



FUNDAÇÃO UNIVERSIDADE
FEDERAL DE RONDÔNIA



RELATÓRIO TRIMESTRAL AVALIAÇÃO AMBIENTAL

PROGRAMA:

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

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

Outubro/2013

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 (UNIR)

Leidiane Caroline Lauthartte (Mestranda/UNIR)

Maria Cristina Nery do Nascimento Recktenvald (Mestranda/UNIR/UFAM)

Maria Thereza Souza Bastos (Bióloga/UNIR)

Francisca Denilça Narciso dos Santos (Química/UNIR)

Charlliene Lima da Silva (Pedagoga/UNIR)

Júlia Yunes Herrmann (Química/UNIR)

Walkimar Costa Junior (Iniciação Científica/UNIR)

Andressa de Jesus França (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 (CCAA/UFAM)

Sumário

- I. APRESENTAÇÃO**
- II. ÁGUA (AG)**
- III. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)**
- IV. SEDIMENTO DE FUNDO (SD)**
- V. PEIXES (PX)**
- VI. MACRÓFITAS AQUÁTICAS (MA)**
- VII. PLÂNCTON (PL)**
- VIII. CROCODILIANOS E QUELÔNIOS**
- IX. SOLOS**
- X. CONSIDERAÇÕES FINAIS**
- XI. REFERÊNCIAS**

I. APRESENTAÇÃO

O presente relatório tem como objetivo apresentar a avaliação do monitoramento do Programa de Hidrobiogeoquímica (HDBGQ), seguindo o cronograma de trimestralidade na fase de Pós-Enchimento (dez/2011 a jun/2013). Neste período, seguem apresentados apenas os resultados das diferentes matrizes avaliadas no programa, portanto as informações de abrangência da área de estudo, estações de coleta, cronograma de execução, métodos de amostragens e analíticos podem ser consultados no *Relatório de Acompanhamento dos Programas Ambientais após a emissão da Licença de Operação – LO, em 10/10/2012, sob o n° 02001.061283/2012-2, por meio da correspondência SAE/PVH: 0872/2012.*

II. ÁGUA (AG)

II.1. Mercúrio Total (Hg-T) em Água Não Filtrada (Fração Total)

De acordo com a resolução CONAMA 357/05 para águas doces classe 2 a concentração máxima de Hg-T permitida é de 200 ng/L (=0,0002mg/L). Até o momento todos os valores encontrados de Hg-T na água estão abaixo do preconizado pela referida legislação, como pode ser visto na tabela II.1.

Tabela II.1. Concentração de Hg-T na fração total (não filtrada) da água. Os valores estão expressos em ng/L.

	Média (ng/L)	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	n
Tributários Montante	3,38	2,17	0,97	13,10	54
Tributários Jusante	6,16	6,57	2,50	25,90	15
Rio Madeira Montante	7,13	3,99	2,32	17,00	25
Rio Madeira Jusante	8,14	5,55	2,64	25,05	19

Quando comparados as concentrações médias de Hg-T encontradas a montante da barragem com as encontradas a jusante da barragem da UHE Santo Antônio foi possível observar que houve diferença entre os dois sistemas (Tabela II.2; Figura II.1), evidenciando que há uma maior concentração de Hg-T no Rio Madeira, sendo os menores valores encontrados nos Tributários a montante do reservatório (Tabela II.1; Figura II.1). A variabilidade temporal de Hg-T na fração total das águas do Rio Madeira comporta-se de acordo com a sazonalidade (Figura II.2).

Tabela II.2. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn entre as médias das concentrações de Hg-T na água não filtrada (**Fração Total**) no Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante da barragem da UHE Santo Antônio no período de pós-enchimento (dezembro de 2011 a junho de 2013) com a discriminação entre os locais de coleta. As letras representam as diferenças entre os grupos.

Amostra	Grupos
Tributários Montante	A
Tributários Jusante	A B
Rio Madeira Montante	B
Rio Madeira Jusante	B

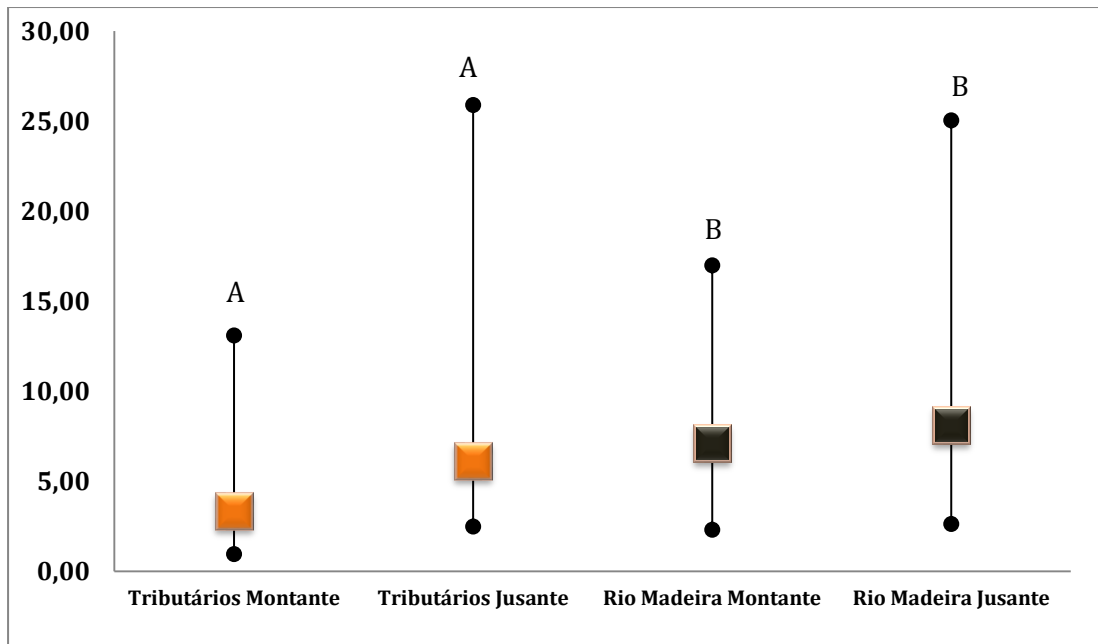


Figura II.1. Médias das concentrações de Hg-T na água não filtrada (**Fração Total**) no Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante da barragem da UHE Santo Antônio no período de pós-enchimento (dezembro de 2011 a junho de 2013). As barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam as diferenças entre os grupos. As concentrações estão expressas em ng/L.

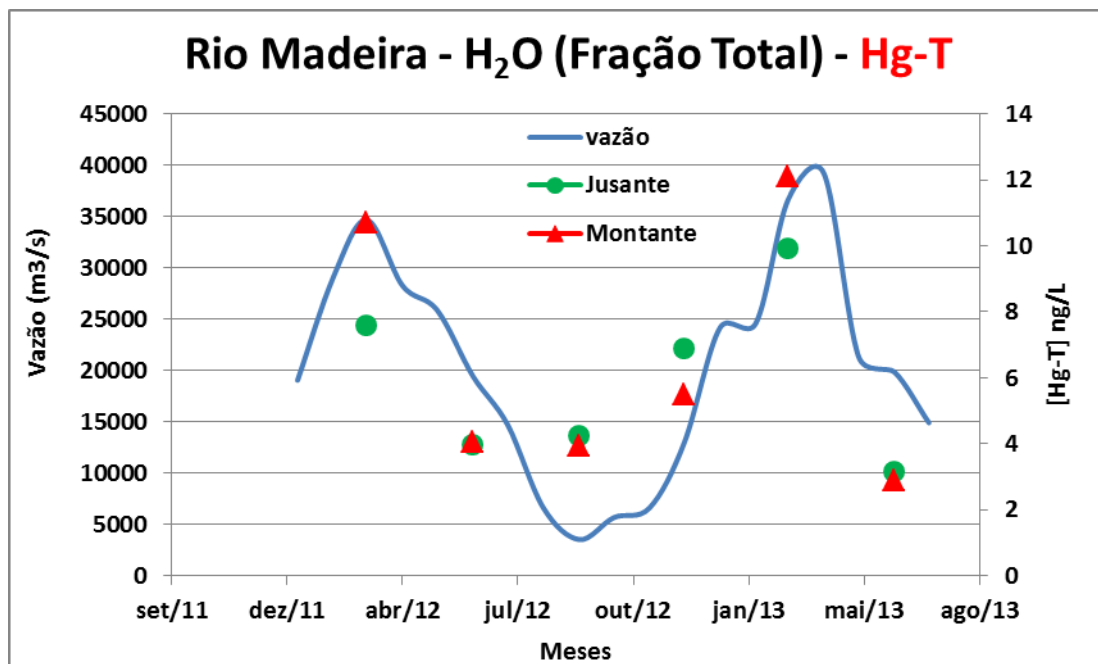


Figura II.2. Variabilidade sazonal de Hg-T na fração total das águas do Rio Madeira.

II.2. Mercúrio Total em Água Não Filtrada (Fração Total): Superfície vs Fundo

Não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as médias das águas superficiais ($5,381 \pm 4,467$ ng/L) com as de fundo ($4,496 \pm 2,947$ ng/L), como pode ser observado nas tabelas II.3 e II.4 e na figura II.3.

Tabela II.3. Concentração de Hg-T na água não filtrada (Fração Total) na superfície e fundo a montante e a jusante da UHE Santo Antônio. As concentrações estão expressas em ng/L.

Período	Localidade	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	n
SUPERFÍCIE						
Jun/12	Tributário Montante	3,275	1,928	1,175	6,695	7
	Tributário Jusante	3,580	0,445	3,265	3,895	2
	Rio Madeira Montante	4,708	0,749	3,695	5,345	4
	Rio Madeira Jusante	4,235	0,608	3,805	4,665	2
Set/12	Tributário Montante	2,672	1,560	1,480	6,370	8
	Tributário Jusante	10,535	5,678	6,520	14,550	2
	Rio Madeira Jusante	4,340	0,156	4,230	4,450	2
	Rio Madeira Montante	3,450	0,753	2,630	4,110	3
Dez/12	Tributário Montante	2,428	0,972	1,330	4,400	8
	Tributário Jusante	2,750	0,226	2,590	2,910	2
	Rio Madeira Jusante	8,900	4,586	5,820	14,170	3
	Rio Madeira Montante	4,553	2,109	2,320	6,510	3
Mar/13	Tributário Montante	4,014	1,499	2,260	7,020	8
	Tributário Jusante	3,238	0,074	3,185	3,290	2
	Rio Madeira Jusante	11,010	4,466	6,680	15,600	3
	Rio Madeira Montante	10,590	3,040	8,805	14,100	3
Jun/13	Tributário Montante	2,081	0,514	1,244	3,085	8
	Tributário Jusante	2,643	0,209	2,495	2,790	2
	Rio Madeira Jusante	3,177	0,613	2,640	3,845	3
	Rio Madeira Montante	3,170	0,227	2,990	3,425	3
FUNDO						
Jun/12	Tributário Montante	3,706	1,114	2,345	5,255	7
	Tributário Jusante	4,315	1,485	3,265	5,365	2
	Rio Madeira Jusante	3,725	0,354	3,475	3,975	2
	Rio Madeira Montante	3,398	1,493	1,745	4,705	4
Set/12	Tributário Montante	2,449	0,876	1,675	4,405	8
	Rio Madeira Jusante	4,187	0,707	3,380	4,700	3
	Rio Madeira Jusante	4,390	2,119	2,710	6,770	3
Dez/12	Tributário Montante	3,214	2,734	1,230	8,480	8
	Tributário Jusante	3,675	0,389	3,400	3,950	2
	Rio Madeira Jusante	4,860	1,602	3,920	6,710	3
	Rio Madeira Montante	6,410	0,773	5,840	7,290	3
Mar/13	Tributário Montante	3,555	1,453	1,710	6,380	8
	Tributário Jusante	5,343	2,719	3,420	7,265	2
	Rio Madeira Jusante	8,817	1,635	7,510	10,650	3
	Rio Madeira Montante	13,633	2,977	10,200	15,500	3

Tabela II.4. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn entre as médias das concentrações de Hg-T na água não filtrada (**Fração Total**) no sistema Madeira no período de pós-enchimento (dezembro de 2011 a junho de 2013) com a discriminação superfície e fundo. As letras representam as diferenças entre os grupos. As concentrações estão expressas em ng/L.

Variável	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	n	Grupos
Superfície	5,381	4,467	0,966	25,900	113	A
Fundo	4,496	2,947	1,230	15,500	061	A

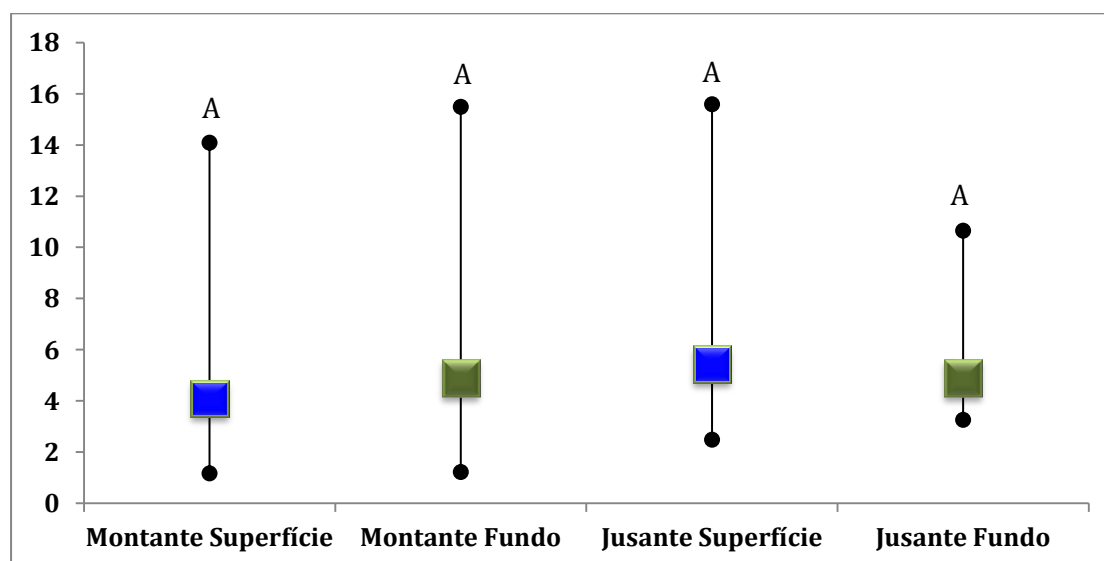


Figura II.3. Concentração de Hg-T na água não filtrada (Fração Total) na superfície e fundo a montante e a jusante da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam as diferenças entre os grupos. As concentrações estão expressas em ng/L.

II.3. Mercúrio Total na Água Filtrada (Fração Dissolvida)

Quando comparadas as concentrações médias de Hg-T encontradas na fração dissolvida a montante da barragem com as encontradas a jusante da barragem da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-Enchimento foi possível observar que não houve diferença significativa entre as variáveis (Tabelas II.5 e II.6; Figura II.4).

Tabela II.5. Concentração de Hg-T na fração dissolvida (filtrada) da água nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-enchimento. Os valores estão expressos em ng/L.

Localização	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Máximo	n
Tributários Montante	1,545	0,870	0,415	5,344	85
Tributários Jusante	1,934	1,291	0,495	6,400	21
Rio Madeira Montante	1,607	1,051	0,393	5,954	38
Rio Madeira Jusante	1,701	0,953	0,456	3,279	30

Tabela II.6. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn entre as médias das concentrações de Hg-T na água filtrada (**Fração Dissolvida**) no Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante da barragem da UHE Santo Antônio no período de pós-enchimento (dez/2011 a jun/2013) com a discriminação entre os locais de coleta. As letras representam as diferenças entre os grupos.

Localização	Grupos
Tributários Montante	A
Tributários Jusante	A
Rio Madeira Montante	A
Rio Madeira Jusante	A

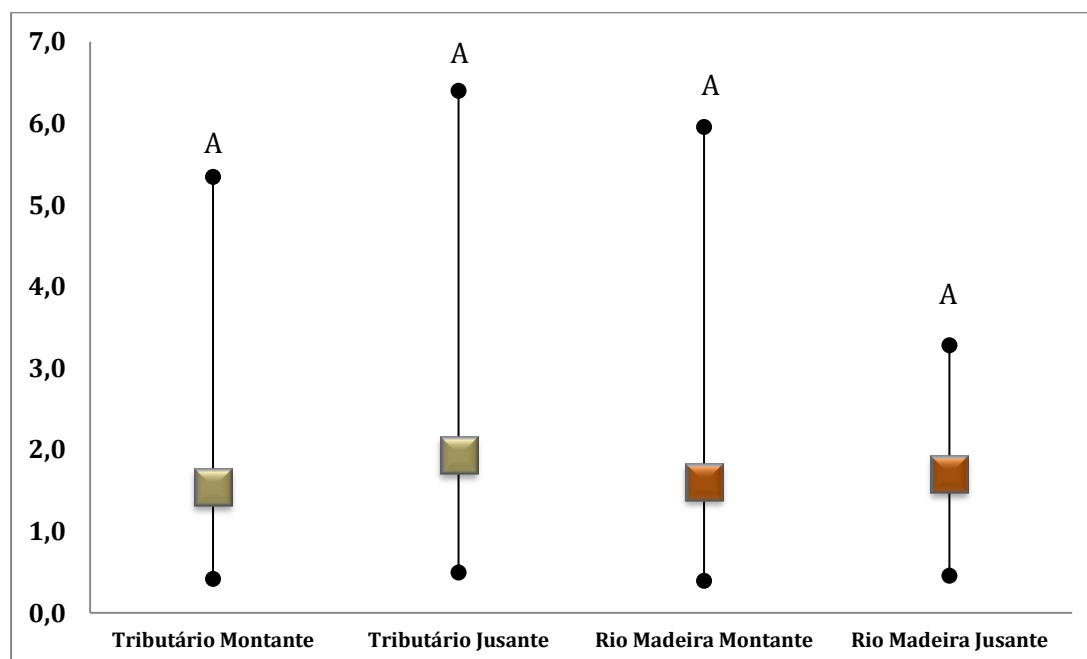


Figura II.4. Médias das concentrações de Hg-T na água filtrada (**Fração Dissolvida**) no Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante da barragem da UHE Santo Antônio no período de pós-enchimento (dez/2011 a jun/2013). Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam as diferenças entre os grupos. As concentrações estão expressas em ng/L.

II.4. Metilmercúrio (MeHg) em Água Não Filtrada (Fração Total)

Em relação ao MeHg na água não filtrada (**fração total**) foi possível observar que não houve diferença significativa entre as médias do Pré-enchimento e do Pós-enchimento (Tabela II.7; Figura II.5).

Tabela II.7. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn entre as médias das concentrações de MeHg na água não filtrada (**Fração Total**) no período de Pré e Pós-enchimento do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam as diferenças entre os grupos. As concentrações estão expressas em ng/L.

Localização	Média	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
Pré-enchimento						
Tributários Montante	0,118	0,118	0,026	0,501	20	A
Tributários Jusante	0,201	0,211	0,033	0,606	12	A
Rio Madeira Montante	0,105	0,100	0,030	0,274	12	A
Rio Madeira Jusante	0,113	0,105	0,046	0,307	08	A
Pós-enchimento						
Tributários Montante	0,155	0,178	0,014	0,940	30	A
Tributários Jusante	0,126	0,066	0,034	0,217	08	A
Rio Madeira Montante	0,059	0,042	0,011	0,138	13	A
Rio Madeira Jusante	0,084	0,046	0,018	0,162	10	A

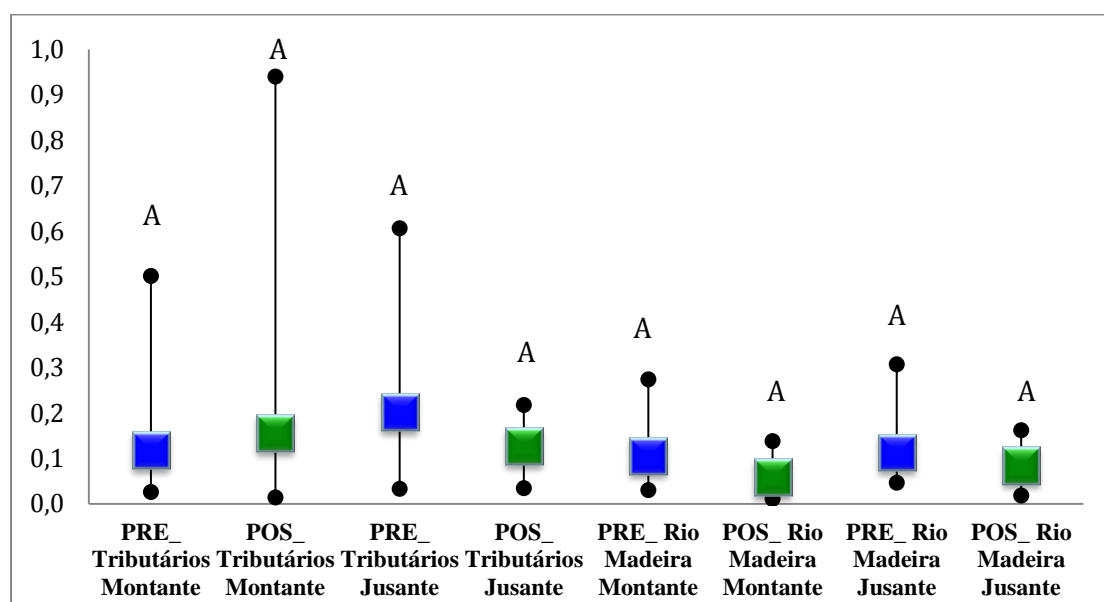


Figura II.5. Concentração de MeHg na água não filtrada (Fração Total) nos períodos de Pré-enchimento e Pós-enchimento. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam as diferenças entre os grupos. As concentrações estão expressas em ng/L.

II.5. Metilmercúrio (MeHg) em Água Filtrada (Fração Dissolvida)

Foram observadas diferenças significativas entre o Pré e o Pós-enchimento a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio nos pontos do Rio Madeira e Tributários (Tabelas II.8 e II.9; Figura II.6)

Tabela II.8. Concentração de MeHg na fração dissolvida (filtrada) da água nos períodos de Pré e Pós-enchimento nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio. Os valores estão expressos em ng/L.

Localização	Média	DP	Mínimo	Máximo	n
Pré-Enchimento					
Tributários Montante	0,070	0,066	0,014	0,267	20
Tributários Jusante	0,127	0,163	0,016	0,541	12
Rio Madeira Montante	0,047	0,018	0,022	0,075	12
Rio Madeira Jusante	0,045	0,011	0,033	0,064	08
Pós-Enchimento					
Tributários Montante	0,078	0,099	0,007	0,642	45
Tributários Jusante	0,084	0,067	0,024	0,219	13
Rio Madeira Montante	0,034	0,023	0,005	0,107	22
Rio Madeira Jusante	0,066	0,061	0,012	0,274	16

Tabela II.9. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn entre as médias das concentrações de MeHg na água filtrada (**Fração Dissolvida**) no período de Pré e Pós-enchimento nos pontos do Rio Madeira e tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam as diferenças entre os grupos.

Amostra	Período	Grupos
Rio Madeira Montante	Pós-Enchimento	A
Rio Madeira Jusante	Pré-Enchimento	A B
Rio Madeira Montante	Pré-Enchimento	A B
Tributários Montante	Pré-Enchimento	A B
Rio Madeira Jusante	Pós-Enchimento	A B
Tributários Montante	Pós-Enchimento	B
Tributários Jusante	Pós-Enchimento	B
Tributários Jusante	Pré-Enchimento	B

As maiores médias no Pós-enchimento foram observadas nos tributários a montante (0,078±0,099 ng/L) e a jusante (0,084±0,067 ng/L) do Reservatório da UHE Santo Antônio (Tabelas II.8 e II.9; Figura II.6). Com relação ao Rio Madeira foi possível observar que houve uma diminuição nas concentrações de MeHg na água filtrada (fração dissolvida) a montante do Reservatório quando comparados os períodos de Pré-enchimento (0,047±0,018 ng/L) e Pós-enchimento (0,034±0,023 ng/L).

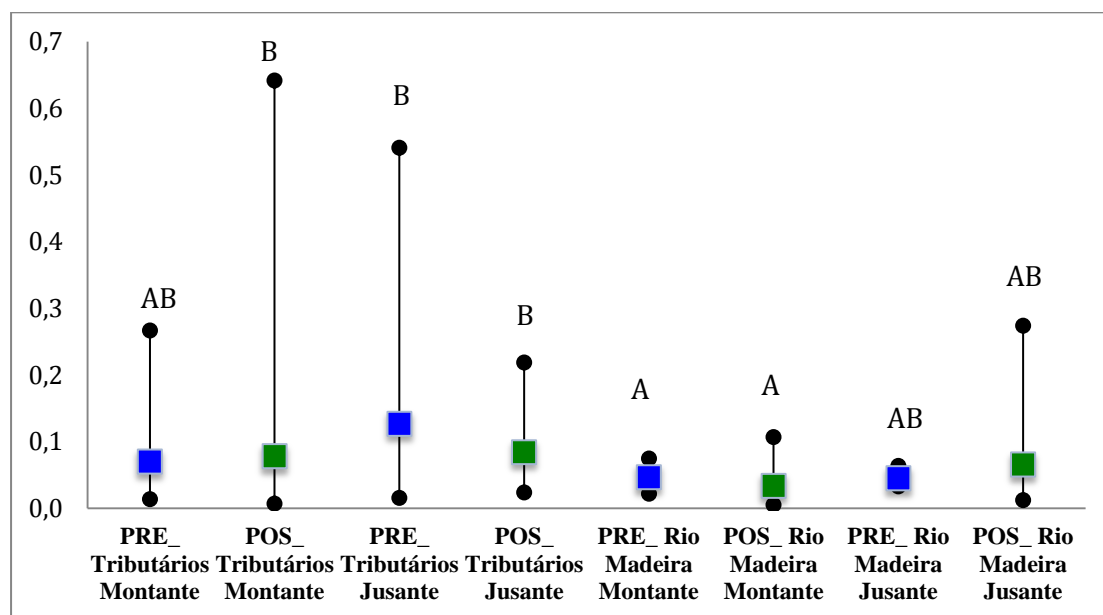


Figura II.6. Concentração de MeHg na fração dissolvida (filtrada) da água nos períodos de Pré e Pós-enchimento nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam a média e as barras verticais representam os valores mínimos e máximos. Os valores estão expressos em ng/L.

II.6. Metilmercúrio (MeHg) em Água Não Filtrada (Fração Total) e Filtrada (Fração Dissolvida): Superfície vs Fundo

Os resultados da concentração de MeHg na água não filtrada (**fração total**) está exposto na tabela II.10. Os resultados da concentração de MeHg na água filtrada (**fração dissolvida**) está exposto na tabela II.11.

Tabela II.10. Comparação das concentrações de MeHg na água não filtrada (fração total) superficial e de fundo nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-enchimento. Os valores estão expressos em ng/L.

Variável	Média	DP	Mínimo	Máximo	n
SUPERFÍCIE					
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	0,155	0,178	0,014	0,940	31
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	0,126	0,066	0,034	0,217	8
RIO MADEIRA MONTANTE	0,059	0,042	0,011	0,138	13
RIO MADEIRA JUSANTE	0,084	0,046	0,018	0,162	10
FUNDO					
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	0,195	0,187	0,031	0,619	23
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	0,312	0,202	0,051	0,525	4
RIO MADEIRA MONTANTE	0,057	0,044	0,015	0,144	10
RIO MADEIRA JUSANTE	0,100	0,102	0,024	0,341	8

Tabela II.11. Comparação das concentrações de **metilmercúrio** na **água filtrada** (fração dissolvida) superficial e de fundo nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-enchimento. Os valores estão expressos em ng/L.

Variável	Média	DP	Mínimo	Máximo	n
SUPERFÍCIE					
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	0,087	0,118	0,011	0,642	31
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	0,054	0,030	0,024	0,122	8
RIO MADEIRA MONTANTE	0,033	0,018	0,005	0,063	13
RIO MADEIRA JUSANTE	0,049	0,029	0,012	0,107	10
FUNDO					
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	0,090	0,087	0,013	0,302	23
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	0,195	0,155	0,030	0,362	4
RIO MADEIRA MONTANTE	0,040	0,035	0,005	0,125	10
RIO MADEIRA JUSANTE	0,094	0,125	0,016	0,321	8

Com relação ao MeHg na água não filtrada (fração total), foi possível observar que houve diferença significativa nas águas superficiais e de fundo dos tributários. As maiores concentrações de MeHg na fração total foram observadas nas águas coletadas no fundo dos tributários a montante ($0,195 \pm 0,187$ ng/L) e a jusante ($0,312 \pm 0,202$ ng/L). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre as profundidades no

Rio Madeira tanto a montante quanto a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio (Tabela II.12 e Figura II.7).

Tabela II.12. Comparação múltipla das concentrações de MeHg na água superficial e de fundo não filtrada (**fração total**) e filtrada (**fração dissolvida**) nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-enchimento. As letras simbolizam diferenças significativas.

Localização	Profundidade	Fração	Grupos		
RIO MADEIRA MONTANTE	Superfície	Dissolvida	A		
RIO MADEIRA MONTANTE	Fundo	Dissolvida	A	B	
RIO MADEIRA JUSANTE	Superfície	Dissolvida	A	B	C
RIO MADEIRA JUSANTE	Fundo	Dissolvida	A	B	C
RIO MADEIRA MONTANTE	Fundo	Total	A	B	C
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	Superfície	Dissolvida	A	B	C
RIO MADEIRA MONTANTE	Superfície	Total	A	B	C
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	Superfície	Dissolvida	A	B	C
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	Fundo	Dissolvida	A	B	C
RIO MADEIRA JUSANTE	Fundo	Total	A	B	C
RIO MADEIRA JUSANTE	Superfície	Total	A	B	C
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	Superfície	Total	B		C
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	Superfície	Total	B		C
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	Fundo	Dissolvida	B		C
TRIBUTÁRIOS MONTANTE	Fundo	Total	C		
TRIBUTÁRIOS JUSANTE	Fundo	Total	C		

Com relação as concentrações de MeHg na água filtrada (fração dissolvida), foi possível observar diferença significativa nas águas superficiais e de fundo do Rio Madeira a montante do Reservatório. Os valores médios nas águas coletadas no fundo do Rio Madeira ($0,040 \pm 0,035$ ng/L) foram mais elevados que os valores médios das águas superficiais ($0,033 \pm 0,018$ ng/L). O mesmo padrão foi observado nos tributários a jusante do Reservatório quando comparados as médias das águas superficiais ($0,054 \pm 0,030$ ng/L) com as de fundo ($0,195 \pm 0,155$ ng/L). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre os valores dos tributários a montante e do Rio Madeira a jusante do Reservatório (Tabela II.12 e Figura II.8).

A figura II.9 apresenta a variabilidade sazonal de MeHg nas águas dos tributários de montante e jusante (Frações Total e Dissolvida), considerando a vazão do Rio Madeira.

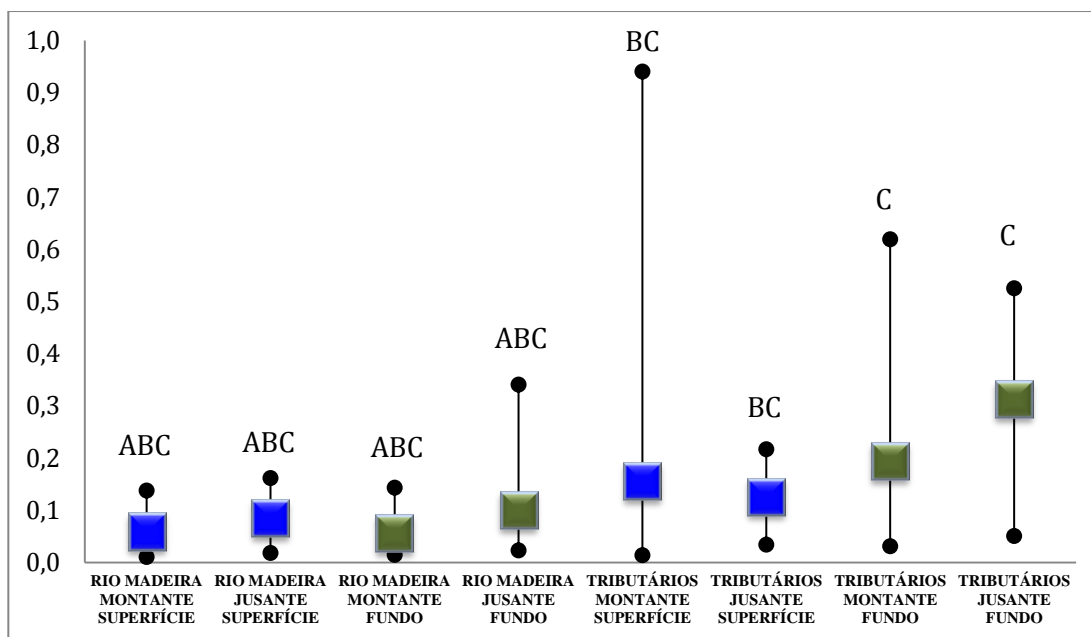


Figura II.7. Comparação das concentrações de MeHg na água **não filtrada** (fração total) superficial e de fundo nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-enchimento. Os símbolos representam a média e as barras verticais representam os valores mínimos e máximos. Os valores estão expressos em ng/L.

Os resultados da 1ª campanha da Fase de Operação do Reservatório do Programa de Monitoramento Limnológico (Novembro de 2012) indicam que ocorreu estratificação térmica da zona pelágica no Rio Caripunas, Rio Jaci-Paraná, Igarapé Caracol, Igarapé Teotônio, Igarapé Jatuarana I e Igarapé Ceará. De acordo com os dados do Monitoramento Limnológico, a estratificação térmica contribui para a hipoxia e anoxia no fundo desses corpos hídricos. De acordo com Miranda et al. (2007), a metilação do mercúrio em sistemas aquáticos é influenciada por diversos fatores ambientais que formam um complexo sistema com efeitos sinérgicos e antagonísticos.

Alguns dos fatores mais estudados são a composição e a atividade dos microrganismos metiladores, concentração de Hg biodisponível, pH, temperatura, potencial redox e a presença de agentes complexantes orgânicos e inorgânicos presentes nos sistemas aquáticos. Aparentemente, as maiores taxas de metilação de mercúrio estão relacionadas com pH ácido, baixa salinidade e a presença de matéria orgânica em decomposição em condições redutoras (Ulrich et al. 2001). De acordo com a literatura (*e.g.*, Miranda et al., 2007; Munthe et al., 2009) as bactérias anaeróbias, que habitam ambientes anóxicos tais como as sulfato redutoras, ferro-redutoras e metanogências, são os principais agentes metiladores nos corpos hídricos.

Assim sendo, os ambientes estratificados seriam locais onde poderiam ser encontradas as maiores taxas de metilação. Apesar dos maiores valores de MeHg nas águas de fundo, não foi observada diferença significativa na formação de MeHg (%MeHg) no sedimento de fundo durante o pós-enchimento tanto em ambientes estratificados (tributários) quanto em ambientes não estratificados (Rio Madeira). No período de Pós-enchimento (dezembro de 2011 a junho de 2013) a porcentagem de MeHg em relação ao Hg-T (%MeHg) no sedimento dos tributários a montante (n=50) e jusante (n=13) foi de $0,72\pm 0,82\%$ e $0,93\pm 0,66\%$, respectivamente. No rio Madeira a %MeHg a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi de $0,48\pm 0,26\%$ e $0,51\pm 0,49\%$, respectivamente (Capítulo IV). Essa concentração de MeHg mais elevada em águas mais profundas podem ser resultados de dois processos: i) Desmetilação Abiótica, fotodegradação do MeHg em águas superficiais (epilimnio) em, o que não ocorre nas zonas mais profundas (hipolimnio) como descrito por Salleres et al (1996) e Liu et al (2000); ii) Metilação Biótica, levando-se em consideração a estratificação térmica e hipoxia/anoxia, as águas do hipolimnio podem ser potenciais sítios de metilação (Correia et al., 2013).

