução das concentrações destes elementos, referentes ao mesmo período durante os dois anos iniciais de monitoramento, também estão sendo apresentadas.

As macrófitas aquáticas são plantas vasculares com grande capacidade de absorver e concentrar poluentes sendo, portanto, bastante utilizadas em biomonitoramento aquático. Nesse sentido, Coelho-Souza et al. (2006) relatam que as macrófitas aquáticas desempenham um papel importante no ciclo do Hg, pois suas raízes constituem principal local de formação do metilmercúrio (MeHg), composto neurotóxico biomagnificado na cadeia trófica. Dentre as macrófitas, destaca-se a *Eichornia crassipes* que vem sendo utilizada em diferentes estudos: tratamento de esgoto urbano (ZIMMELS et al. 2006), fito-remediação (FAYED & ABD-EL-SHAIFY 1985; MISRHA & TRIPHATI 2008; AGUNBIADE et al. 2009), além das investigações quanto às concentrações de Hg, Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn em suas raízes, talos e folhas.

VIII.1. Material e Métodos

As macrófitas foram coletadas nos meses de abril, maio e junho de 2012 (Figura VIII.1) pela equipe do laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer. Essas macrófitas foram retiradas de bancos de macrófitas que foram selecionados com base em sua extensão aproximada (30 a 500 m²) e distância (1,0 km entre localidades), tendo em vista o retorno a esses bancos em futuras amostragens, a fim de verificar sua provável proliferação, bem como investigar a evolução das concentrações dos elementos-traço durante o período de estabilização/pós-enchimento. Por ser mais eficiente na absorção de elementos-traço (MISRHA, et al. 2009), a espécie *Eichornia crassipes* foi selecionada para ser utilizada no monitoramento. Essas macrófitas foram acondicionadas em sacos plásticos devidamente etiquetados e refrigerados.

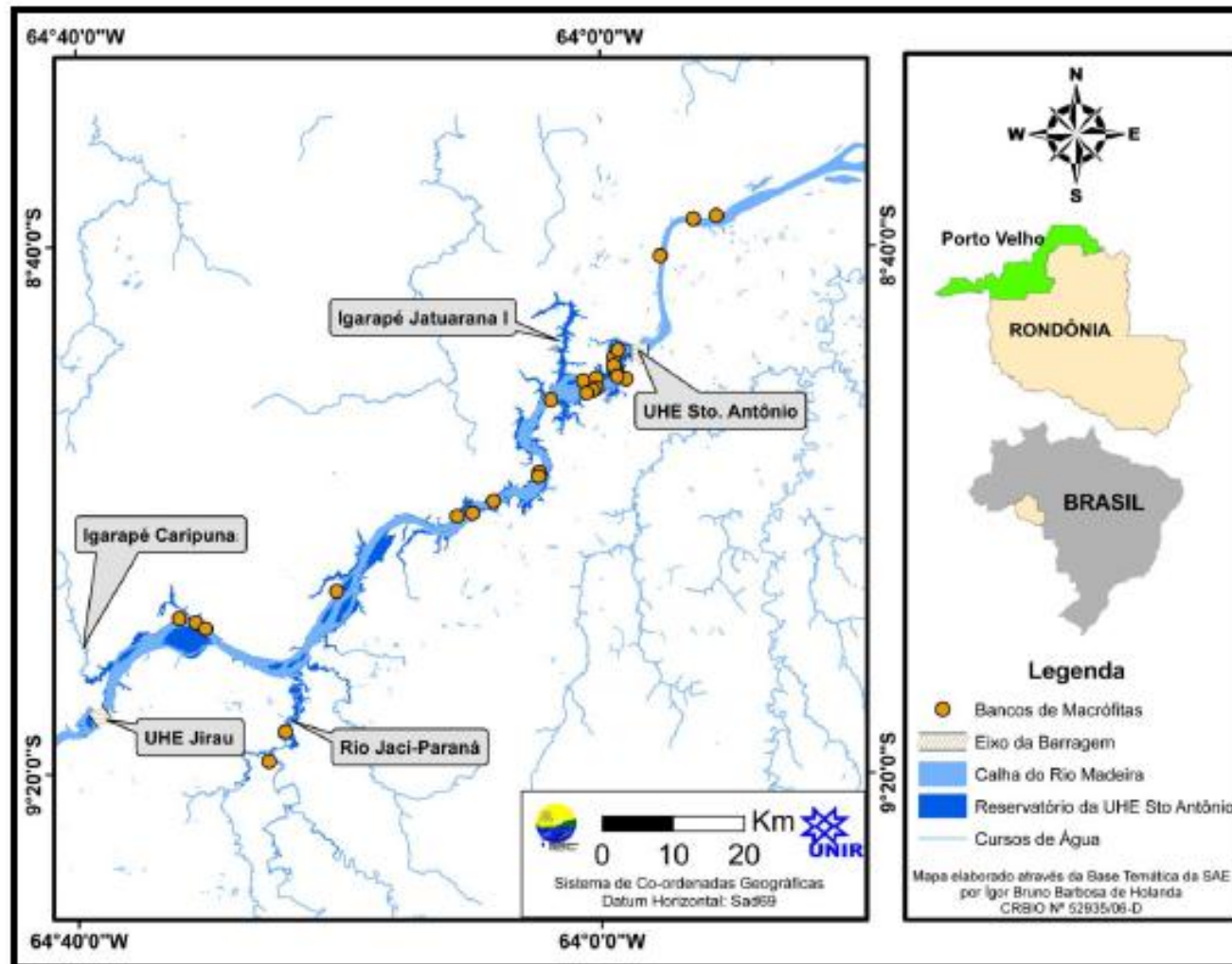


Figura VIII.1. Locais onde foram amostradas a macrófita aquática *Eichornia crassipes* em abril, maio e junho de 2012.

Em laboratório, as macrófitas foram lavadas com água deionizada, secas em estufas a 40°C e trituradas em moinho (De Leo equipamentos). Pesou-se cerca de 500mg (peso seco, ps) de amostra em duplicata em balança analítica (modelo AM 220), cuja extração foi realizada adicionando-se 1,0mL de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) (Merck®), 6,0mL de ácido nítrico concentrado (HNO₃) (Merck®), permanecendo até a completa solubilização em bloco digestor (TECNAL®) a 90°C. Após as amostras terem esfriado, adicionou-se 6,0mL de permanganato de potássio (KMnO₄ 5%) (Merck®). As amostras permaneceram em repouso por cerca de 12 horas. No dia seguinte, adicionou-se, por titulação, gotas de cloridrato de hidroxilamina (NH₂.OH.HCl 12%) (Merck®) e filtrou-se as amostras aferindo-se a um volume final de 13 mL (BASTOS et al. 1998). As concentrações de Hg-T foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica com geração de vapor frio (FIMS-400, fabricado por Perkin-Elmer).

Para os demais elementos-traço, pesou-se cerca de 5,0g (ps) de amostra, também em duplicata, que foram primeiramente calcinadas por 48hs, em forno mufla (EDG equipamentos) a 450°C. Em seguida, realizou-se a extração química, adicionando-se 5,0mL de HNO₃ concentrado, às amostras que permaneceram em processo de evaporação em chapa aquecedora (Quimis®) até sua evaporação, 5,0mL de ácido clorídrico (HCl) (Merck®), sofrendo novo processo de evaporação em chapa quente. Em seguida, adicionou-se 15,0mL de HCl 0,1N e as amostras foram filtradas (filtro Prolab JP40) aferindo-as a um volume final de 15mL (KALRA & MAYNARD, 1991). As concentrações de Co, Cr, Cu, Ni, Pb, Zn, Fe e Mn foram obtidas pelo espectrofotômetro de absorção atômica por chama (AA-400, *A-Analyst*, Perkin Elmer).

É importante destacar que para controle de qualidade das análises químicas, as amostras foram solubilizadas em duplicata acompanhadas de dois brancos controles, cujo valor médio, foi subtraído de possíveis contaminações do ambiente de trabalho ou reagentes utilizados nas extrações químicas. Todo o material utilizado foi lavado com sabão neutro e por 24hs permaneceram em solução de ácido nítrico 5% para descontaminação. Para se ter certeza do grau analítico dos resultados obtidos, utilizou-se uma amostra de referência certificada IAEA-140 (International Atomic Energy Agency – Analytical Quality Control Services), analisada também em duplicata, que apresentou 105% de recuperação, atestando assim, a confiabilidade da análise química.

VIII.2. RESULTADOS

O gradual enchimento do reservatório favoreceu a proliferação de bancos de macrófitas às margens do rio Madeira, conforme previsto no EIA-RIMA. Esses bancos estendem-se de 30 a 500m², sendo que a espécie *Eichornia crassipes* tem predominado, sendo importante destacar que a espécie *Paspalum* ora tem se apresentado conjuntamente com *Eichornia crassipes*, ora tem se distribuído às margens do rio formando “tapetes” que chegam a ter mais de 500m². É importante destacar que a biodiversidade das macrófitas aquáticas era extremamente reduzida durante a fase do pré-enchimento do reservatório. Pode-se dizer que esse incremento na ocorrência de macrófitas às margens do rio Madeira pode estar associado ao aumento no processo de sedimentação, conforme ocorreu no reservatório da UHE Mogi-Guaçu (CAVENAGHI et al. (2005).

As concentrações médias de Hg, MeHg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn em macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*) amostradas no rio Madeira, em abril, maio e junho de 2012 estão expressas na tabela VIII.1. A tabela VIII.2 apresenta comparações entre as médias das concentrações dos elementos-traço em macrófitas nos períodos de pré e pós-enchimento do reservatório.

Tabela VIII.1. Concentrações médias de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira, em abril, maio e junho de 2012. Os valores estão expressos em mg/kg.

