



# USINA HIDRELÉTRICA JIRAU

## RELATÓRIO TÉCNICO DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO (“PMH”)

### 1º RELATÓRIO SEMESTRAL (4ª CONSOLIDAÇÃO)

(LICENÇA DE OPERAÇÃO Nº 1097/2012)

EMPRESA: **VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL LTDA**

PERÍODO DAS ATIVIDADES: **Setembro/2009 a Abril/2013**

RESPONSÁVEL DA CONTRATADA: **Luiz Fabricio Zara**

RESPONSÁVEL DA ESBR: **Jairo Guerrero**

## SUMÁRIO

1. APRESENTAÇÃO.....	2
2. ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO PROGRAMA .....	3
3. ATENDIMENTO AS METAS DO PROGRAMA.....	7
4. METODOLOGIA.....	11
5. 5	
6. INDICADORES DO PROGRAMA .....	167
7. INTERFACE DO PROGRAMA.....	168
8. ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA DO PROGRAMA .....	168
9. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	171
10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	172
11. EQUIPE DE TRABALHO.....	179

**Anexo I** – Termos de consentimento livre e esclarecido – Questionário estruturado para coleta de dados humanos na região de abrangência do AHE – Jirau, Bacia do Rio Madeira – Rondônia

**Anexo II** – Inquérito alimentar recordatório

**Anexo III** – Avaliação clínica e neurológica

**Anexo IV** – Subprograma de divulgação das atividades e resultados do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

## 1. APRESENTAÇÃO

Em atendimento ao § 1º da condicionante 2.1 da LO nº 1.097/2012, o presente relatório tem por objetivo descrever as atividades desenvolvidas e os resultados obtidos no período de junho de 2009 a abril de 2013, ao longo das 14 (quatorze) campanhas trimestrais de monitoramento realizadas (**Tabela 01**), comparando ainda as fases pré-enchimento (12 campanhas) e enchimento (2 campanhas). Vale ressaltar que os dados obtidos na campanha realizada em abril de 2013 ainda estão sendo processados, tendo em vista que a coleta foi finalizada no dia 21 de abril de 2013 e, por este motivo, os resultados discutidos neste relatório não contemplam a 15ª campanha de monitoramento. Os estudos de saúde humana foram realizadas em 07 (sete) abordagens nas comunidades ribeirinhas na fase pré-enchimento e 01 (uma) abordagem na fase de enchimento do reservatório (**Tabela 02**).

**Tabela 01.** Campanhas realizadas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Etapa	Campanha	Mês/Ano	Data	Período hidrológico
Fase rio	1ª	Set/2009	26/09 a 30/09/2009	Seca
	2ª	Jan/2010	06/01 a 15/01/2010	Enchente
	3ª	Abr/2010	05/04 a 16/04/2010	Cheia
	4ª	Jul/2010	08/07 a 22/07/2010	Vazante
	5ª	Out/2010	06/10 a 22/10/2010	Seca
	6ª	Jan/2011	06/01 a 22/01/2011	Enchente
	7ª	Abr/2011	11/04 a 02/05/2011	Cheia
	8ª	Jul/2011	01/07 a 06/07/2011	Vazante
	9ª	Out/2011	04/10 a 15/10/2011	Seca
	10ª	Jan/2012	09/01 a 20/01/2012	Enchente
	11ª	Abr/2012	02/04 a 15/04/2012	Cheia
	12ª	Jul/2012	02/07 a 13/07/2012	Vazante
Fase de enchimento	13ª	Out/2012	20/10 a 28/10/2012	Seca
	14ª	Jan/2013	17/01 a 31/01/2013	Enchente

**Tabela 02.** Abordagens humanas realizadas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Etapa	Abordagem	Mês/Ano	Data
Fase rio	1ª	Abr/2010	19/04 a 24/04/2010
	2ª	Jul/2010	12/07 a 17/07/2010
		Ago/2010	23/08 a 28/08/2010
	3ª	Out/2010	18/10 a 22/10/2010
		Nov/2010	12/11 a 16/11/2010
		Fev/2011	18/02 a 23/02/2011
	4ª	Mai/2011	17/05 a 22/05/2011
	5ª	Ago/2011	19/08 a 24/08/2011
		Out/2011	14/10 a 16/10/2011
	6ª	Abr/212	27/03 a 02/04/2012
7ª	Jul/2012	11/07 a 17/07/2012	
Fase de enchimento	8ª	Out/2012	24/10 a 31/10/2012

## 2. ATENDIMENTO AOS OBJETIVOS DO PROGRAMA

O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico possui o objetivo de efetuar o monitoramento ambiental e humano no pré-enchimento e pós-enchimento do reservatório da UHE Jirau, determinando as concentrações de poluentes organometálicos, a exemplo do mercúrio, avaliando o risco da exposição humana a este elemento químico e os potenciais efeitos adversos para as comunidades ribeirinhas do rio Madeira.