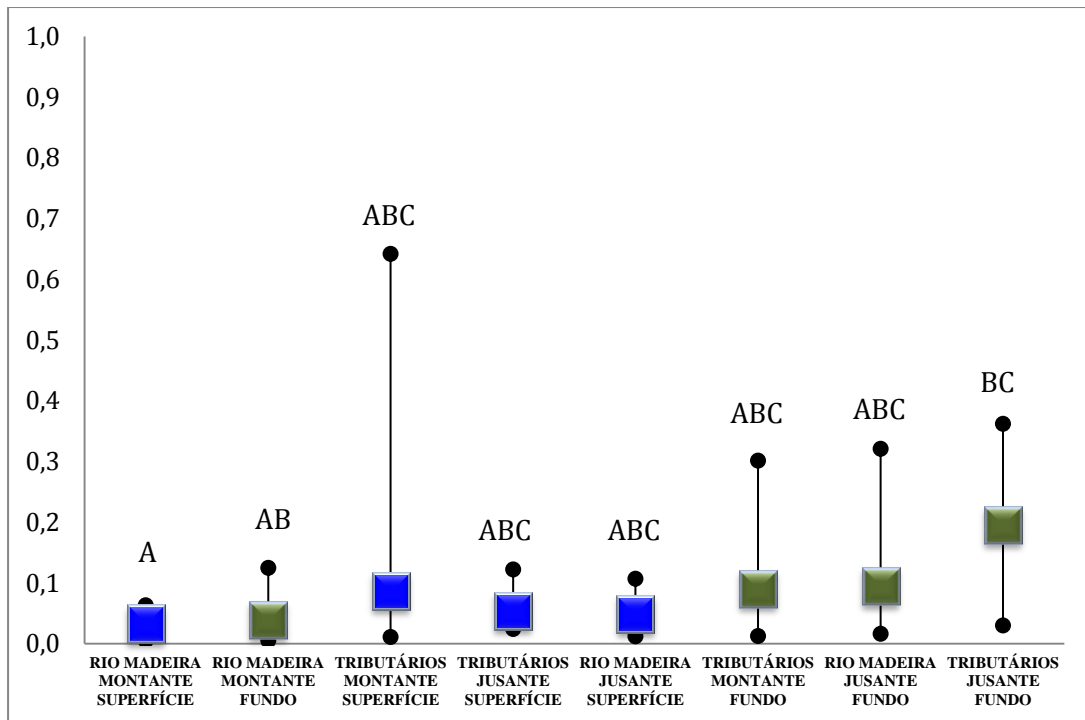


Figura II.8. Comparação das concentrações de MeHg na água superficial e de fundo filtrada (fração dissolvida) nos pontos do Rio Madeira e Tributários a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-enchimento. Os símbolos representam a média e as barras verticais representam os valores mínimos e máximos. Os valores estão expressos em ng/L.

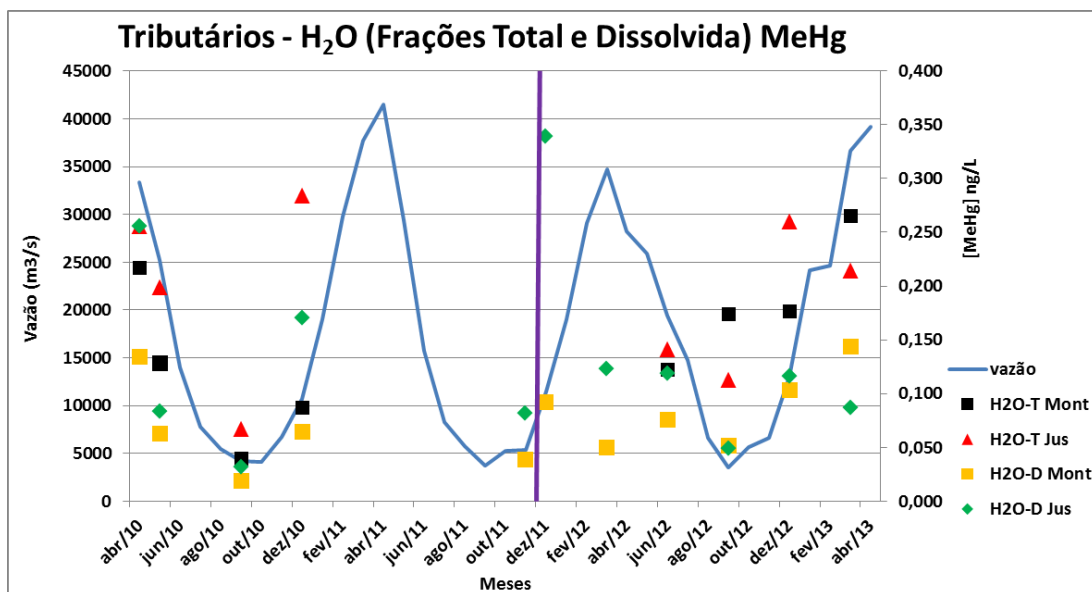


Figura II.9. Variabilidade sazonal de MeHg nas águas dos Tributários (montante e jusante) considerando a vazão do Rio Madeira.

II.7. Conclusões

- ✓ Todos os valores encontrados de **mercúrio total** (HgT) na água estão muito abaixo do preconizado pela resolução CONAMA 357/05 que é de 0,0002 mg/L (200 ng/L). As médias variaram de $3,38 \pm 2,17$ ng/L nos tributários a montante a $8,14 \pm 5,55$ ng/L no Rio Madeira a jusante do Reservatório;
- ✓ Maiores médias de **mercúrio total** (HgT) na **água não filtrada** (fração total) no Rio Madeira tanto a montante ($7,13 \pm 3,99$ ng/L) quanto a jusante ($8,14 \pm 5,55$ ng/L) do reservatório da UHE Santo Antônio, quando comparado com as médias dos Tributários a montante ($3,38 \pm 2,17$ ng/L) e a jusante ($6,16 \pm 6,57$ ng/L);
- ✓ Com relação as concentrações de **mercúrio total** (HgT) em **água não filtrada** (fração total) no epilímnio (superfície) e no hipolímnio (fundo), não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as médias das **águas superficiais** ($5,38 \pm 4,47$ ng/L) com as de **fundo** ($4,50 \pm 2,95$ ng/L);
- ✓ Não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as médias das concentrações de **mercúrio total** (HgT) na **água filtrada** (fração dissolvida) a montante (Tributários: $1,55 \pm 0,87$ ng/L; Rio Madeira: $1,61 \pm 1,05$ ng/L) e a jusante (Tributários: $1,93 \pm 1,29$ ng/L; Rio Madeira: $1,70 \pm 0,953$ ng/L) da barragem da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-Enchimento;
- ✓ Em relação as concentrações de **metilmercúrio** na **água não filtrada** (fração total) foi possível observar que não houve diferença significativa entre as médias do Pré-enchimento (Tributários Montante: $0,118 \pm 0,118$ ng/L; Tributários Jusante: $0,201 \pm 0,211$ ng/L; Rio Madeira Montante: $0,105 \pm 0,100$ ng/L; Rio Madeira Jusante: $0,113 \pm 0,105$ ng/L) e do Pós-Enchimento (Tributários Montante: $0,155 \pm 0,178$ ng/L; Tributários Jusante: $0,126 \pm 0,066$ ng/L; Rio Madeira Montante: $0,059 \pm 0,042$ ng/L; Rio Madeira Jusante: $0,084 \pm 0,046$ ng/L);

- ✓ Em relação as concentrações de **metilmercúrio** na **água filtrada** (fração dissolvida) foram observadas diferenças significativas entre o Pré e o Pós-enchimento a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio nos pontos do Rio Madeira e tributários. Houve um aumento significativo nas concentrações de metilmercúrio nos tributários a montante no Pós-enchimento ($0,078 \pm 0,099$ ng/L) quando comparado com os tributários a montante no Pré-enchimento ($0,070 \pm 0,066$ ng/L). Entretanto, foi observada uma diminuição significativa na concentração de MeHg no Rio Madeira a montante no período de Pós-Enchimento ($0,034 \pm 0,023$ ng/L) quando comparado com o período de Pré-enchimento ($0,047 \pm 0,018$ ng/L);

- ✓ Com relação ao **metilmercúrio** na **água não filtrada** (fração total), foi possível observar que houve diferença significativa nas **águas superficiais** e de **fundo** dos tributários. As maiores concentrações de MeHg na fração total foram observadas nas águas coletadas no fundo dos tributários a montante ($0,195 \pm 0,187$ ng/L) e a jusante ($0,312 \pm 0,202$ ng/L). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre as profundidades no Rio Madeira tanto a montante (superfície: $0,033 \pm 0,018$ ng/L; fundo: $0,057 \pm 0,044$ ng/L) quanto a jusante (superfície: $0,049 \pm 0,029$ ng/L; fundo: $0,100 \pm 0,102$ ng/L) do Reservatório da UHE Santo Antônio;

- ✓ Com relação **metilmercúrio** na **água filtrada** (fração dissolvida), foi possível observar diferença que houve significativa nas **águas superficiais** e de **fundo** do Rio Madeira a montante do Reservatório. Os valores nas águas coletadas no fundo do Rio Madeira ($0,040 \pm 0,035$ ng/L) foram maiores que os valores das águas superficiais ($0,033 \pm 0,018$ ng/L). O mesmo padrão foi observado nos tributários a jusante do Reservatório quando comparados as águas superficiais ($0,054 \pm 0,030$ ng/L) com as de fundo ($0,195 \pm 0,155$ ng/L). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre os valores dos tributários a montante (superfície: $0,087 \pm 0,118$ ng/L; fundo: $0,090 \pm 0,087$ ng/L) do Rio Madeira a jusante (superfície: $0,049 \pm 0,029$ ng/L; fundo: $0,094 \pm 0,125$ ng/L) do Reservatório.

III. MATERIAL PARTICULADO EM SUSPENSÃO (MPS)

Neste estudo para a matriz MPS objetiva-se inserir as concentrações dos elementos traço: Cobalto (Co), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Mercúrio (Hg) e Metilmercúrio (MeHg) no material particulado em suspensão referente aos meses de dezembro de 2011, março de 2012, junho de 2012, setembro de 2012, dezembro de 2012, março de 2013 e junho de 2013. Visa atender o Plano Básico Ambiental da Usina hidrelétrica de Santo Antonio (PBA-Santo Antônio) considerando o período de pós-enchimento do reservatório sendo comparado com os resultados pretéritos encontrados no período de pré-enchimento. Os resultados foram apresentados por sua média \pm desvio padrão.

III.1. Cobalto (Co)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de cobalto no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=34) e jusante (n=11) foi, respectivamente de $40,67 \pm 62,92$ mg/kg e $11,68 \pm 4,93$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=16) e jusante (n=14) foi, respectivamente de $14,46 \pm 7,40$ mg/kg e $13,36 \pm 5,37$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de cobalto nos tributários a montante (n=26) e a jusante (n=7) foi, respectivamente de $19,28 \pm 20,76$ mg/kg e $12,65 \pm 11,72$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=19) e jusante (n=14) foi respectivamente de $11,17 \pm 6,16$ mg/kg e $13,07 \pm 7,20$ mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que houve incremento no teor de cobalto nos tributários de montante no período de pós-enchimento. Nos tributários de jusante e nas estações avaliadas no rio Madeira não houve diferenciação no teor de cobalto (Figura III.1).

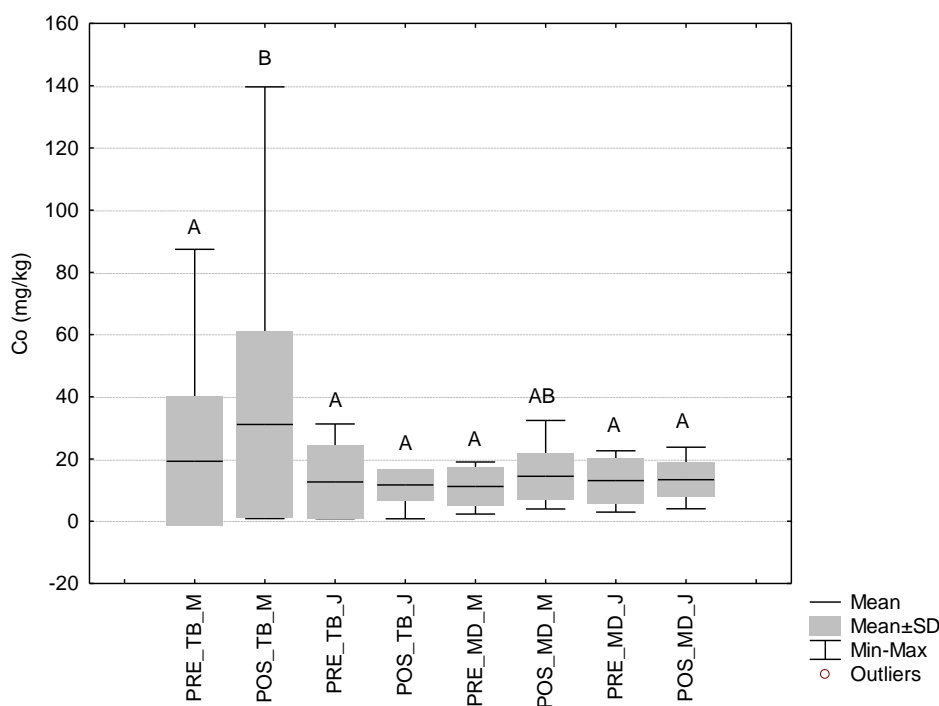


Figura III.1. Concentração de Cobalto no Material Particulado em Suspensão (MPS).
 Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.2. Cobre (Cu)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de cobre no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=47) e jusante (n=14) foi, respectivamente de $53,95 \pm 81,90$ mg/kg e $21,22 \pm 9,80$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=20) e jusante (n=17) foi, respectivamente de $31,73 \pm 8,60$ mg/kg e $27,73 \pm 5,32$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de cobre nos tributários a montante (n=31) e a jusante (n=9) foi, respectivamente de $10,04 \pm 8,69$ mg/kg e $10,62 \pm 6,71$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=24) e jusante (n=16) foi, respectivamente de $22,08 \pm 10,11$ mg/kg e $20,27 \pm 8,71$ mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que houve incremento no teor de cobre nos tributários de montante no período de pós-enchimento. Nas estações avaliadas no rio Madeira não houve diferenciação no teor de cobre no período de pós-

enchimento entre montante e jusante, tendendo a apresentar uma dinâmica de acréscimo no teor de cobre neste período em relação ao pré-enchimento (Figura III.2).

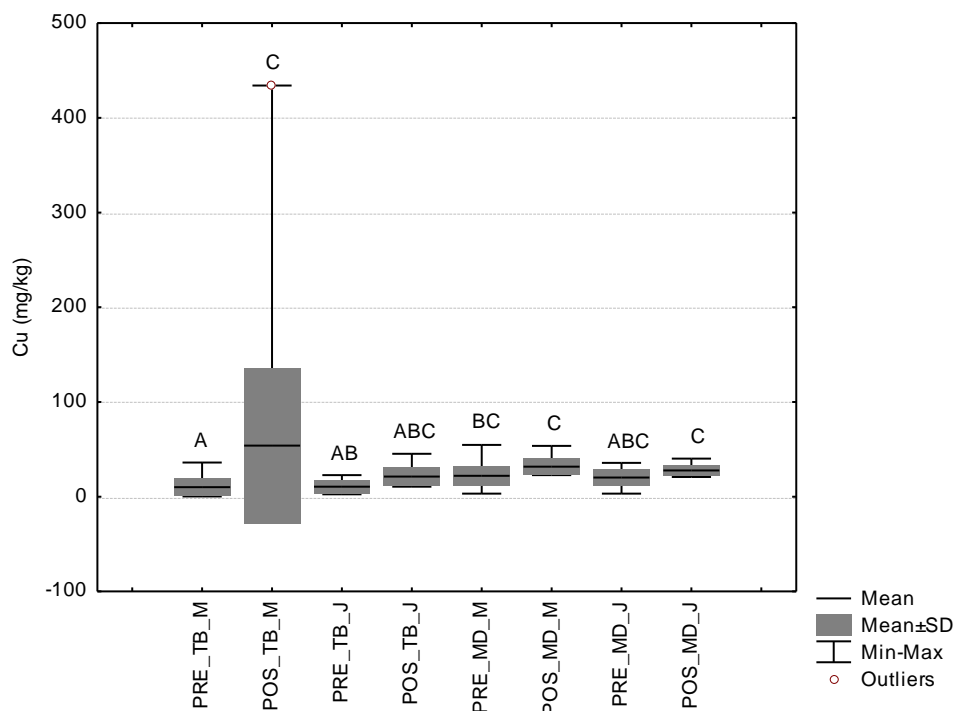


Figura III.2. Concentração de Cobre no Material Particulado em Suspensão (MPS). Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.3. Chumbo (Pb)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de chumbo no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=32) e jusante (n=12) foi, respectivamente de $152,09 \pm 141,03$ mg/kg e $49,99 \pm 31,28$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=18) e jusante (n=16) foi, respectivamente de $33,48 \pm 17,09$ mg/kg e $31,69 \pm 18,45$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de chumbo nos tributários a montante (n=36) e a jusante (n=9) foi, respectivamente de $35,19 \pm 19,50$ mg/kg e $41,24 \pm 28,23$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=20) e jusante (n=12) foi, respectivamente de $28,95 \pm 22,50$ mg/kg e $34,11 \pm 21,61$ mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que houve incremento no teor de chumbo nos tributários de montante no período de pós-enchimento. Nos tributários de jusante e nas estações avaliadas no rio Madeira não houve diferenciação no teor de chumbo entre os períodos avaliados (Figura III.3).

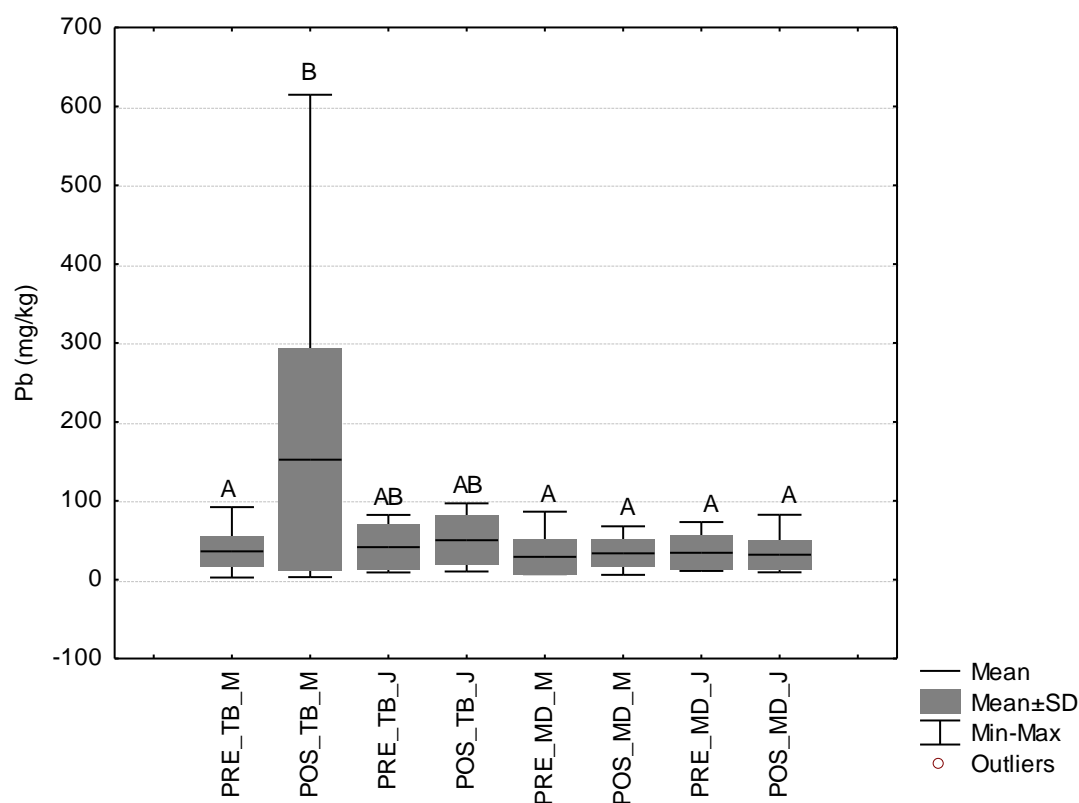


Figura III.3. Concentração de Chumbo no Material Particulado em Suspensão (MPS). Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.4. Cromo (Cr)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de cromo no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=46) e jusante (n=14) foi, respectivamente de $99,01 \pm 89,41$ mg/kg e $30,53 \pm 22,95$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=21) e jusante (n=17) foi, respectivamente de $23,46 \pm 9,70$ mg/kg e $18,16 \pm 9,84$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de cromo nos tributários a montante (n=25) e a jusante (n=6) foi respectivamente de $29,78 \pm 22,44$ mg/kg e $33,71 \pm 19,64$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=17) e jusante (n=12) foi, respectivamente de $14,82 \pm 5,90$ mg/kg e $13,13 \pm 7,85$ mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que houve incremento no teor de cromo nos tributários de montante no período de pós-enchimento. Nos tributários de jusante e nas estações avaliadas no rio Madeira não houve diferenciação no teor de cromo entre os períodos avaliados (figura III.4).

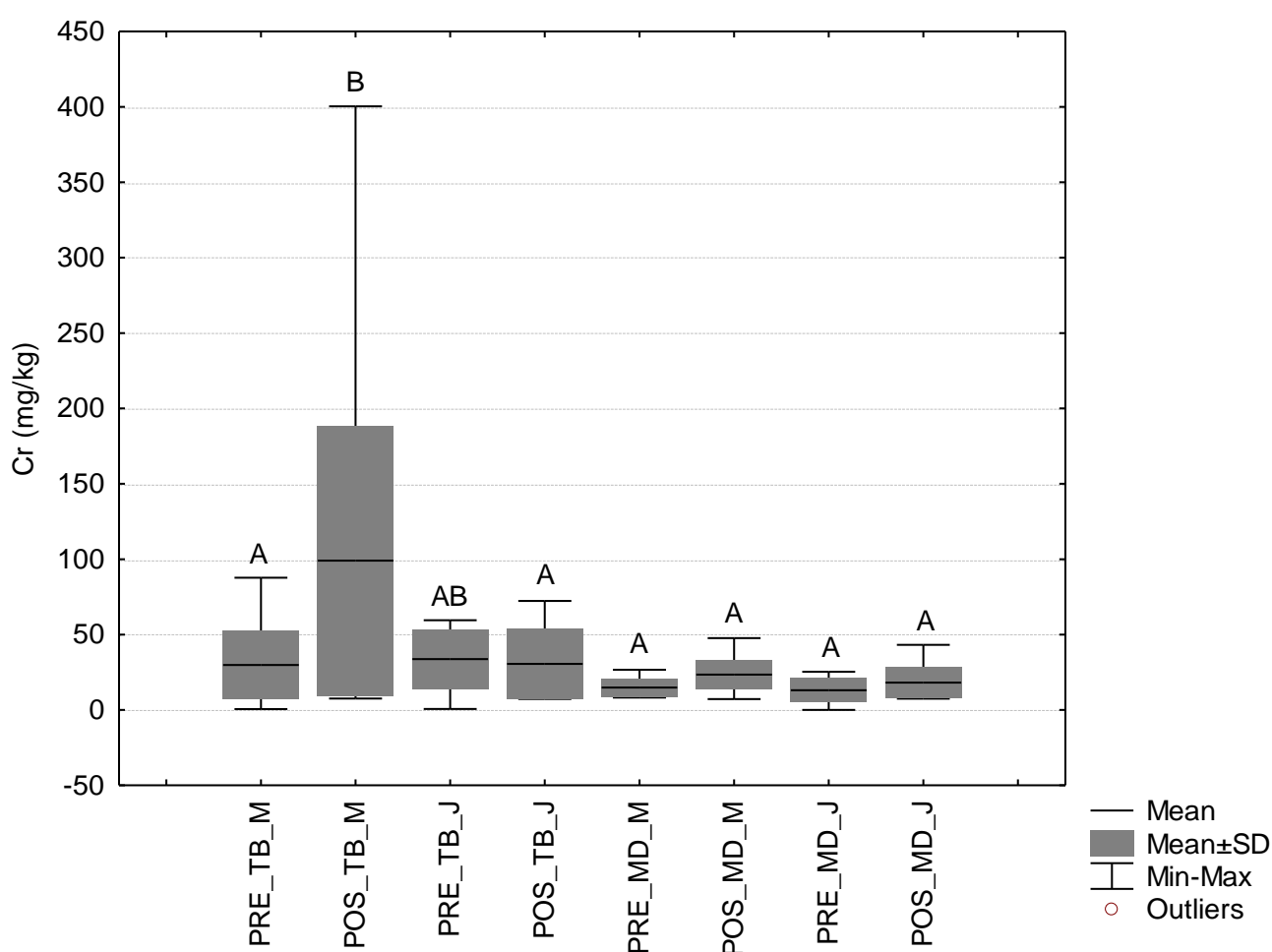


Figura III.4. Concentração de Cromo no Material Particulado em Suspensão (MPS). Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.5. Ferro (Fe)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de ferro no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=49) e jusante (n=14) foi, respectivamente de $63902 \pm 89,41$ mg/kg e 48234 ± 37173 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=21) e jusante (n=17) foi, respectivamente de 58221 ± 47659 mg/kg e 34781 ± 12805 mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de ferro nos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi respectivamente de 50834 ± 37282 mg/kg e 53956 ± 41641 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=24) e jusante (n=16) foi, respectivamente de 36881 ± 32496 mg/kg e 32309 ± 16568 mg/kg.

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que houve tendência de incremento no teor médio de ferro nos tributários e nas estações do rio Madeira de montante no período de pós-enchimento. Nos tributários e estações do rio Madeira de jusante não houve diferenciação no teor de ferro entre os períodos avaliados (Figura III.5).

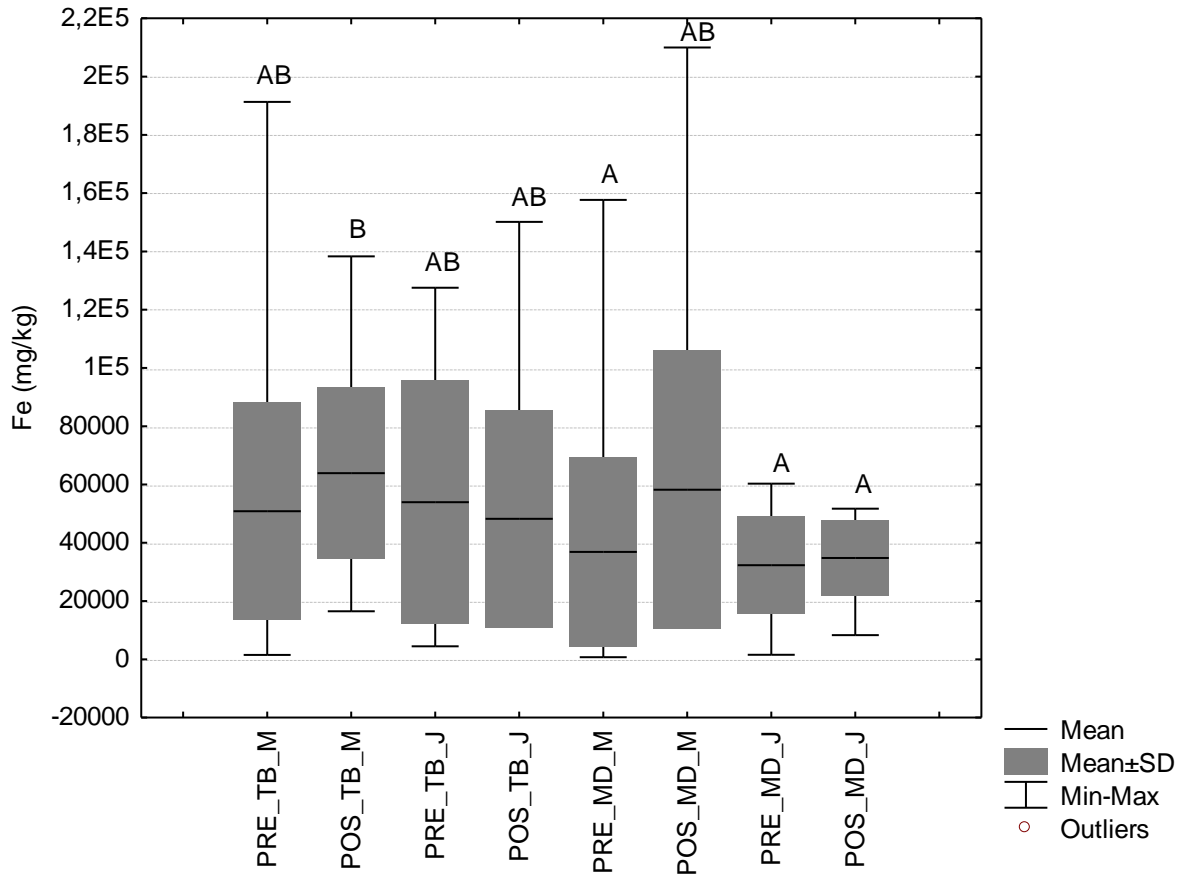


Figura III.5. Concentração de Ferro no Material Particulado em Suspensão (MPS).
 Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.6. Manganês (Mn)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de manganês no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=49) e jusante (n=14) foi, respectivamente de 1212 ± 1428 mg/kg e 337 ± 212 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=21) e jusante (n=17) foi, respectivamente de 540 ± 157 mg/kg e 534 ± 142 mg/kg.

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de manganês nos tributários a montante (n=48) e a jusante (n=13) foi, respectivamente de 619 ± 550 mg/kg e 279 ± 435 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=23) e jusante (n=16) foi, respectivamente de 488 ± 329 mg/kg e 492 ± 234 mg/kg.

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que houve tendência de incremento no teor médio de manganês nos tributários de montante no período de pós-enchimento. Nos tributários de jusante e nas estações avaliadas no rio Madeira não houve diferenciação no teor de manganês entre os períodos avaliados (Figura III.6).

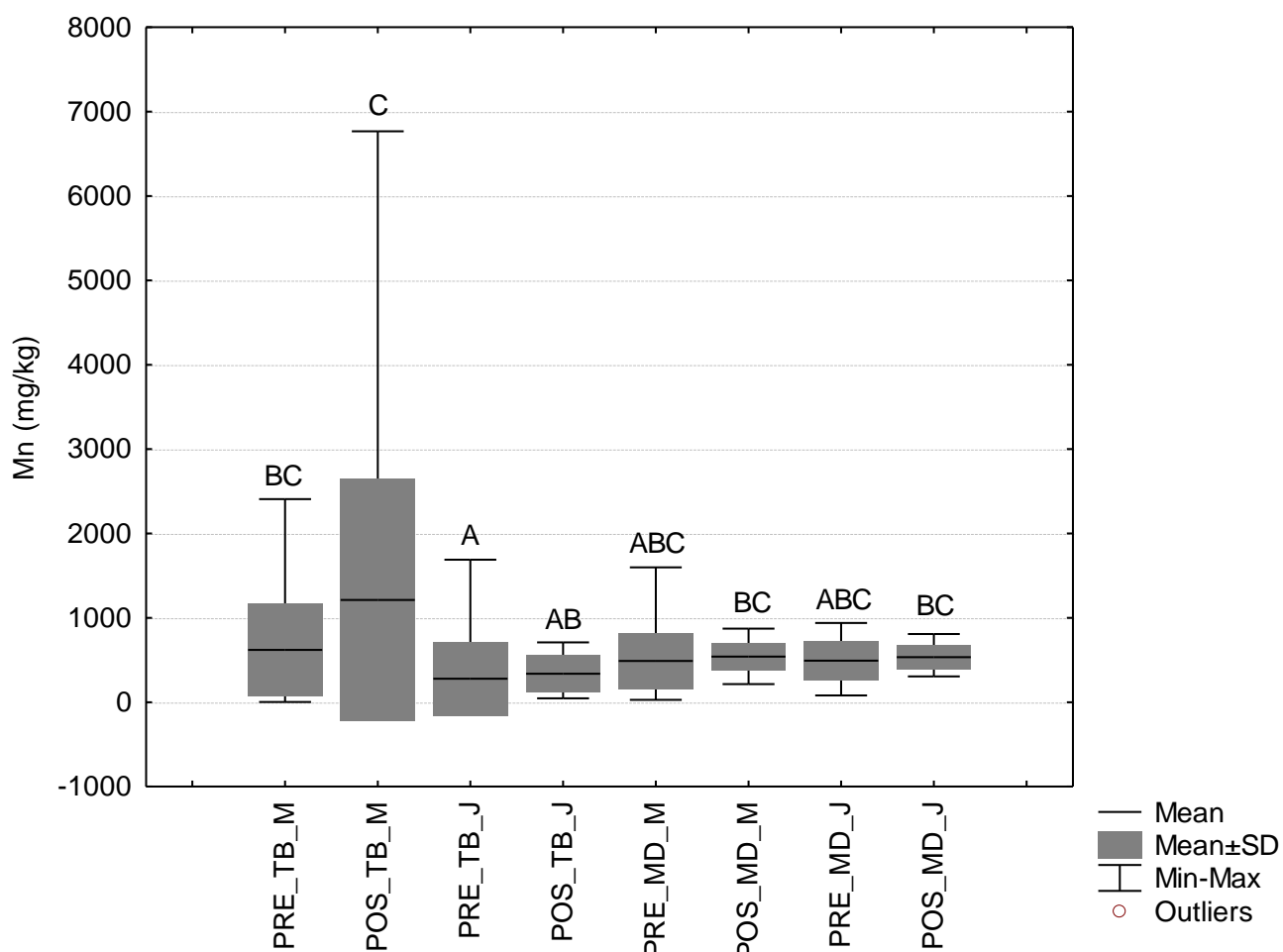


Figura III.6. Concentração de Manganês no Material Particulado em Suspensão (MPS). Legenda: Manganês no MPS: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.7. Níquel (Ni)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de níquel no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=19) e jusante

(n=7) foi, respectivamente de $49,27 \pm 80,41$ mg/kg e $22,41 \pm 7,26$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=18) e jusante (n=15) foi, respectivamente de $24,52 \pm 15,30$ mg/kg e $18,93 \pm 15,30$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de níquel nos tributários a montante (n=18) e a jusante (n=9) foi, respectivamente de $13,28 \pm 12,30$ mg/kg e $23,75 \pm 30,63$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=19) e jusante (n=14) foi, respectivamente de $20,75 \pm 9,45$ mg/kg e $21,06 \pm 10,60$ mg/kg.

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que não houve diferenciação no teor de níquel nas estações avaliadas (Figura III.7).

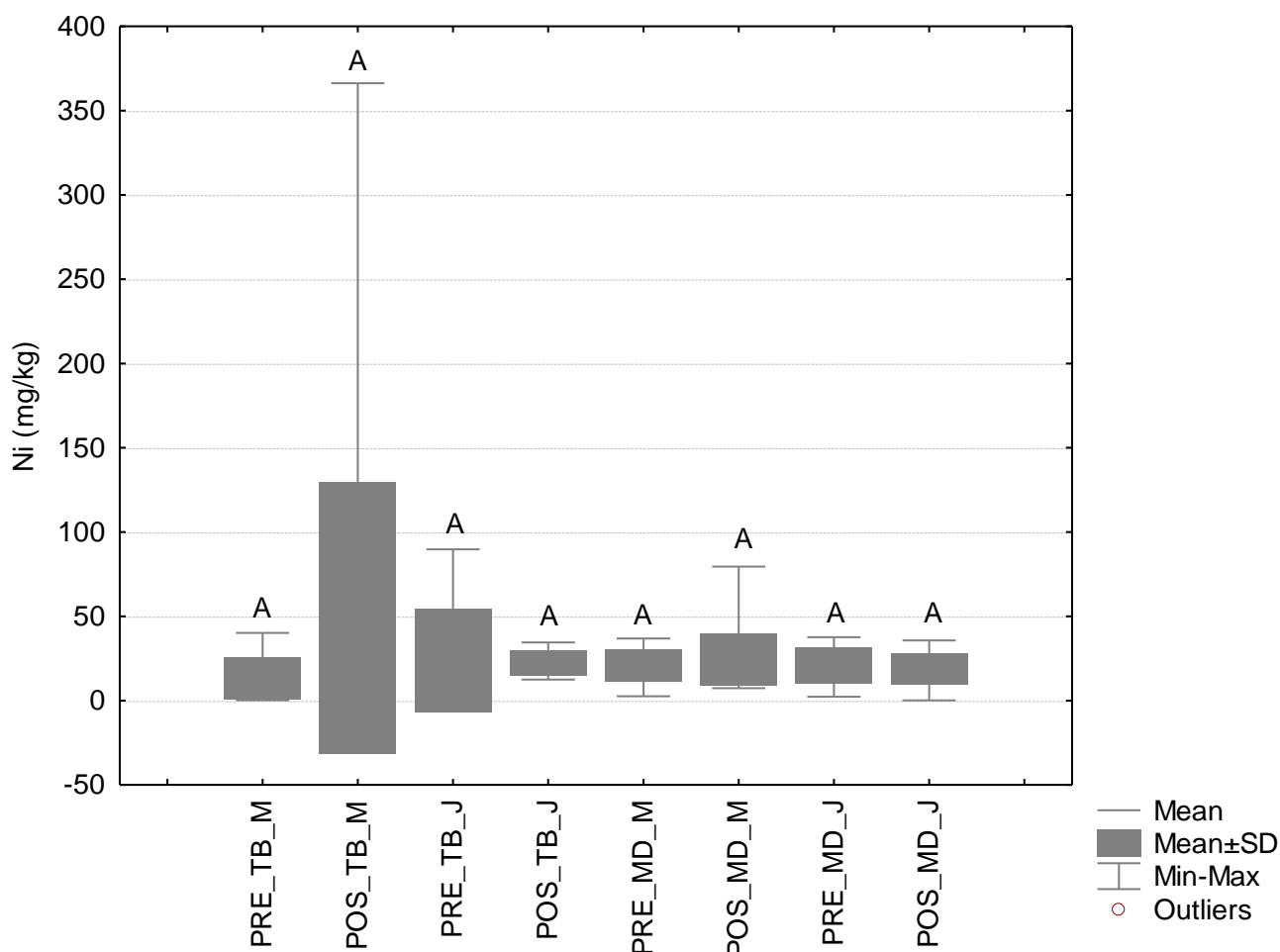


Figura III.7. Concentração de Níquel no Material Particulado em Suspensão (MPS).
 Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.8. Zinco (Zn)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de zinco no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=42) e jusante (n=13) foi, respectivamente de 207 ± 290 mg/kg e 84 ± 39 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=21) e jusante (n=17) foi, respectivamente de 122 ± 84 mg/kg e 103 ± 67 mg/kg. No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de zinco nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=10) foi, respectivamente de 103 ± 110 mg/kg e 74 ± 75 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=23) e jusante (n=16) foi, respectivamente de 73 ± 49 mg/kg e 61 ± 30 mg/kg.