Data da Coleta	Código de Campo	Longitude	Latitude	Hg	Co	Mn	Cr	Ni	Pb	Cu	Fe	Zn
24/04/2012	MCMDMON04	352928,98	8993303,31	0,0042	2,11	803,11	0,67	4,26	5,47	10,67	300,20	18,15
24/04/2012	MCMDMON03	334858,54	8988058,23	0,0043	2,42	470,06	1,17	6,68	5,00	13,30	466,44	16,13
24/04/2012	MCMDMON05	372073,80	9004321,36	0,0047	2,26	635,01	0,65	6,75	4,79	12,87	108,54	25,08
24/04/2012	MCMDMON01	331133,51	8989464,91	0,0071	2,69	895,70	0,66	3,90	6,18	10,07	127,24	21,79
24/04/2012	MCMDMON02	333451,42	8988915,01	0,0044	2,56	915,83	0,69	3,86	5,89	9,23	174,22	18,10
24/04/2012	MCMDMON06	381420,58	9010036,97	0,0033	2,32	679,90	0,60	5,23	5,79	10,63	121,92	19,83
25/04/2012	MCMDMON07	392495,66	9027244,27	0,0044	2,32	542,06	0,67	4,96	5,68	9,22	174,00	20,10
25/04/2012	MCMDMON08	391905,71	9026180,48	0,0042	2,21	478,33	0,83	6,57	6,18	10,38	186,45	21,93
25/04/2012	MCMDMON09	392289,49	9024280,26	0,0047	2,37	935,15	0,83	5,67	6,14	10,27	179,43	20,92
25/04/2012	MCMDMON10	387591,55	9022889,47	0,0042	2,35	669,65	0,67	3,93	5,82	10,28	125,73	21,58
22/05/2012	MCMD 11	369881,386	9003863,785	0,0172	1,76	570,86	1,41	5,12	3,92	9,35	357,36	25,14
22/05/2012	MCMD 11	369881,386	9003863,785	0,0062	2,63	692,44	1,64	4,77	5,84	9,54	201,80	21,06
22/05/2012	MCMD 12	374993,147	9006001,006	0,0066	1,62	561,26	1,30	4,41	3,52	12,18	183,42	19,76
22/05/2012	MCMD 12	374993,147	9006001,006	0,0022	2,94	1063,72	2,11	6,16	5,86	8,88	261,32	17,62
22/05/2012	MCMD 13	381327,412	9009469,183	0,0078	1,58	249,43	1,31	6,70	4,03	8,70	255,42	22,34
22/05/2012	MCMD 13	381327,412	9009469,183	0,0027	2,29	349,26	1,51	5,44	5,39	7,55	197,64	17,64
22/05/2012	MCMD 14	383075,895	9020219,945	0,0061	1,63	380,07	1,36	5,23	4,15	9,91	178,57	29,11
22/05/2012	MCMD 14	383075,895	9020219,945	0,0038	2,37	729,27	1,76	4,89	5,74	8,95	233,84	20,36
23/05/2012	MCMD 16	392374,276	9023534,164	0,0084	1,96	549,07	1,48	6,06	4,63	10,58	234,64	27,65
23/05/2012	MCMD 16	392374,276	9023534,164	0,0033	2,56	646,92	1,45	4,54	5,36	8,19	185,59	16,16
23/05/2012	MCMD 17	389449,86	9023270,047	0,0068	1,52	175,76	1,32	5,68	3,67	8,11	155,97	24,03
23/05/2012	MCMD 17	389449,86	9023270,047	0,0137	2,34	209,57	1,39	5,82	4,66	8,30	213,68	21,10
23/05/2012	MCMD 18	389493,282	9021871,192	0,0078	1,43	178,40	1,36	6,01	3,83	7,51	193,83	21,71
23/05/2012	MCMD 18	389493,282	9021871,192	0,0018	2,01	428,15	1,47	4,90	4,42	6,64	194,15	13,90
23/05/2012	MCMD 19	388964,884	9021577,417	0,0084	1,42	129,12	1,33	7,39	3,49	6,73	133,28	19,95
23/05/2012	MCMD 20	388123,809	9021195,983	0,0062	1,45	443,23	1,42	5,98	3,57	9,17	247,36	19,77

23/05/2012	MCMD 20	388123,809	9021195,983	0,0134	2,01	601,99	1,45	5,81	4,40	6,57	372,79	13,47
23/05/2012	MCMD 15	391892,76	9025032,38	0,0082	1,93	143,02	1,54	8,56	4,36	11,02	212,61	31,31
23/05/2012	MCMD 15	391892,76	9025032,38	0,0026	2,24	158,89	1,58	4,86	4,83	7,67	146,29	15,94
25/06/2012	MCMD 21	393660,162	9023185,370	0,0079	2,18	127,37	1,0279	6,01	5,64	6,92	144,84	11,83
25/06/2012	MCMD 22	388671,876	9021842,562	0,0122	1,85	297,96	0,9833	6,68	4,92	7,75	128,77	12,15
26/06/2012	MCMD 01	331133,514	8989464,914	0,0194	3,09	717,53	1,1871	5,67	5,58	9,61	391,52	19,75
26/06/2012	MCMD 03	334858,544	8988058,225	0,0171	1,78	469,93	0,9635	4,07	5,21	7,42	155,93	12,59
27/06/2012	MCJP 01	343450,240	8969737,732	0,0052	1,68	1529,17	0,9276	2,46	4,37	3,23	182,22	27,08
27/06/2012	MCJP 02	345757,507	8973915,735	0,0206	2,04	1321,33	0,7944	2,59	5,56	4,08	53,43	38,68
28/06/2012	MCMD 05	372073,799	9004321,357	0,0061	1,93	215,44	1,0141	4,74	5,34	9,19	139,46	14,31
28/06/2012	MCMD 06	381420,575	9010036,971	0,0070	1,61	240,56	0,7888	3,75	4,56	6,20	107,80	9,68
28/06/2012	MCMD 07	392495,656	9027244,273	0,0180	2,07	371,01	0,9176	4,47	4,76	7,62	168,07	10,58
28/06/2012	MCMD 08	391905,707	9026180,478	0,0178	1,66	45,47	0,8241	5,70	4,61	8,44	97,35	11,97
28/06/2012	MCMD 09	392289,490	9024280,262	0,0077	1,94	170,03	0,9706	6,00	5,14	9,32	174,11	15,25
28/06/2012	MCMD 10	387591,548	9022889,474	0,0094	1,93	501,29	1,0025	7,98	5,28	8,54	152,06	15,95
29/06/2012	MCMDJUS02	403075,942	9045671,708	0,0261	2,01	1134,32	1,0248	6,39	5,30	9,44	116,02	16,74
29/06/2012	MCMDJUS03	398440,225	9040466,080	0,0086	1,95	731,12	0,9316	4,00	5,25	7,66	118,45	13,77
MÉDIA				0,0084	2,07	538,55	1,1393	5,36	4,98	8,79	191,95	19,35
DP				0,0057	0,40	336,66	0,3574	1,28	0,78	1,98	83,25	5,87

* F: folha; *T: talo; EA: em análise; "" Talos e folhas das macrófitas de junho foram analisadas conjuntamente para metais.

As concentrações de metais em *Eichornia crassipes* apresentadas na tabela VIII.1 são referentes ao período de estabilização/pós-enchimento do reservatório (abril, maio e junho de 2012). Ao compará-las com as concentrações dos elementos-traço durante o pré-enchimento, apenas abril de 2010 e abril de 2011 (únicos períodos com amostragens coincidentes), percebe-se que Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Fe e Mn apresentaram um aumento considerável em 2011, ao contrário do Hg e do Zn que apresentaram decréscimo em suas concentrações (Figuras VIII.2 e 3).

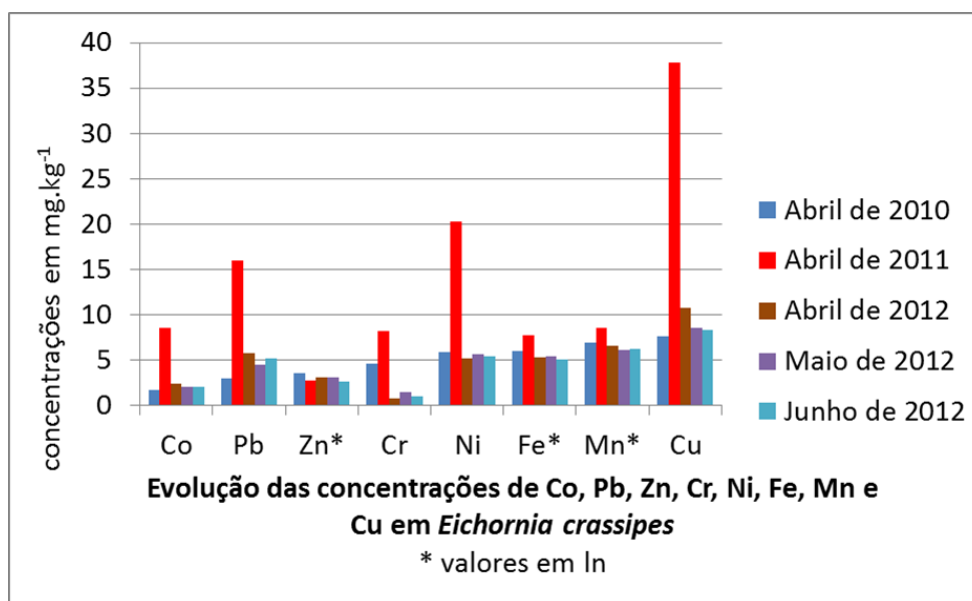


Figura VIII.2. Concentrações de Co, Pb, Zn, Cr, Ni, Fe, Mn e Cu (mg/kg) em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira nos meses de abril de 2010 e 2011 e abril, maio e junho de 2012.