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que não houve diferenciação no teor de zinco nas estações avaliadas (Figura III.8).

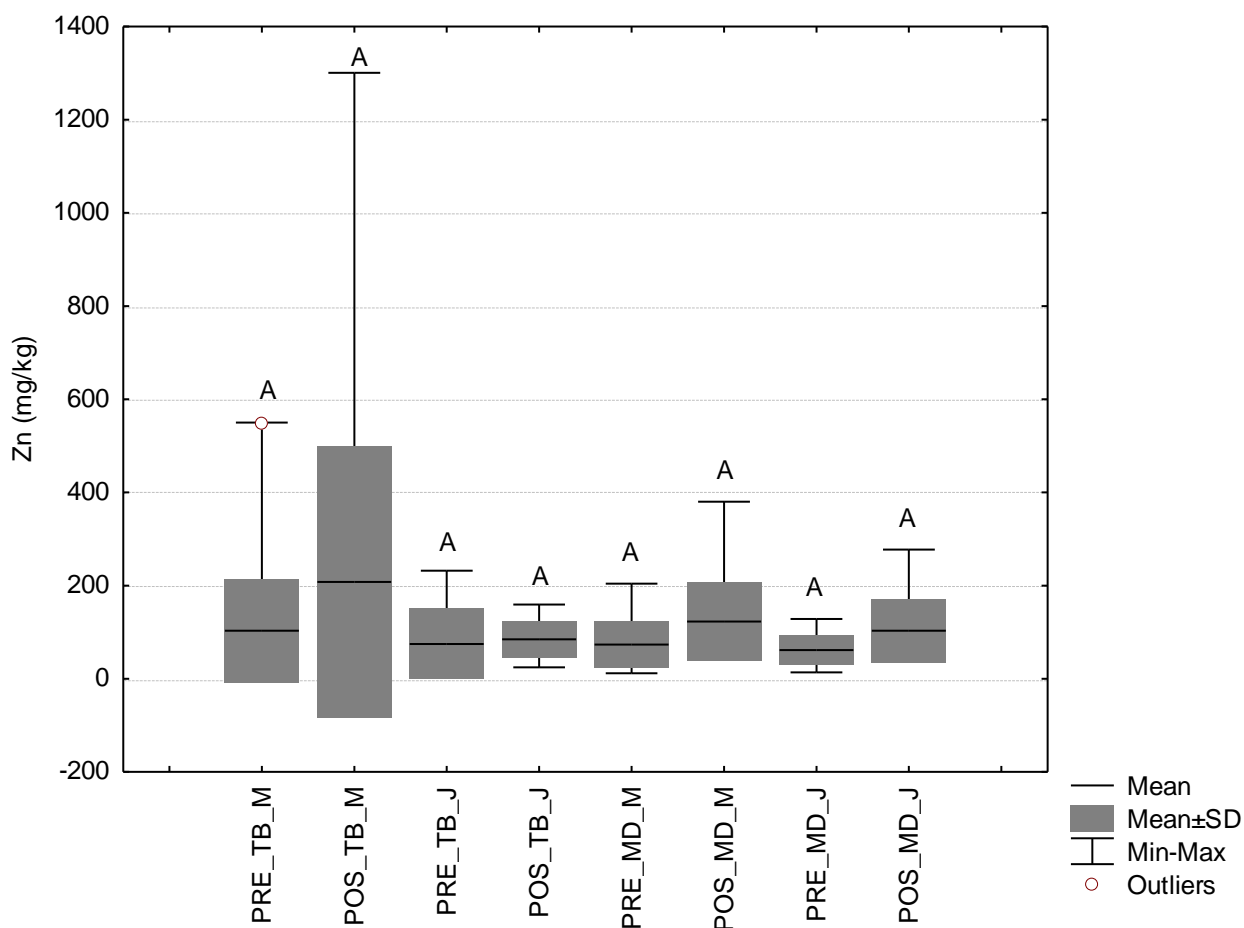


Figura III.8. Concentração de Zinco no Material Particulado em Suspensão (MPS). Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

III.9. Mercúrio (Hg)

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de Hg-T no MPS dos tributários avaliados de montante (n=49) e jusante (n=13) foi, respectivamente de $0,573 \pm 0,673$ mg/kg e $0,137 \pm 0,125$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=22) e jusante (n=17) foi, respectivamente de $0,179 \pm 0,242$ mg/kg e $0,168 \pm 0,285$ mg/kg. No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de Hg-T nos tributários a montante (n=54) e a jusante (n=15) foi, respectivamente de $0,215 \pm 0,139$ mg/kg e $0,244 \pm 0,188$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=27) e jusante (n=18) foi, respectivamente de $0,068 \pm 0,021$ mg/kg e $0,070 \pm 0,021$ mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados (tributários e rio Madeira) comparando os períodos (pré-enchimento e pós-enchimento) observa-se que não houve diferenciação no teor de Hg-T nas estações avaliadas. Entretanto, nota-se uma tendência de incremento nas estações de monitoramento dos tributários a montante e no sistema rio Madeira no período de pós-enchimento. Não houve influência do reservatório quando avaliamos as estações de monitoramento a montante e a jusante do eixo da barragem. Este fato sugere que toda a carga de Hg que está entrando no sistema a montante está sendo exportada igualmente para jusante (Figura III.9).

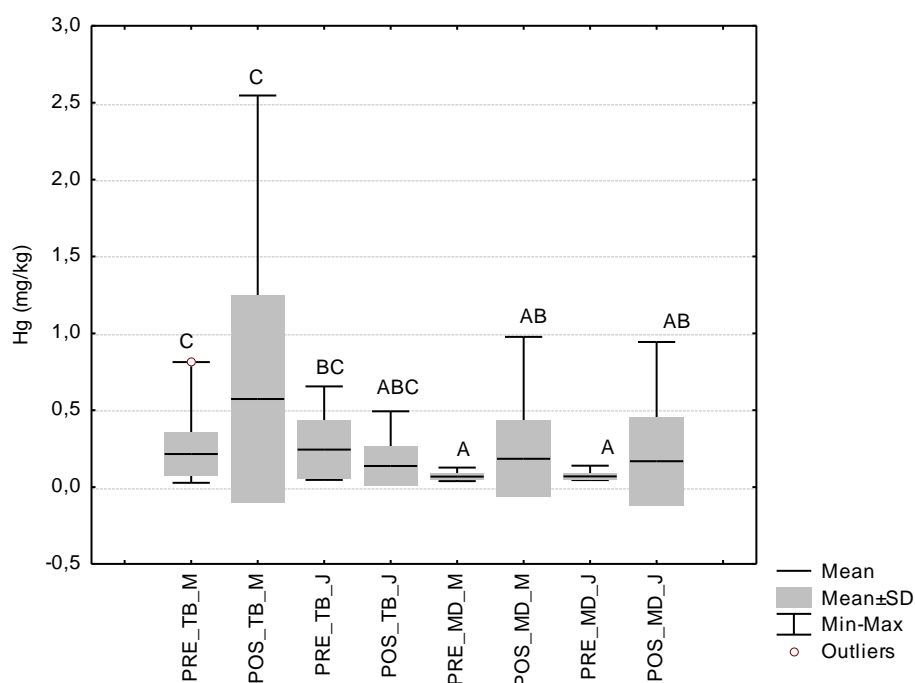


Figura III.9. Hg-T no MPS. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

Em relação ao Hg-T no MPS no período de pós-enchimento do reservatório em diferentes profundidades, pode-se observar que não há diferença significativa nas concentrações de mercúrio quando avaliamos o material em suspensão na água superficial e de fundo, sugerindo que até o momento o reservatório não favoreceu o aumento da concentração de Hg-T no material particulado no fundo (Figura III.10.).

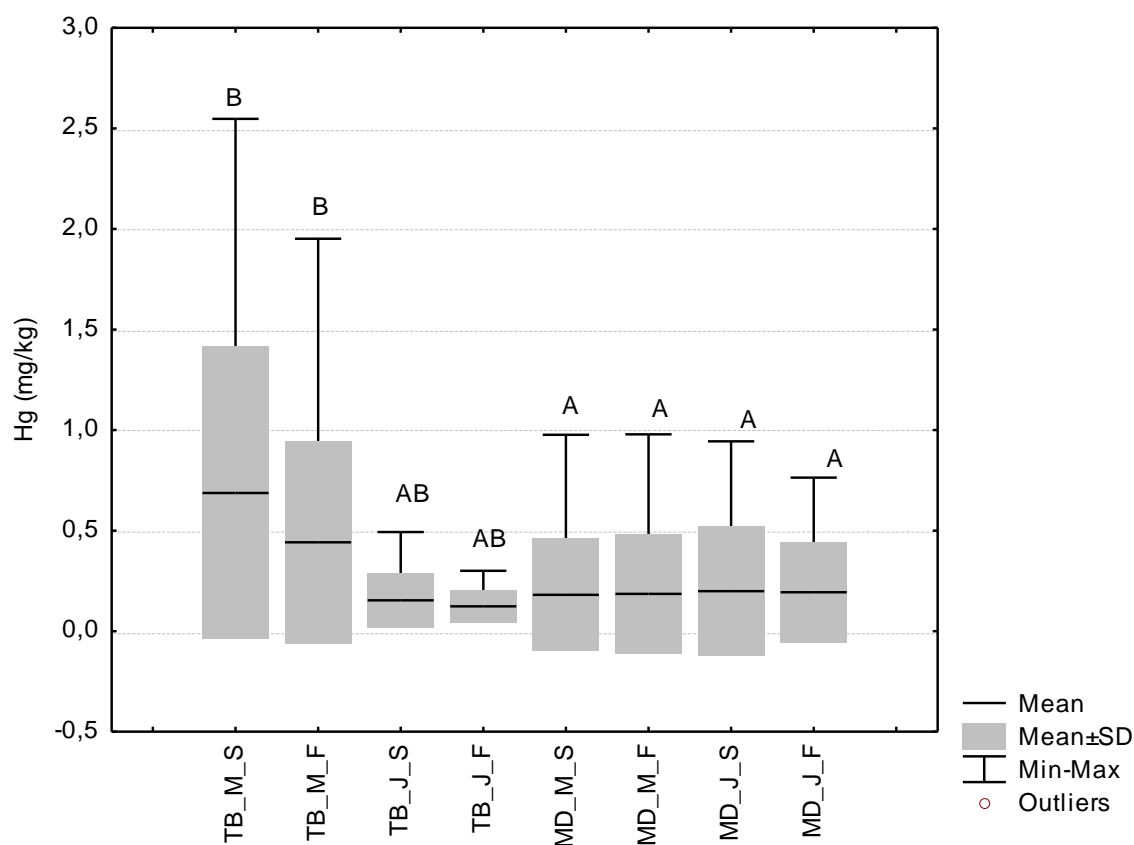


Figura III.10. Concentração de Hg-T no Material Particulado em Suspensão (MPS) em diferentes profundidades no período de pós-enchimento. Legenda: tributário montante superfície (TB_M_S), tributário montante fundo (TB_M_F), tributário jusante superfície (TB_J_S), tributário jusante fundo (TB_J_F), Rio Madeira montante superfície (MD_M_S), Rio Madeira montante fundo (MD_M_F), Rio Madeira jusante superfície (MD_J_S), Rio Madeira Jusante fundo (MD_J_F).

O comportamento do Hg-T no MPS no Rio Madeira não apresentou variabilidade temporal (Figura III.11), entretanto o mesmo não ocorreu com os tributários (Figura III.12).

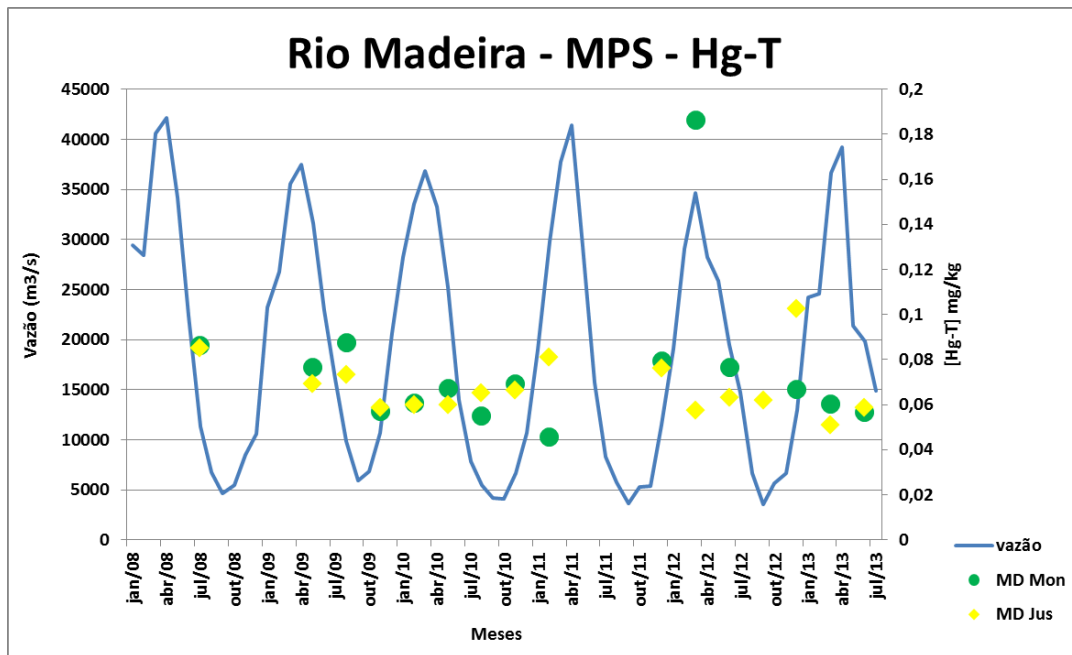


Figura III.11. Variabilidade sazonal de Hg-T no MPS nas águas do **Rio Madeira** (Montante e Jusante) considerando a vazão mensal do Rio Madeira.

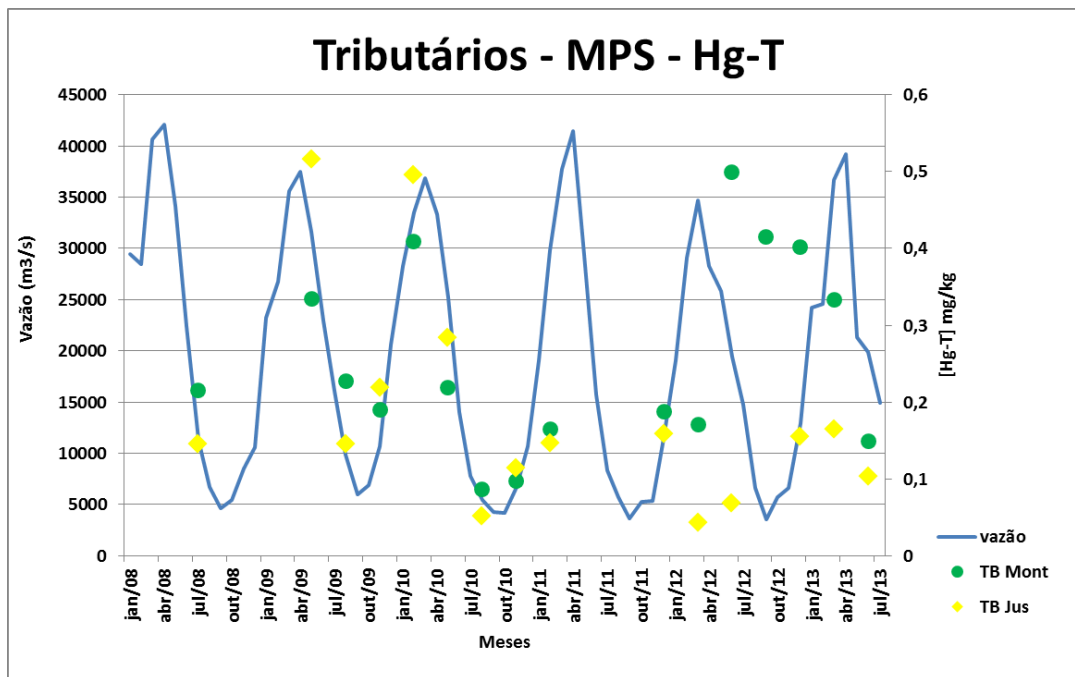


Figura III.12. Variabilidade sazonal de Hg-T no MPS nas águas dos **Tributários** (Montante e Jusante) considerando a vazão mensal do Rio Madeira.

III.10. Metilmercúrio (MeHg) no MPS

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de MeHg no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=39) e jusante (n=10) foi, respectivamente de $0,018 \pm 0,019$ mg/kg e $0,008 \pm 0,012$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=16) e jusante (n=13) foi, respectivamente de $0,008 \pm 0,0013$ mg/kg e $0,005 \pm 0,004$ mg/kg .

O teor de MeHg, nos tributários de montante são maiores que os encontrados nas estações de monitoramento avaliadas no rio Madeira. Não houve diferenciação quando comparamos os sistemas a montante e a jusante do eixo da barragem (Figura III.13), assim como no material em suspensão na água superficial e de fundo (Figura III.14), sugerindo que a criação do reservatório não favoreceu o aumento da concentração de MeHg no material particulado no fundo até o momento.

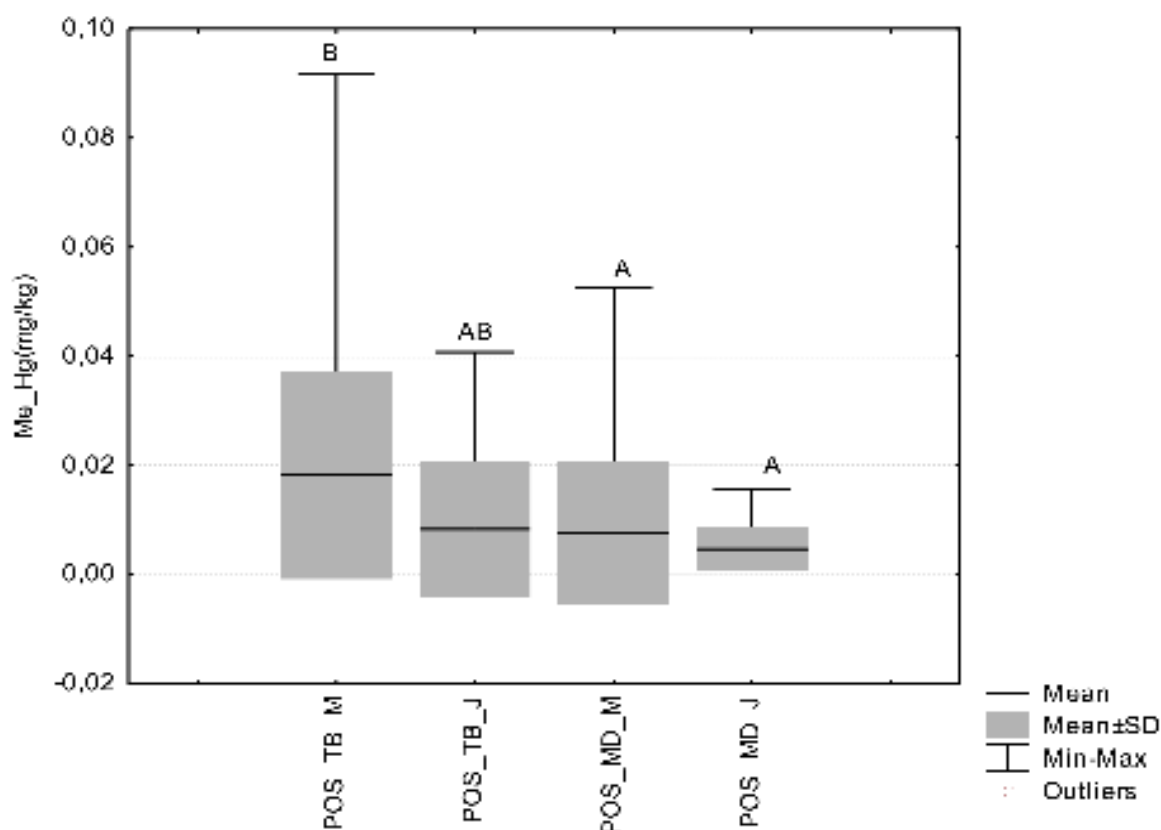


Figura III.13. Concentração de MeHg no Material Particulado em Suspensão (MPS). Legenda: pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J) .

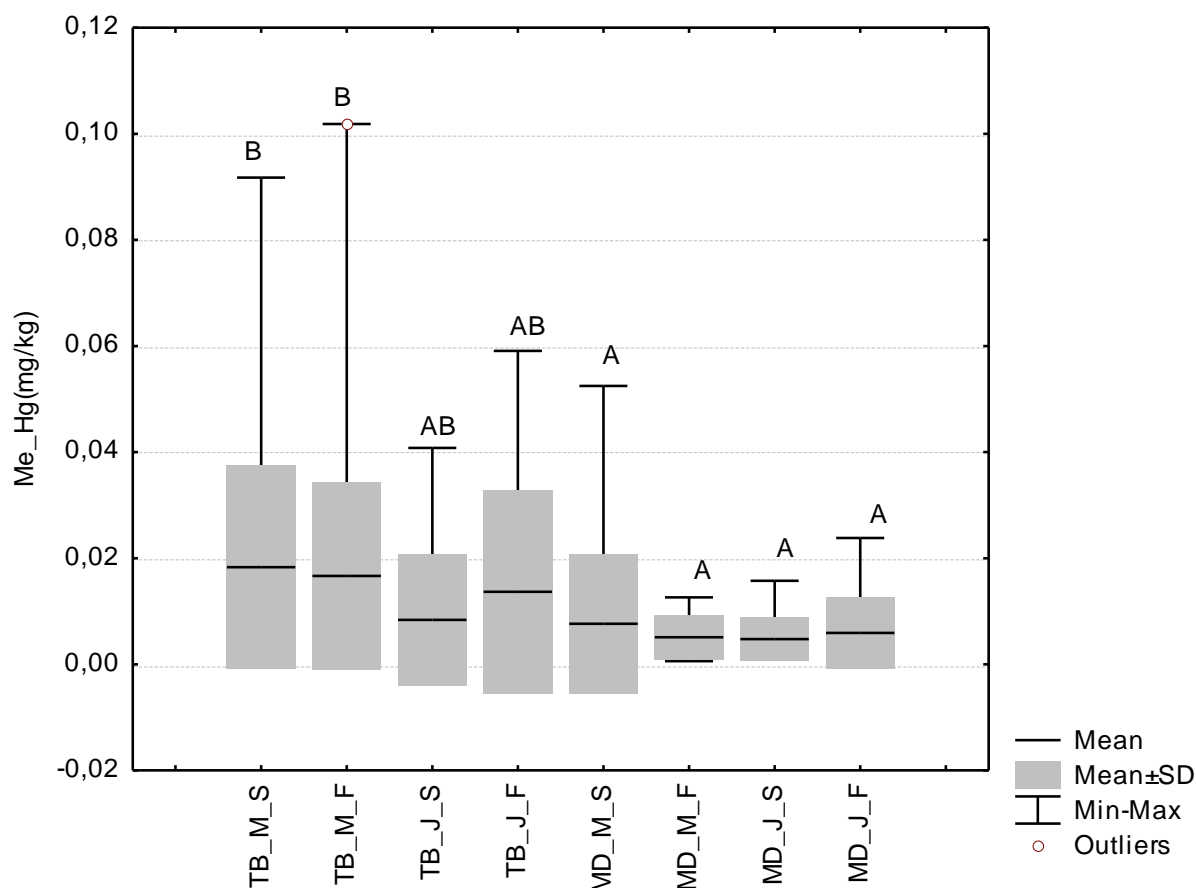


Figura III.14. Concentração de MeHg no Material Particulado em Suspensão (MPS) em diferentes profundidades no período de pós-enchimento. Legenda: tributário montante superfície (TB_M_S), tributário montante fundo (TB_M_F), tributário jusante superfície (TB_J_S), tributário jusante fundo (TB_J_F), Rio Madeira montante superfície (MD_M_S), Rio Madeira montante fundo (MD_M_F), Rio Madeira jusante superfície (MD_J_S), Rio Madeira Jusante fundo (MD_J_F).

Avaliando o pós-enchimento a porcentagem de MeHg em relação a Hg-T no material particulado em suspensão dos tributários avaliados de montante (n=39) e jusante (n=10) foi, respectivamente de $6,48 \pm 9,60$ %MeHg e $7,24 \pm 10,50$ %MeHg e no rio Madeira a montante (n=16) e jusante (n=13) foi, respectivamente de $5,83 \pm 6,00$ %MeHg e $4,57 \pm 3,08$ %MeHg.

A porcentagem de MeHg em relação ao Hg-T não se diferenciaram entre os sistemas avaliados. O fato dos tributários apresentarem maiores concentrações de Hg-T corroboram com os maiores valores de MeHg, sugerindo que estes ambientes são mais sensíveis a este composto. Outro ponto a ser observado é que a porcentagem de MeHg/Hg-T independe da concentração de Hg-T encontrado no ambiente. Não houve diferenciação quando comparamos os sistemas a montante e a jusante do eixo da barragem (Figura III.15), assim como no material em suspensão na água superficial e

de fundo, sugerindo que a criação do reservatório não favoreceu o aumento da concentração de MeHg no material particulado no fundo até o momento (Figura III.16).

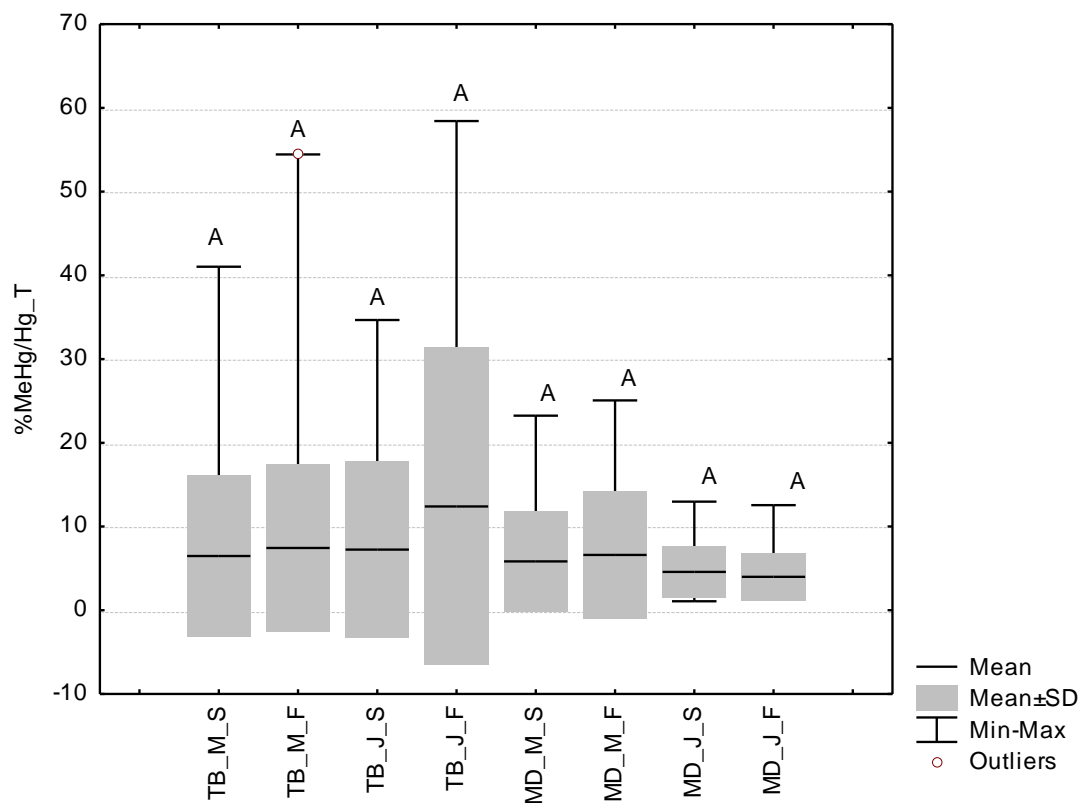


Figura III.15. Porcentagem de MeHg/Hg-T no Material Particulado em Suspensão. Legenda: pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

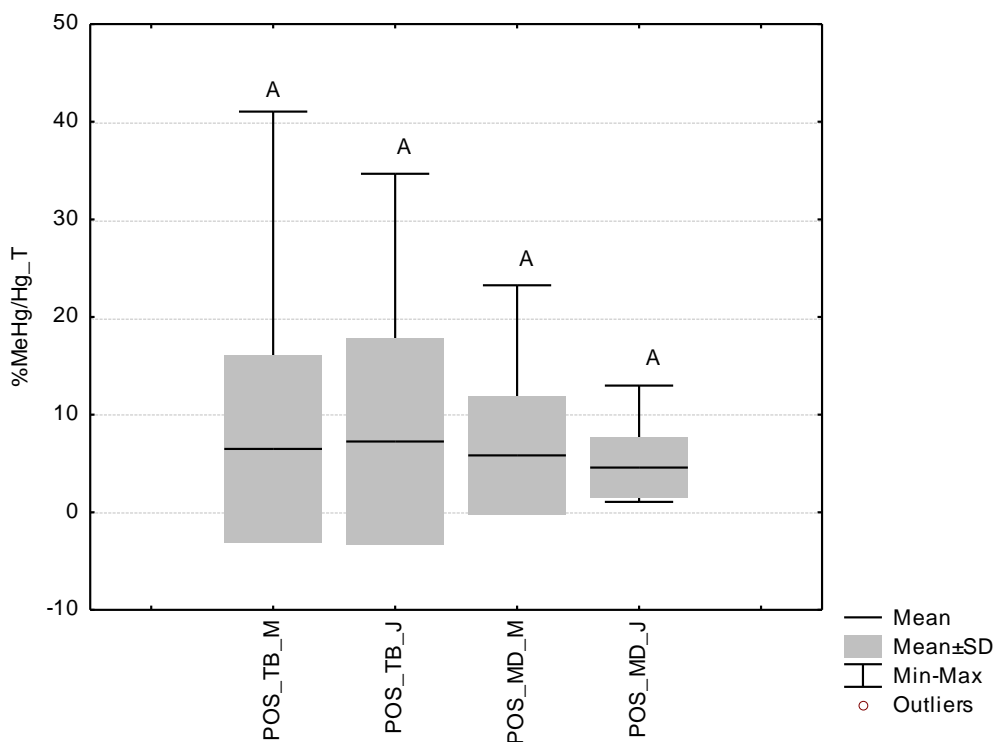


Figura III.16. Porcentagem MeHg/Hg-T no MPS: tributário montante superfície (TB_M_S), tributário montante fundo (TB_M_F), tributário jusante superfície (TB_J_S), tributário jusante fundo (TB_J_F), Madeira montante superfície (MD_M_S), Madeira montante fundo (MD_M_F), Madeira jusante superfície (MD_J_S), Madeira Jusante fundo (MD_J_F).

III.11. CONCLUSÕES

- Os elementos cobalto (Pré: $19,28 \pm 20,76$ mg/kg; Pós: $40,67 \pm 62,92$ mg/kg), chumbo (Pré: $35,19 \pm 19,50$ mg/kg; Pós: $152,09 \pm 141,03$ mg/kg), cromo (Pré: $29,78 \pm 22,44$ mg/kg; Pós: $99,01 \pm 89,41$ mg/kg) e manganês (Pré: 619 ± 550 mg/kg; Pós: 1212 ± 1428 mg/kg) apresentaram um acréscimo no período de pós-enchimento nos tributários de montante entretanto não se diferenciaram nos tributários de jusante e estações do rio Madeira;
- O cobre apresentou um acréscimo nas estações de monitoramento dos tributários a montante (Pré: $10,04 \pm 8,69$ mg/kg; Pós: $53,95 \pm 81,90$ mg/kg) e nas estações do rio Madeira no período de pós-enchimento a montante (Pré: $22,08 \pm 10,11$ mg/kg; Pós: $31,73 \pm 8,60$ mg/kg) e a jusante (Pré: $20,27 \pm 8,71$ mg/kg; Pós: $27,73 \pm 5,32$ mg/kg) do reservatório;

- O ferro apresentou uma tendência de acréscimo em sua concentração nas estações a montante (Pré: 50834 ± 37282 mg/kg; Pós: $63902 \pm 89,41$ mg/kg) dos tributários e rio Madeira (Pré: 36881 ± 32496 mg/kg; Pós: 58221 ± 47659 mg/kg;) no período de pós-enchimento;
- Os elementos zinco e níquel não apresentaram diferenciação entre os períodos avaliados;
- O elemento Hg-T apresentou os maiores teores no material particulado em suspensão dos tributários a montante nos períodos de pré ($0,215 \pm 0,139$ mg/kg) e pós-enchimento ($0,573 \pm 0,673$ mg/kg) do reservatório. Foi possível observar uma tendência de incremento no período de pós-enchimento nas estações do Rio Madeira a montante (Pré: $0,068 \pm 0,021$ mg/kg; Pós: $0,179 \pm 0,242$ mg/kg) e a jusante (Pré: $0,070 \pm 0,021$ mg/kg; Pós: $0,168 \pm 0,285$ mg/kg) do reservatório. Não houve diferença entre as estações de montante e jusante do Rio Madeira, sugerindo que a carga de mercúrio que está associada ao MPS a montante está sendo exportada igualmente à jusante;
- O MeHg apresentou maiores concentrações nos tributários a montante ($0,018 \pm 0,019$ mg/kg). Não houve diferenciação entre os sistemas de montante e jusante do eixo da barragem;
- Não houve diferenciação entre as diferentes profundidades (superfície e fundo) das estações de monitoramento;
- A relação de **MeHg/Hg-T** apresentou a mesma porcentagem entre os sistemas avaliados. Este fato sugere que esta proporção independe do teor de mercúrio total encontrado no ambiente e corrobora com os maiores valores de metilmercúrio encontrado nos tributários, tornado estes ambientes mais suscetíveis a este composto.

IV. SEDIMENTO DE FUNDO (SD)

A seguir segue as concentrações de Cobalto (Co), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Ferro (Fe), Zinco (Zn), Mercúrio (Hg) e Metilmercúrio (MeHg) no sedimento de fundo referente aos meses de dezembro de 2011, março de 2012, junho de 2012, setembro de 2012, dezembro de 2012, março de 2013 e junho de 2013. Os resultados desse período foram comparados com os resultados do período de Pré-enchimento (2008-2011).

IV.1 RESULTADOS E DISCUSSÃO

IV.1.1 Mercúrio (Hg)

A concentração média de Hg-T no sedimento de fundo no período de Pós-enchimento dos tributários a montante (n=50) e a jusante (n=13) foi de $85,45 \pm 30,90$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ e $42,73 \pm 30,90$ $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectivamente. No rio Madeira a concentração média de mercúrio a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi de $42,61 \pm 9,90$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ e $36,91 \pm 15,90$ $\mu\text{g}/\text{kg}$, respectivamente. No período de Pré-enchimento, a concentração de Hg-T nos tributários foi de $70,00 \pm 30,00$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ com valores entre 29,00 – 142,00 $\mu\text{g}/\text{kg}$ e no rio Madeira foi de $40,00 \pm 20,00$ $\mu\text{g}/\text{kg}$ com valores entre 18,00 – 128,00 $\mu\text{g}/\text{kg}$.