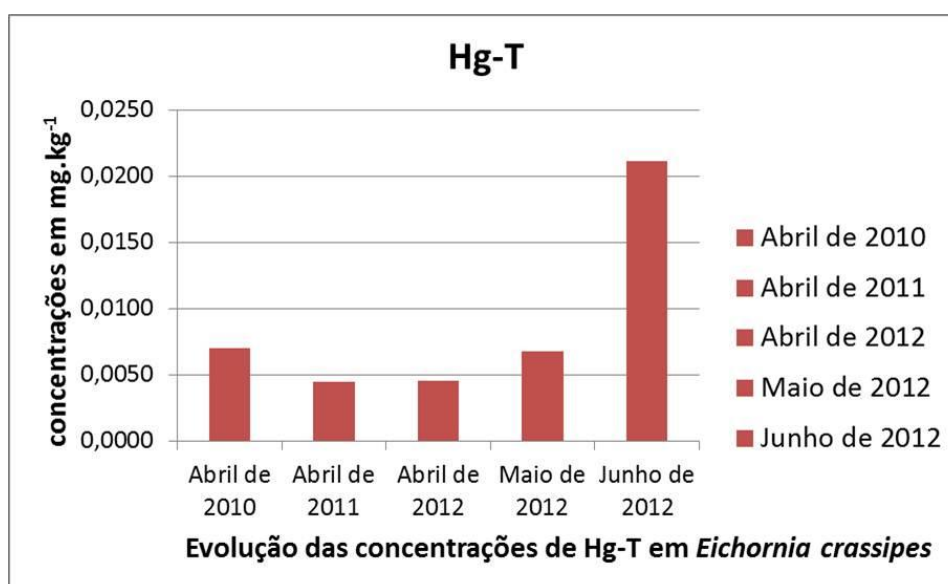


Figura VIII.3. Concentrações de Hg-T (mg/kg) em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira nos meses de abril de 2010 e 2011 e abril, maio e junho de 2012.

Tabela VIII.2. Concentrações média de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn em *Eichornia crassipes* amostradas no rio Madeira.

Elementos Traço	PRÉ-ENCHIMENTO (Abril 2010 e 2011)		PÓS-ENCHIMENTO Estabilização (Abril/12)		PÓS-ENCHIMENTO Estabilização (Maio/12)		PÓS-ENCHIMENTO Estabilização (Junho/12)	
	Média ± DP (mg/kg)	Mín. – Máx. (mg/kg)	Média ± DP (mg/kg)	Mín. – Máx. (mg/kg)	Média ± DP (mg/kg)	Mín. – Máx. (mg/kg)	Média ± DP (mg/kg)	Mín. – Máx. (mg/kg)
Hg	0,0060 ± 0,0018	0,0043 - 0,0094	0,0045 ± 0,0010	0,0033 - 0,0071	0,0068±0,0041	0,0018 - 0,0172	0,0184±0,0316	0,0019-0,1677
Co	4,47 ± 3,47	1,62 - 10,00	2,36 ± 0,17	2,11 - 2,69	1,97±0,43	1,42 - 2,94	2,00±0,36	1,61-3,09
Cr	5,98 ± 3,59	1,69 - 10,18	0,74 ± 0,17	0,60 - 1,17	1,48±0,19	1,30 - 2,11	0,97±0,10	0,79-1,19
Pb	8,15 ± 6,45	1,37 - 16,27	5,69 ± 0,48	4,79 - 6,18	4,48±0,77	3,49 - 5,86	5,14±0,34	4,56-5,64
Ni	11,66 ± 7,19	5,62 - 22,50	5,18 ± 1,19	3,86 - 6,75	5,67±0,99	4,41 - 8,56	5,36±1,26	3,75-7,98
Cu	19,65 ± 15,02	3,38 - 38,66	10,69 ± 1,36	9,22 - 13,30	8,58±1,54	6,14 - 12,18	8,35±1,22	6,20-10,44
Zn	26,24 ± 10,31	13,05 - 40,47	20,36 ± 2,51	16,13 - 25,08	20,50±5,02	11,97 - 31,31	13,77±2,74	9,68-19,75
Fe	1130,22 ± 1172,14	191,95 - 3384,08	196,42 ± 109,61	108,54 - 466,44	216,33±60,18	133,28 - 372,79	151,75±77,27	78,45-391,52
Mn	2650,86 ± 2050,24	295,99 - 5686,60	702,48 ± 177,40	470,06 - 935,15	418,96±249,70	118,79 - 1063,72	478,74±370,86	45,47-1201,59

Sobre as concentrações de elementos-traço em macrófitas aquáticas Olivero & Beatris (1998) encontraram níveis de Hg em *Eichornia crassipes* de um pântano que recebe descargas de Hg de uma mina de ouro na Colômbia que variaram entre 0,219 a 0,277mg/kg. Molina et al. (2010) quantificaram concentrações de Hg que variaram entre 0,064 a 0,102mg/kg em macrófitas no período de águas altas da planície de inundação do rio Beni. Os valores encontrados por Olivero e Beatris (1998) foram muitas vezes superiores aos deste monitoramento, enquanto as concentrações mais baixas quantificadas por Molina et al. (2010) foram semelhantes às do período de pré-enchimento do reservatório (2010).

Ao comparar as concentrações médias de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn em folhas e talos de macrófitas amostradas no mês de maio de 2012, destacaram-se os elementos Hg, Cu e Zn que apresentaram concentrações mais elevadas nas folhas que nos talos, ao contrário de Co, Mn, Cr, Ni e Pb que apresentaram concentrações mais elevadas nos talos em relação as folhas. De acordo com essas observações, adotou-se analisar folhas e talos separadamente apenas para Hg-T. Vale ressaltar que para MeHg as concentrações mais elevadas também se apresentaram nas folhas. Em folhas de *Eichornia crassipes* Pfeiffer (1986) encontrou concentrações médias Pb, Cr, Cu e Zn inferiores às quantificadas para o período de pré-enchimento e em alguns casos (Pb e Cr) superiores para o período de pós-enchimento do reservatório da UHE-Santo Antônio (2,6 - 5,2mg/kg; 0,6 - 1,6mg/kg; 5,3 - 10,4mg/kg e 70 - 100,9mg/kg, respectivamente).

De uma forma geral, as macrófitas aquáticas analisadas apresentaram concentrações de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn condizentes com às de áreas não contaminadas, entretanto, é importante destacar que as concentrações médias encontradas são superiores às do EIA-RIMA (Hg: 0,0005 – 0,0020mg/kg; Cu= 8,87mg/kg; Cr= 0,64mg/kg; Zn= 25,26mg/kg e Mn= 321,41mg/kg).

VIII.3. Considerações

- Houve um leve decréscimo nas concentrações dos elementos-traço nas macrófitas aquáticas comparando os períodos de pré-enchimento e estabilização/pós-enchimento, exceto o Hg que apresentou um acréscimo em suas concentrações médias. As macrófitas apresentaram concentrações de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn condizentes com às de áreas não contaminadas.

IX. PLÂNCTON (PL)

A amostragem de plâncton (zooplâncton e fitoplâncton) foi realizada nos ambientes lênticos formados pelo reservatório como o rio Jaci-Paraná e Igarapés Jatuarana e Teotônio. Para a amostragem e análise de plâncton foi utilizado como referencia base estudos realizados por Tremblay et al (1998).

IX.1. Metodologia

As amostras de plâncton foram coletadas através de arrastes na superfície da água com o uso de redes de *nylon* com abertura de poro de diferentes tamanhos, 25µm (apropriada para a coleta de fitoplâncton), uma segunda rede com abertura de poro de 70µm (apropriada para coleta de zooplâncton que possuam esta faixa de tamanho, a exemplo dos cladóceros) e uma terceira rede com abertura de 160µm (apropriada para coleta de zooplâncton com um tamanho corpóreo maior, como os copépodos).

No laboratório, as amostras de plâncton foram refrigeradas, filtradas e congeladas para posterior liofilização. Após a liofilização, as amostras foram pesadas em tubos de ensaio, seguida por processo de abertura química. Devido a biomassa de microrganismos planctônicos coletada durante este estudo ser baixa, ela foi utilizada preferencialmente para análises de Hg-T e MeHg, elemento de maior interesse devido ao seu histórico em estudos pretéritos na região.

Para a análise de Hg-T foi pesada uma massa de aproximadamente 200mg. Abertura química ocorreu em bloco digestor a 80°C por mais de 3 horas; as amostras sofreram a ação dos seguintes reagentes; 1,0mL H₂O₂, 3,0mL H₂SO₄, 3,0mL HNO₃, 5,0mL KMnO₄ e 1,0mL solução de cloridrato de hidroxilamina 12%. A determinação do Hg-T foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (FIMS-400 Perkin Elmer).

Para análise de MeHg foi pesada uma massa entre 20 e 30mg de cada amostra (ps). Em seguida, foi realizada uma extração alcalina com KOH/Metanol 25% por aproximadamente 8 horas em estufa, sendo que a cada 2 horas as amostras foram agitadas em vórtex. Após o resfriamento, as amostra foram transferidas para frascos de polipropileno de 14mL. Após 48 horas as amostra foram centrifugadas a 3500RPM por 10 minutos, posteriormente, foram submetidas a etilação aquosa com tetra-etil-borato de sódio (NABTE), e o pH da solução foi

mantido com acetato de sódio a 4,5. As amostras foram analisadas no cromatógrafo gasoso com detecção por espectrofotometria fluorescência atômica (GC-AFS). Foi definida uma curva de calibração na faixa de 0,5 a 1000pg.

IX.2. Resultados

As concentrações média de Hg-T e MeHg (em mg/kg) no plâncton na fase de estabilização/pós-enchimento estão expostas na tabela IX.1

Tabela IX.1. Concentração de Hg-T e MeHg no fitoplâncton (25µm) e zooplâncton (70 e 160µm).

Tributários	Dez/11		Mar/12		Jun/12	
	Hg-T (mg/kg)	MeHg (mg/kg)	Hg-T (mg/kg)	MeHg (mg/kg)	Hg-T (mg/kg)	MeHg (mg/kg)
Fitoplâncton 25µm						
RBR	-	-	0,105	0,003	-	0,002
JAT 1	0,085	-	0,101	-	-	0,045
J 01	0,079	-	0,118	-	-	0,014
J 02	0,069	-	0,116	-	-	0,060
Média	0,077	-	0,110	0,003	-	0,030
n	3	-	4	-	-	4
Zooplâncton 70µm						
RBR	-	-	0,114	0,0035	-	0,003
JAT 1	0,074	-	0,083	-	-	0,061
J 01	0,124	-	0,158	-	-	0,034
J 02	0,136	-	0,087	0,009	-	0,059
Média	0,111	-	0,110	0,006	-	0,039
n	3	-	4	2	-	4
Zooplâncton 160µm						
RBR	-	-	0,101	0,006	-	0,006
JAT 1	-	-	0,322	0,227	-	-
J 01	-	-	0,157	-	-	0,075
J 02	-	-	0,096	-	-	0,073
Média	-	-	0,169	0,116	-	0,051
n	-	-	4	2	-	3

A figura IX.1 apresenta os valores médios de Hg-T no fitoplâncton (25µm) das amostragens realizadas de maio de 2009 a março de 2012.