Considerando os sistemas avaliados observa-se que não houve variação na concentração de Hg-T quando comparados os período de pré-enchimento e pós-enchimento. As estações localizadas nos tributários a montante apresentaram em média maiores concentrações de Hg-T em relação aos tributários a jusante e as estações localizadas no rio Madeira (Figura IV.1).

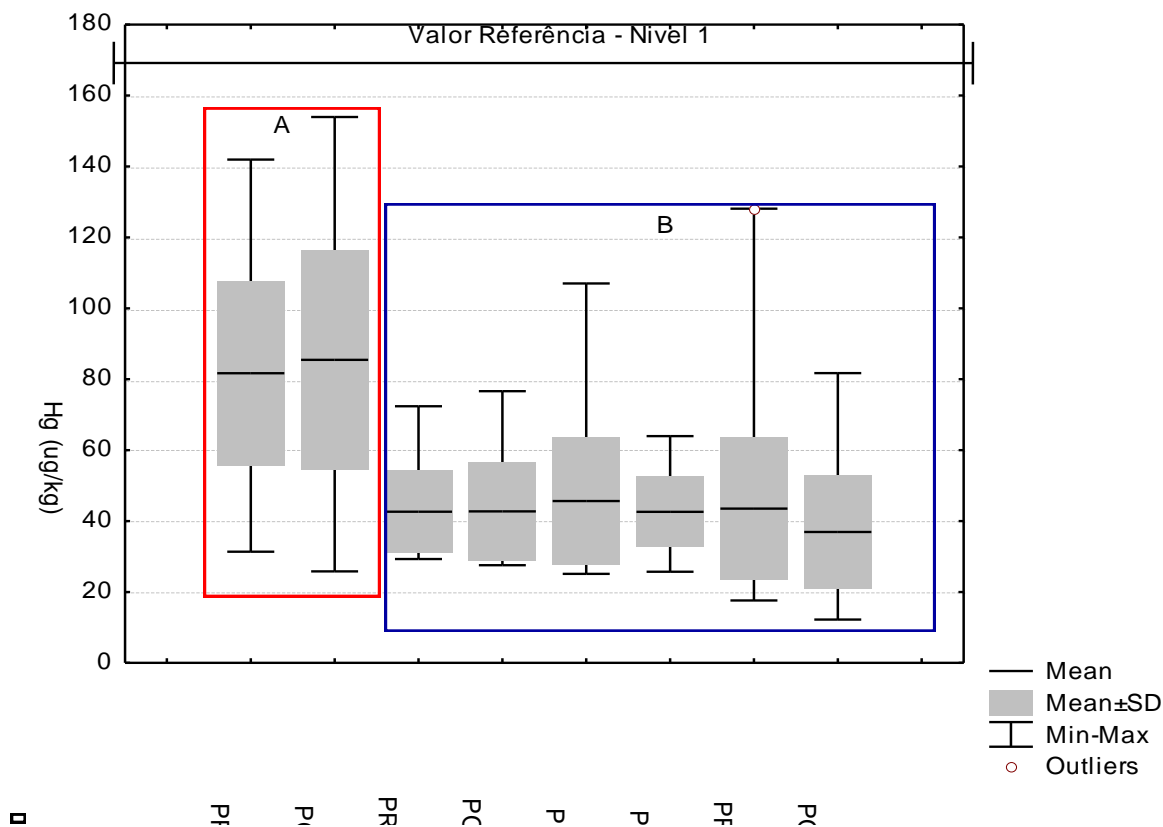


Figura IV.1. Concentração média de Hg-T no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós - enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.2 Metilmercúrio (MeHg)

As análises de MeHg no sedimento de fundo foram realizadas a partir de dezembro de 2011, contemplando a etapa de pós-enchimento do reservatório. Neste período, a concentração média de MeHg no sedimento dos tributários a montante (n=50) e jusante (n=13) foi de $0,60 \pm 0,80 \mu\text{g/kg}$ e $0,40 \pm 0,26 \mu\text{g/kg}$, respectivamente. No rio Madeira a concentração média de MeHg a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi de $0,17 \pm 0,09 \mu\text{g/kg}$ e $0,16 \pm 0,14 \mu\text{g/kg}$, respectivamente.

Considerando os sistemas avaliados observa-se que houve variação espacial na concentração de MeHg durante o pós-enchimento. As estações localizadas nos tributários a montante apresentaram maiores concentrações de MeHg em relação aos tributários a jusante e as estações localizadas no rio Madeira (Figura IV.2).

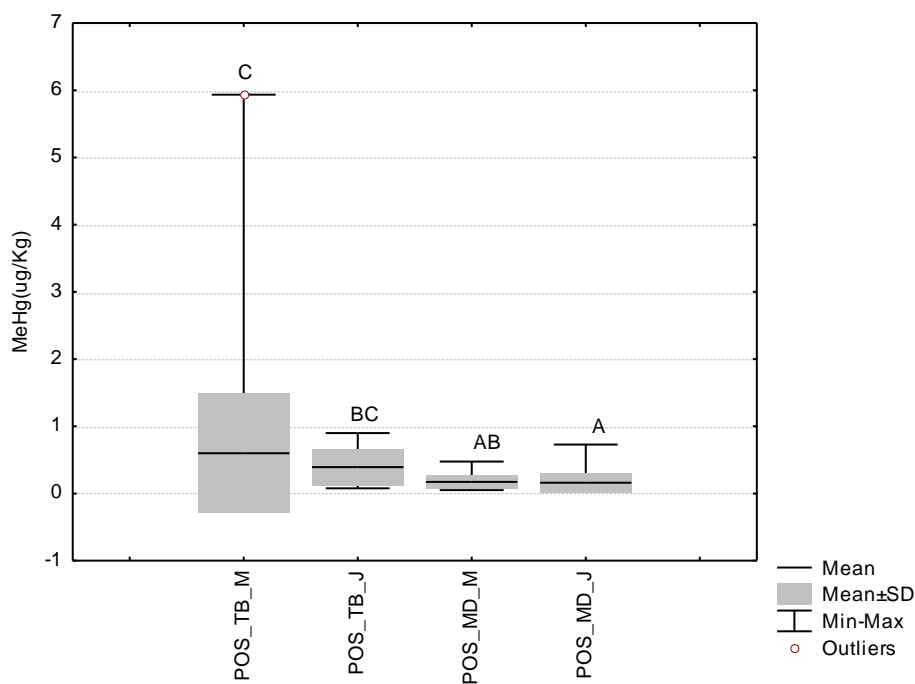


Figura IV.2. Concentração média de MeHg no sedimento de fundo. Legenda: pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.2 Formação de Metilmercúrio (%MeHg): Razão MeHg/Hg-T

No período de pós-enchimento a porcentagem de MeHg em relação ao Hg-T (%MeHg) no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=50) e jusante (n=13) foi de $0,72 \pm 0,82\%$ e $0,93 \pm 0,66\%$, respectivamente. No rio Madeira a %MeHg a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi de $0,48 \pm 0,26\%$ e $0,51 \pm 0,49\%$, respectivamente.

Considerando os sistemas avaliados observa-se que não houve variação percentual na formação de MeHg (%MeHg) no sedimento de fundo durante o pós-enchimento (Figura IV.3). Além disso, os resultados sugerem que este fator de proporcionalidade independe da concentração de Hg-T do ambiente, visto que os tributários possuem maiores concentrações de Hg-T e sua relação é equivalente aos percentuais encontrados no rio Madeira.

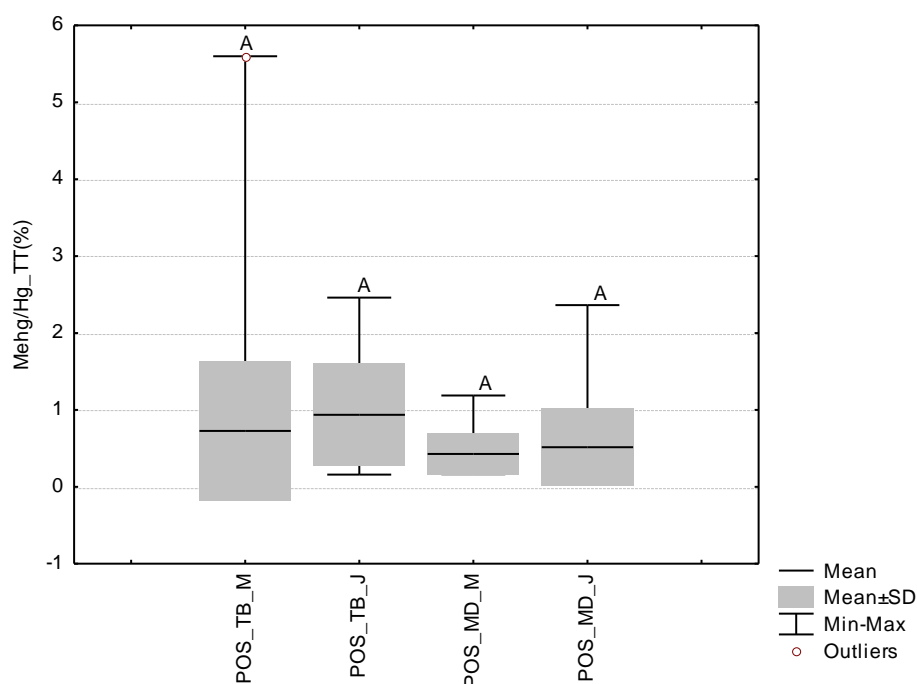


Figura IV.3. Formação de MeHg no sedimento de fundo (%MeHg). Legenda: pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.3. Cobalto

A concentração média de cobalto no sedimento de fundo no pós-enchimento dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi de $5,67 \pm 4,00$ mg/kg e $9,06 \pm 2,65$ mg/kg, respectivamente. No rio Madeira a concentração média de cobalto a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi de $11,87 \pm 1,84$ mg/kg e $10,58 \pm 1,78$ mg/kg, respectivamente.

No período de avaliação global de pré-enchimento, o teor de cobalto nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=13) foi de $5,67 \pm 3,30$ mg/kg com valores entre 0,15 – 12,13 mg/kg e no rio Madeira a montante (n= 44) e a jusante (n= 28) foi de $11,31 \pm 2,00$ mg/kg com valores entre 6,36 – 15,78 mg/kg.

Considerando os sistemas avaliados observa-se que não houve variação no teor de cobalto quando comparados os período de pré-enchimento e pós-enchimento. As estações do rio Madeira apresentaram maiores concentrações de cobalto em relação aos tributários (Figura IV.4).

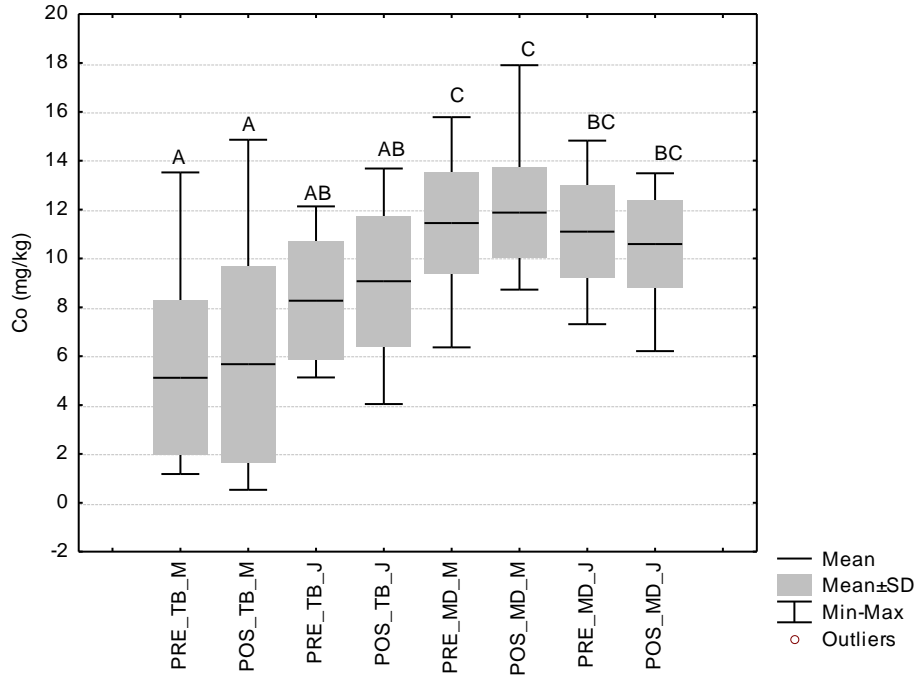


Figura IV.4. Concentração de Cobalto no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.4 Cromo

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de cromo no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi de $7,07 \pm 3,30$ mg/kg e $8,05 \pm 3,64$ mg/kg, respectivamente, e no rio Madeira a montante (n=39) e jusante (n=34) foi de $9,47 \pm 3,22$ mg/kg e $8,22 \pm 3,07$ mg/kg, respectivamente.

No período de avaliação global de pré-enchimento, o teor de cromo nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=13) foi de $7,44 \pm 3,19$ mg/kg com valores entre 2,28 – 19,40 mg/kg e no rio Madeira a montante (n= 44) e a jusante (n= 28) foi de $9,64 \pm 2,23$ mg/kg com valores entre 4,58 – 20,23 mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados observa-se que não houve variação no teor de cromo comparando o período de pré-enchimento com pós-enchimento. As estações do rio Madeira a montante apresentam maiores concentrações média de cromo em relação aos tributários de montante. Todos os valores se encontram abaixo do valor nível 1 água doce preconizado pela Resolução CONAMA 454/12 de 37,30 mg/kg (Figura IV.5).

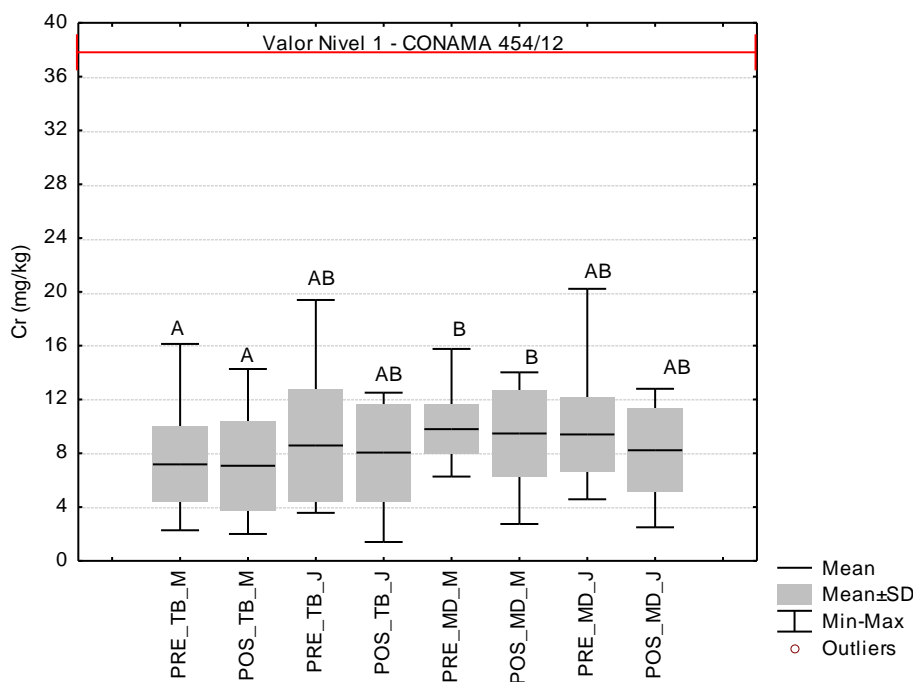


Figura IV.5. Concentração de Cromo no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.5 Níquel

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de níquel no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi, respectivamente de $7,71 \pm 7,1$ mg/kg e $15,58 \pm 6,70$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi, respectivamente de $20,39 \pm 4,94$ mg/kg e $17,73 \pm 3,81$ mg/kg .

No período de avaliação global de pré-enchimento, o teor de níquel nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=13) foi de $6,88 \pm 5,90$ mg/kg com valores entre $<LQ - 21,35$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n= 44) e a jusante (n= 28) foi de $16,92 \pm 2,57$ mg/kg com valores entre $10,96 - 22,80$ mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados observa-se que não houve variação no teor de níquel comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento, com exceção dos tributários de montante, que apresentou um incremento em sua concentração. Este fato pode estar associado à influência do material carregado pelo rio Madeira nas estações mais próximas a foz dos tributários.

As estações do rio Madeira tendem a apresentar maiores concentrações de níquel em relação aos tributários. Os valores médios de níquel se encontram abaixo do valor nível 1 água doce, preconizado pela Resolução CONAMA 454/12 de 18,00 mg/kg, exceto os situados no rio Madeira, no período de pós-enchimento. Os valores que se apresentaram acima do limite nível 1 tendem a demonstrar que este fato pode ser influência da característica natural do rio Madeira. Todos os valores estiveram abaixo do limite nível 2 água doce de 35,90 mg/kg (Figura IV.6).

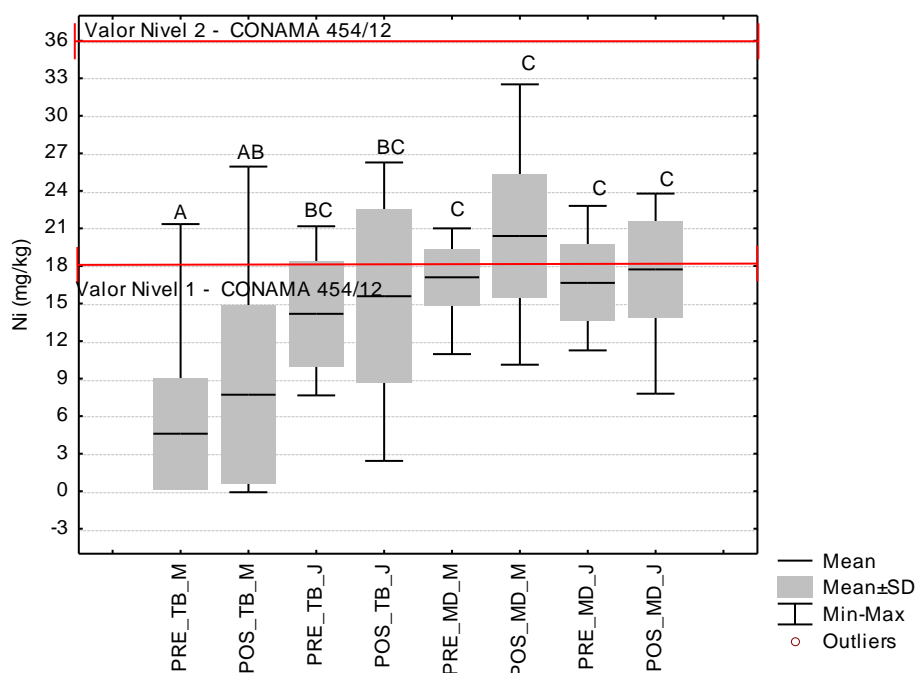


Figura IV.6. Concentração de Níquel no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.6 Cobre

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de cobre no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi, respectivamente de $9,24 \pm 6,28$ mg/kg e $13,09 \pm 4,81$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=39) e jusante (n=34) foi, respectivamente de $17,62 \pm 3,44$ mg/kg e $14,08 \pm 3,08$ mg/kg .

No período de avaliação global de pré-enchimento, o teor de cobre nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=13) foi de $6,96 \pm 4,37$ mg/kg com valores

entre 0,56 – 19,26 mg/kg e no rio Madeira a montante (n= 44) e a jusante (n= 28) foi de $17,77 \pm 3,35$ mg/kg com valores entre 9,84 – 23,31 mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados observa-se que houve variação no teor de cobre comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento, formando grupos distintos, sem uma dinâmica bem definida. As estações do rio Madeira tendem a apresentar maiores concentrações média de cobre. Todos os valores se encontram abaixo do valor nível 1 preconizado pela Resolução CONAMA 454/12 de 35,70 mg/kg (figura IV.7).

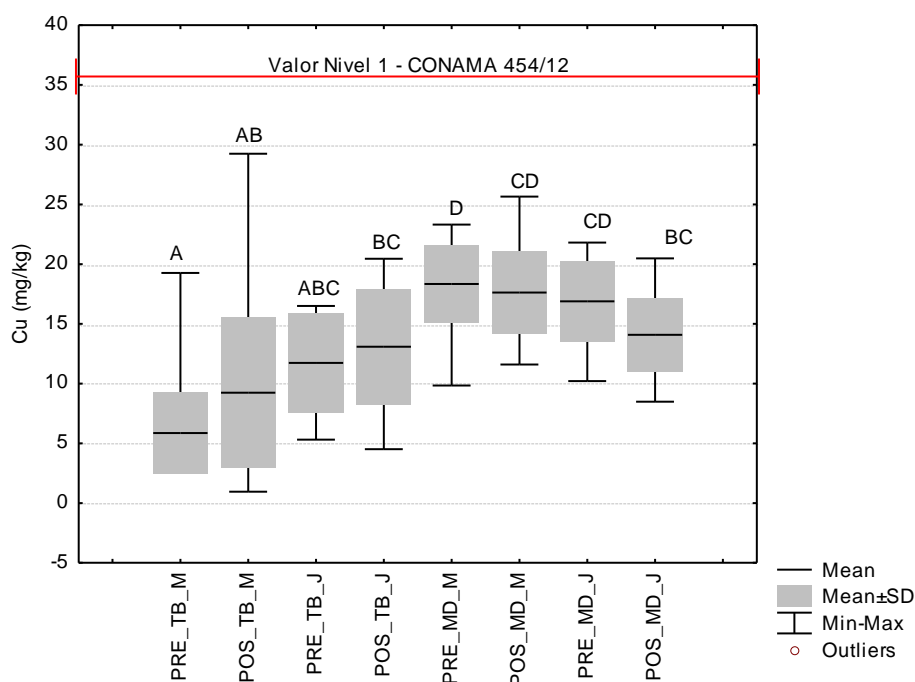


Figura IV.7. Concentração de Cobre no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.7 Chumbo

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de chumbo no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi, respectivamente de $13,91 \pm 6,25$ mg/kg e $15,11 \pm 3,43$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=39) e jusante (n=34) foi, respectivamente de $16,26 \pm 3,04$ mg/kg e $13,96 \pm 4,00$ mg/kg .

No período de avaliação global de pré-enchimento, o teor de chumbo nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=13) foi de $11,91 \pm 3,58$ mg/kg com

valores entre 2,64 – 18,84 mg/kg e no rio Madeira a montante (n= 44) e a jusante (n= 28) foi de $12,74 \pm 3,05$ mg/kg com valores entre 3,90 – 18,35 mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados observa-se que houve variação no teor de chumbo comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento. As estações de monitoramento apresentaram maiores concentrações médias de chumbo no período de pós-enchimento. Todos os valores se encontram abaixo do valor nível 1 preconizado pela Resolução CONAMA 454/12 de 35,00 mg/kg (Figura IV.8).

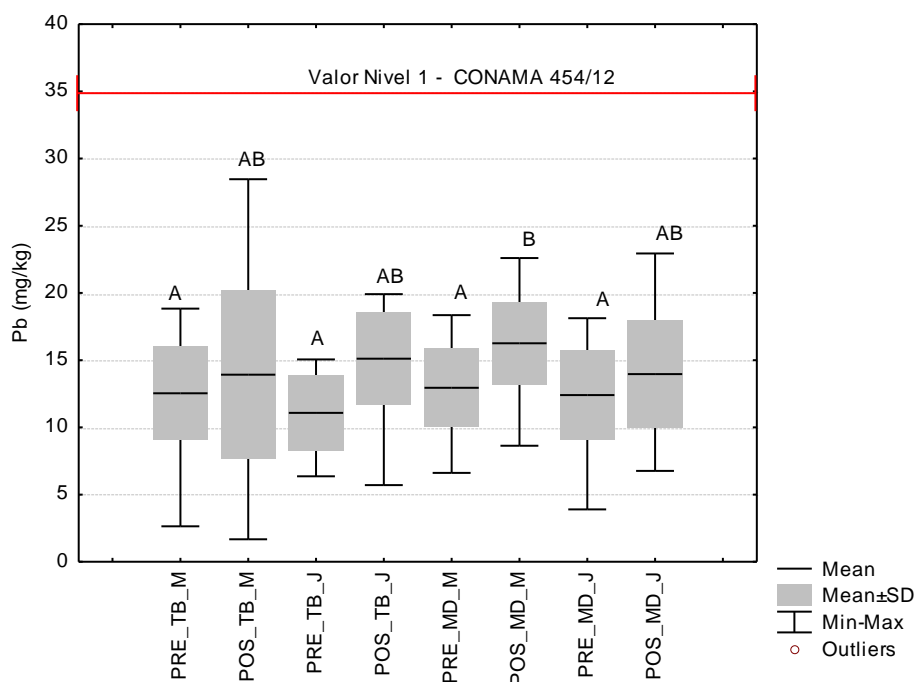


Figura IV.8. Concentração de Chumbo no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.8 Ferro

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de ferro no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi, respectivamente de 14348 ± 10389 mg/kg e 19332 ± 8402 mg/kg e no rio Madeira a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi, respectivamente de 22495 ± 5034 mg/kg e 22472 ± 5392 mg/kg .

No período de avaliação global de pré-enchimento, o teor de ferro nos tributários a montante (n=41) e a jusante (n=13) foi de $18767,3 \pm 16032,4$ mg/kg com valores entre 159,9 – 60920,20 mg/kg e no rio Madeira a montante (n= 44) e a jusante

(n= 28) foi de $38208,10 \pm 17024,10$ mg/kg com valores entre 14076,9 – 76613,20 mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados observa-se que houve variação no teor de ferro comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento. As estações de monitoramento apresentaram menores concentrações médias de ferro no período de pós-enchimento (Figura IV.9).

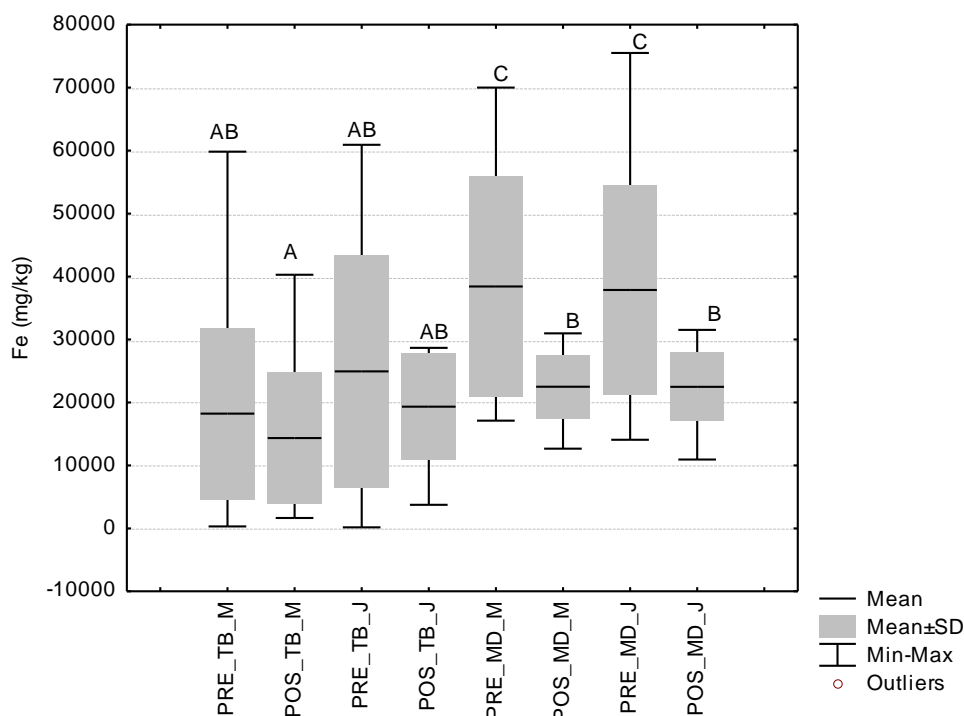


Figura IV.9. Concentração de Ferro no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.9 Manganês

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de manganês no sedimento de fundo dos tributários a montante (n=49) e a jusante (n=13) foi, respectivamente de $143,95 \pm 172,80$ mg/kg e $168,18 \pm 117,67$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=39) e a jusante (n=34) foi, respectivamente de $409,73 \pm 109,44$ mg/kg e $299,50 \pm 98,67$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de manganês nos tributários foi de $166,23 \pm 191,40$ mg/kg com valores entre 9,81 – 881,30 mg/kg e no rio Madeira $444,73 \pm 117,72$ mg/kg com valores entre 245,24 – 827,60 mg/kg

Considerando os sistemas avaliados observa-se que houve variação no teor de manganês comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento. As estações de monitoramento situadas no rio Madeira apresentaram tendência de menores concentrações médias de manganês no período de pós-enchimento (Figura IV.10).

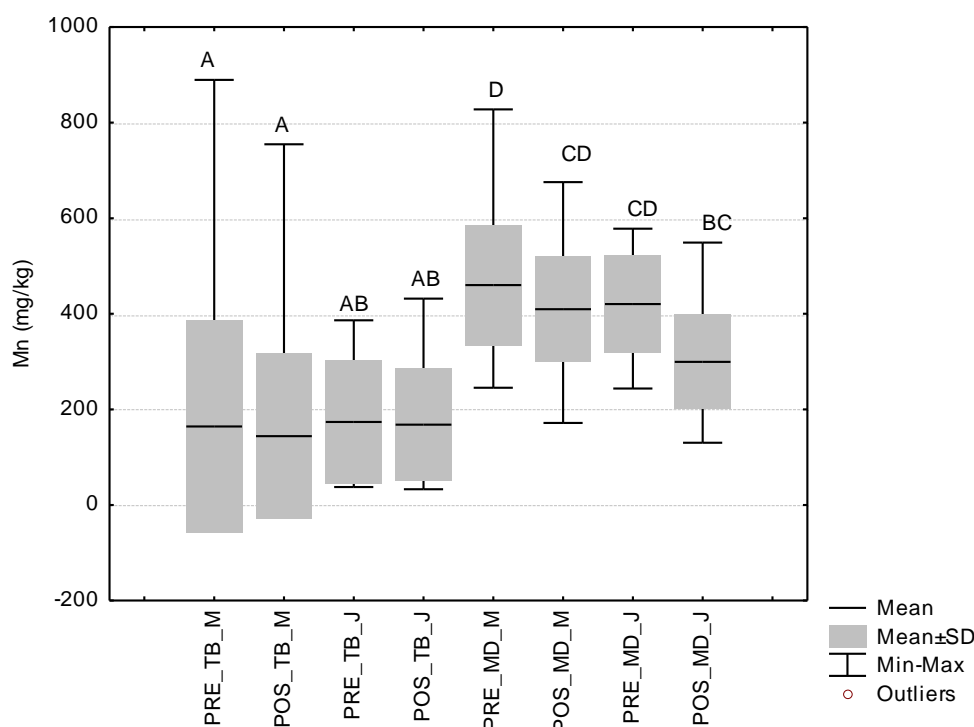


Figura IV.10. Concentração de Manganês no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.1.10 Zinco

Avaliando o pós-enchimento a concentração média de zinco no sedimento de fundo dos tributários avaliados de montante (n=49) e jusante (n=13) foi, respectivamente de $39,20 \pm 31,95$ mg/kg e $55,15 \pm 29,80$ mg/kg e no rio Madeira a montante (n=39) e jusante (n=34) foi, respectivamente de $61,84 \pm 22,74$ mg/kg e $60,51 \pm 26,04$ mg/kg .

No período de avaliação de pré-enchimento, o teor de zinco nos tributários foi de $44,53 \pm 25,62$ mg/kg com valores entre 9,29 – 97,92 mg/kg e no rio Madeira $65,02 \pm 13,75$ mg/kg com valores entre 40,19 – 109,62 mg/kg .

Considerando os sistemas avaliados observa-se que não houve variação no teor de zinco comparando o período de pré-enchimento com pós-enchimento. As estações do rio Madeira tendem a apresentar maiores concentrações média de zinco em relação aos tributários. Os valores de zinco se encontram abaixo do valor nível 1 preconizado pela Resolução CONAMA 454/12 de 123,00 mg/kg (Figura IV.11).

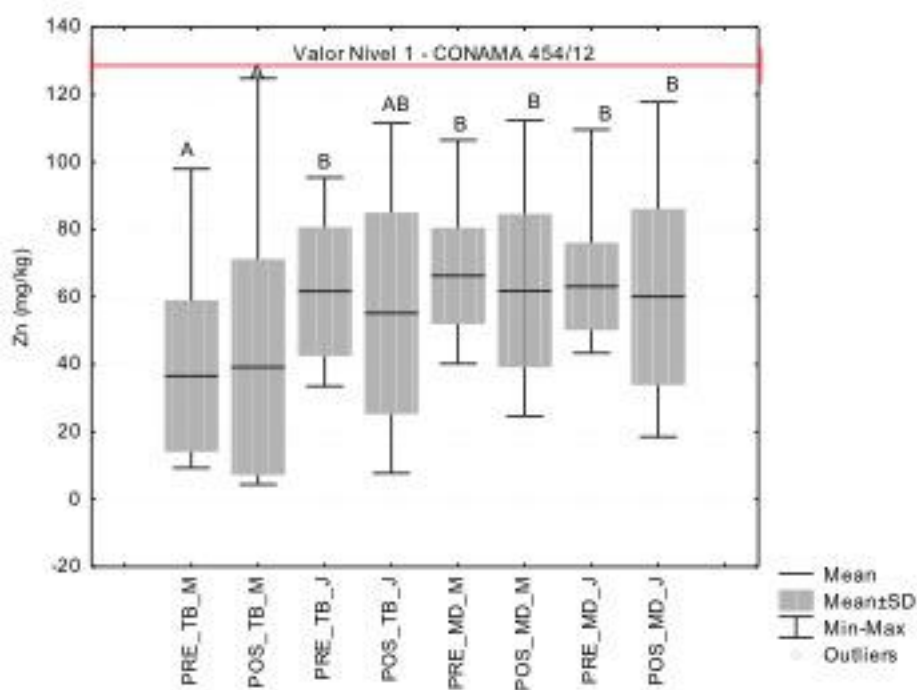


Figura IV.11. Concentração de Zinco no sedimento de fundo. Legenda: pré-enchimento tributário montante (PRE_TB_M), pós-enchimento tributário montante (POS_TB_M), pré-enchimento tributário jusante (PRE_TB_J), pós-enchimento tributário jusante (POS_TB_J), pré-enchimento Madeira montante (PRE_MD_M), pós-enchimento Madeira montante (POS_MD_M), pré-enchimento madeira jusante (PRE_MD_J), pós-enchimento Madeira jusante (POS_MD_J).

IV.2 CONSIDERAÇÕES

- ✓ Em relação ao Hg-T no sedimento de fundo podemos observar que não houve variação comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento do reservatório UHE Santo Antônio até o momento;
- ✓ As concentrações de Hg-T e MeHg são mais elevadas nos tributários avaliados em relação as estações avaliadas no rio Madeira;

- ✓ Não houve variação na porcentagem de MeHg em relação ao Hg-T nos sistemas avaliados (tributários e rio Madeira), demonstrando que esta relação não está correlacionada com a concentração de Hg-T do sedimento de fundo;
- ✓ Em relação aos demais elementos-traço avaliados, pode-se observar que os elementos cobalto, cromo, níquel e zinco não sofreram variação quando comparado o pré-enchimento com pós-enchimento;
- ✓ O elemento cobre apresentou grupos distintos em relação a sua concentração nos sistemas avaliados, não apresentando uma dinâmica bem definida até o momento;
- ✓ O elemento chumbo apresentou um incremento em sua concentração no período de pós-enchimento nos sistemas avaliados;
- ✓ O elemento manganês apresentou diminuição em sua concentração nas estações de monitoramento do rio Madeira no período de pós-enchimento. Nos tributários não houve variação na concentração de manganês quando comparado o período de pré e pós-enchimento;
- ✓ O elemento ferro apresentou um decréscimo em sua concentração no período de pós-enchimento em todos os sistemas avaliados até o momento;
- ✓ Todos os elementos avaliados que são comparáveis com a Resolução CONAMA 454/12 estiveram abaixo do limite preconizado pela referida legislação.

V. PEIXES (PX)

V.1. Mercúrio Total

O número total de peixes analisados ao longo dos 4 anos de monitoramento para o período de pré-enchimento (2009-2011) foi de 2169 amostras de peixes. Para o período de pós-enchimento (2012-2013) o número de amostras analisadas até o momento foi de 1004. Até o momento não foi observado aumento significativo das concentrações de mercúrio nos peixes amostrados no Pós-enchimento (Figura V.1).

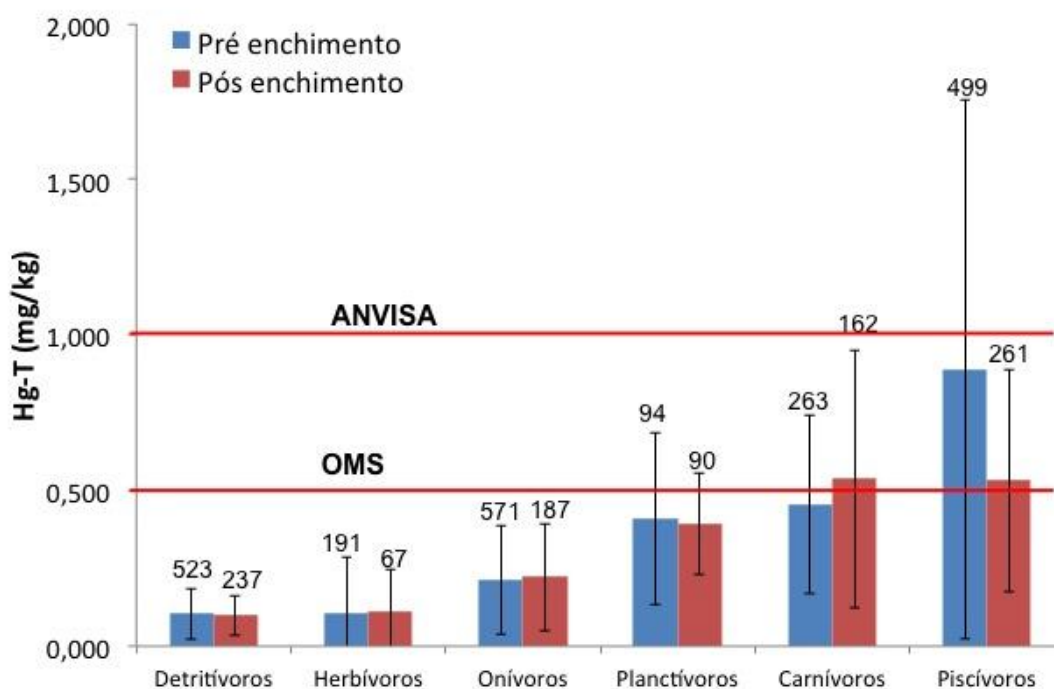


Figura V.1. Concentração de Hg-T na ictiofauna de diferentes hábitos alimentares nos períodos de pré-enchimento (azul) e pós-enchimento (vermelho). Os números apresentados acima da barra do desvio padrão representam o n amostral para cada grupo em cada período. As linhas vermelhas horizontais em destaque são os limites da OMS (Organização Mundial de Saúde) para peixes em geral e da ANVISA para peixes não carnívoros (0,50 mg/kg) e da ANVISA para peixes carnívoros (1,00 mg/kg).

Para esse trimestre de análises das amostras de peixes, foram comparadas as concentrações de mercúrio em 21 espécies de diferentes hábitos alimentares (Tabela V.1). Essas espécies foram selecionadas por ocorrerem em grande número tanto no pré-enchimento quanto no pós-enchimento e por serem muito apreciadas na culinária local. Na tabela V.1 seguem as concentrações médias de Hg-T das espécies que apresentaram resultados acima do permitido pela ANVISA para as não carnívoras (0,500mg/kg) destacadas em azul e as carnívoras destacadas em vermelho.

Tabela V.1. Concentração média de Hg-T (mg/kg) em peixes com diferentes hábitos alimentares no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento do Reservatório da UHE Santo Antônio.

Espécie	Nome Popular	Hábito alimentar	Pré-enchimento Média±DP	n	Pós-enchimento Média±DP	n
<i>Mylossoma duriventre</i>	pacu	herbívoros	0,056±0,035	111	0,044±0,023	26
<i>Schizodon fasciatus</i>	piáu	herbívoros	0,253±0,298	51	0,127±0,149	30
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	orana	detritívoros	0,098±0,117	59	0,131±0,056	06
<i>Prochilodus nigricans</i>	curimatã	detritívoros	0,082±0,061	74	0,154±0,093	33
<i>Potamorhina latior</i>	branquinha	detritívoros	0,107±0,067	151	0,102±0,066	82
<i>Triportheus angulatus</i>	sardinha papuda	onívoros	0,177±0,114	72	0,235±0,106	74
<i>Triportheus albus</i>	sardinha	onívoros	0,459±0,259	32	0,414±0,226	27
<i>Anodus elongatus</i>	orana cubiu	planctívoros	0,437±0,126	32	0,326±0,091	65
<i>Hypophthalmus edentatus</i>	mandubi	planctívoros	0,561±0,232	09	0,592±0,171	06
<i>Hypophthalmus marginatus</i>	mapará	planctívoros	0,711±0,271	17	0,564±0,203	16
<i>Cichla pleiozona</i>	tucunaré	carnívoros	0,343±0,229	35	0,427±0,093	07
<i>Hoplias malabaricus</i>	traíra	carnívoros	0,331±0,143	54	0,355±0,288	02
<i>Ageneiosus inermis</i>	bocudo	carnívoros	0,506±0,192	11	0,278±0,149	09
<i>Plagioscion squamosissimus</i>	pescada	carnívoros	0,618±0,217	13	0,362±0,181	60
<i>Calophysus macropterus</i>	piracatinga	carnívoros	0,883±0,318	12	0,979±0,601	36
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	dourada	piscívoros	0,907±0,789	31	0,521±0,209	13
<i>Hydrolycus scomberoides</i>	peixe cachorro	piscívoros	1,120±0,613	15	0,708±0,293	31
<i>Pellona castelnaeana</i>	apapá amarelo	piscívoros	0,691±0,591	22	0,692±0,291	35
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	cachorra facão	piscívoros	1,110±0,835	59	0,864±0,401	49
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	piranha preta	piscívoros	0,439±0,355	32	0,285±0,126	59
<i>Zungaro zungaro</i>	jaú	piscívoros	0,712±0,287	15	0,307±0,178	09

Os gráficos gerados a partir da seleção destas espécies evidenciaram a biomagnificação do Hg ao longo da cadeia trófica (Figura V.1). As figuras V.2, V.3, V.4, V.5, V.6, V.7 e V.8 comparam as concentrações de Hg-T e as espécies de peixes do pré e pós-enchimento pertencentes a distintos hábitos alimentares.

As maiores concentrações médias de Hg-T encontradas no período do pré-enchimento (Figura V.1.) nas espécies selecionadas foram para as de hábito alimentar carnívoro ($0,43 \pm 0,23$ mg/kg), seguido das espécies planctívoras ($0,54 \pm 0,23$ mg/kg) e por último as piscívoras ($0,86 \pm 0,57$ mg/kg). Para o pós-enchimento (Figura V.2) as maiores médias de Hg-T foram para as espécies planctívoras ($0,39 \pm 0,16$ mg/kg), seguido das carnívoras ($0,55 \pm 0,46$ mg/kg) e por último as piscívoras ($0,59 \pm 0,36$ mg/kg).

As figuras V.3. V.4, V.5, V.6, V.7 e V.8 comparam as concentrações de Hg-T das espécies selecionadas no período de pré e pós enchimento. Até o momento não foi verificado aumentos significativos na concentração de Hg após o represamento do rio Madeira.

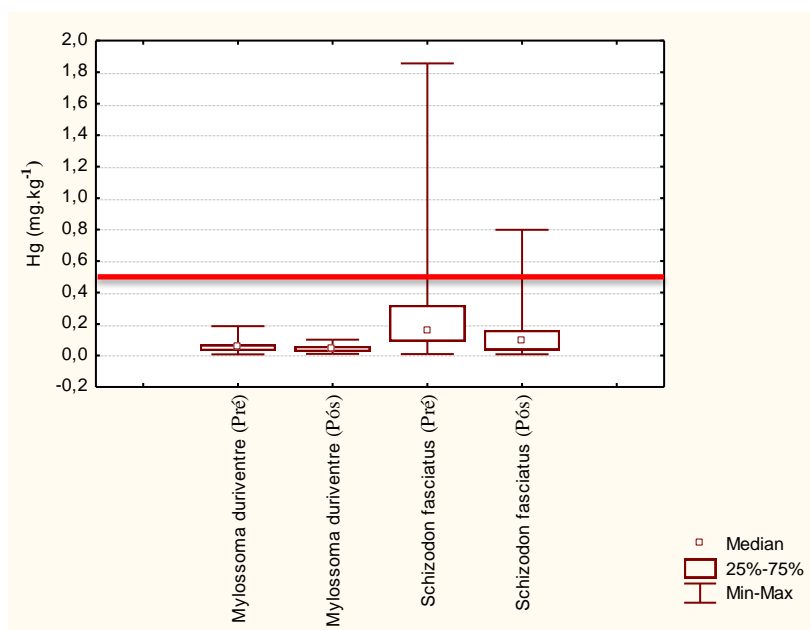


Figura V.2. Comparação da concentração Hg-T entre espécies do pré e pós-enchimento pertencentes ao hábito alimentar herbívoro. A linha vermelha horizontal em destaque representa o limite preconizado pela ANVISA para peixes não carnívoros (0,50 mg/kg).

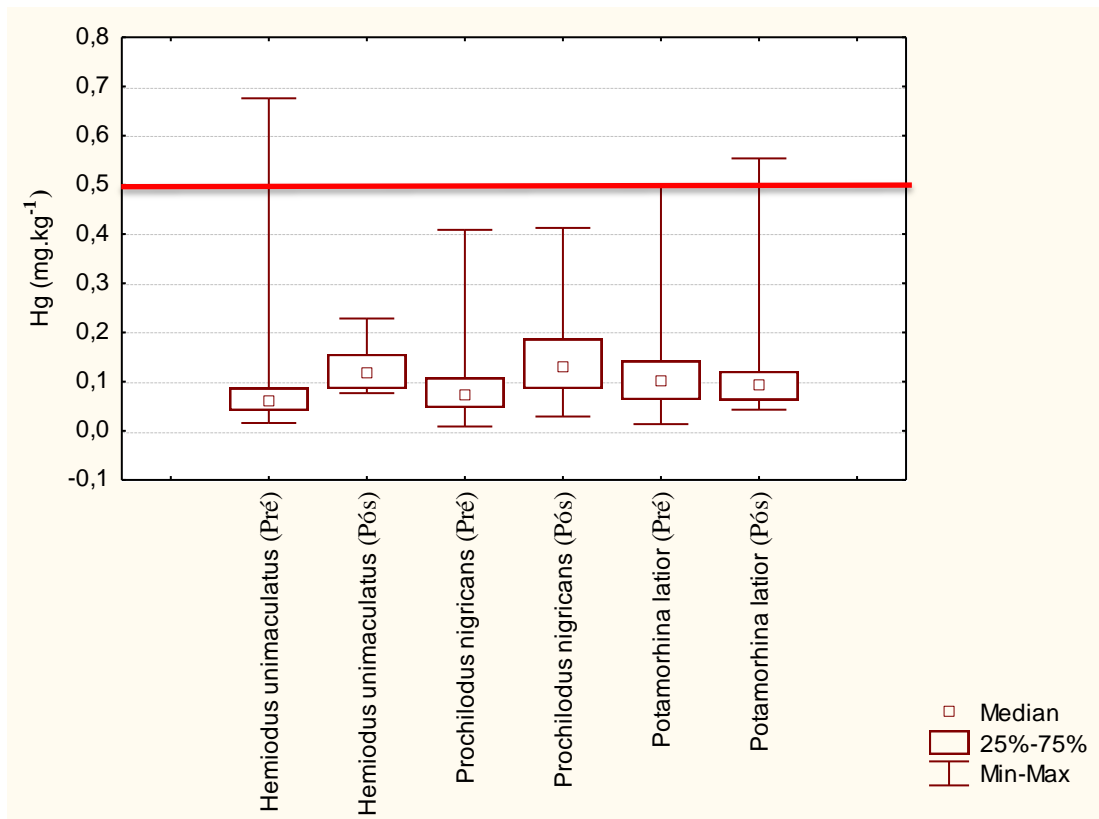


Figura V.3. Comparação da concentração Hg-T entre espécies do pré e pós-enchimento pertencentes ao habito alimentar detritívoro. A linha vermelha horizontal em destaque representa o limite preconizado pela ANVISA para peixes não carnívoros (0,50 mg/kg).

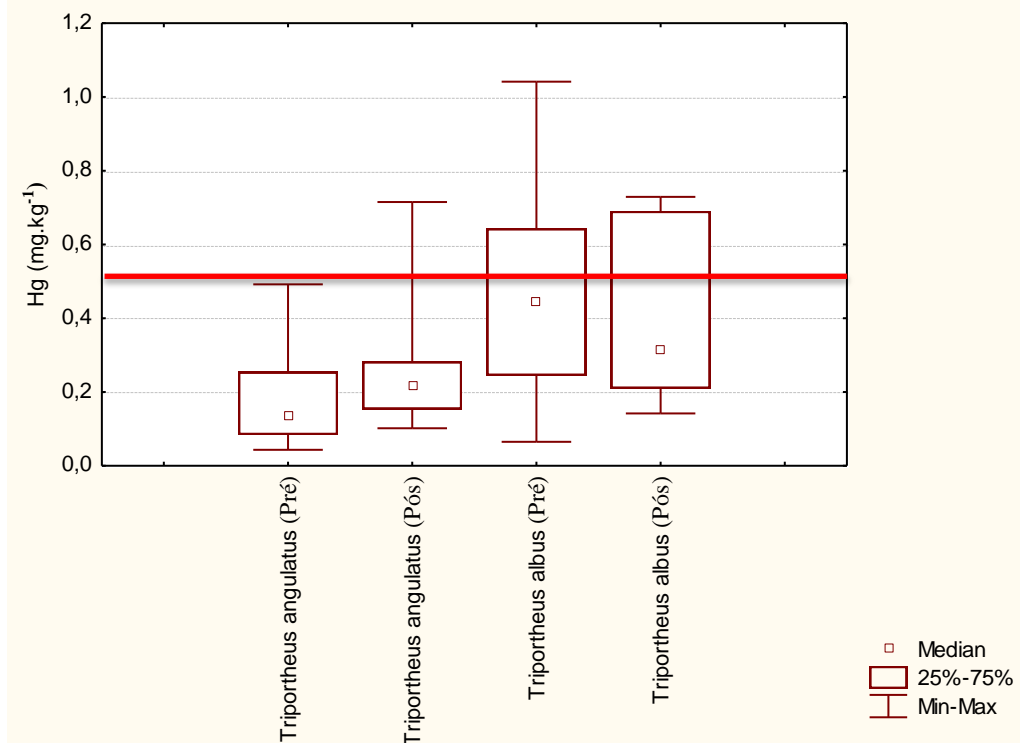


Figura V.4. Comparação da concentração Hg-T entre espécies do pré e pós-enchimento pertencentes ao habito alimentar onívoro. A linha vermelha horizontal em destaque representa o limite preconizado pela ANVISA para peixes não carnívoros (0,50 mg/kg).

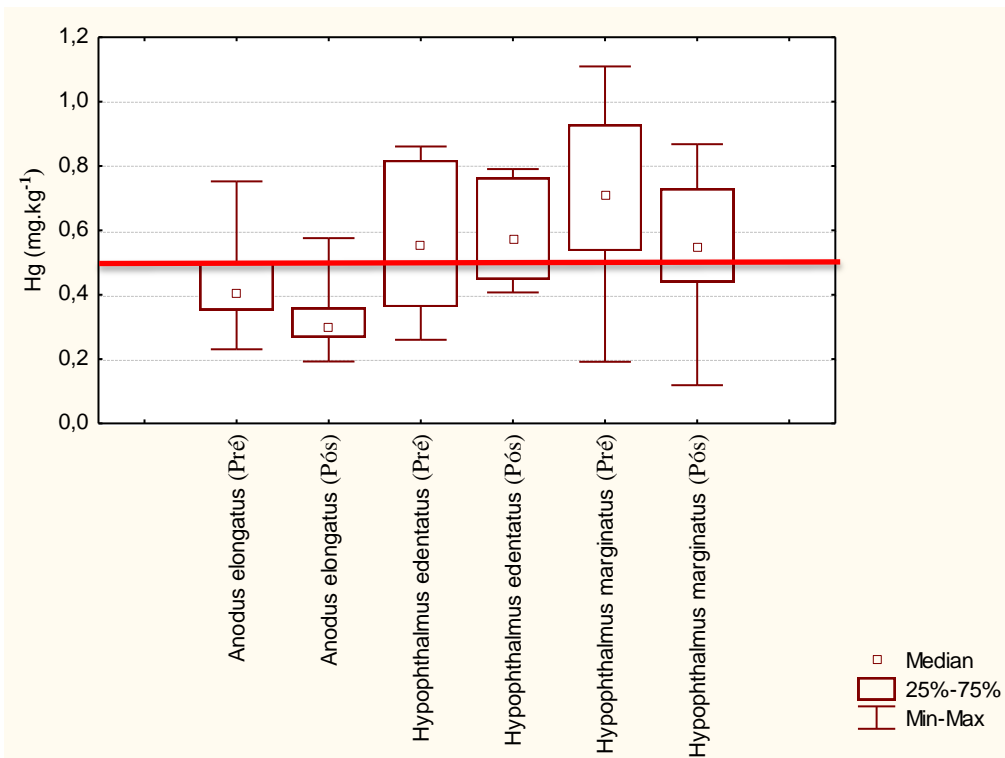


Figura V.5. Comparação da concentração Hg-T entre espécies do pré e pós-enchimento pertencentes ao habito alimentar plancívoro. A linha vermelha horizontal em destaque representa o limite preconizado pela ANVISA para peixes não carnívoro (0,50 mg/kg).

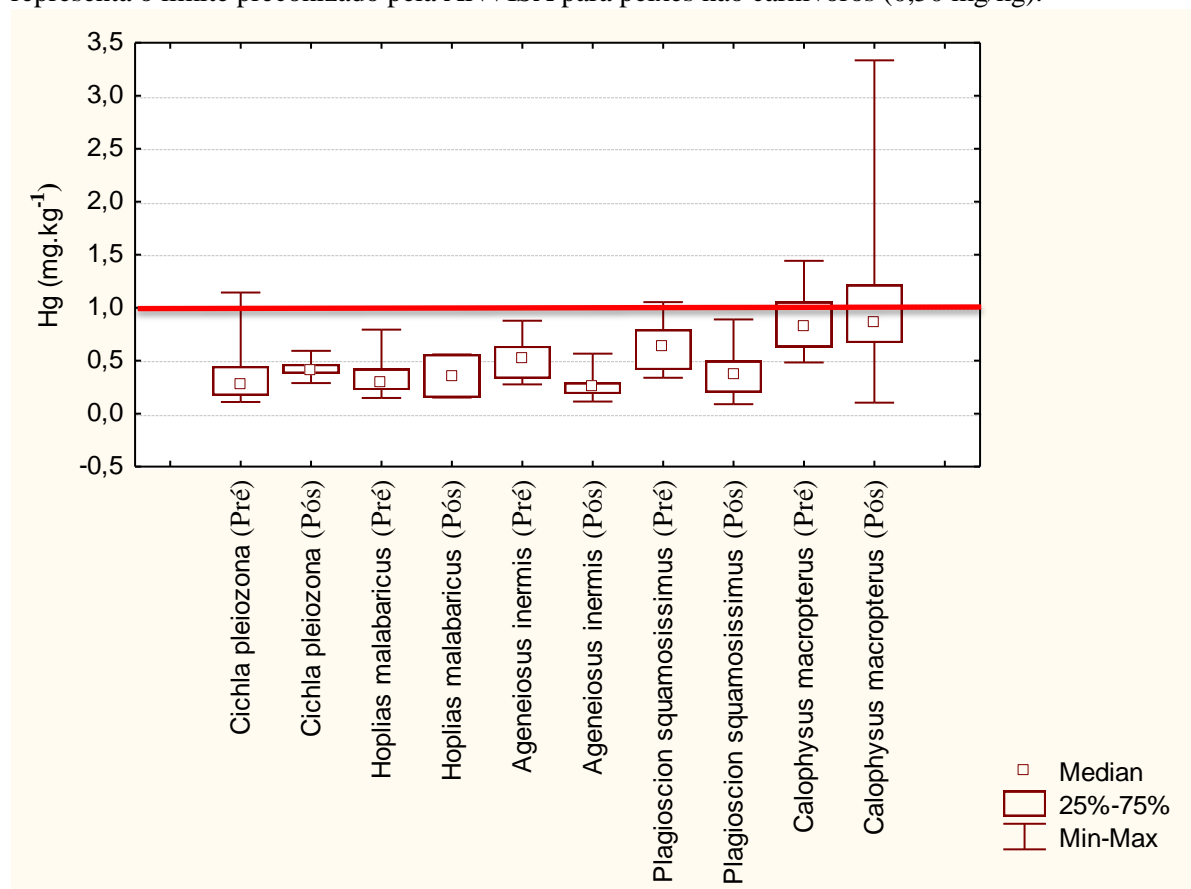


Figura V.6. Comparação da concentração Hg-T entre espécies do pré e pós-enchimento pertencentes ao habito alimentar carnívoro. A linha vermelha horizontal em destaque representa o limite preconizado pela ANVISA para peixes carnívoro (1,00 mg/kg).

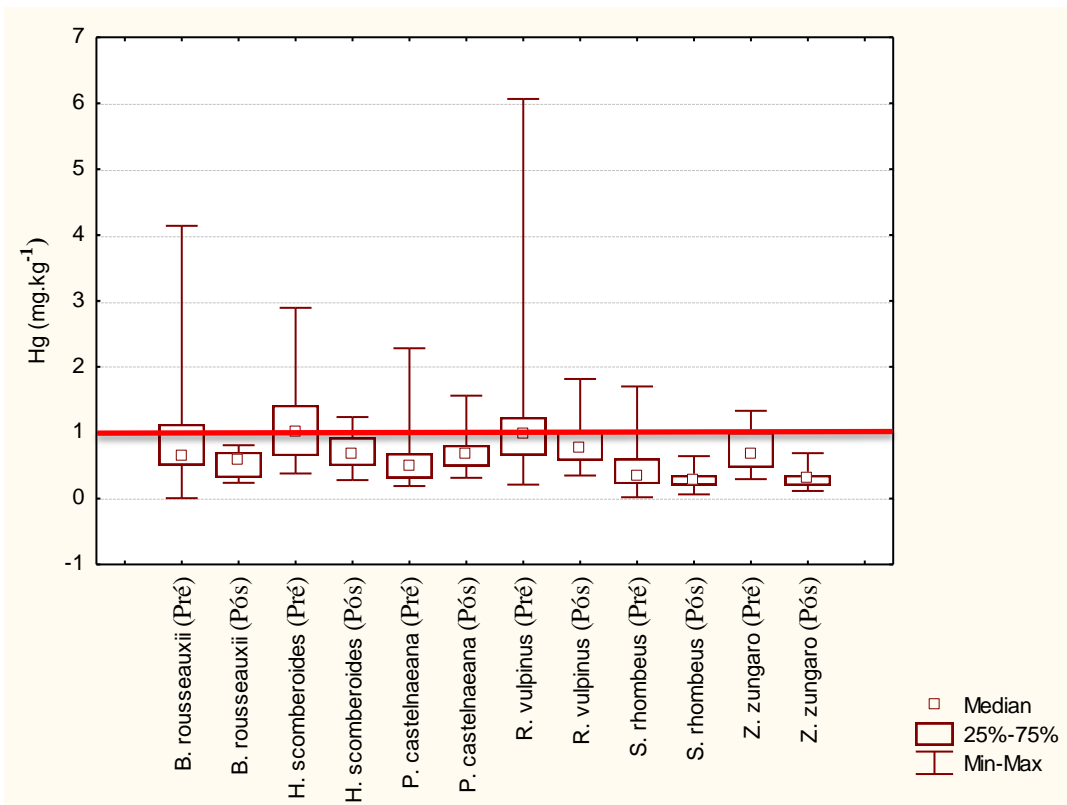


Figura V.7 Comparação da concentração Hg-T entre espécies do pré e pós-enchimento pertencentes ao hábito alimentar piscívoro. A linha vermelha horizontal em destaque representa o limite preconizado pela ANVISA para peixes carnívoros (1,00 mg/kg).

A figura V.8 apresenta as espécies por hábito alimentar considerando peixes coletados a montante e jusante do UHE Santo Antônio.

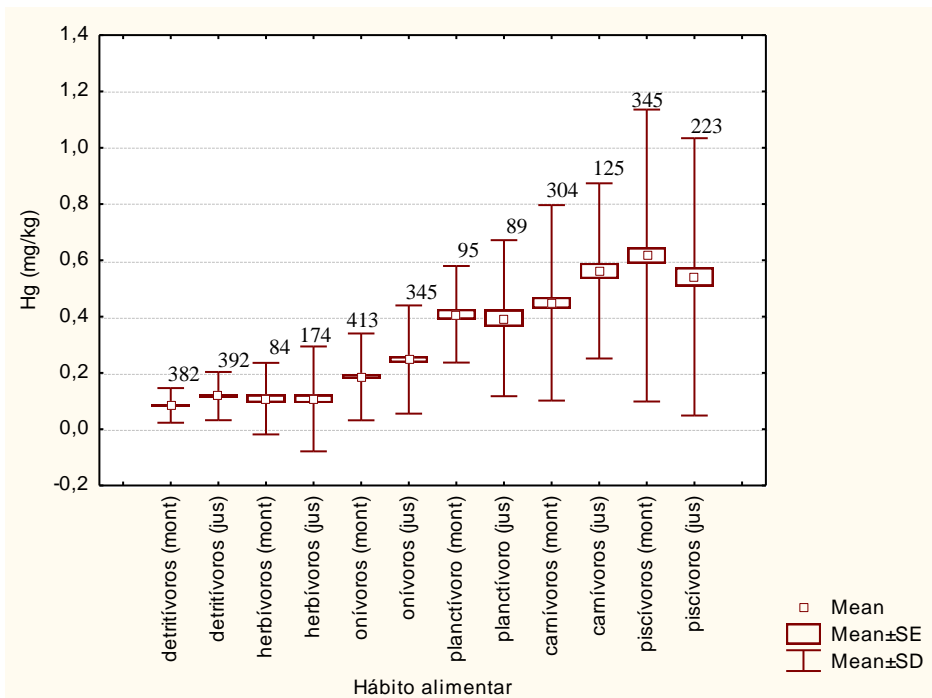


Figura V.8. Concentrações de Hg-T por hábito alimentar considerando montante e jusante do reservatório.

A figura V.9 apresenta a espécie *Serrasalmus rhombeus* nos períodos pré e pós-enchimento considerando montante e jusante o Reservatório.

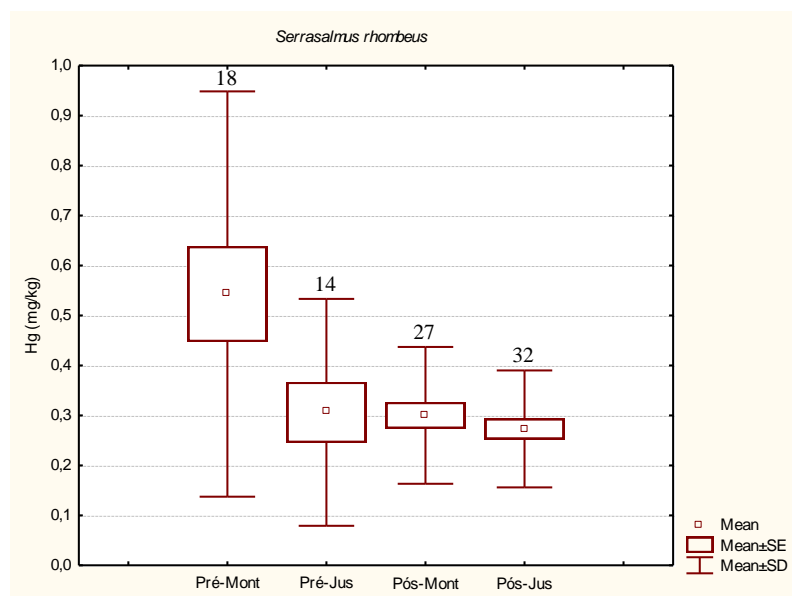


Figura V.9. Concentração de Hg-T na espécie *Serrasalmus rhombeus* a montante e jusante do reservatório nos períodos de pré e pós-enchimento.

Os percentuais de MeHg em relação ao total de mercúrio nas principais espécies estudadas variam de 56% (*Brachyplatystoma filamentosum* - Filhote) à 89% (*Serrasalmus rhombeus* – Piranha preta) (Tabela V.2).

Tabela V.2. Concentrações médias de Hg-T e MeHg nas principais espécies de peixes estudadas.

N. Científico	N. Vulgar	Hg-T (mg/kg)	MeHg (mg/kg)	MeHg (%)	n
<i>Brachyplatystoma filamentosum</i>	Filhote	1,702	0,948	56	05
<i>Brachyplatystoma platynemum</i>	Babão	1,910	1,158	61	10
<i>Brachyplatystoma rousseauxii</i>	Dourada	0,645	0,487	75	05
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Orana	0,055	0,033	61	21
<i>Hypophthalmus edentatus</i>	Mandubé	0,538	0,460	85	07
<i>Hypophthalmus marginatus</i>	Mapará	0,764	0,656	86	05
<i>Mylossoma duriventre</i>	Pacú	0,048	0,031	64	10
<i>Potamorhina latior</i>	Branquinha	0,113	0,095	84	20
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Cachorra	1,067	0,832	78	25
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Piranha Preta	0,578	0,517	89	03

V.2. Conclusões

As concentrações médias de Hg-T nos peixes até o momento são semelhantes a estudos anteriores desenvolvidos na região Norte do Brasil. Silva et al (2006), realizando um estudo em três lagos da Bacia do rio Tapajós também observou níveis de Hg elevados para a espécie *Rhaphiodon vulpinus* (0,488-0,598 mg/kg), porém a média da referida espécie neste estudo é mais elevada. Entretanto, Bastos et al (2008) ao avaliarem a concentração de Hg-T em peixes da Bacia do rio Madeira no período de 1987 a 2000 encontraram valores semelhantes aos resultados atuais.

De modo geral as concentrações de Hg-T das espécies de peixes de hábitos alimentares piscívoros, carnívoros e planctívoros apresentaram as maiores concentrações de Hg com níveis próximos ou acima da legislação vigente para consumo (ANVISA). As espécies que apresentaram as maiores concentrações de Hg no pré-enchimento e continuam mantendo estes altos níveis foram: *Hydrolycus scomberoides*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Calophysus macropterus*, *Hypophthalmus marginatus* e *Hypophthalmus edentatus*.

VI. MACRÓFITAS AQUÁTICAS (MC)

VI.1 Mercúrio e Metilmercúrio nas Folhas, Talos e Raízes

Os dados de Hg-T e MeHg nas folhas, talos e raízes de *Eichornia crassipes* foram monitoradas durante o período de abril a junho de 2012. Os dados demonstram que as raízes de macrófita apresentam os maiores valores de Hg-T e MeHg em comparação com as folhas e talos (Tabelas VI.1 e VI.2; Figuras VI.1 e VI.2).

Tabela VI.1. Concentração de Hg-T nas espécimes coletadas de macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*).

	Média (mg/kg)	DP	Mín.	Máx.	n	Grupos
Folha	0,0083	0,0032	0,0061	0,0172	10	A
Talo	0,0052	0,0046	0,0022	0,0137	10	A
Raiz	0,0442	0,0200	0,0238	0,0924	10	B

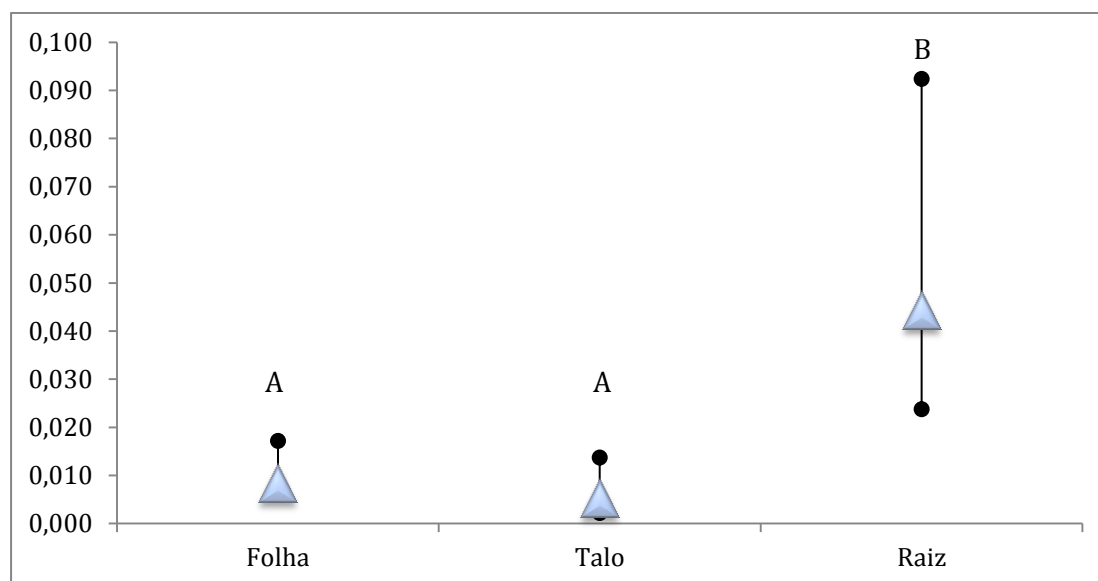


Figura VI.1. Concentração de Hg-T (mg/kg) nos diferentes compartimentos dos espécimes coletadas de macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*) no período de Pós-enchimento. Os símbolos representam as médias e a barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

Tabela VI.2. Concentração de MeHg nas espécimes coletadas de macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*).

	Média (mg/kg)	DP	Mín.	Máx.	n	Grupos
Folha	0,0006	0,0003	0,0003	0,0011	10	A
Talo	0,0006	0,0002	0,0004	0,0010	10	A
Raiz	0,0065	0,0025	0,0025	0,0116	10	B

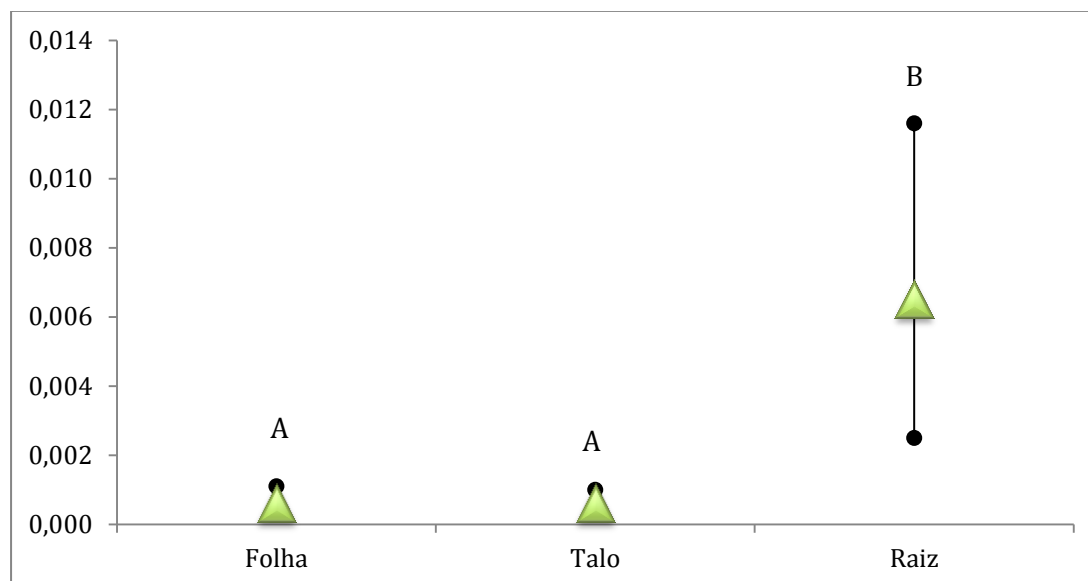


Figura VI.2. Concentração de MeHg (mg/kg) nos diferentes compartimentos dos espécimes coletadas de macrófitas aquáticas (*Eichornia crassipes*) no período de Pós-enchimento. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

O material particulado fino é o local que apresenta maior concentração de Hg-T no sistema aquático, sendo acumulado nas raízes das macrófitas aquáticas e transformado em MeHg (COELHO-SOUZA et al., 2007). As raízes de *Eichornia crassipes* podem funcionar como um *trap* de matéria orgânica dissolvida e particulado, o que aumentaria a concentração de mercúrio nesse compartimento quando comparado com as folhas e os talos (MIRANDA et al., 2007).

Durante o período de Pós-enchimento os maiores valores de MeHg foram observados junho/2012 ($0,00648 \pm 0,00482$ mg/kg), seguido de uma diminuição significativa nos meses de setembro/2012 ($0,0002 \pm 0,0003$ mg/kg), dezembro/2012 ($0,00047 \pm 0,0002$ mg/kg) e março/2013 ($0,0002 \pm 0,00005$ mg/kg), como pode ser observado nas tabelas VI.3 e VI.4 e figura VI.3.