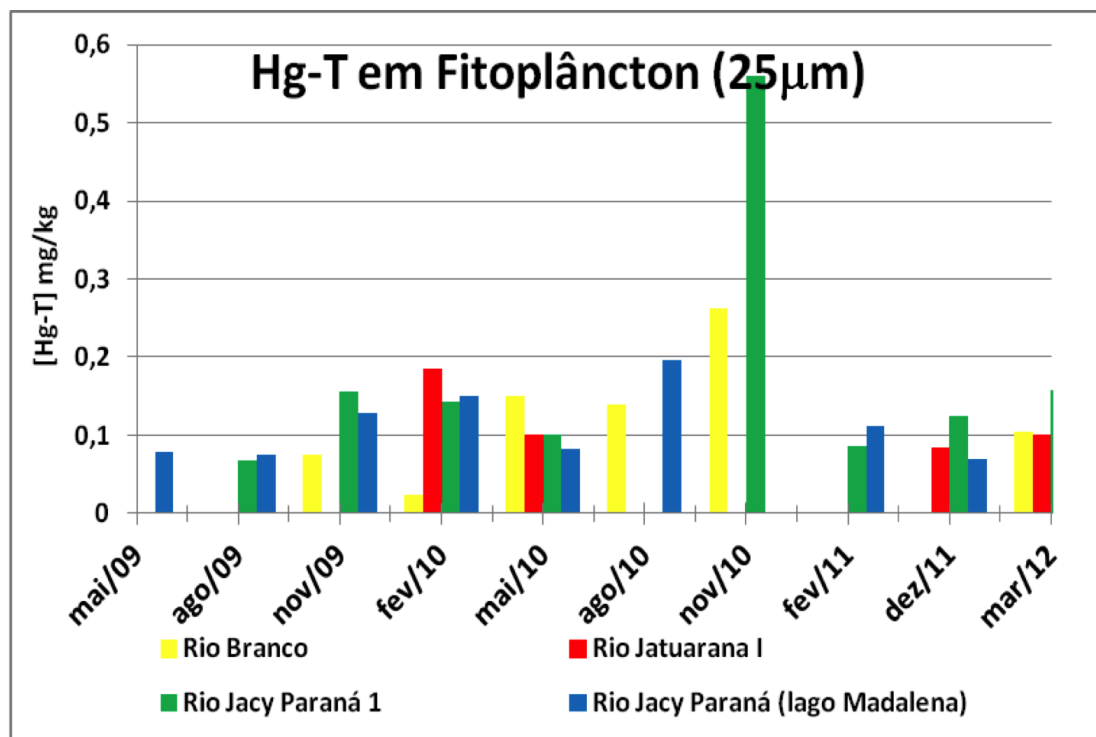


Figura IX.1. Concentração média de Hg-T no fitoplâncton nos tributários do rio Madeira ao longo do monitoramento.

As figuras IX.2 e IX.3 apresentam os valores médios de Hg-T no zooplâncton <math><70\mu\text{m}</math> e <math><160\mu\text{m}</math> das amostragens realizadas de maio de 2009 a março de 2012.

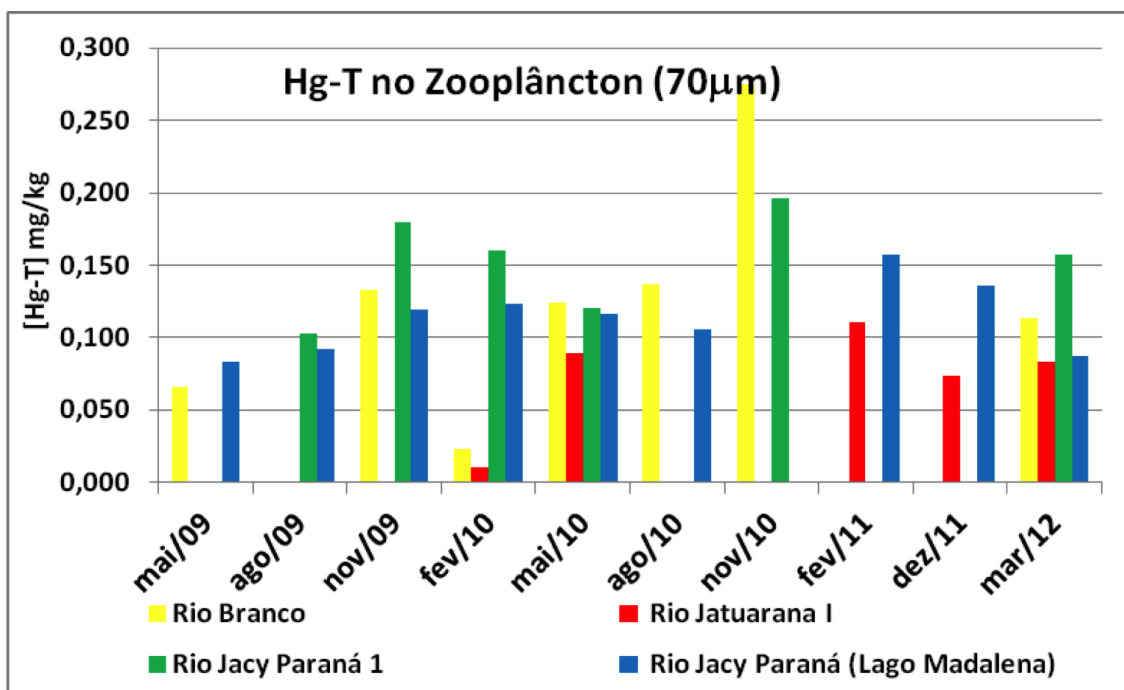


Figura IX.2. Concentração média de Hg-T no zooplâncton ($70\mu\text{m}$) nos tributários do rio Madeira ao longo do monitoramento.

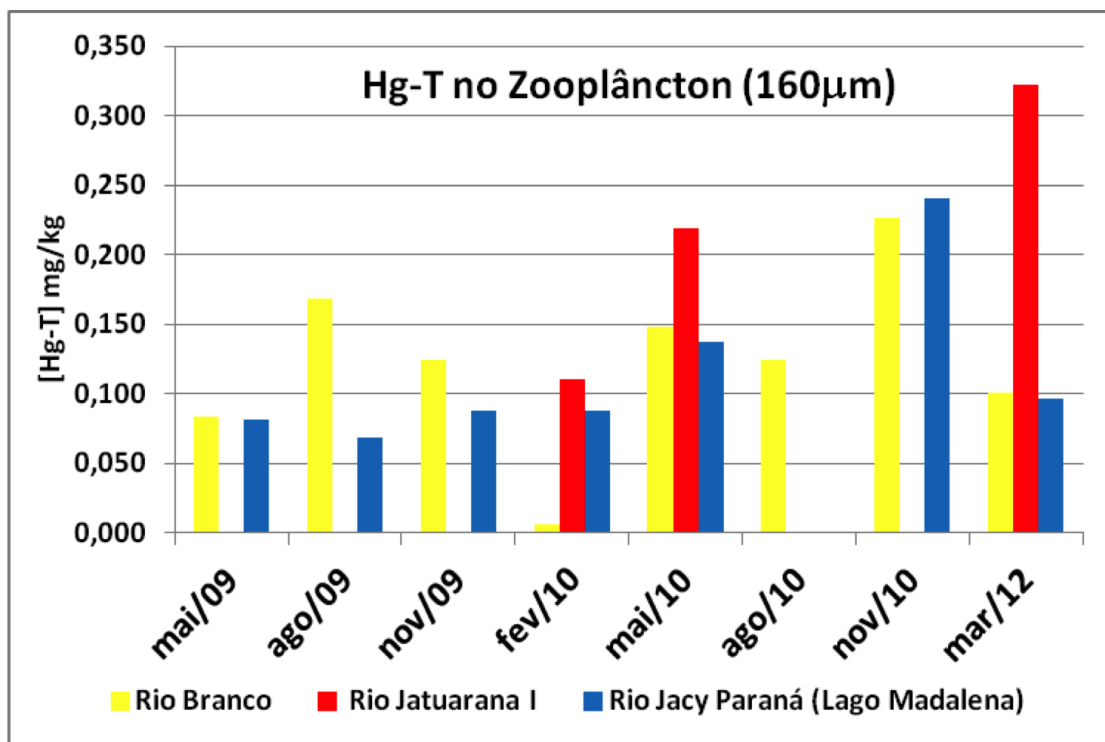


Figura IX.3. Concentração média de Hg-T no zooplâncton (160µm) nos tributários do rio Madeira ao longo do monitoramento.

A figura IX. 4 ilustra a concentração de MeHg ao longo da cadeia alimentar planctônica. Apesar das concentrações aparentemente aumentarem com o nível trófico, não há diferença estatística entre os níveis, não caracterizando a biomagnificação.

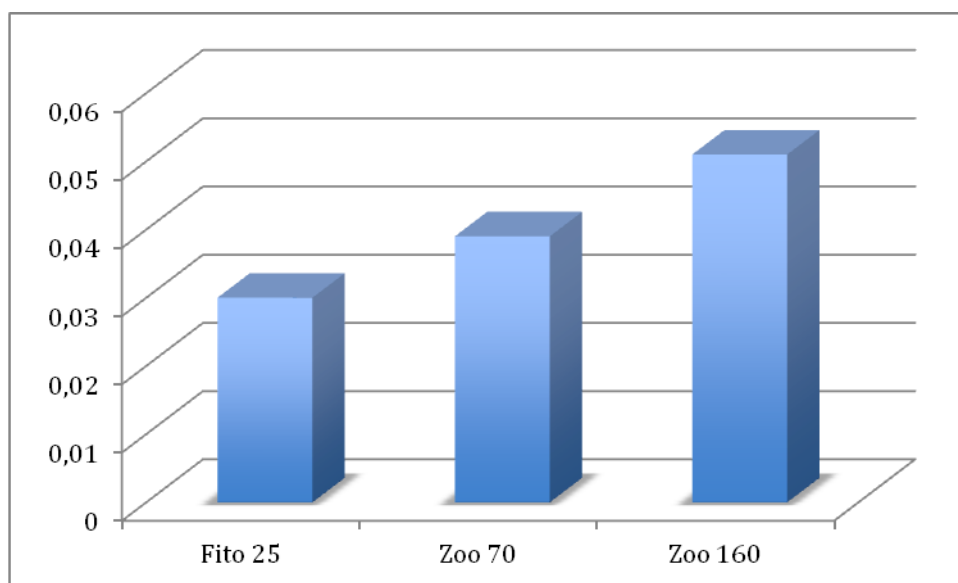


Figura IX.4. Concentração média em mg/kg de MeHg ao longo da cadeia alimentar planctônica.

IX.1. Considerações

Tanto o fito como zooplâncton não apresentaram variações acima do esperado nas concentrações de Hg-T ao longo do monitoramento até o momento, entretanto os níveis de Hg-T no zooplâncton (160µm) no rio Jatuarana I que se apresenta 3 vezes mais elevado que nos rios Branco e Jacy-Paraná. Este será acompanhado com mais atenção nas campanhas seguintes.

Até o momento, não houve diferença estatística entre os níveis tróficos da cadeia planctônica, desse modo não caracterizando a biomagnificação.

X. CANTEIRO DE OBRAS (CO)

X.1. Monitoramento de Hg na Área de Movimentação de Terras

Esta atividade está sendo desenvolvida no ecossistema terrestre na área de influência direta do empreendimento da UHE-Santo Antônio, como a remoção de sedimentos, de solos e de fragmentos de rochas durante a implantação das estruturas físicas da barragem, nesse momento na margem esquerda do rio Madeira. Estes procedimentos podem contribuir como a mobilização do Hg para o ecossistema aquático. Estas atividades foram monitoradas quanto a sua eficiência em disponibilizar Hg para o ecossistema aquático do rio Madeira, a fim de verificar sua real contribuição no ciclo biogeoquímico do Hg na bacia do rio Madeira.

Essas amostras foram coletadas, conforme cronograma na tabela III.1, com trado tipo holandês e armazenada em sacos de polietileno, no Canteiro de Obras (CO) e nos Bota Foras (BF). No laboratório foram separadas granulometricamente, selecionando as partículas <74µm, secas, maceradas e analisadas os teores de Hg-T. Os outros elementos-traço citados nos objetivos também foram analisados.

A área monitorada é referente aos locais onde está ocorrendo a dragagem de sedimentos e retirada de solos e de rochas para implementação das turbinas do empreendimento hidrelétrico na Cachoeira de Santo Antônio. A coleta das amostras de sedimentos consistiu da caracterização da seção horizontal e vertical na área de dragagem, a partir da amostragem de sedimentos que representam os materiais a serem dragados. A distribuição espacial da amostragem é representativa da dimensão da área e do volume a ser dragado e as profundidades das coletas das amostras foram representativas da cota a ser dragada. Inicialmente adotou-se a Resolução CONAMA 344 para estabelecimento de valores orientadores para as concentrações de Hg nos sedimentos dragados. Para estudo das áreas de “bota-fora” fez-se uma adaptação da metodologia da CETESB para a investigação preliminar de áreas potencialmente contaminadas. Desta forma elaborou-se uma malha amostral no principal “bota-fora” da margem direita do rio Madeira para investigar possíveis contaminações do material transportado do canteiro de obra para áreas de “bota-fora” permanentes.

A partir do início da movimentação de terras na margem esquerda do rio Madeira também foi realizada coletas nestas áreas e nos “bota-fora”.

O monitoramento do canteiro de obras foi realizado na medida em que eram realizadas escavações nas áreas onde estavam sendo construídas as ensecadeiras.

A área de construção da UHE–Santo Antônio é uma área que a todo tempo passa por mudanças físicas por causa da construção do empreendimento, podendo ocorrer mobilização de Hg que pode estar depositado nos sedimentos no leito do rio e áreas adjacentes.

A tabela X.1 apresenta as atividades realizadas na área do Canteiro de Obras durante o período de monitoramento realizado. Para a coleta das amostras utilizou-se um trado holandês que permitiu a coleta de amostras de 0,1 a 1,0m de profundidade. Após a coleta, as amostras foram acondicionadas em sacos de polietileno, identificadas com código de campo e levadas ao laboratório de Biogeoquímica/UNIR onde receberam um código de laboratório e foram armazenadas em refrigerador a aproximadamente 4 °C.

O procedimento analítico das amostras consistiu da homogeneização a úmido nos próprios sacos de polietileno utilizados em campo, através da aplicação de água ultra-pura (Milli-Q, Millipore) sendo, posteriormente, peneiradas na fração <200 *mesh* (<74µm), considerada a mais ativa fisicamente em processos de adsorção, por possuir maior área superficial. Em seguida, a fração fina do solo/sedimento/fragmentos de rocha é transferida para um gral de porcelana e seca em estufa a temperatura de 50°C. Para a determinação química de Hg-T 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.

Para a determinação da fração fortemente ligada aos demais elementos-traço Zn, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Cd e Pb seguiu-se o protocolo proposto por Campos (2003), utilizando-se de sistema aberto de digestão com uso de HNO₃ e HCl na proporção 1:3 (água régia) que equivale ao método empregado pela USEPA-3050. A quantificação das amostras foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama (Perkin-Elmer, modelo AA-400).

As figuras X.1 e X.2 apresentam as aéreas monitoradas no canteiro de obras nas margens direita e esquerda, respectivamente. O número de amostras foi variável entre as coletas, pois dependeu da área dos locais de escavação. À medida que havia novas frentes de escavação, deslocava-se a malha amostral, não sendo possível desta forma, coincidência de pontos e nem de material coletado devido às

transformações na topografia do terreno e estabelecimento de áreas de concretagem.

As áreas de “bota-fora” estudadas apresentam materiais como fragmentos de rochas, sedimento e solo. Este material é disposto nos “bota-fora” sem separação entre sedimento e solo, logo o material do “bota-fora” representa uma variabilidade de sedimento e solos e material rochoso de leito de rio. A tabela X.1 apresenta as datas e os locais em que as amostragens foram realizadas.

Tabela X.1. Data das coletas no Canteiro de Obras UHE Santo Antônio ao longo do monitoramento.

Descrição das atividades realizadas	Data
T 1 - Coleta de sedimento na enseadeira MD	27/02/2009
T 2 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	31/07/2009
T 3 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	11/12/2009
T 4 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	22/02/2010
T 5 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	25/03/2010
T6 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	20/05/2010
T7 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	24/08/2010
T8 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	02/12/2010
T9 - Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	17/02/2011
Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	06/06/2011
Coleta MD, enseadeiras e no igapó	01/07/2011
Coleta no igapó	23/09/2011
Coleta MD e ME, enseadeiras e áreas de BF	29/09/2011
Coleta na MD enseadeiras	29/03/2012
Coleta ME enseadeiras e no igapó	27/04/2012
Coleta ME enseadeiras e igapó	30/05/2012
Coleta ME enseadeiras e igapó	30/07/2012

MD= Margem Direita ME= Margem Esquerda BF= Bota Fora

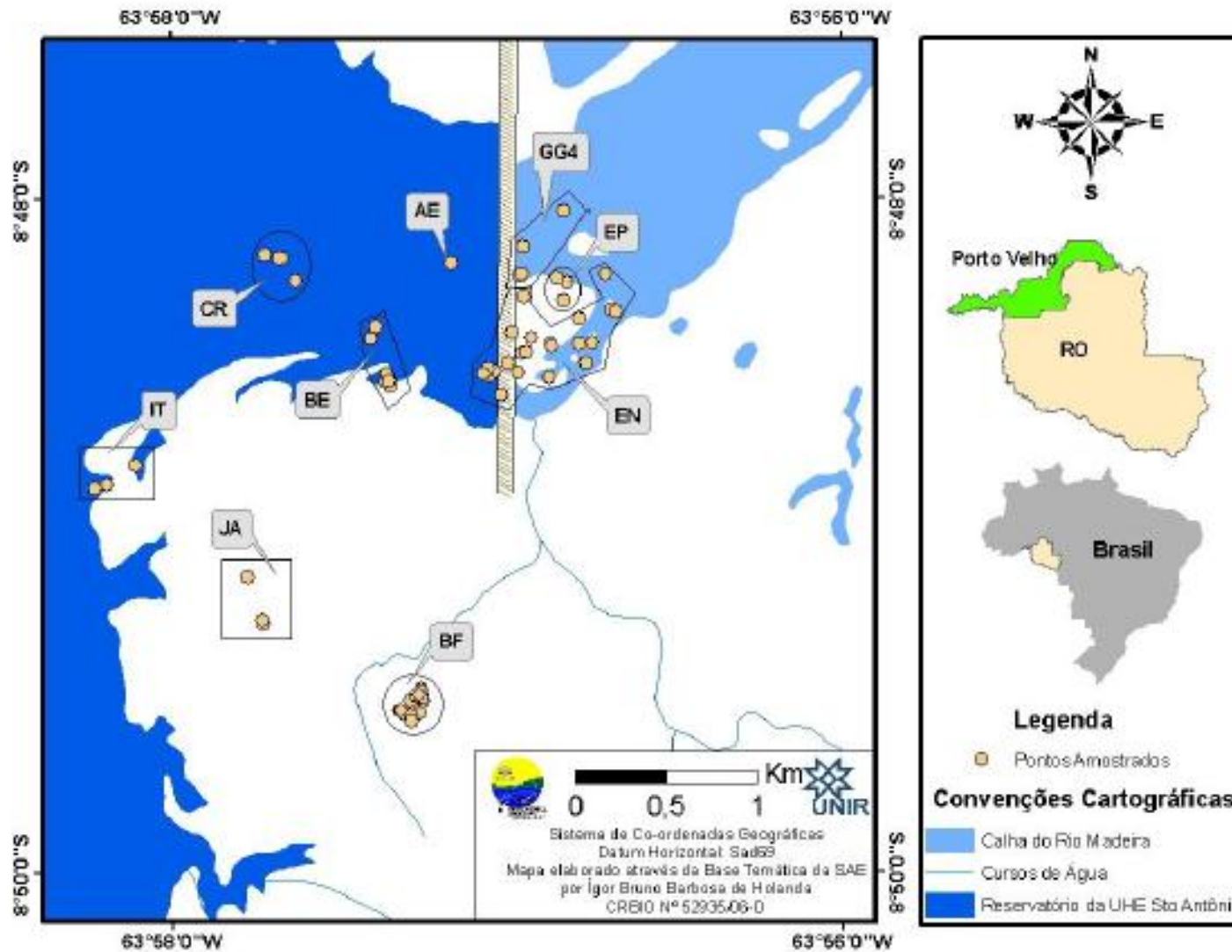


Figura X.1. Mapa de localização dos pontos de coleta na margem direita (MD) do Rio Madeira.