Tabela VI.3. Concentração de MeHg em *Eichornia crassipes* (mg/kg) no período de Pós-enchimento do Reservatório de Santo Antônio.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n
abril/2012	0,00131	0,00143	0,00011	0,00448	10
maio/2012	0,00057	0,00024	0,00036	0,00099	10
junho/2012	0,00648	0,00482	0,00220	0,01423	12
setembro/2012	0,00020	0,00027	0,00001	0,00104	23
dezembro/2012	0,00047	0,00023	0,00021	0,00089	12
março/2013	0,00016	0,00005	0,00010	0,00023	05

Tabela VI.4. Comparações múltiplas das concentração de MeHg em *Eichornia crassipes*.

Variável	Grupos		
setembro/2012	A		
março/2013	A	B	
dezembro/2012	A	B	C
maio/2012		B	C
abril/2012		B	C
junho/2012			C

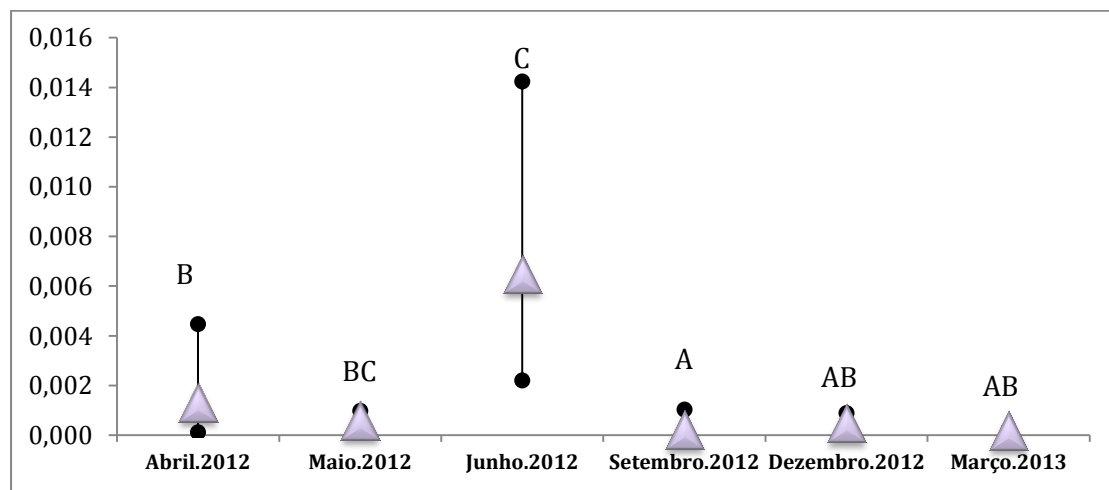


Figura VI.3. Concentração de MeHg em *Eichornia crassipes* (mg/kg) no período de Pós-Enchimento. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2 Efeito da Barragem: Pré-Enchimento vs Pós-Enchimento

As figuras e tabelas a seguir apresentam as concentrações médias de Mercúrio (Hg), Manganês (Mn), Cromo (Cr), Ferro (Fe), Cobalto (Co), Níquel (Ni), Chumbo

(Pb), Cobre (Cu) e Zinco (Zn) em macrófitas aquáticas amostradas a montante do reservatório da UHE Santo Antônio no Rio Madeira nos períodos de Pré e Pós-enchimento do reservatório. Os elementos Hg, Fe, Mn, Cr, Ni, Pb e Zn apresentaram uma diminuição nas suas concentrações no período de Pós-Enchimento. Os elementos Co e Cu não apresentaram diferença significativa quando comparados os períodos de Pré e Pós-Enchimento.

VI.2.1 Mercúrio

Tabela VI.5. Concentração de **mercúrio** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	0,009	0,005	0,0007	0,0239	28	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	0,006	0,005	0,0027	0,0380	78	A

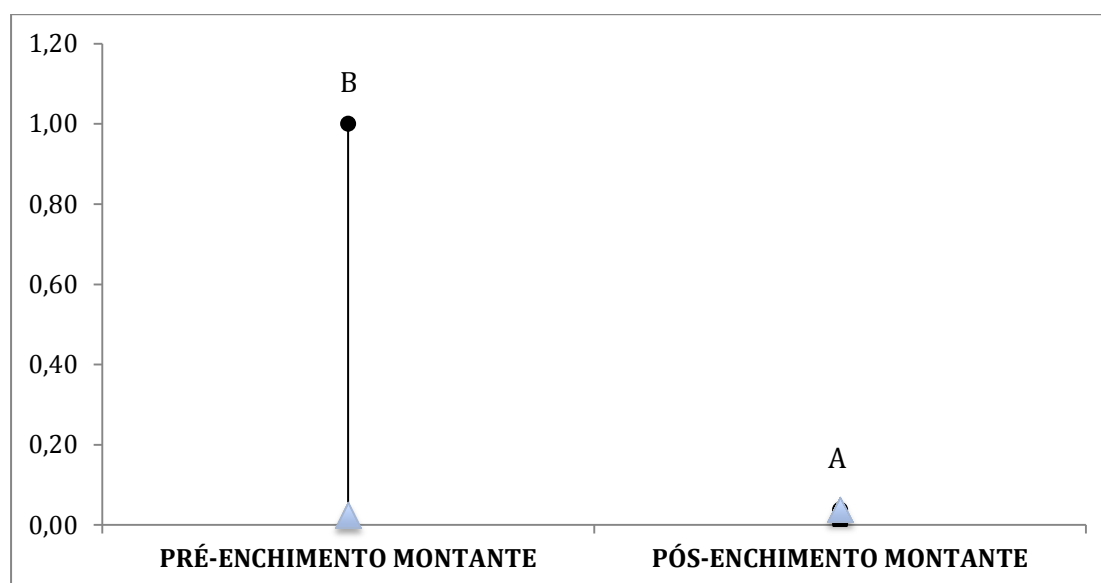


Figura VI.4. Concentração de **Hg-T** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-Enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.2 Ferro

Tabela VI.6. Concentração de **ferro** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	1257,685	1857,425	0,342	7491,450	20	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	202,709	474,848	4,590	4337,420	81	A

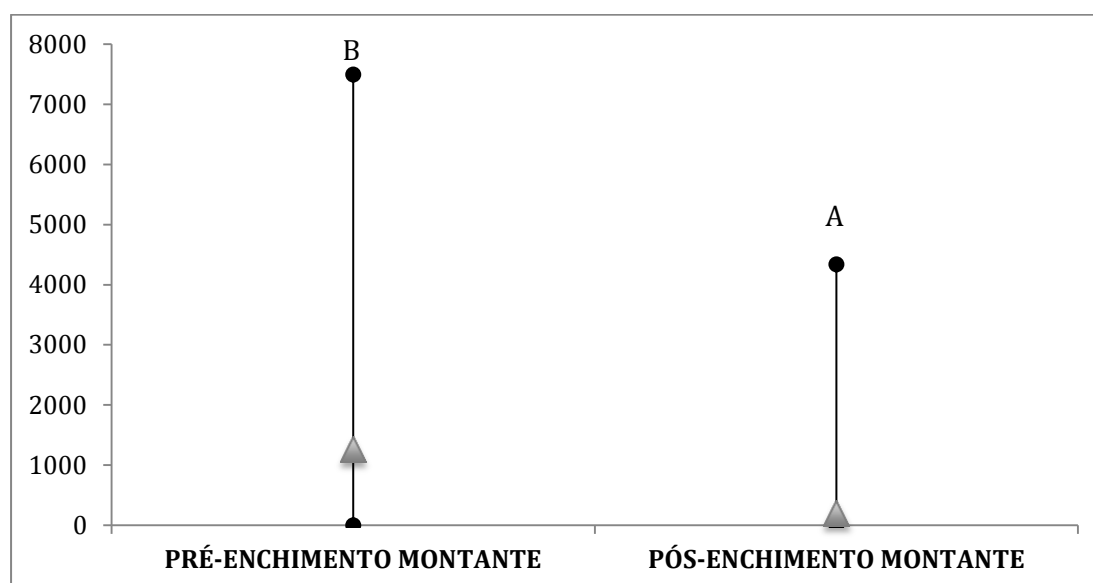


Figura VI.5. Concentração de **ferro** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-Enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.3 Manganês

Tabela VI.7. Concentração de **manganês** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	1792,719	2322,918	47,138	8088,750	20	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	371,050	345,831	14,770	1529,167	81	A

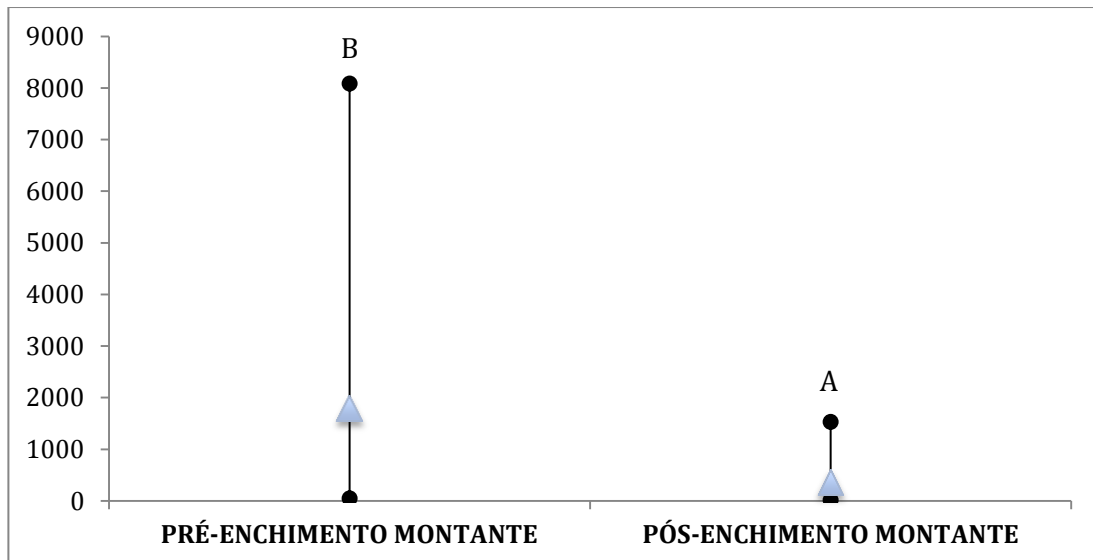


Figura VI.6. Concentração de **manganês** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.4 Cobalto

Tabela VI.8. Concentração de **cobalto** (mg/kg) nos períodos de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	3,206	3,928	0,090	12,035	20	A
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	1,929	0,370	1,310	3,220	81	A

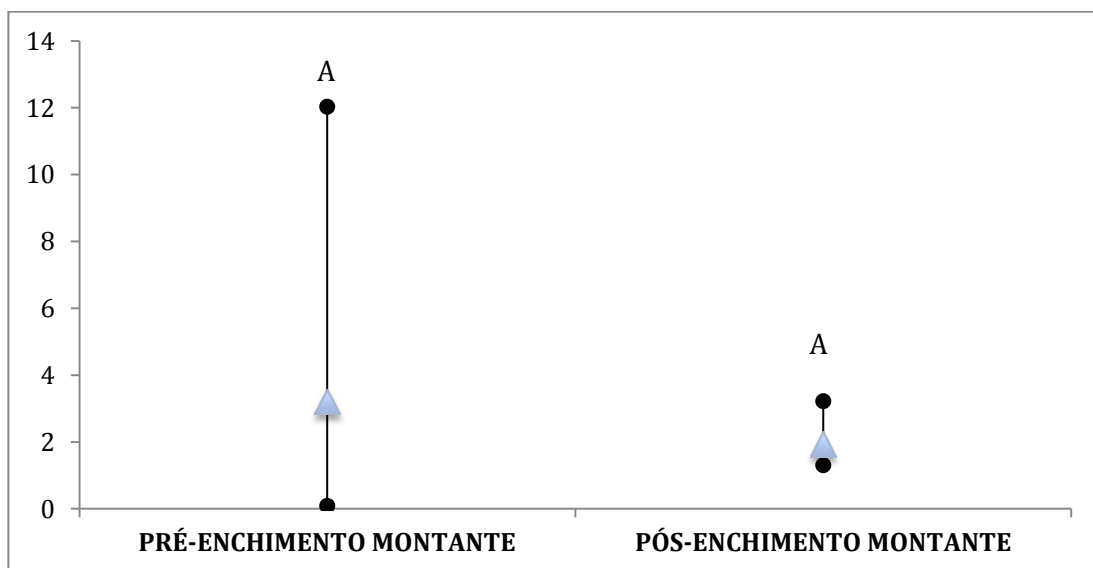


Figura VI.7. Concentração de **cobalto** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os

símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.5 Cromo

Tabela VI.9. Concentração de **cromo** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	4,789	3,935	0,852	14,356	20	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	1,271	0,598	0,600	3,490	81	A

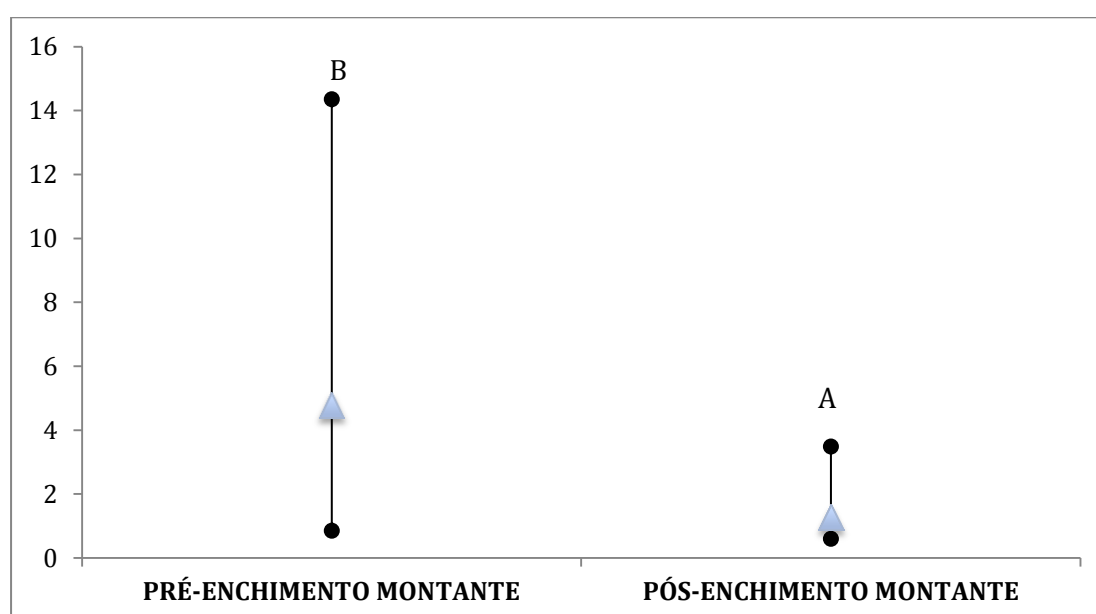


Figura VI.8. Concentração de **cromo** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-Enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.6 Cobre

Tabela VI.10. Concentração de **cobre** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	13,903	17,259	0,297	61,928	20	A
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	8,036	2,478	1,230	13,300	81	A

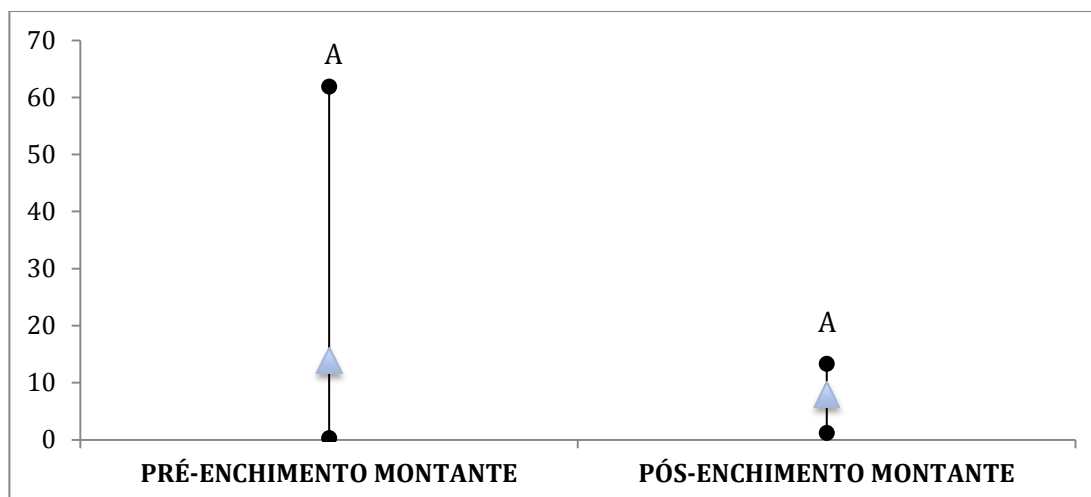


Figura VI.9. Concentração de **cobre** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.7 Níquel

Tabela VI.11. Concentração de **níquel** (mg/kg) nos períodos de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	7,274	7,850	0,570	24,597	20	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	5,111	1,547	1,893	8,850	81	A

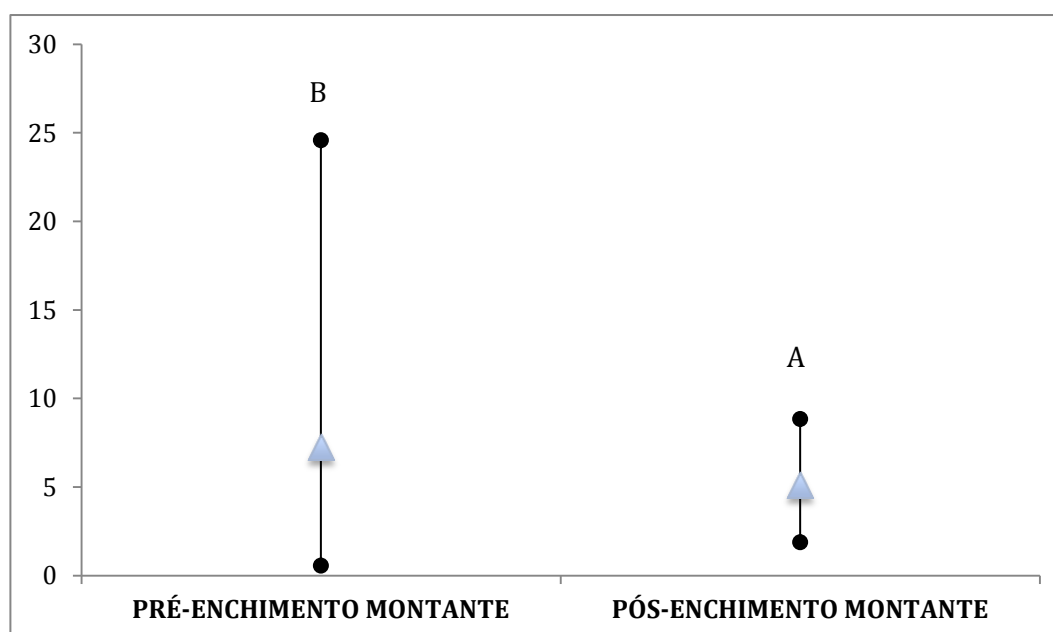


Figura VI.10. Concentração de **níquel** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do reservatório da UHE Santo

Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.8 Chumbo

Tabela VI.12. Concentração de **chumbo** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	6,377	6,152	0,720	19,045	20	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	5,387	1,014	1,920	7,889	81	A

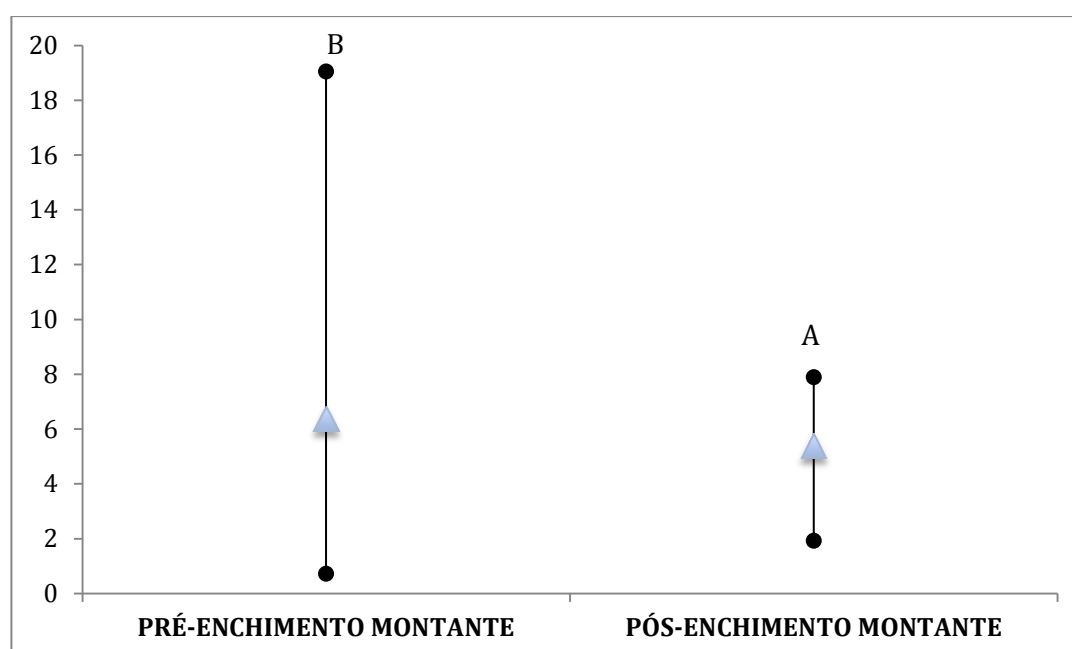


Figura VI.11. Concentração de **chumbo** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

VI.2.8 Chumbo

Tabela VI.13. Concentração de **zinco** (mg/kg) nos períodos de Pré-Enchimento e Pós-Enchimento a montante do Reservatório da UHE Santo Antônio. As letras representam diferenças significativas.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
PRÉ-ENCHIMENTO MONTANTE	29,925	18,173	1,049	61,061	20	B
PÓS-ENCHIMENTO MONTANTE	20,719	13,664	7,910	98,190	81	A

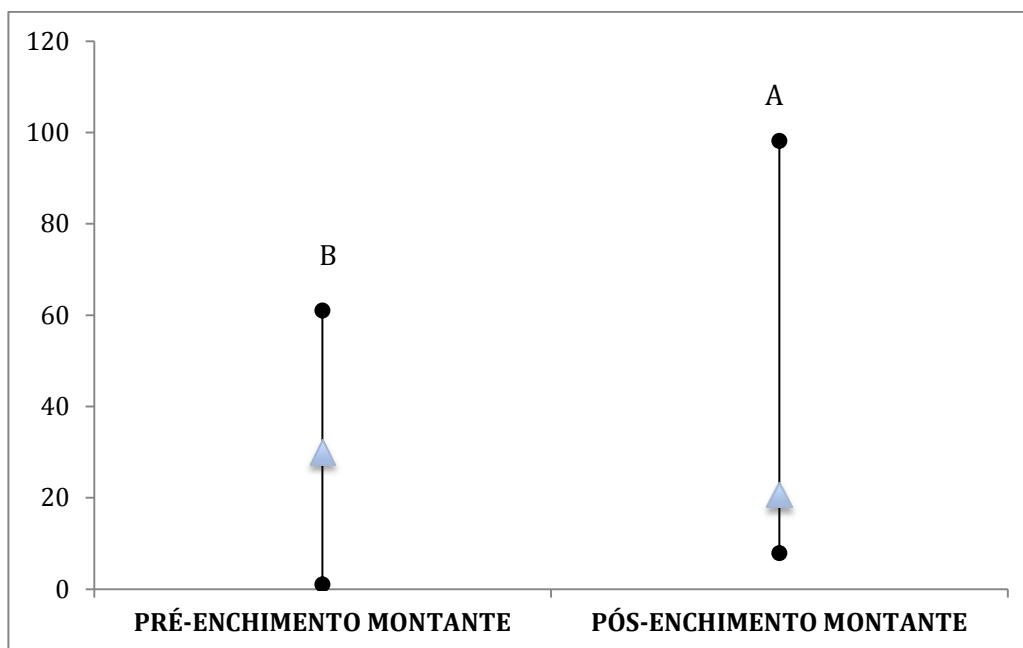


Figura VI.12. Concentração de **zinco** (mg/kg) em *Eichornia crassipes* no período de Pré-enchimento e Pós-enchimento a montante do reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos. As letras representam diferenças significativas.

A *Eichornia crassipes* ocorre praticamente em todas as áreas tropicais e subtropicais do mundo e possui diversas adaptações que auxiliam na sua rápida colonização. Por ser flutuante pode acompanhar flutuações extremas no nível da água. A produção de sementes é numerosa, o que lhe confere uma grande dispersão e a capacidade para uma rápida recolonização em lugares em que foi eliminada.

Apresenta um rápido crescimento vegetativo que a auxilia no domínio da área, impedindo a colonização por outras espécies e conferindo uma rápida recolonização seguida de grande perda de biomassa. Sua alta produção primária é resultado de uma grande área fotossintetizante, alta eficiência fotossintética e intenso crescimento vegetativo (Sculthorpe, 1967 *apud* MAURO, 1997). Além disso, os bancos de macrófitas aquáticas podem reduzir o fluxo de água e promover a sedimentação e captura de partículas aumentando a concentração de nutrientes (SAND-JENSEN, 1998). Desse modo, o rápido incremento da biomassa da *E. crassipes* no Pós-enchimento previsto pelo Programa de Monitoramento da Composição da Comunidade de Macrófitas na área de influência da UHE Santo Antônio, pode ter causado um efeito de diluição na concentração de elementos traço em sua

composição, em relação ao período de Pré-Enchimento, onde os bancos de macrófitas flutuantes possuíam uma menor área de colonização.

VI.3 CONCLUSÕES

- ✓ Maiores valores de Hg-T nas raízes de macrófitas ($0,0442 \pm 0,0200$ mg/kg) em comparação com as folhas ($0,0083 \pm 0,003$ mg/kg) e talos ($0,0052 \pm 0,005$ mg/kg);
- ✓ Maiores valores de MeHg nas raízes de macrófitas ($0,0065 \pm 0,003$ mg/kg) em comparação com as folhas ($0,0006 \pm 0,0003$ mg/kg) e talos ($0,0006 \pm 0,0002$ mg/kg)
- ✓ Maiores valores de MeHg em junho/2012 ($0,00648 \pm 0,00482$ mg/kg), seguido de uma diminuição significativa nos meses de setembro/2012 ($0,0002 \pm 0,0003$ mg/kg), dezembro/2102 ($0,00047 \pm 0,0002$ mg/kg) e março/2013 ($0,0002 \pm 0,00005$ mg/kg);
- ✓ Diminuição nas concentrações médias dos seguintes elementos traço a montante da UHE Santo Antônio no período de Pós-Enchimento:
 - **Hg-T** (Pré: $0,009 \pm 0,005$ mg/kg; Pós: $0,006 \pm 0,005$ mg/kg)
 - **Fe** (Pré: 1258 ± 1857 mg/kg; Pós: 203 ± 475 mg/kg)
 - **Mn** (Pré: 1793 ± 2323 mg/kg; Pós: 371 ± 346 mg/kg)
 - **Cr** (Pré: $4,789 \pm 3,935$ mg/kg; Pós: $1,271 \pm 0,598$ mg/kg)
 - **Ni** (Pré: $7,274 \pm 7,850$ mg/kg; Pós: $5,111 \pm 1,547$ mg/kg)
 - **Pb** (Pré: $6,377 \pm 6,152$ mg/kg; Pós: $5,387 \pm 1,014$ mg/kg)
 - **Zn** (Pré: $29,925 \pm 18,173$ mg/kg; Pós: $20,719 \pm 13,664$ mg/kg)
- ✓ Os elementos **Co** (Pré: $3,206 \pm 3,928$ mg/kg; Pós: $1,929 \pm 0,370$ mg/kg) e **Cu** (Pré: $13,903 \pm 17,259$ mg/kg; Pós: $8,036 \pm 2,478$ mg/kg) não apresentaram diferença significativa quando comparados os períodos de Pré e Pós-Enchimento.

VII. PLÂNCTON (PL)

A amostragem de plâncton (zooplâncton e fitoplâncton) foi realizada nos ambientes lânticos formados pelo reservatório como o rio Jaci-Paraná (pontos J01 e J02), Igarapé Jatuarana (JATI 01) e rio Branco (RBR 01). Não foi observada diferença significativa entre os valores de Hg-T encontrados no Pré e Pós-Enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio (Tabelas VII.1 e VII.2; Figuras VII.1 e VII.2).

Tabela VII.1. Concentração de Hg-T no plâncton no período de pós-enchimento. Os valores estão expressos em mg/kg.

Fase	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
Pré-Enchimento	0,140	0,106	0,006	0,695	62	A
Pós-Enchimento	0,122	0,053	0,017	0,322	63	A

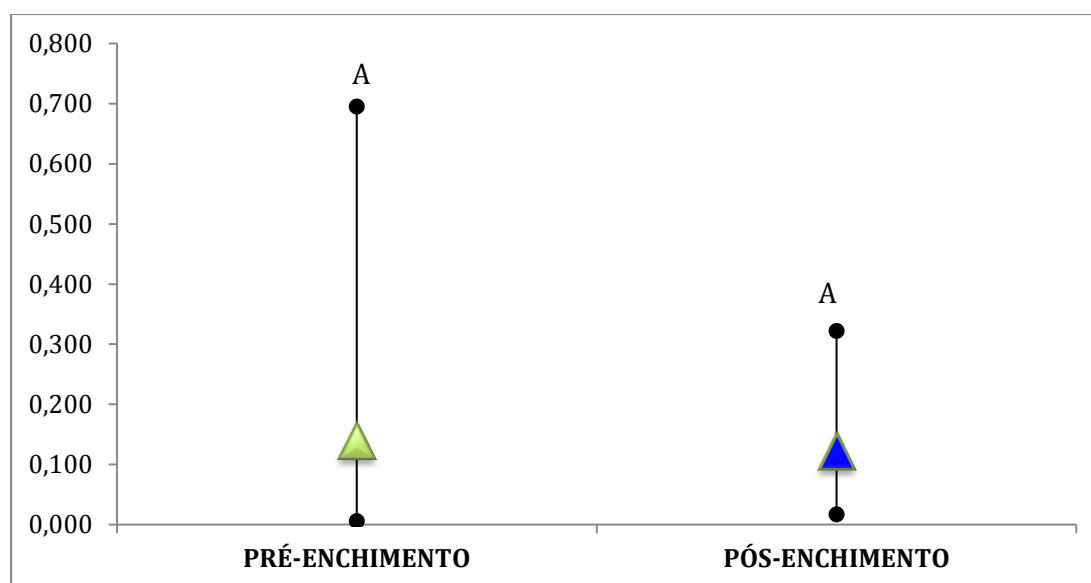


Figura VII.1. Concentração de Hg-T (mg/kg) no plâncton nos períodos de Pré-enchimento (em verde) e Pós-enchimento (em azul) do Reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos.

Tabela VII.2. Concentração de Hg-T (mg/kg) na comunidade planctônica no Pré-enchimento e Pós-enchimento por localidade. Os grupos representam diferença significativa quando $p < 0,005$. Nesse caso não há diferença significativa entre as localidades no Pré-enchimento e Pós-enchimento.

Localidade	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
Pré-Enchimento						
Rio Branco	0,127	0,076	0,006	0,275	18	A
Igarapé Jatuarana I	0,118	0,068	0,011	0,219	7	A
Rio Jaci-Paraná (J01)	0,190	0,171	0,054	0,695	17	A
Rio Jaci-Paraná (J02)	0,116	0,044	0,068	0,240	20	A
Pós-Enchimento						
Rio Branco	0,129	0,028	0,101	0,166	6	A
Igarapé Jatuarana I	0,134	0,054	0,074	0,322	19	A
Rio Jaci-Paraná (J01)	0,132	0,052	0,065	0,299	19	A
Rio Jaci-Paraná (J02)	0,099	0,054	0,017	0,234	19	A

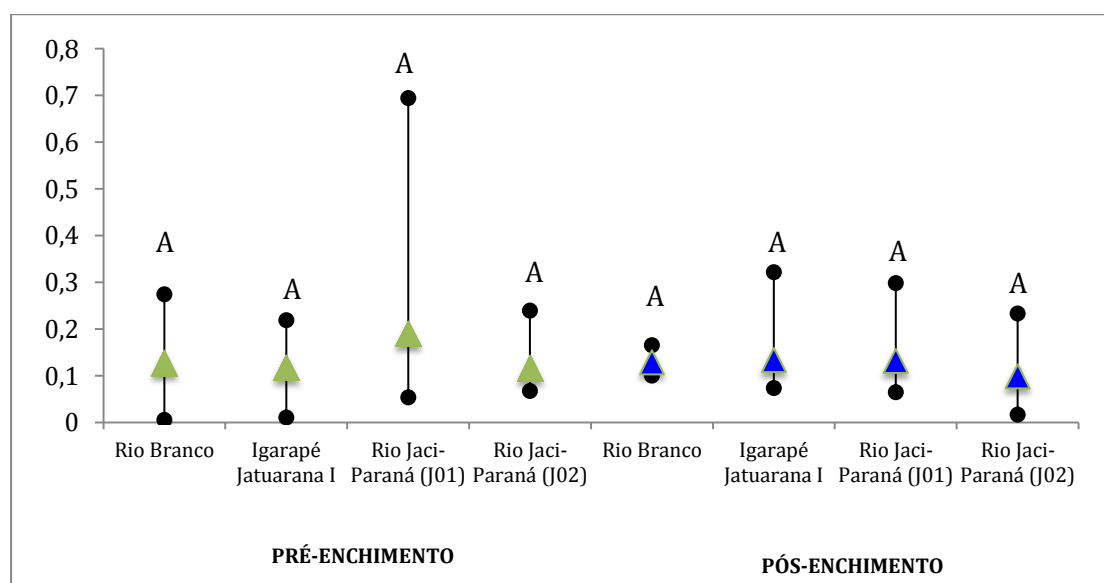


Figura VII.2. Comparação das concentrações de Hg-T na comunidade planctônica nos períodos de Pré-enchimento (em verde) e Pós-enchimento (em azul) do Reservatório da UHE Santo Antônio. Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos.

Com relação ao aumento nas concentrações de Hg-T na cadeia planctônica foi possível observar que não houve diferença significativa entre os níveis tróficos tanto no Pré quanto no Pós-Enchimento (Tabela VII.3; Figura VII.3).

Tabela VII.3. Concentração de Hg-T (mg/kg) na comunidade planctônica no Pré-enchimento e Pós-enchimento. Os grupos representam diferença significativa quando $p < 0,005$. Nesse caso não há diferença significativa entre as os diferentes níveis tróficos, não evidenciando a biomagnificação.

Variável	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n	Grupos
Pré-Enchimento						
Fitoplâncton	0,156	0,139	0,024	0,695	20	A
Zooplâncton (70 µm)	0,131	0,109	0,011	0,561	22	A
Zooplâncton (160 µm)	0,134	0,060	0,006	0,240	20	A
Pós-Enchimento						
Fitoplâncton	0,107	0,037	0,028	0,162	23	A
Zooplâncton (70 µm)	0,127	0,055	0,017	0,299	23	A
Zooplâncton (160 µm)	0,136	0,065	0,017	0,322	17	A

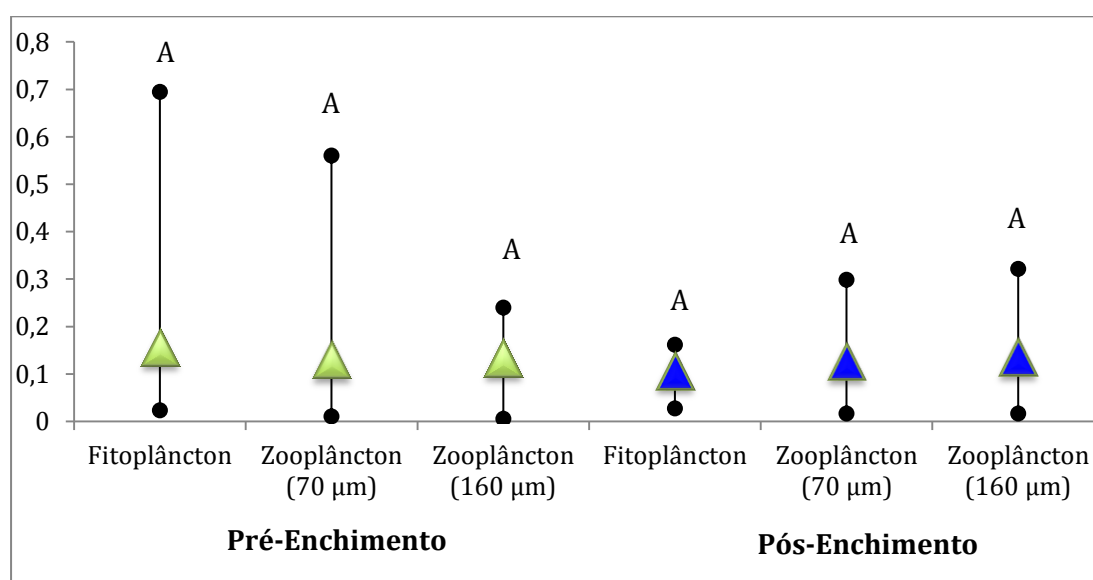


Figura VII.3. Comparação das concentrações de Hg-T na comunidade planctônica nos períodos de Pré-enchimento (em verde) e Pós-enchimento (em azul). Os símbolos representam as médias e as barras representam os valores mínimos e máximos.