Legenda: EP = escadaria de peixes; GG4 = ensecadeira GG4; BE = bota-espera; AE = área de escavação; EN = ensecadeira; CR = caixa de rejeito; IT = interceptador de tronco; JA = jazida de argila.

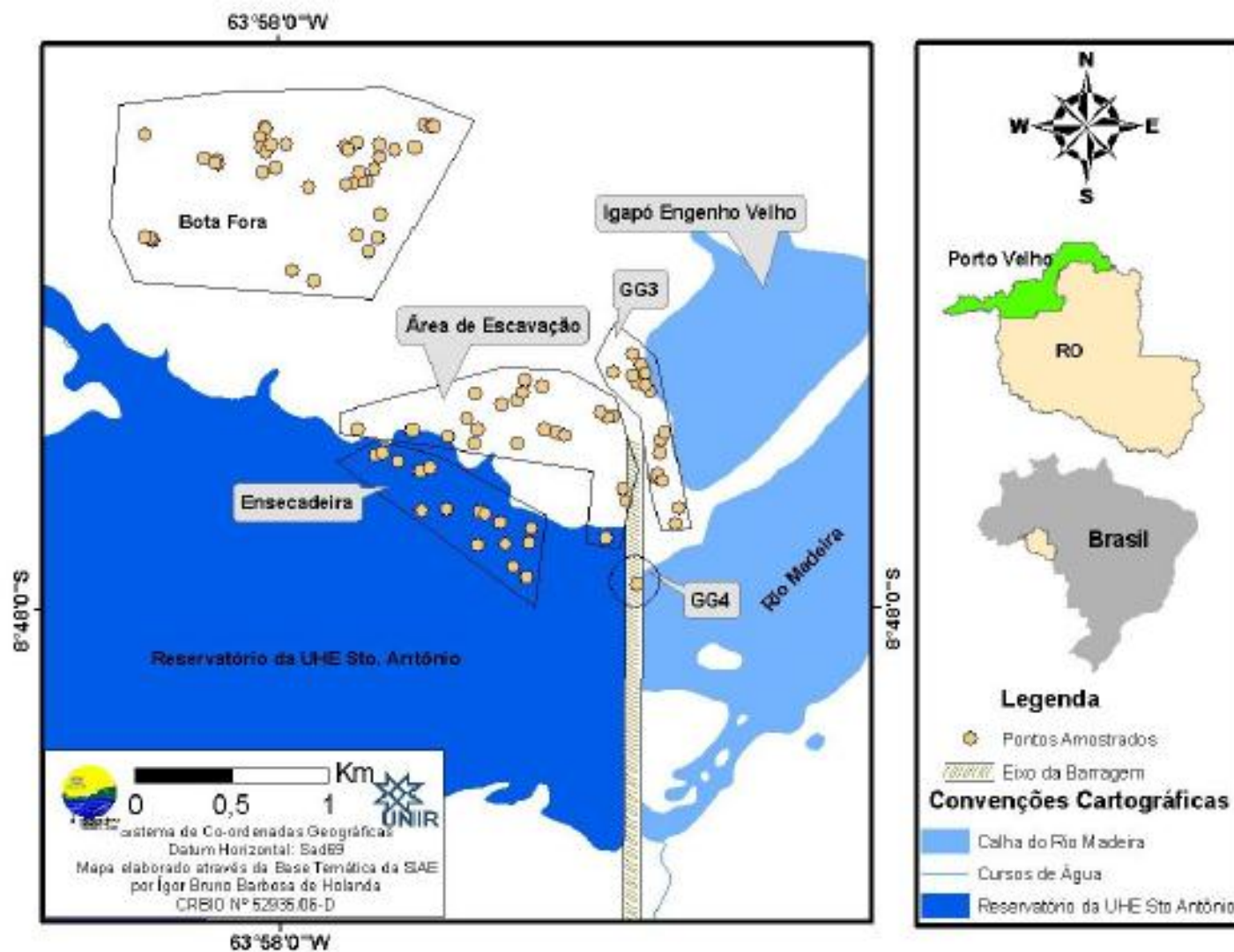


Figura X.2. Mapa de localização da área de estudo na margem esquerda (ME) do rio Madeira.

Legenda: GG3 = ensecadeira GG3, GG4 = ensecadeira GG4.

A tabela X.2 apresenta a os períodos de coleta e os resultados das concentrações médias de Hg-T nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas amostrados na margem direita do rio Madeira no Canteiro de Obras (Figura X.3). Nestes resultados comparando os valores de Hg-T encontrados no canteiro de obras com os valores encontrados no rio Madeira no EIA/RIMA em 2004.

Tabela X.2. Períodos das coletas e concentrações médias de Hg-T (mg/kg) encontrados nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas coletados na margem direita do rio Madeira no Canteiro de Obras.

Data de Coleta	Hg-T (mg/kg)	D.P.	n
Fev/2009	0,061	0,050	06
Jul/2009	0,042	0,048	08
Dez/2009	0,079	0,032	07
Fev/2010	0,044	0,042	11
Mar/2010	0,063	0,045	05
Mai/2010	0,070	0,038	05
Ago/2010	0,034	0,017	05
Dez/2010	0,075	0,034	04
Fev/2011	0,088	0,021	05
Jun/2011	0,077	0,038	05
Ago/2011	0,023	0,002	02
Set/2011	0,063	0,033	09
Mar/2012	0,043	0,004	03
MÉDIA	0,055	0,008	75
Mín - Máx.	0,001 – 0,155		
EIA-RIMA	0,048 – 0,085		

A tabela X.3 apresenta os períodos de coleta e os resultados encontrados das concentrações médias de Hg-T nos sedimentos e solos amostrados na margem esquerda do rio Madeira no canteiro de obras (Figura X.4).

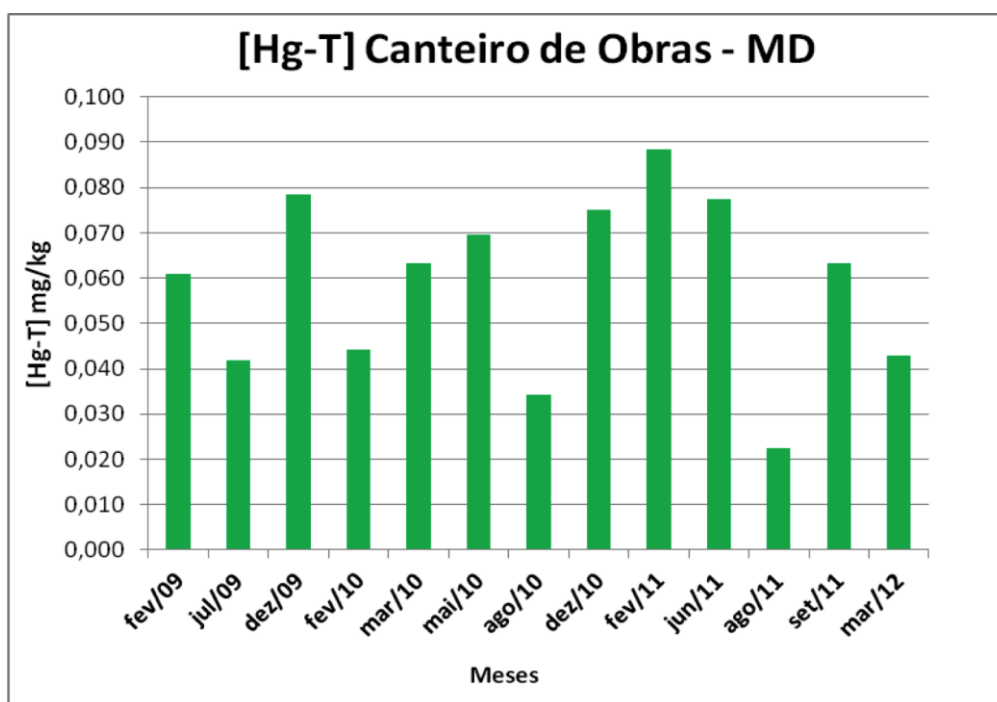


Figura X.3. Concentrações médias de Hg-T em mg/kg encontrados nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas coletados na **margem direita (MD)** do rio Madeira no Canteiro de Obras ao longo dos meses das escavações.

Tabela X.3. Períodos das coletas e concentrações médias de Hg em mg.kg^{-1} encontrados nos sedimentos e solos coletados na margem esquerda do rio Madeira no Canteiro de Obras.

Data de Coleta	Hg-T (mg/kg)	D.P.	n
Jul/09	0,014	0,020	03
Dez/09	0,022	0,025	03
Fev/10	0,086	0,052	14
Mar/10	0,041	0,051	02
Mai/10	0,052	0,050	16
Ago/10	0,030	0,014	03
Dez/10	0,036	0,045	07
Fev/11	0,053	0,101	09
Jun/11	0,045	0,047	22
Set/11	0,033	0,043	08
Abr/12	0,010	0,010	08
Mai/12	0,013	0,004	08
Jul/12	0,045	0,039	38
MÉDIA	0,037	0,025	141
Mín - Máx.	0,001 – 0,258		
EIA-RIMA	0,048 – 0,085		

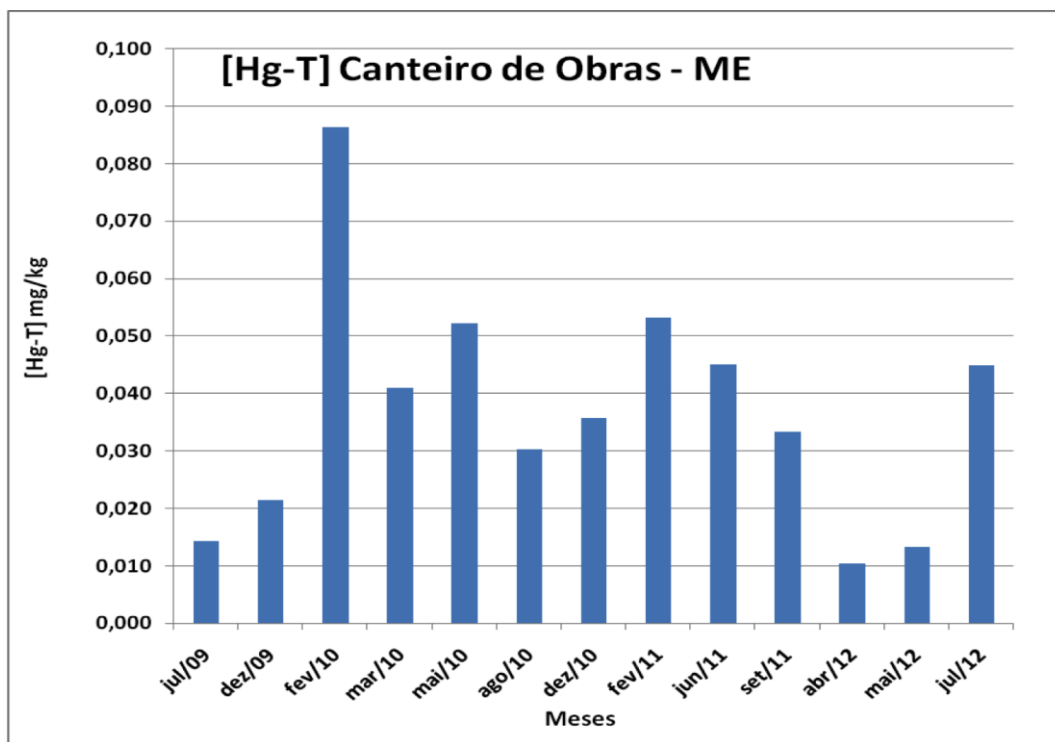


Figura X.4. Concentrações médias de Hg-T em mg/kg encontrados nos sedimentos, solos e fragmentos de rochas coletados na **margem esquerda (ME)** do rio Madeira no Canteiro de Obras ao longo dos meses das escavações.

X.1. Considerações

Os resultados obtidos demonstraram que a área do Canteiro de Obras apresenta resultados médios de Hg-T abaixo dos valores encontrados no EIA/RIMA em 2004. Não se confirmando, portanto, a hipótese de “bolsões” de Hg metálico nas áreas das escavações.

XI. CONSIDERAÇÕES FINAIS

- Durante o pré-enchimento a concentração de MeHg dissolvido nas águas no período de águas altas foi maior que no período de águas baixas;
- Durante o estabilização/pós-enchimento a concentração de MeHg dissolvido nas águas no período de águas baixas foi menor que no período de águas altas durante o pré-enchimento;
- Não há diferença significativa entre as concentrações de MeHg dissolvido nas águas ao compararmos as fases de pré-enchimento e estabilização/pós-enchimento nos tributários do rio Madeira;
- Não há diferença significativa entre as concentrações de MeHg dissolvido nas águas ao compararmos as fases de pré-enchimento e estabilização/pós-enchimento na calha do rio Madeira;
- As concentrações de MeHg dissolvido nas águas do “sistema Madeira” foi maior no período de águas altas no pré-enchimento que no período correspondente na fase estabilização/pós-enchimento;
- Os tributários demonstraram maior discrepância na concentração dos elementos-traço em relação ao rio Madeira, refletindo ambientes mais heterogêneos;
- A concentração de mercúrio foi significativamente maior nos tributários do que no rio Madeira tanto na fase de pré-enchimento quanto na fase de estabilização/pós-enchimento ($p=0,01$), entretanto não há diferença quando comparado os valores encontrados no pré-enchimento e estabilização/pós-enchimento tanto no rio Madeira quanto nos seus tributários;
- As concentrações de mercúrio no material particulado em suspensão foram maiores nas amostras coletadas em junho de 2012 (estabilização/pós-enchimento) que nos períodos de enchimento e águas baixas da fase de pré-enchimento;
- Há de se acompanhar durante o período de pós-enchimento a dinâmica dos elementos-traço avaliados, principalmente nos tributários, pois o aumento na concentração de determinados elementos pode estar associado à influência antropogênica nas áreas que ocorreram supressão de vegetação;

- Até o momento não foi observada diferença significativa entre as concentrações de Hg-T nas espécies de peixes antes e depois do represamento da UHE Santo Antônio;
- Algumas espécies de peixes ainda apresentam valores acima do limite da Organização Mundial de Saúde e ANVISA;
- Espécimes de peixes com valores próximos e acima de 1,00mg/kg de Hg-T estão sendo separadas para as determinações de MeHg, assim como, sendo ampliado o *n* amostral e analítico do período de estabilização;
- Houve um leve decréscimo nas concentrações dos elementos-traço em macrófitas aquáticas comparando os períodos de pré-enchimento e estabilização/pós-enchimento, exceto o Hg que apresentou um acréscimo em suas concentrações médias nessa 2^a. fase;
- As macrófitas aquáticas apresentaram concentrações de Hg, Co, Cr, Pb, Ni, Cu, Zn, Fe e Mn condizentes com às de áreas não contaminadas;
- Os resultados obtidos demonstraram que a área do canteiro de obras apresenta resultados médios de Hg-T abaixo dos valores encontrados no EIA/RIMA em 2004;
- Até o momento não foi observada uma mudança significativa nas concentrações de mercúrio e os demais elementos-traço nas matrizes estudadas como resultado do enchimento/estabilização do reservatório UHE-Santo Antônio, entretanto o possível aumento de mercúrio no sistema pode ocorrer nos anos seguintes ao enchimento, sendo que o atual período pode ser caracterizado como o início de uma fase de oscilação na dinâmica biogeoquímica uma vez que a ausência do pulso de inundação pode ser refletida nas futuras campanhas.

XII. REFERÊNCIAS

- AGUNBIADE, F. O.; OLU-OWOLABI, B. I.; ADEBOWALE, K. O. 2009. Phytoremediation potential of *Eichornia crassipes* in metal-contaminated coastal water **Bioresource Technology**. 100: 4521–4526.
- ALMEIDA, M.D.; LACERDA, L.D.; BASTOS, W.R. & HERRMANN, J.C. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, western Amazon, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 137, p. 179-186, 2005.
- AULA, I.; BRAUNSWEILLER, H.; LEINO, T.; MALIN, I.; PORVARI, P.; HATANAKA, T.; LODENIUS, M. & JURAS, A. Levels of mercury in the Tucuruí reservoir and its surrounding area in Pará, Brazil. *In*: Watras, C.J. & Huckabee, J.W. (Eds.) **Mercury Pollution: Integration and Synthesis**. Lewis Publ., p. 21-40.1995.
- BASTOS, W. R., MALM, O. PFEIFER, W. C. & CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon Brazil. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, Rio de Janeiro. v. 50, p. 255-260. 1998.
- BASTOS, W. & LACERDA, L.D. A contaminação por Mercúrio na bacia do Rio Madeira: Uma breve revisão. **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, n. 2, p. 99-114, 2004.
- 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. **Sci. Tot. Environm.** v.368, p.344 – 351. 2006.
- BASTOS, W. R.; REBELO, M. de F.; FONSECA, M. de F. ALMEIDA, R. & MALM, O. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amazonica**. vol. 38(3): 431 – 438. Rondônia. 2008.
- BISINOTI, M.C. & JARDIM, W.F. Behavior of methylmercury in the environment. **Quím. Nova**, July/Aug., vol.27, no.4, p.593-600. ISSN 0100-4042. 2004.
- BLOON, N. & FITZGERALD, W. Determination of volatile mercury at the pictogram level by low-temperature gas chromatography with cold vapour atomic fluorescence detection. **Analytica Chimica Acta**. V.208, p. 151-161. 1998.
- BRABO, E.S.; ANGÉLICA, R.S.; SILVA, A.P.; FAIAL, K.R.F.; MASCARENHAS, A.F.S.; SANTOS, E.C.O.; JESUS, I.M. & LOUREIRO, E.C.B. Assessment of mercury levels in soils, waters, bottom sediments and fishes of Acre state in Brazilian Amazon. **Water, Air and Soil Pollution** 147: 61–77, 2003.
- BROOKS RAND LABS LLC. *CG and pyrolysis module. User's Guide*. Seattle, 2005, 14p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *MERX QC Certificate*. Seattle, 2009, 1p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Merx. Automated methylmercury analytical system. User's Guide*. Seattle, 2005, 37p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Methyl Mercury purge and trap module. User's Guide*. Seattle, 2005, 11p.
- BROOKS RAND LABS LLC. *Methylmercury distillation system. User's Guide*. Seattle, 2005, 13p.