De acordo com o relatório da 1ª campanha do Monitoramento Limnológico (Fase de Operação) os tributários apresentaram a maior riqueza de espécies fitoplanctônicas, seguida dos lagos e canais e pelo rio Madeira, sendo esse último apresentando maior biomassa de cianobactérias no pós-enchimento. Além disso, os tributários apresentaram maior riqueza de espécies nas comunidades zooplanctônicas, seguido dos lagos e canais.

Os tributários também apresentaram maior densidade zooplanctônica, o que poderia ser resultado de uma transformação de um ambiente lótico para lêntico ou semi-lêntico, favorecendo o estabelecimento do zooplâncton. De acordo com o Chen

& Folt (2005), o aumento na densidade planctônica pode levar a uma diminuição na carga de mercúrio por massa assimilada pela comunidade fitoplanctônica e zooplanctônica em função da sua diluição. Desse modo, a transferência trófica do mercúrio (biomagnificação) será reduzida quando a densidade do fitoplâncton e zooplâncton for alta (Chen & Folt, 2005).

De acordo com os autores supracitados, tal mecanismo pode ser explicado de duas maneiras: I) se a carga de mercúrio é finita e a assimilação individual é constante, um aumento na densidade celular resultará em uma menor concentração de mercúrio massa-específica, isto é, menos mercúrio "livre"; II) em populações de crescimento rápido, a taxa de crescimento dos organismos podem exceder a assimilação do mercúrio, o que poderia resultar em menores concentrações de mercúrio massa-específica em altas biomassas. Esse fenômeno é conhecido como diluição por crescimento.

VII.2. CONCLUSÕES

- ✓ Tanto o fito (25µm) quanto zooplâncton (70µm e 160µm) não apresentaram variações nas concentrações de Hg-T na fase de pós-enchimento quando comparadas com as concentrações encontradas no pré-enchimento;
- ✓ Não foi observada diferença significativa entre os níveis tróficos da cadeia planctônica.

VIII. CROCODILIANOS E QUELÔNIOS (CR e QU)

VIII.1 Crocodilianos

Com relação aos crocodilianos, foram analisadas 19 amostras pelo Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, onde foi encontrado média de Hg-T de $0,22 \pm 0,22$ mg/kg (Tabela VIII.1), sendo o valor mínimo de 0,06 mg/kg (Guajará-Mirim) e máximo de 0,86 mg/kg (Rio Madeira). Atualmente, não há legislação específica da concentração de Hg-T para crocodilianos, entretanto apenas 15% das amostras ficaram acima de 0,50 mg/kg (Rio Madeira) e nenhuma ficou acima de 1,00 mg/kg, como recomendado pela ANVISA para o consumo de peixes não-carnívoros e carnívoros, respectivamente. A ampliação do n amostral dos crocodilianos dependerá do recebimento de novas amostras provenientes do Programa específico.

Tabela VIII.1. Concentração de Hg-T (mg/kg) em amostras de crocodilianos de diferentes localidades.

Localidade	Média (mg/kg)	DP	Mínimo	Máximo	n
Rio Cautário	0,19	0,13	0,11	0,38	4
Costa Marques	0,14	0,08	0,08	0,19	2
Lago do Cuniã	0,49	-	-	-	1
Guajará-Mirim	0,11	0,03	0,06	0,15	8
Guaporé	0,12	-	-	-	1
Rio Madeira	0,57	0,33	0,22	0,86	3
Média Geral	0,22	0,22	0,06	0,86	19

VIII.2 Quelônios

Com relação a coleta de quelônios, há uma grande dificuldade na obtenção de tais amostras e na interpretação dos dados de modo a contribuir para o Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico. De acordo com o Programa de Conservação de Fauna, tanto a tartaruga-da-amazônia (*Podocnemis expansa*) quanto a tracajá (*Podocnemis unifilis*) são espécies herbívoras. Segundo Vogt (2008), no rio Guaporé, as porcentagens de material vegetal no conteúdo estomacal de quelônios, foi de 98% para *P. expansa* e 89,46% para *P. unifilis*. Existem registros de invertebrados e ossos de peixes para *P. expansa*, mas representam uma quantidade mínima do conteúdo estomacal. Acredita-se que os ossos foram realmente comidos como ossos e não como

parte de animais mortos ou frescos. Já para *P. unifilis* foi registrado no rio Guaporé um consumo baixo de peixes (0,95% do volume total), sendo que a maioria de peixes consumidos era de pequeno tamanho e ingerido por inteiro, sendo provavelmente consumidos vivos e não capturados em putrefação. Escamas, carne e vértebras de grandes peixes estiveram também presentes, sugerindo que as tartarugas comem material animal em putrefação. Desse modo, os quelônios monitorados na área de influência do empreendimento não possuem as características adequadas para serem utilizados como biomonitores da contaminação por elementos traço.

VIII.3 Conclusões

- ✓ Não há legislação vigente com relação a limites nas concentrações de mercúrio total para crocodilianos e quelônios;
- ✓ Nenhuma amostra de crocodiliano ficou acima do limite recomendado para consumo para peixes carnívoros preconizado pela ANVISA (1,00 mg/kg).

IX. SOLOS

Por definição do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos, os solos são corpos naturais constituídos por partes sólidas, líquidas e gasosas, tridimensionais, dinâmicos e formados por materiais minerais e orgânicos ocupando maior parte do manto superficial das extensões continentais do nosso planeta, podendo ser alterados por atividades antropogênicas (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, 2006). O solo tem como limite superior a atmosfera, e os limites laterais com outras espécies de solos ou afloramentos rochosos, materiais detríticos inconsolidados, aterros ou terrenos sob espelho d'água permanente.

A qualidade do solo é importante para a preservação da natureza e qualidade de vida das populações tendo grande relevância ecológica por sua influência na biosfera, uma vez que pode funcionar como dreno para os contaminantes e como um filtro natural que controla o transporte de elementos químicos para atmosfera, biosfera e hidrosfera (Kabata-Pendias & Pendias 2001).

IX.1. METODOLOGIA

IX.1.1 Área de Estudo

De acordo com o plano de trabalho e seguindo as diretrizes do Projeto Básico Ambiental Santo Antonio (PBA- Santo Antônio), foi realizada a avaliação dos solos no entorno da área de influencia do reservatório da UHE - Santo Antônio (Figura IX.1).

Para caracterização dos solos na área de influência direta e indireta do reservatório da UHE – Santo Antônio no período de pré-enchimento foram realizadas coletas de 30 perfis de solo no período de 28/08/2008 a 19/09/2008 na área sujeita à inundação e em terra firme no entorno dos tributários e do rio Madeira (Relatório Final Consolidado - Avaliação Ambiental - Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais Pesados no Rio Madeira - UHE Santo Antônio - Junho de 2011).

Nesta segunda fase do trabalho, realizada no período de 22/10/2012 a 25/10/2012, as estações de coleta de solos foram definidas de acordo com os perfis de solos estudados na fase de implementação do empreendimento. Foram re-avaliadas as estações de monitoramento que se mantiveram sem influência hídrica, isto é, não ficaram submersas com o enchimento do reservatório (Tabela IX.1). Para o monitoramento foram coletadas amostras de solo superficial (0-10 cm) e

subsuperficial (10-30 cm) de solos de 13 estações pré-existentes, denominadas neste relatório como **Pf** (Tabela IX.1 e Figura IX.1). Os pontos de coleta foram georreferenciados utilizando receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS, modelo GARMIN's[®], modelo GPS 12 XL Personal Navigator[™] (Tabela IX.1).

Tabela IX.1. Coordenadas dos perfis de solo amostrados em outubro de 2012.

Código de Campo	Localidade	Coordenadas	
		UTM Datum: Sad 69	
		Longitude	Latitude
Pf. 01	Rio Branco	352364,9	8958342,0
Pf. 02	Rio Branco	351136,0	8958666,5
Pf. 03	Rio Branco	348223,8	8961717,6
Pf. 04	Rio Contra	342738,2	8969974,1
Pf. 05	Rio Contra	342862,0	8970987,3
Pf. 06	Rio Contra	342057,0	8971120,5
Pf. 08	Rio Madeira	341222,2	8982821,2
Pf. 10	Ilha São José	324268,5	8985611,9
Pf. 13	Rio Caracol	351925,1	8977561,1
Pf. 14	Jaci-Paraná	344634,2	8974488,2
Pf. 20	Rio Madeira	375084,6	9003375,9
Pf. 23	Rio Madeira	383503,0	9017833,7
Pf. 25	Rio Madeira	399669,0	9044934,1

Os resultados obtido foram comparados com os resultados apresentados no Relatório Final Consolidado - Avaliação Ambiental - Hidrobiogeoquímica do Mercúrio e Outros Metais Pesados no Rio Madeira - UHE Santo Antônio (Junho de 2011). Foi utilizado o pacote estatístico *STATISTICA 7* para testar a normalidade dos dados e avaliar a significância dos resultados.

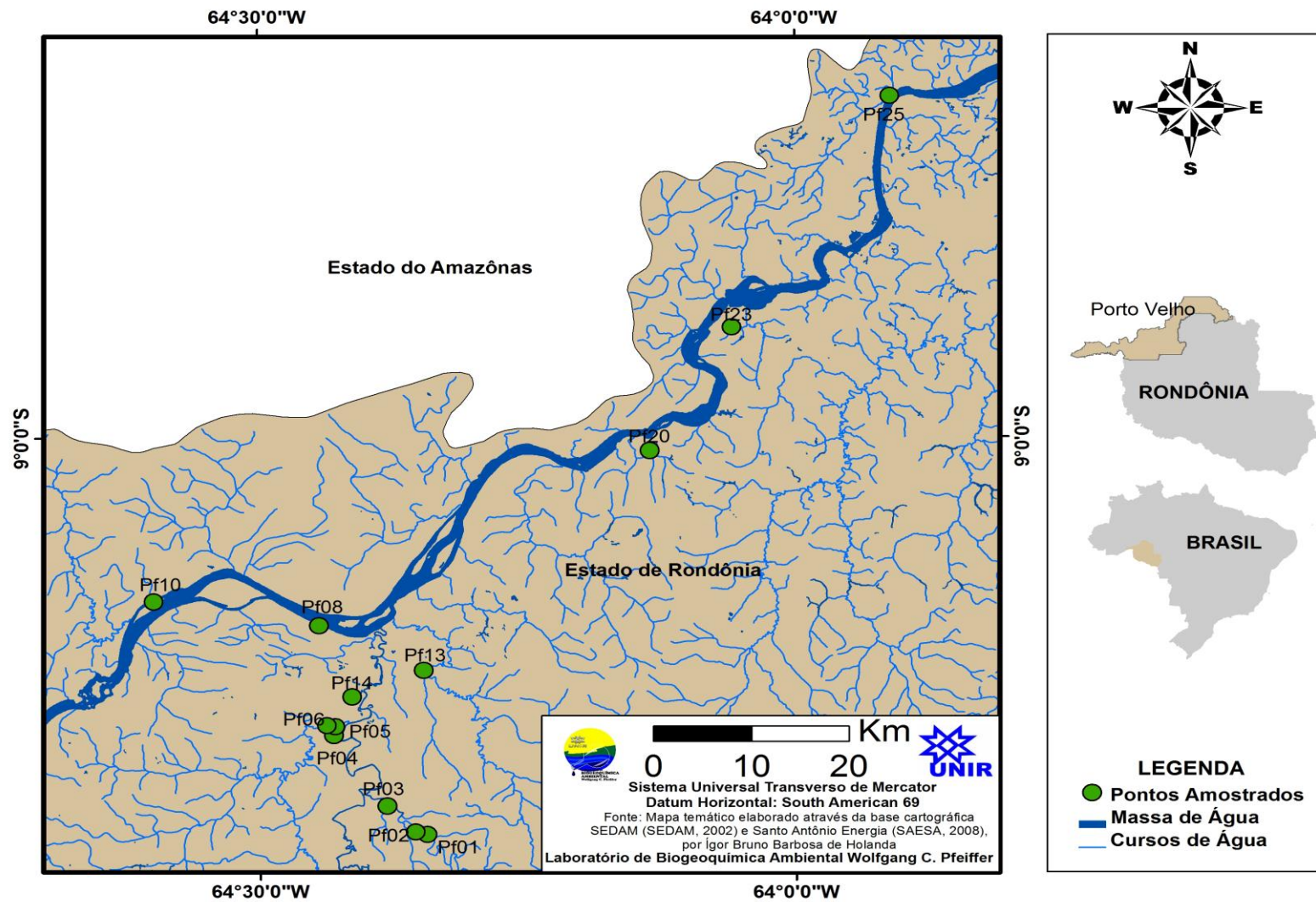


Figura IX.1: Mapa da área de estudo evidenciando os pontos amostrais de solo.

IX.1.2 Procedimento de Análise

Para a análise em laboratório foi retirada uma amostra de aproximadamente 1 kg (peso úmido) de solo em cada camada. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos com finalidade de preservar o material e evitar possíveis contaminações e danos no transporte até o laboratório para posterior tratamento analítico. No laboratório as amostras de solos passaram por um processo gravimétrico de separação (peneiração a úmido), reduzindo-as a uma fração menor que 0,075mm ou 200 *mesh*.

Para a quantificação de Hg-T foi feita a solubilização das amostras seguindo o protocolo da técnica proposta por Bastos et al. (1998). A análise de Hg-T foi realizada em espectrofotômetro de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio (FIMS-400, Perkin Elmer). Equipado com um sistema de injeção de fluxo (FIAS) com amostrador automático AS-90 utilizando o *software* Winlab-Perkin-Elmer.

Para a quantificação da fração fortemente ligada de Zn, Co, Cr, Cu, Fe, Mn e Pb na matriz do solo, seguimos o protocolo proposto por Campos (2003) com sistema aberto de digestão usando HNO₃ e HCl (1:3) que equivale ao método empregado pela USEPA-3050. A quantificação das amostras foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica de chama.

IX. 3 RESULTADOS

Na tabela IX.2 estão apresentados os resultados dos elementos Mercúrio (Hg), Cobalto (Co), Cromo (Cr), Níquel (Ni), Chumbo (Pb), Cobre (Cu), Manganês (Mn), Ferro (Fe) e Zinco (Zn). A seguir são apresentados os resultados da análise estatística para cada um desses elementos. Foram comparadas as diferentes camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012. Os resultados foram expressos em média ± desvio padrão.

Tabela IX.2. Resultados da concentrações dos elementos traço no solos das diferentes camadas (superficial e sub-superficial) da campanha de outubro de 2012 na área de influência do Reservatório da UHE Santo Antônio.

Código de Campo	Camada	Hg (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
Pf. 01	Superficial	0,11	3,27	9,00	3,69	22,45	2,26	51,83	12325,25	19,18
	Subsuperficial	0,13	2,6	9,51	3,65	20,26	1,89	7,15	8879,90	18,45
Pf. 02	Superficial	0,18	1,83	6,83	2,40	15,74	0,69	5,52	9767,02	7,01
	Subsuperficial	0,25	2,04	7,90	2,93	17,54	0,90	3,72	13083,58	7,84
Pf. 03	Superficial	0,16	2,19	7,66	2,99	15,29	0,99	14,17	6915,12	14,58
	Subsuperficial	0,16	1,74	6,88	2,25	17,28	0,36	7,27	6804,08	10,94
Pf. 04	Superficial	0,12	2,46	7,70	2,41	15,03	3,44	1,45	20051,83	4,72
	Subsuperficial	0,15	2,56	9,68	3,36	17,87	2,94	0,06	24178,58	7,21
Pf. 05	Superficial	0,10	1,83	8,29	2,61	14,60	0,86	9,72	10188,32	5,33
	Subsuperficial	0,11	2,16	9,49	2,59	15,70	1,04	9,77	12676,32	5,50
Pf. 06	Superficial	0,13	0,81	6,62	2,50	10,20	0,72	8,08	3362,49	4,97
	Subsuperficial	0,17	0,94	5,63	2,41	11,13	0,41	6,53	3591,25	3,80
Pf. 08	Superficial	0,15	2,44	7,70	3,76	15,32	8,75	62,18	22307,17	16,17
	Subsuperficial	0,21	2,77	10,64	4,82	14,94	8,73	28,32	29454,36	15,39
Pf. 10	Superficial	0,06	11,91	10,88	20,54	17,74	16,62	297,21	28729,11	61,02
	Subsuperficial	0,06	12,00	10,26	20,29	17,98	15,53	276,32	30040,55	60,87
Pf. 13	Superficial	0,18	2,26	10,86	2,69	15,06	2,08	10,81	19045,55	6,43
	Subsuperficial	0,18	2,67	12,23	4,92	19,70	2,37	11,54	23094,50	5,07
Pf. 14	Superficial	0,11	1,46	8,43	2,58	14,54	2,89	13,97	9679,22	4,31
	Subsuperficial	0,12	1,43	9,02	3,08	16,38	3,24	16,20	10851,99	5,04
Pf. 20	Superficial	0,07	1,96	7,52	2,04	14,08	5,31	5,74	24469,39	7,01
	Subsuperficial	0,04	1,07	4,85	1,64	11,07	2,37	7,52	10720,12	5,64
Pf. 23	Superficial	0,15	4,84	10,42	9,21	15,50	4,39	317,21	35319,65	36,85

Código de Campo	Camada	Hg (mg/kg)	Co (mg/kg)	Cr (mg/kg)	Ni (mg/kg)	Pb (mg/kg)	Co (mg/kg)	Mn (mg/kg)	Fe (mg/kg)	Zn (mg/kg)
	Subsuperficial	0,10	4,27	11,58	8,72	17,75	5,12	196,13	41577,00	36,16
Pf. 25	Superficial	0,09	3,68	6,14	2,67	11,81	4,65	20,04	37514,72	12,24
	Subsuperficial	0,10	3,36	6,50	3,15	13,55	4,14	9,99	38965,99	10,41
	Média	0,13	3,10	8,55	4,77	15,71	3,95	53,79	18984,35	15,08
	Máximo	0,25	12,00	12,23	20,54	22,45	16,62	317,21	41577,00	61,02
	Mínimo	0,04	0,81	4,85	1,64	10,20	0,36	0,06	3362,49	3,80
CONAMA	420/2009	0,50	25,00	75,00	30,00	72,00	60,00	-	-	300,00

IX. 3.1. Mercúrio (Hg)

Os resultados analíticos de Hg-T englobando as camadas avaliadas em 2008 foi de $0,11 \pm 0,04$ mg/kg, e em 2010 foi de $0,13 \pm 0,05$ mg/kg. A média das concentrações de Hg-T por camada na campanha de 2008 foi de $0,11 \pm 0,03$ mg/kg para a camada superficial e de $0,12 \pm 0,03$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 as médias obtidas foram $0,12 \pm 0,03$ mg/kg na camada superficial e $0,13 \pm 0,05$ mg/kg na camada subsuperficial. Não foi observada diferença significativa ($p=0,267$) entre os resultados de Hg-T obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Figura IX.2). Para o elemento Hg, os resultados encontrados nas duas campanhas estão abaixo do valor de prevenção para solos que é de 0,50 mg/kg (Resolução CONAMA 420/09).

Tabela IX.3. Resultados das concentrações de Hg-T nos solos das camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Hg-T (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	$0,11 \pm 0,04$	$0,13 \pm 0,05$
Superficial	$0,11 \pm 0,03$	$0,12 \pm 0,03$
Subsuperficial	$0,12 \pm 0,03$	$0,13 \pm 0,05$
<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>0,50 mg/kg</i>	

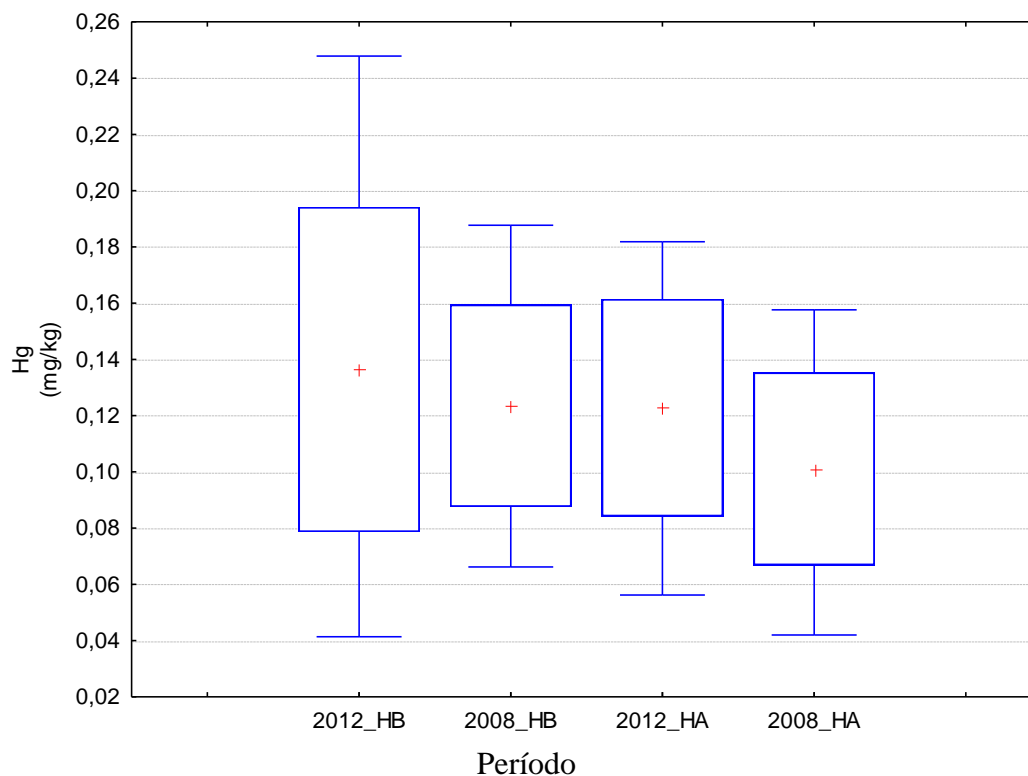


Figura IX.2. Concentração de Hg-T em (mg/kg) nos solos avaliados na campanha de 2008 nas camadas superficial (2008_HA) e subsuperficial (2008_HB) e na campanha de 2012 nas camadas superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.2 Cobalto (Co)

Na campanha de 2008, a média das concentrações de cobalto foi de $1,49 \pm 1,30$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média foi de $3,10 \pm 2,78$ mg/kg. A média das concentrações de cobalto por camada na campanha de 2008 foi de $1,33 \pm 1,12$ mg/kg para a camada superficial e de $1,65 \pm 1,48$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 as médias obtidas foram $3,15 \pm 2,8$ mg/kg na camada superficial, e $3,04 \pm 2,84$ mg/kg na camada subsuperficial. Foi observada diferença significativa ($p= 0,002$) entre os resultados de cobalto obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Figura IX.3). A média das concentrações da camada superficial na primeira avaliação (2008) dos solos teve diferença em relação a média das concentrações nas camadas avaliadas no ano de 2012 (Tabela IX.4). Entretanto, a camada subsuperficial não apresentou diferença entre os demais resultados. Este fato tende a demonstrar uma maior variação deste elemento na camada superficial do solo com incremento na segunda avaliação dos solos. Para o elemento cobalto, os resultados encontrados nas duas campanhas estão

abaixo do valor de prevenção para solos que é de 25 mg/kg (Resolução CONAMA 420/2009).

Tabela IX.4. Resultados das concentrações de cobalto nos solos das camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Cobalto (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	1,49 ± 1,30	3,10 ± 2,78
Superficial	1,33 ± 1,12	3,15 ± 2,80
Subsuperficial	1,65 ± 1,48	3,04 ± 2,84

<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>25 mg/kg</i>
--------------------------------	-----------------

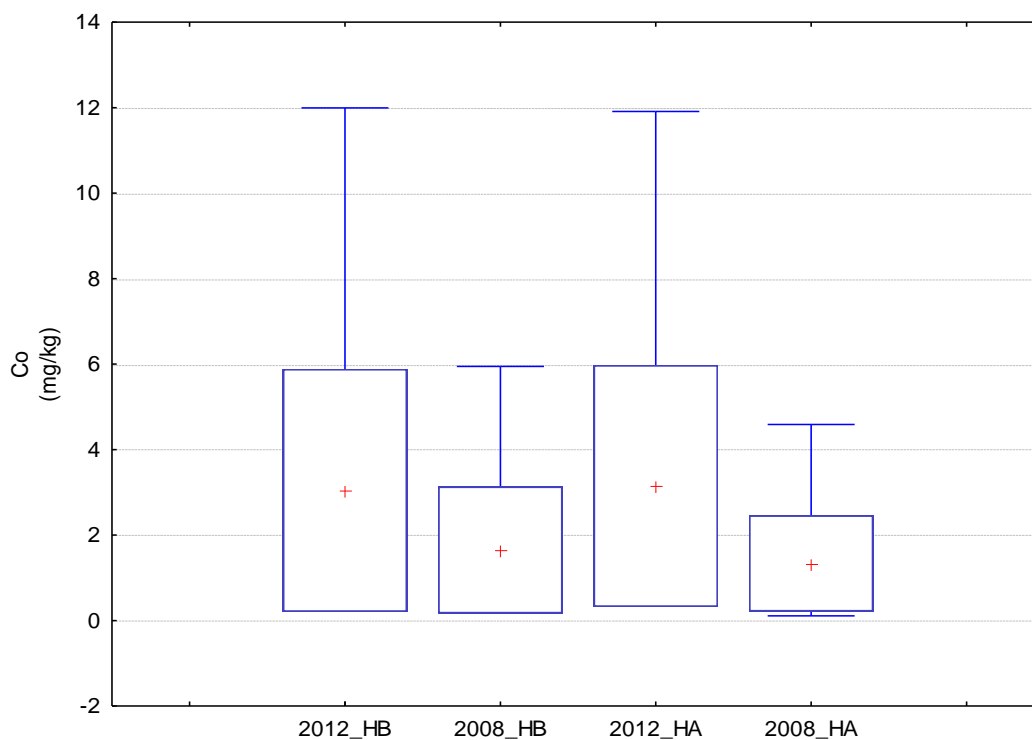


Figura IX.3. Concentração de cobalto em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.3 Cromo

Na campanha de 2008, a média das concentrações de cromo foi de $6,14 \pm 2,51$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de cromo foi

de $8,55 \pm 1,93$ mg/kg. A média das concentrações de cromo por camada na campanha de 2008 foi de $5,45 \pm 2,22$ mg/kg para a camada superficial e de $6,82 \pm 2,67$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi $8,31 \pm 1,56$ mg/kg na camada superficial, e $8,78 \pm 2,27$ mg/kg na camada subsuperficial. Foi observada diferença significativa ($p= 0,004$) entre os resultados de cromo obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Figura IX.4). Assim como no caso do cobalto, a camada superficial na primeira avaliação (2008) dos solos teve diferença em relação as camadas avaliadas no ano de 2012 (Tabela IX.5). Entretanto, a camada subsuperficial não apresentou diferença entre os demais resultados. Este fato tende a demonstrar uma maior variação deste elemento na camada superficial do solo com incremento na segunda avaliação dos solos. Para o elemento cromo, os resultados encontrados nas duas campanhas estão abaixo do valor de prevenção para solos que é de 75 mg/kg (Resolução CONAMA 420/09).

Tabela IX.5. Resultados das concentrações de cromo nos solos das diferentes camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Cromo (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	$6,14 \pm 2,51$	$8,55 \pm 1,93$
Superficial	$5,45 \pm 2,22$	$8,31 \pm 1,56$
Subsuperficial	$6,82 \pm 2,67$	$8,78 \pm 2,27$
<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>75 mg/kg</i>	

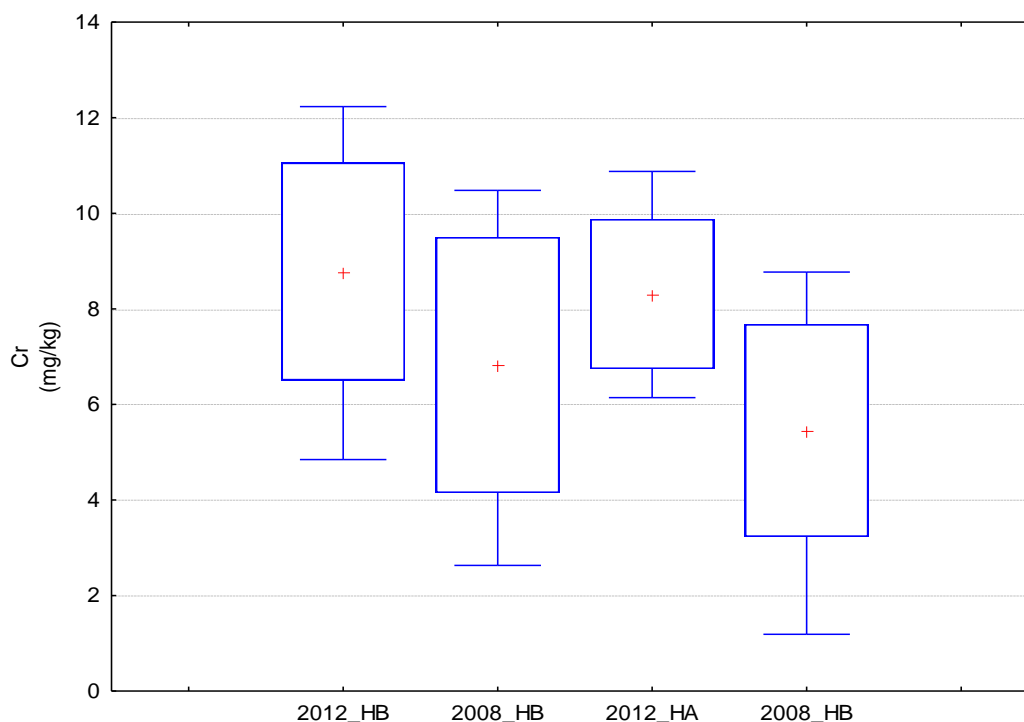


Figura IX.4. Concentração de cromo em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.4 Níquel

Na campanha de 2008, a média das concentrações de cromo foi de $6,14 \pm 2,51$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de níquel foi de $8,55 \pm 1,93$ mg/kg. A média das concentrações de níquel por camada na campanha de 2008 foi de $3,10 \pm 3,47$ mg/kg para a camada superficial e de $3,38 \pm 4,37$ mg/kg para a camada subsuperficial.

Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi $4,62 \pm 5,12$ mg/kg na camada superficial, e $4,90 \pm 4,95$ mg/kg na camada subsuperficial. Foi observada diferença significativa ($p= 0,006$) entre os resultados de níquel obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Figura IX.5). A camada superficial na primeira avaliação (2008) apresentou menores valores em relação a camada subsuperficial no ano de 2012, entretanto não foi encontrada diferença significativa entre as camadas da campanha de 2012 (Tabela IX.6). Para o elemento níquel, os resultados encontrados nas duas campanhas estão abaixo do valor de prevenção para solos que é de 30 mg/kg (Resolução CONAMA 420/09).

Tabela IX.6. Resultados das concentrações de níquel nos solos das camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Níquel (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	6,14 ± 2,51	8,55 ± 1,93
Superficial	3,10 ± 3,47	4,62 ± 5,12
Subsuperficial	3,38 ± 4,37	4,90 ± 4,95

<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>30 mg/kg</i>
--------------------------------	-----------------

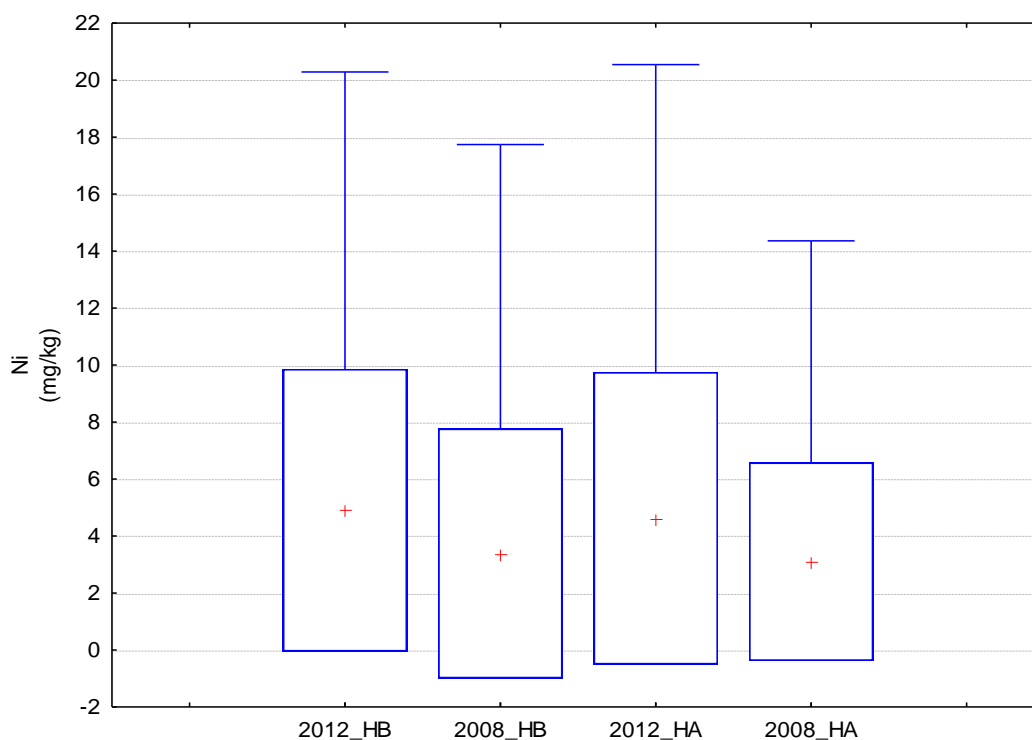


Figura IX.5. Concentração de níquel em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.5 Chumbo

Na campanha de 2008, a média das concentrações de chumbo foi de $6,73 \pm 3,08$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de chumbo foi de $15,71 \pm 2,87$ mg/kg. A média das concentrações de chumbo por camada na campanha de 2008 foi de $6,74 \pm 3,31$ mg/kg para a camada superficial e de $6,72 \pm 2,97$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi $15,18 \pm 2,85$ mg/kg na camada superficial, e $16,24 \pm 2,9$ mg/kg

na camada subsuperficial. Foi observada diferença significativa ($p < 0,0001$) entre os resultados de chumbo obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Figura IX.6). A camada superficial na primeira avaliação (2008) apresentou menores valores em relação a camada subsuperficial no ano de 2012, entretanto não foi encontrada diferença significativa entre as camadas da campanha de 2012 (Tabela IX.7). Para o elemento chumbo, os resultados encontrados nas duas campanhas estão abaixo do valor de prevenção para solos que é de 72,00 mg/kg (Resolução CONAMA 420/09).

Tabela IX.7. Resultados das concentrações de chumbo nos solos das camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Chumbo (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	6,73 ± 3,08	15,71 ± 2,87
Superficial	6,74 ± 3,31	15,18 ± 2,85
Subsuperficial	6,72 ± 2,97	16,24 ± 2,9
<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>72,00 mg/kg</i>	

O Camada superficial assim como o subsuperficial no ano de 2008 apresentou um incremento em relação ao ano de 2012. Os resultados encontrados estiveram abaixo do valor de prevenção para solos preconizados pela resolução CONAMA 420/09 para o elemento chumbo de 72,00 mg/kg.