- BROOKS RAND LABS LLC. *Trap desorption module. User's Guide*. Seattle, 2005, 17p.
- CAVENAGHI, A.L.; VELINI, E.D.; NEGRISOLI, E.; CARVALHO, F.T.; GALO, M.L.B.T.; TRINDADE, M.L.B.; CORRÊA, M.R.; SANTOS, S.C.A. 2005. **Monitoramento de problemas com plantas aquáticas e Caracterização da qualidade de água e sedimento na UHE Mogi-Guaçu. Planta Daninha**. Viçosa-MG. 23 (2): 225-231.
- COELHO-SOUZA, S.A. MIRANDA, M. R. & GUIMARÃES, J.R.D. 2007. A Importância das Macrófitas Aquáticas no Ciclo do Mercúrio na Bacia do Rio Tapajós (PA). **Oecologia. Brasiliensis**. 11 (2): 252-263.
- ELBAZ-POULICHET, F.; SEYLER, P.; MAURICE-BOUGOIN, L.; GUYOT, J.L & DUPUY, C. Trace element geochemistry in the upper Amazon drainage basin (Bolivia). **Chemical Geology**. v. 157 p. 319 – 334. 1999.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY-EPA (EUA). *Method 1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and CVAFS*. 2001.
- ENVIRONMENT PROTECTION AGENCY-EPA (EUA). *Method 1669: Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels*. 1996.
- ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL –. Relatório Final - Leme 2004 Disponível em:< www.ibama.licenciamentos.gov.br> Acesso em 16de out. de 2008.
- EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY USEPA SW-846 Method 6010B, Revision 2, December 1996.
- EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method 1669. Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels.
- U.S.226. Environmental Protection Agency Office of Water Engineering and Analysis Division (4303) 401. M Street S.W. Washington, D.C. 20460. 2000.
- EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and CVAFS, EPA 821-R-01-020, January - 1630. 2001.
- FAYED, S. E. & ABD-EL-SHAFY, H. I. 1985. Accumulation of Cu, Zn, Cd, AND Pb by aquatic macrophytes. **Environment International**. 11: 77-87.
- IBAMA. Instrução normativa nº 65, de 13 de abril de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 abr. 2005. Seção 1, p.144-145. 2005.
- GUIMARÃES, J.R.D., MEIL, I. M., HYLANDER, L.D. SILVA, E.C., ROULET, M., MAURO, J.B.N. & LEMOS, R.A. Mercury net methylation in five tropical floodplain regions of Brazil: high in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. **Sci. Tot. Environ**. 261:99-107. 2000.
- HALL, B.D.; ST. LOUIS, V.L. & BODALY, R.A. The stimulation of methylmercury production by decomposition of flooded birch leaves and jack pine needles. **Biogeochemistry**, 68:107-129. 2004.
- HEYES, A.; MOORE, T.R. & RUDD, J.W.M. Mercury and methylmercury in decomposing vegetation of a pristine and impounded wetland. **Journal of Environmental Quality**, 27:591-599. 1998.

HERRMANN, J.C. **Mercúrio em solos da sub bacia do rio Corumbiara/RO: Análise de Padrão espacial da dispersão**. Tese de Doutorado submetida junto ao Programa de Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente, Universidade Estadual Paulista – Instituto de Geociências e Ciências Exatas – Rio Claro/ SP. 2008.

HYLANDER, L.D., GRÖHN, J., TROPP, M., VIKSTRÖM, A., WOLPHER, H., SILVA, E.C., MEILI, M. & OLIVEIRA, L.J. Fish Mercury Increase in Lago Manso, a New Hydroelectric Reservoir in Tropical Brazil. **Journal of Environmental Management**. 2005.

HYLANDER, LD & MEILI, M. The rise and fall of mercury: converting a resource to refuse after 500 years of mining and pollution. **Crit Rev Environ Sci Technol** 34:1–36. 2005.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE – IBAMA Relatório de impacto ambiental das usinas hidrelétricas de Santo Antônio e Jirau, 2005. Disponível em:< www.ibama.licenciamentos.gov.br> Acesso em 22 de nov. de 2008. 16:25.

KELLY, CA; RUDD, J.W.M.; BODALY, R.A.; ROULET, N.P.; ST. LOUIS, V.L.; HEYES, A.; MOORE, T.R.; SCHIFF, S.; ARAVENA, R.; SCOTT, K.J.; DYCK, B.; HARRIS, R.; WARNER, B. & EDWARDS, G. Increases in fluxes of greenhouse gases and methyl mercury following flooding of an experimental reservoir. **Environmental Science and Technology**, 31:1334-1344. 1997.

LACERDA, L.D.; PFEIFFER, W.C.; OTT, A.T. & SILVEIRA, E.G. Mercury contamination in the Madeira River, Amazon - Hg inputs to the environment. **Biotropica**, 21:91-93, 1989.

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

LACERDA, L.D. **Mercury from gold and silver mining**. Springer New York. 1998.

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

MACHADO, V. L. F. *Metilmercúrio nas águas da bacia do Rio Madeira, na área de Influência do Reservatório da Usina e Santo Antônio, Amazônia Ocidental*.(dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Rondônia – UNIR. 2011.

MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M. & REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. **Ambio**. Stockholm. Vol. 19, no. 1, pp. 11-15. 1990.

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.

MAURICE-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. **Sci. Tot. Environm.**, 260:73-86, 2000.

MAURO, J.B.N.; GUIMARÃES, J.R.D. & MELAMED, R. Mercury methylation in macrophyte roots of a tropical lake. **Water Air Soil Pollut.**, 127:271-280, 2001.

McCUNNE, B. & MEFFORD, M.J. **Multivariety analysis of ecological data**, version 4.0. Mjm.software designs. Oregon, 1999.

MIRANDA, R.M., GUIMARÃES, J.R.D., ROULET, M.; ACHA, D., COELHO-SOUZA, S., MAURO, J.B.N. & INIGUEZ, V. Mercury methylation and bacterial activity in macrophyte-associated periphyton in floodplain lakes of the Amazon basin. **RMZ Materials and Geoenvironment** 51:1218-1220. 2004.

MIRANDA, M. R. **Formação de metil-mercúrio na bacia do rio Madeira, Rondônia**. UFRJ/IBCCF. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho 138 ff., 2010.

MISHRA, V. K. & TRIPATHI, B. D. 2008. Concurrent removal and accumulation of heavy metals by the three aquatic macrophytes. **Bioresource Technology**. 99: 7091–7097.

MISHRA, V. K.; TRIPATHI.; KIM, K-H. 2009. Removal and accumulation of mercury by aquatic macrophytes from an open cast coal mine effluent. *Journal of Hazardous Materials*. 172: 749–754

MURESAN, B.; COSSA, D.; RICHARD, S.; DOMINIQUE, Y. Monomethylmercury sources in a tropical artificial reservoir. **Applied Geochemistry**, v. 23, p. 1101–1126, 2008.

OLIVEIRA, S. M. B.; MELFIA, J.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; FAVARO, D. I. T.; BOULET, R. Soils as an important sink for mercury in the amazon. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 126, n. 3-4, p. 321 – 337, 2001.

OLIVEIRA, Ronaldo Cavalcante, DÓREA, José Garrofe, BERNARDI, José Vicente Elias, BASTOS, W. R., ALMEIDA, Ronaldo, Manzatto, Ângelo Gilberto. Fish consumption by traditional subsistence villagers of the Rio Madeira (Amazon): impact on hair-mercury. **Annals of Human Biology**. , v.36, p.1 - 14, 2010.

OLIVERO, J.; BEATRIS, S. 1998. Mercury in environmental samples from a waterbody contaminated by gold mining in Colombia, South America. **Science of the Total Environment**. 217(1): 83-89.

PESSENDA, L.C.R.; FERREIRA, J.R.; TANCRADI, A.C.F.N.S.; MARTINELLI, L.A.; HIRATA, R. & MORTATTI, J. Caracterização química das águas de alguns rios do estado de Rondônia. **Acta limnológica Brasiliensis**. v. 1. p 179-199. 1986.

PFEIFFER, W. C.; FISZMAN, M.; MALM, O.; AZCUE, J. M. 1986. Heavy Metal Pollution in the Paraíba do Sul River, Brazil. **The Science of the Total Environment**. 58 73-79.

PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. **Environ. Technol. Lett.**, 9:325-350, 1988.

PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D. & SILVEIRA, E.G. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Vol. 38, No. 3/4, p 239-245, 1991.

PORVARI, P. Mercury levels in fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and in River Moju in Amazônia, in the state of Pará, Brazil. **Sci. Tot. Environ.** 175: 109-117, 1995.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAIT ALBAN, A.; TRAN, S.; RHEAULT, I.; FARELA, N.; SILVA, E.D.; DESENCOURT, J.; PASSOS, E.D.; SOARES, G.S.; GUIMARÃES, J.R.D.; MERGLER, D. & AMORIM, M. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. **Sci. Tot. Environ.**, 223:1-24, 1998.

- SHETAGNE, R., DOYON, J. F. & FOURNIER, J. J. Export of mercury downstream from reservoirs. **Science of Total Environment**, 2000. (260): 135-145.
- TREMBLAY, A., LUCOTTE, M. & SHETAGNE. Total mercury and methylmercury accumulation in zooplankton of hydroelectric reservoirs in northern Québec (Canada). **Science of Total Environment**, (213): 307-315. 1998.
- TUOMOLA, L. **Mercury Levels in Fish Five Years after Construction of Lago Manso Reservoir, Brazil**. Degree project in Biology. Examensarbete i biologi, 20 p, Biological Education Centre and Department of Limnology. Uppsala University. Supervisors: Lars Hylander and Edinaldo de Castro e Silva. 2005.
- VERDON, R.; BROUARD, D.; DEMERS, C.; LALUMIERE, R. & LAPERLE, M. Mercury Evolution (1978-1988) in Fishes of the La Grande Hydroelectric Complex, Quebec, Canada. **Water, Air and Soil Pollution**, Vol. 56, p 405-417, 1991.
- WASSERMAN, J. C.; HACON, S.; WASSERMAN, M. A. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment. **AMBIO**, v. 32, n. 5, 2003.
- ZIMMELS, F. Y.; MALKOVSKAJA, K. A. 2006. Application of *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* for treatment of urban sewage in Israel. **Journal of Environmental Management**. 81: 420–428



Wanderley Rodrigues Bastos.