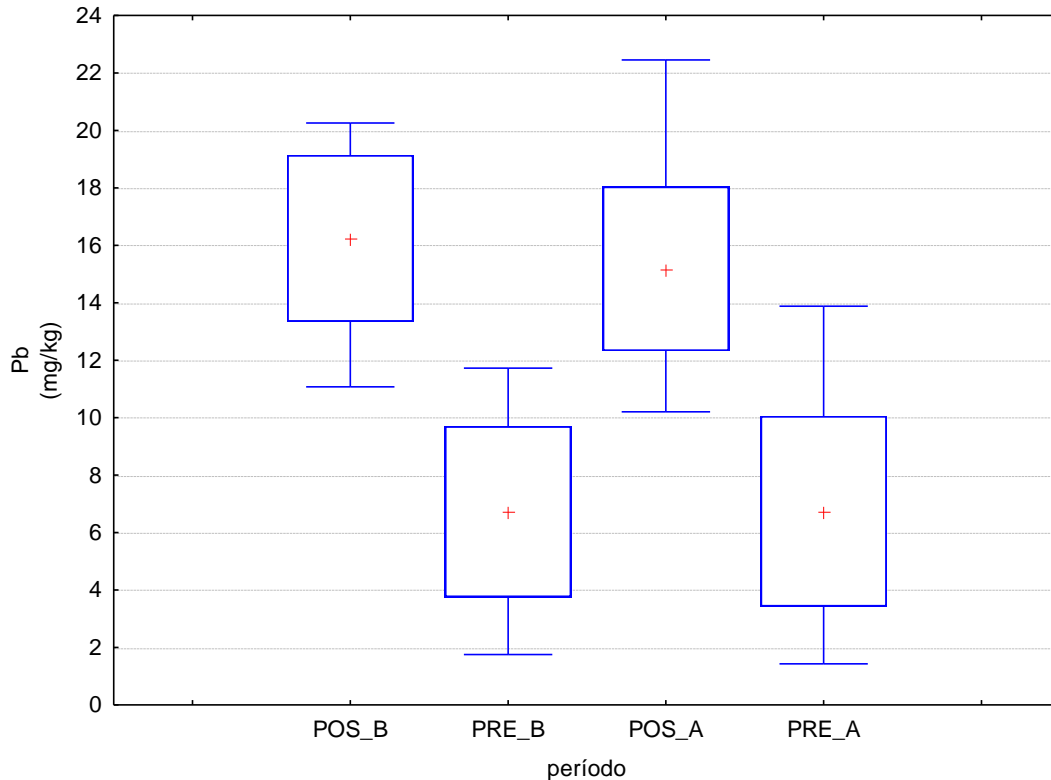


Figura IX.6. Concentração de chumbo em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.6 Cobre

Na campanha de 2008, a média das concentrações de cobre foi de $5,61 \pm 4,11$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de cobre foi de $3,95 \pm 4,22$ mg/kg. A média das concentrações de cobre por camada na campanha de 2008 foi de $5,28 \pm 3,27$ mg/kg para a camada superficial e de $5,94 \pm 4,92$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi $4,12 \pm 4,40$ mg/kg na camada superficial, e $3,77 \pm 4,20$ mg/kg na camada subsuperficial. Não foi observada diferença significativa ($p= 0,195$) entre os resultados de cobre obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Tabela IX.8 e Figura IX.7). Para o elemento cobre, os resultados encontrados nas duas campanhas estão abaixo do valor de prevenção para solos que é de 60,00 mg/kg (Resolução CONAMA 420/09).

Tabela IX.8. Resultados das concentrações de cobre nos solos das camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Cobre (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	5,61 ± 4,11	3,95 ± 4,22
Superficial	5,28 ± 3,27	4,12 ± 4,40
Subsuperficial	5,94 ± 4,92	3,77 ± 4,20

<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>60,00 mg/kg</i>
--------------------------------	--------------------

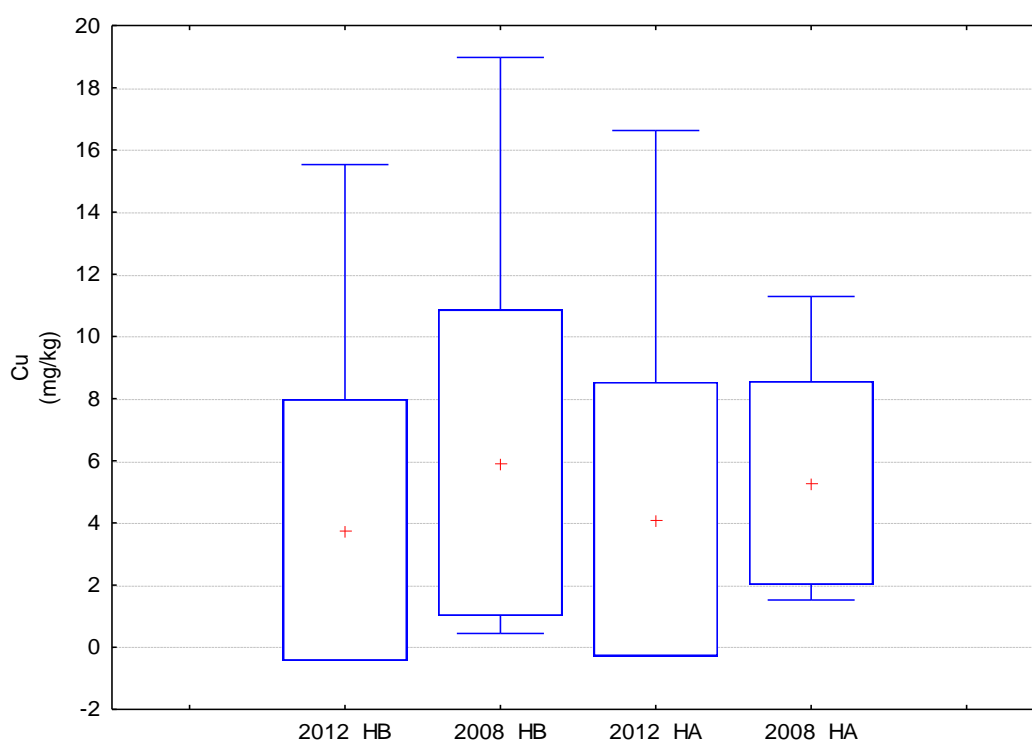


Figura IX.7. Concentração de cobre em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.7 Manganês

Na campanha de 2008, a média das concentrações de manganês foi de $52,24 \pm 110,40$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de manganês foi de $53,79 \pm 97,52$ mg/kg. A média das concentrações de manganês por camada na campanha de 2008 foi de $51,92 \pm 94,18$ mg/kg para a camada superficial e

de $52,55 \pm 128,53$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi $62,91 \pm 109,99$ mg/kg na camada superficial, e $44,65 \pm 86,84$ mg/kg na camada subsuperficial. Não foi observada diferença significativa ($p= 0,211$) entre os resultados de manganês obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Tabela IX.9 e Figura IX.8). Segundo a resolução CONAMA 420/09 para o elemento manganês não há valor de prevenção.

Tabela IX.9. Resultados das concentrações de manganês nos solos das diferentes camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Manganês (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média \pm DP)	Campanha 2012 (Média \pm DP)
Superficial + Subsuperficial	$52,24 \pm 110,40$	$53,79 \pm 97,52$
Superficial	$51,92 \pm 94,18$	$62,91 \pm 109,99$
Subsuperficial	$52,55 \pm 128,53$	$44,65 \pm 86,84$
<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>não há valor de prevenção</i>	

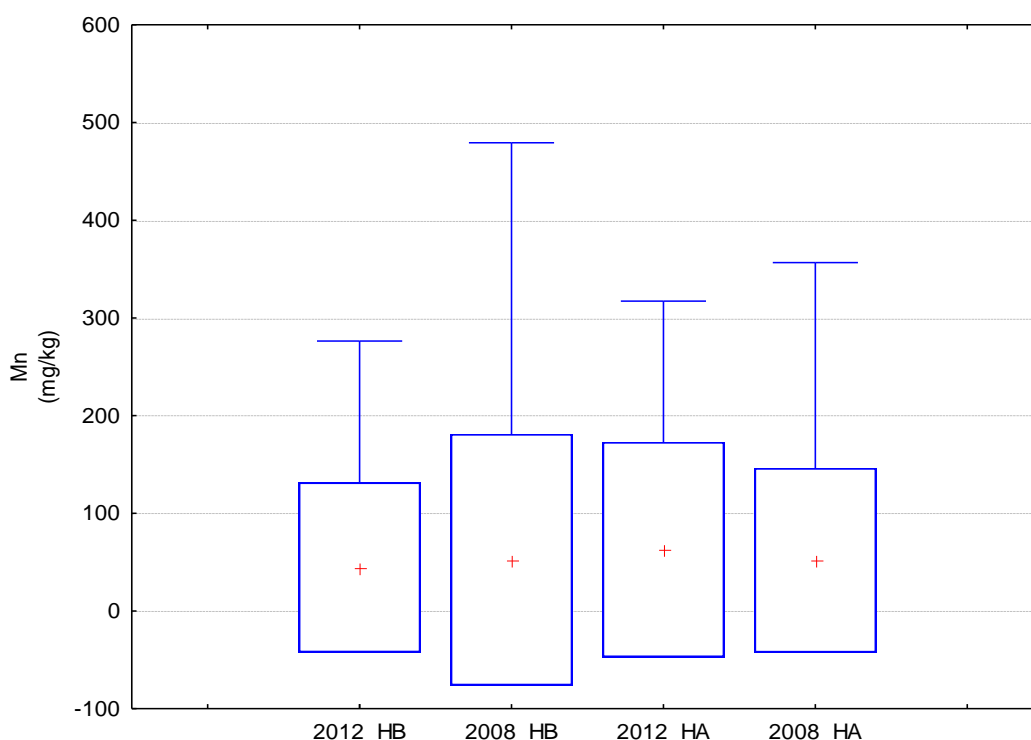


Figura IX.8. Concentração de manganês em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.8 Ferro

Na campanha de 2008, a média das concentrações de ferro foi de 16790 ± 15579 mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de ferro foi de 18984 ± 11298 mg/kg. A média das concentrações de ferro por camada na campanha de 2008 foi de 15588 ± 14981 mg/kg para a camada superficial e de 17992 ± 16675 mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi 18436 ± 10903 mg/kg na camada superficial, e 19532 ± 12509 mg/kg na camada subsuperficial. Não foi observada diferença significativa ($p=0,617$) entre os resultados de ferro obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Tabela IX.10 e Figura IX.9). Segundo a resolução CONAMA 420/09 para o elemento ferro não há valor de prevenção.

Tabela IX.10. Resultados das concentrações de ferro nos solos das diferentes camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Ferro (mg/kg)	
	Campanha 2008	Campanha 2012

	(Média ± DP)	(Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	16790 ± 15579	18984 ± 11298
Superficial	15588 ± 14981	18436 ± 10903
Subsuperficial	17992 ± 16675	19532 ± 12509

<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>não há valor de prevenção</i>
--------------------------------	----------------------------------

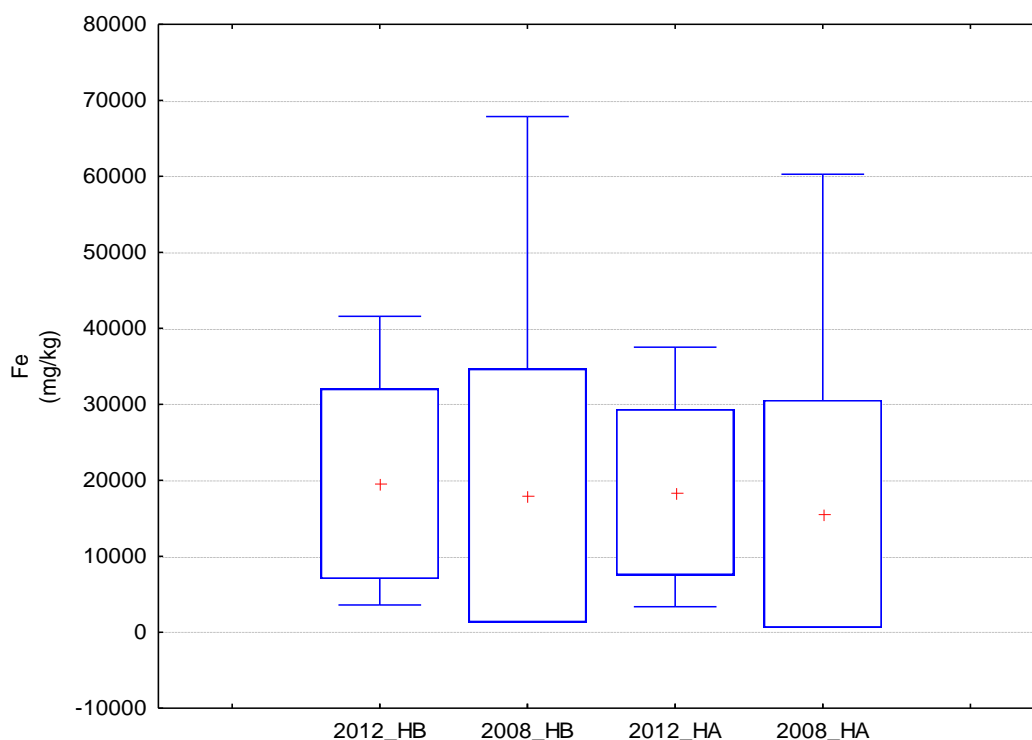


Figura IX.9. Concentração de ferro em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

IX.3.9 Zinco

Na campanha de 2008, a média das concentrações de zinco foi de $14,46 \pm 19,77$ mg/kg, enquanto que na campanha de 2012 a média das concentrações de zinco foi de $15,08 \pm 16,06$ mg/kg. A média das concentrações de zinco por camada na campanha de 2008 foi de $12,88 \pm 14,47$ mg/kg para a camada superficial e de $16,04 \pm 24,49$ mg/kg para a camada subsuperficial. Na campanha de 2012 a média dos resultados obtidos foi $15,37 \pm 16,42$ mg/kg na camada superficial, e $14,79 \pm 16,36$ mg/kg na camada subsuperficial. Não foi observada diferença significativa ($p= 0,999$) entre os resultados de zinco obtidos nas camadas superficial e subsuperficial das campanhas de 2008 e 2012 (Tabela IX.11 e Figura IX.10). Para o elemento zinco, os

resultados encontrados nas duas campanhas estão abaixo do valor de prevenção para solos que é de 300 mg/kg (Resolução CONAMA 420/09).

Tabela IX.11. Resultados das concentrações de zinco nos solos das diferentes camadas superficial (n=13) e subsuperficial (n=13) das campanhas de 2008 e 2012.

Camada	Zinco (mg/kg)	
	Campanha 2008 (Média ± DP)	Campanha 2012 (Média ± DP)
Superficial + Subsuperficial	14,46 ± 19,77	15,08 ± 16,06
Superficial	12,88 ± 14,47	15,37 ± 16,42
Subsuperficial	16,04 ± 24,49	14,79 ± 16,36

<i>Resolução Conama 420/09</i>	<i>300,00 mg/kg</i>
--------------------------------	---------------------

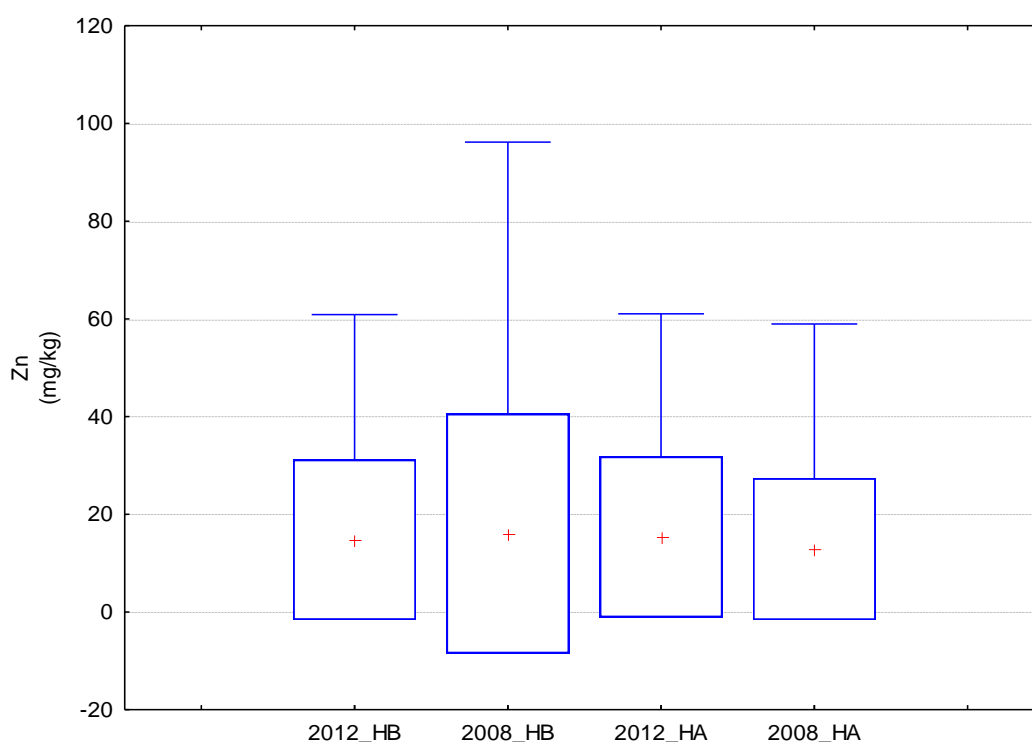


Figura IX.10. Concentração de zinco em mg/kg nos solos avaliados no ano de 2008 camada superficial (2008_HA) subsuperficial (2008_HB) e no ano de 2012 camada superficial (2012_HA) e subsuperficial (2012_HB).

Na reavaliação dos solos podemos observar que as concentrações dos os elementos Hg, Fe, Cu e Zn não apresentaram diferenças significativas em suas concentrações comparando as campanhas de 2008 e 2012. Entretanto, as concentrações dos elementos Cr, Co e Ni demonstraram um incremento em suas

concentrações comparando a amostragem realizada no ano de 2008 com a realizada em 2012. Esta variação foi verificada na camada superficial do solo.

O elemento Pb apresentou aumento na camada superficial e subsuperficial do solo. A dinâmica deste elemento, considerado o poluente da vida moderna, pode estar associada a pressão antrópica que a região vem sofrendo, principalmente com o aumento populacional e atividades no entorno das áreas avaliadas. As atividades antropogênicas, como utilização de pastagem, podem aumentar a concentração de elementos traço. Herpin et al. (2001) ao comparar a distribuição de 29 elementos químicos entre área de floresta e pastagem em solos do estado de Rondônia concluiu que houve um incremento na concentração dos elementos estudados na área desmatada para atividade de pecuária de pastagem.

A resolução CONAMA 420/2009 apresenta valores de prevenção para qualidade de solos, entretanto os valores de referência de qualidade (VRQ) de solos por serem heterogêneos são estipulados pelos Estados. Os estudos regionais devem levar em consideração as diferenças geológicas, hídricas e pedológicas para buscar valores que representem o *background* natural de elementos químicos em solos com pouca interferência antropogênica.

Embora o estado de Rondônia não possua valores de referência de qualidade de solos, comparando os resultados com os valores de prevenção preconizado pela resolução CONAMA 420/2009, todos os valores encontrados estão abaixo do preconizados pela referida legislação.

IX.4 Conclusões

- ✓ O elemento Hg não apresentou incremento significativo em sua concentração nos solos da região comparando as campanhas de 2008 e 2012;
- ✓ Dos demais elementos quantificados, o Fe, Zn e Mn apresentaram a mesma dinâmica do Hg, isto é, não apresentaram diferença significativa entre campanhas de 2008 e 2012;
- ✓ Os elementos Cr, Pb, Co e Ni apresentaram um incremento significativo em suas concentrações na campanha realizada no ano de 2012 em comparação a campanha realizada em 2008;

- ✓ Todos os valores encontrados neste monitoramento de solos apresentaram concentrações abaixo dos valores de prevenção de solos preconizado pela legislação vigente (CONAMA 420/09).

X. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Estudamos a hidrobiogeoquímica do mercúrio na bacia do rio Madeira, área de influência do Reservatório da UHE Santo Antonio, desde 1987 e a partir do ano 2000 com mais ênfase em função do levantamento para EIA-RIMA que finalizou na licença dos empreendimentos (UHE SAE e Jiraú) e, em seguida o monitoramento de Pré e Pós-enchimento do Reservatório de Santo Antônio. Nos períodos de Pré (antes de dez/2011) e Pós enchimento (a partir de janeiro de 2012) amostras abióticas (água – frações total e dissolvida; MPS; sedimento de fundo; solos; solos de supressão e canteiro de obras – este um homogeneizado de fragmentos de rochas, solos e sedimentos) e bióticas (plânctons, macrófitas aquáticas, macroinvertebrados, crocodilianos e peixes) foram e estão sendo coletadas e analisadas trimestralmente. Os principais resultados são apresentados a seguir:

- ✓ Todos os valores encontrados de Hg-T na água estão abaixo do preconizado pela resolução CONAMA 357/05 que é de 0,0002 mg/L (200 ng/L). As médias variaram de $3,38 \pm 2,17$ ng/L nos tributários a montante à $8,14 \pm 5,55$ ng/L no rio Madeira a jusante do reservatório da UHE Santo Antônio;
- ✓ Maiores médias de Hg-T na água não filtrada (fração total) no rio Madeira tanto a montante ($7,13 \pm 3,99$ ng/L) quanto a jusante ($8,14 \pm 5,55$ ng/L) do reservatório da UHE Santo Antônio, quando comparado com as médias dos Tributários a montante ($3,38 \pm 2,17$ ng/L) e a jusante ($6,16 \pm 6,57$ ng/L);
- ✓ Com relação as concentrações de Hg-T em água não filtrada (fração total) no epilímnio (superfície) e no hipolímnio (fundo), não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as médias das águas superficiais ($5,38 \pm 4,47$ ng/L) com as de fundo ($4,50 \pm 2,95$ ng/L);
- ✓ Não foram observadas diferenças significativas quando comparadas as médias das concentrações de Hg-T na água filtrada (fração dissolvida) a montante (Tributários: $1,55 \pm 0,87$ ng/L; Rio Madeira: $1,61 \pm 1,05$ ng/L) e a jusante (Tributários: $1,93 \pm 1,29$ ng/L; Rio Madeira: $1,70 \pm 0,953$ ng/L) da barragem da UHE Santo Antônio durante o período de Pós-Enchimento;
- ✓ Em relação as concentrações de MeHg na água não filtrada (fração total) foi possível observar que não houve diferença significativa entre as médias do Pré-

enchimento (Tributários Montante: $0,118 \pm 0,118$ ng/L; Tributários Jusante: $0,201 \pm 0,211$ ng/L; Rio Madeira Montante: $0,105 \pm 0,100$ ng/L; Rio Madeira Jusante: $0,113 \pm 0,105$ ng/L) e do Pós-Enchimento (Tributários Montante: $0,155 \pm 0,178$ ng/L; Tributários Jusante: $0,126 \pm 0,066$ ng/L; Rio Madeira Montante: $0,059 \pm 0,042$ ng/L; Rio Madeira Jusante: $0,084 \pm 0,046$ ng/L);

- ✓ Em relação as concentrações de MeHg na água filtrada (fração dissolvida) foram observadas diferenças significativas entre o Pré e o Pós-enchimento a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio nos pontos do Rio Madeira e tributários. Houve um aumento significativo nas concentrações de metilmercúrio nos tributários a montante no Pós-enchimento ($0,078 \pm 0,099$ ng/L) quando comparado com os tributários a montante no Pré-enchimento ($0,070 \pm 0,066$ ng/L). Entretanto foi observada uma diminuição significativa na concentração de metilmercúrio no Rio Madeira a montante no período de Pós-Enchimento ($0,034 \pm 0,023$ ng/L) quando comparado com o período de Pré-enchimento ($0,047 \pm 0,018$ ng/L);
- ✓ Com relação ao MeHg na água não filtrada (fração total), foi possível observar que houve diferença significativa nas águas superficiais e de fundo dos tributários. As maiores concentrações de MeHg na fração total foram observadas nas águas coletadas no fundo dos tributários a montante ($0,195 \pm 0,187$ ng/L) e a jusante ($0,312 \pm 0,202$ ng/L). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre as profundidades no Rio Madeira tanto a montante (superfície: $0,033 \pm 0,018$ ng/L; fundo: $0,057 \pm 0,044$ ng/L) quanto a jusante (superfície: $0,049 \pm 0,029$ ng/L; fundo: $0,100 \pm 0,102$ ng/L) do Reservatório da UHE Santo Antônio;
- ✓ Com relação MeHg na água filtrada (fração dissolvida), foi possível observar diferença que houve significativa nas águas superficiais e de fundo do Rio Madeira a montante do Reservatório. Os valores nas águas coletadas no fundo do Rio Madeira ($0,040 \pm 0,035$ ng/L) foram maiores que os valores das águas superficiais ($0,033 \pm 0,018$ ng/L). O mesmo padrão foi observado nos tributários a jusante do Reservatório quando comparados as águas superficiais ($0,054 \pm 0,030$ ng/L) com as de fundo ($0,195 \pm 0,155$ ng/L). Entretanto, não foi observada diferença significativa entre os valores dos tributários a montante (superfície: $0,087 \pm 0,118$ ng/L; fundo: $0,090 \pm 0,087$ ng/L) do Rio Madeira a jusante (superfície: $0,049 \pm 0,029$ ng/L; fundo: $0,094 \pm 0,125$ ng/L) do Reservatório;

- ✓ Com relação ao Material Particulado em Suspensão, os elementos cobalto (Pré: $19,28 \pm 20,76$ mg/kg; Pós: $40,67 \pm 62,92$ mg/kg), chumbo (Pré: $35,19 \pm 19,50$ mg/kg; Pós: $152,09 \pm 141,03$ mg/kg), cromo (Pré: $29,78 \pm 22,44$ mg/kg; Pós: $99,01 \pm 89,41$ mg/kg) e manganês (Pré: 619 ± 550 mg/kg; Pós: 1212 ± 1428 mg/kg) apresentaram um acréscimo no período de pós-enchimento nos tributários de montante, entretanto não se diferenciaram nos tributários de jusante e estações do rio Madeira;
- ✓ No MPS, o cobre apresentou um acréscimo nas estações de monitoramento dos tributários a montante (Pré: $10,04 \pm 8,69$ mg/kg; Pós: $53,95 \pm 81,90$ mg/kg) e nas estações do rio Madeira no período de pós-enchimento a montante (Pré: $22,08 \pm 10,11$ mg/kg; Pós: $31,73 \pm 8,60$ mg/kg) e a jusante (Pré: $20,27 \pm 8,71$ mg/kg; Pós: $27,73 \pm 5,32$ mg/kg) do reservatório;
- ✓ No MPS, o ferro apresentou uma tendência de acréscimo em sua concentração nas estações a montante (Pré: 50834 ± 37282 mg/kg; Pós: $63902 \pm 89,41$ mg/kg) dos tributários e rio Madeira (Pré: 36881 ± 32496 mg/kg; Pós: 58221 ± 47659 mg/kg;) no período de pós-enchimento;
- ✓ No MPS, os elementos zinco e níquel não apresentaram diferenciação entre os períodos avaliados;
- ✓ No MPS, o elemento Hg-T apresentou os maiores teores nos tributários a montante nos períodos de pré ($0,215 \pm 0,139$ mg/kg) e pós-enchimento ($0,573 \pm 0,673$ mg/kg) do reservatório. Foi possível observar uma tendência de incremento no período de pós-enchimento nas estações do Rio Madeira a montante (Pré: $0,068 \pm 0,021$ mg/kg; Pós: $0,179 \pm 0,242$ mg/kg) e a jusante (Pré: $0,070 \pm 0,021$ mg/kg; Pós: $0,168 \pm 0,285$ mg/kg) do reservatório. Não houve diferença entre as estações de montante e jusante do Rio Madeira, sugerindo que a carga de mercúrio que está associada ao MPS a montante está sendo exportada igualmente à jusante;
- ✓ No MPS, o MeHg apresentou maiores concentrações nos tributários a montante ($0,018 \pm 0,019$ mg/kg). Não houve diferenciação entre os sistemas de montante e jusante do eixo da barragem;
- ✓ No MPS, não houve diferenciação entre as diferentes profundidades (superfície e fundo) das estações de monitoramento;

- ✓ Em relação ao Hg-T no sedimento de fundo não houve variação comparando o período de pré-enchimento com o pós-enchimento do reservatório até o momento;
- ✓ As concentrações de Hg-T e MeHg no sedimento de fundo são maiores nos tributários em relação as estações de coleta no rio Madeira;
- ✓ Não houve variação na porcentagem de MeHg no sedimento de fundo em relação ao Hg-T nos sistemas avaliados (tributários e rio Madeira);
- ✓ Em relação aos demais elementos traço, pode-se observar que os elementos cobalto, cromo, níquel e zinco não sofreram variação no sedimento de fundo quando comparado o pré-enchimento com pós-enchimento;
- ✓ O elemento cobre apresentou grupos distintos em relação a sua concentração nos sistemas avaliados, não apresentando uma dinâmica bem definida no sedimento de fundo;
- ✓ O elemento chumbo apresentou um incremento em sua concentração no sedimento de fundo no período de pós-enchimento nos sistemas avaliados;
- ✓ O elemento manganês apresentou diminuição em sua concentração no sedimento de fundo das estações de monitoramento do rio Madeira no período de pós-enchimento. Nos tributários não houve variação na concentração de manganês quando comparado o período de pré e pós-enchimento;
- ✓ O elemento ferro apresentou um decréscimo em sua concentração média no sedimento de fundo no período de pós-enchimento em todos os sistemas avaliados até o momento;
- ✓ Todos os elementos avaliados potencialmente comparáveis com a Resolução CONAMA 454/12 estiveram abaixo do limite preconizado pela referida legislação para sedimento de fundo;
- ✓ Em relação aos peixes, algumas espécies de hábitos alimentares piscívoro, carnívoros e planctívoros, apresentaram médias das concentrações de Hg com níveis superiores aos estabelecidos pela ANVISA. As espécies que apresentaram as maiores concentrações de Hg no pré-enchimento e continuam mantendo estes altos níveis: *Hydrolycus scomberoides*, *Rhaphiodon vulpinus*, *Brachyplatystoma rousseauxii*, *Calophysus macropterus*, *Hypophthalmus marginatus*, *Hypophthalmus edentatus*;

- ✓ Com relação às Macrófitas Aquáticas, as concentrações mais elevadas foram encontradas nas raízes de macrófitas ($0,0442 \pm 0,02$ mg/kg) em comparação com as folhas ($0,0083 \pm 0,003$ mg/kg) e talos ($0,0052 \pm 0,005$ mg/kg);
- ✓ O mesmo para médias de MeHg nas raízes de macrófitas ($0,0065 \pm 0,003$ mg/kg) em comparação com as folhas ($0,0006 \pm 0,0003$ mg/kg) e talos ($0,0006 \pm 0,0002$ mg/kg);
- ✓ Ainda MeHg nas macrófitas médias em junho/2012 ($0,00648 \pm 0,00482$ mg/kg), seguido de uma diminuição significativa nos meses de setembro/2012 ($0,0002 \pm 0,0003$ mg/kg), dezembro/2012 ($0,00047 \pm 0,0002$ mg/kg) e março/2013 ($0,0002 \pm 0,00005$ mg/kg);
- ✓ Média dos elementos traço em macrófitas no período de Pós-Enchimento:
 - **Hg** (Pré: $0,009 \pm 0,005$ mg/kg; Pós: $0,006 \pm 0,005$ mg/kg)
 - **Fe** (Pré: 1258 ± 1857 mg/kg; Pós: 203 ± 475 mg/kg)
 - **Mn** (Pré: 1793 ± 2323 mg/kg; Pós: 371 ± 346 mg/kg)
 - **Cr** (Pré: $4,789 \pm 3,935$ mg/kg; Pós: $1,271 \pm 0,598$ mg/kg)
 - **Ni** (Pré: $7,274 \pm 7,850$ mg/kg; Pós: $5,111 \pm 1,547$ mg/kg)
 - **Pb** (Pré: $6,377 \pm 6,152$ mg/kg; Pós: $5,387 \pm 1,014$ mg/kg)
 - **Zn** (Pré: $29,925 \pm 18,173$ mg/kg; Pós: $20,719 \pm 13,664$ mg/kg)
- ✓ Nas macrófitas, os elementos Co (Pré: $3,206 \pm 3,928$ mg/kg; Pós: $1,929 \pm 0,370$ mg/kg) e Cu (Pré: $13,903 \pm 17,259$ mg/kg; Pós: $8,036 \pm 2,478$ mg/kg) não apresentaram diferença significativa quando comparados os períodos de Pré e Pós-Enchimento;
- ✓ Com relação ao Plâncton, tanto o fito ($25 \mu\text{m}$) quanto zooplâncton ($70 \mu\text{m}$ e $160 \mu\text{m}$) não apresentaram variações nas concentrações de Hg-T na fase de pós-enchimento quando comparadas com as concentrações encontradas no pré-enchimento;
- ✓ Não foi observada diferença significativa entre os níveis tróficos da cadeia planctônica;
- ✓ Nenhuma amostra de crocodiliano ficou acima do limite para peixes carnívoros preconizado pela ANVISA ($1,00$ mg/kg);
- ✓ Com relação aos **Solos**, o elemento Hg-T não apresentou incremento significativo em sua concentração nos solos da região comparando as campanhas de 2008 e 2012;

- ✓ Dos demais elementos químicos quantificados, os elementos Fe, Zn e Mn apresentaram a mesma dinâmica do Hg, isto é, não apresentaram diferença significativa entre campanhas de 2008 e 2012;
- ✓ Os elementos Cr, Pb, Co e Ni apresentaram um incremento significativo em suas concentrações na campanha realizada no ano de 2012 em comparação a campanha realizada em 2008;
- ✓ Todos os valores encontrados neste monitoramento de solos apresentaram concentrações abaixo dos valores de prevenção de solos preconizado pela legislação vigente (CONAMA 420/09);

Em janeiro de 2014 completam-se 2 anos do Pós-enchimento e objetiva-se nesse Programa dar continuidade ao monitoramento a partir de fevereiro de 2014 direcionando matrizes que melhor demonstre a presença e transporte de Hg (água, MPS e sedimento), assim como a incorporação de MeHg (macrófitas e peixes) e transferência destes para às populações ribeirinhas, sendo as mais isoladas as potencialmente críticas à exposição não-ocupacional ao metilmercúrio.

XI. REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, M.G., REZENDE, C.E, & SOUZA, C.M.M. Variação Temporal, Transporte e Partição de Hg e Carbono Orgânico nas Frações Particulada e Dissolvida da Coluna D'água da Bacia Inferior do Rio Paraíba do Sul, Rj, Brasil. **Geochimica Brasiliensis**, 21(1)111 - 128, 2007.
- BASTOS, W. R.; REBELO, M. de F.; FONSECA, M. de F. ALMEIDA, R., MALM, O. 2008. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amazonica** vol. 38(3): 431 – 438. Rondônia.
- CARROLL, R.W.H., MEMMOTT, J., WARWICK, J.J, FRITSEN, C.H., BONZONGO, J.C.J. & Acharya, K. Seasonal Variation of Mercury Associated with Different Phytoplankton Size Fractions in Lahontan Reservoir, Nevada. **Water, Air & Soil Pollution** 2012(217):221-232.
- 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.
- CORREIA, et al., 2013. Mercury methylation in mesocosms with and without the aquatic macrophyte *Eichhornia crassipes* (mart.) Solms. **Ecotoxicology and Environmental Safety**,96:124-130.

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.

LIU et al., 2000. The Photochemical Reduction of Divalent Mercury and Methyl-Mercury. **J. Environ. Sci. Health** 35:1859–1867.

MOLINA, C. I.; GIBON, F.-M.; DUPREY, J.-L.; DOMINGUEZ, E.; GUIMARÃES, J.-R. & ROULET, M. Transfer of Mercury and methylmercury along macroinvertebrate food chains in a floodplain lake of the Beni River, Bolivian Amazonia. **Science of the Total Environment**. 2010.

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

MALM, O. ;PALERMO, E. F. A. ; SANTOS, H. S. B. et al. 2004. Transport and cycling of mercury in Tucuruí reservoir, Amazon, Brazil: 20 years after fulfillment. *RMZ-Materials and Geoenvironment*, v. 51, n. 1, p. 1195-1198.

SELLERS, et al., 1996. Photodegradation of Methylmercury in Lakes. **Nature** 380:694-697.

SILVA, D. S.; LUCOTTE, M.; ROULET, M.; POIRIER, H.; MERGLER, D.; CROSSA M. 2006. Mercúrio nos peixes do Rio Tapajós, Amazônia Brasileira. ©INTERFACEHS – **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente** - v.1, n.1, Art 6. Amazonas.

SILVA-FILHO, E. V.; KÜTTER, M. T.; KÜTTER, V. T.; LACERDA, L. D. 2008. Mercúrio em peixes no Brasil e sua implicação ecológica: Revisão bibliográfica. **III Congresso Brasileiro de Oceanografia – CBO**. 2008. Fortaleza (CE).