Os objetivos específicos propostos e as respectivas ações adotadas estão elencados a seguir:

- *Quantificar os teores de mercúrio total (Hg-T) e metilmercúrio (MeHg) em matrizes ambientais e humanas.*

Em atendimento. As quantificações dos teores de mercúrio total e metilmercúrio na água superficial, material particulado suspenso, sedimento de fundo, fitoplâncton, zooplâncton, invertebrados e peixes são feitas trimestralmente (seca, enchente, cheia e vazante) enquanto que as análises das espécies de mercúrio no solo são feitas semestralmente (enchente e vazante). Até o momento, estas análises foram feitas na fase rio do empreendimento, no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a julho de 2012 (12ª campanha de campo), e na fase de enchimento do reservatório, no período de outubro de 2012

(13ª campanha de campo) a janeiro de 2013 (14ª campanha de campo). As quantificações dos teores de mercúrio total e metilmercúrio na matriz humana foram feitas nas comunidades tradicionais e garimpeiros do rio Madeira na fase rio do empreendimento, no período de abril de 2010 (1ª abordagem humana) a julho de 2012 (7ª abordagem de campo), e na fase enchimento do reservatório, em outubro de 2012 (8ª abordagem humana).

- *Determinar um nível de referência local das espécies de mercúrio nos compartimentos abióticos e bióticos da bacia do rio Madeira, ao qual o monitoramento das áreas de influência direta e indireta do empreendimento será balizado nos estudos temporais.*

Em atendimento. O monitoramento das espécies de mercúrio nos compartimentos abióticos e bióticos feitas na fase rio da UHE Jirau no período de setembro de 2009 (1ª campanha de campo) a julho de 2012 (12ª campanha de campo) possibilitou a formação de um banco de dados composto por campanhas de campo referentes aos níveis basais de mercúrio nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento. Este importante banco de dados regional possibilitará o balizamento do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico durante as fases de enchimento do reservatório e operação da UHE Jirau quanto às possíveis influências do empreendimento no ciclo hidrobiogeoquímico regional do mercúrio.

- *Quantificar nos corpos d'água da área de estudo as principais variáveis físicas e químicas, considerando as variáveis hidrológicas e os parâmetros do Programa de Monitoramento Limnológico.*

Em atendimento. A interface com o Programa de Monitoramento Limnológico possibilita campanhas de campo integradas entre os programas e a obtenção das informações das principais variáveis físicas e químicas nas estações de coleta.

- *Selecionar e avaliar as comunidades ribeirinhas quanto ao perfil epidemiológico, fatores de risco, inquérito alimentar, avaliação da exposição a mercúrio e anamnese.*

Em atendimento. O estudo de saúde humana deste Programa foi previamente avaliado e autorizado pelo Comitê de Ética em Pesquisa em Seres Humanos da Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília (Registro: CEP-FM 038/2010). Foram realizadas 07 (sete) avaliações das comunidades ribeirinhas na fase rio do empreendimento e 01 (uma) na fase de enchimento do reservatório (**Tabela 2**). O universo amostral humano das abordagens humanas na fase rio do empreendimento foi composto de 1.427 participantes, com idade variando entre 1 e 100 anos (média:  $34,6 \pm 16,3$ ), enquanto que na fase de enchimento do

reservatório este universo foi composto de 167 participantes, com idade variando entre 11 e 87 anos (média:  $37,2 \pm 14,3$ ).

- *Estruturar bancos de dados georreferenciados das matrizes bióticas, abióticas, epidemiológicas, fatores de risco, inquérito alimentar e anamnese.*

Em atendimento. Todas as informações geradas no monitoramento dos meios abiótico, biótico e epidemiológico foram compiladas em um banco de dados relacional por meio dos softwares Microsoft Access e a geração Arc. As informações dos estudos de saúde humana foram estratificadas nos aglomerados humanos identificados nas localidades de Nova Mutum Paraná e Abunã, na região ribeirinha e garimpeira, garantindo a confidencialidade dos voluntários e evitando possíveis impactos psicossociais negativos nas comunidades participantes deste estudo. Além disso, o banco de dados do Programa encontra-se disponível no SisGIG daUHE Jirau.

- *Analisar a morbidade referida e o nível de exposição das comunidades ribeirinhas com as variáveis neurológicas, clínicas e comportamentais.*

Em atendimento. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional).

- *Desenvolver um programa de capacitação para os profissionais de saúde nas áreas a serem comprometidas com o empreendimento com ênfase na toxicologia do mercúrio e seus efeitos para a saúde humana, em consonância com o Programa de Saúde Pública.*

Em atendimento. Os resultados prévios dos estudos de saúde humana são apresentados à Comissão de Saúde, sendo que durante as atividades de campo são priorizadas as atividades das abordagens humanas nos postos de saúde possibilitando reuniões técnicas voltadas à capacitação dos profissionais de saúde pela equipe multidisciplinar do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico. Nestas reuniões são discutidos e elaborados os materiais socioeducativos quanto ao risco de exposição ao mercúrio adequados à população. Na fase rio do empreendimento foi elaborada e distribuída a cartilha “O que você deve saber sobre o

mercúrio”, sendo este material voltado à exposição ocupacional ao mercúrio. Na fase de enchimento do reservatório foi elaborada e distribuída a cartilha “Cartilha Educativa do Mercúrio”, com ênfase para os hábitos alimentares associados a possíveis rotas de exposição ao mercúrio e sobre manejo e uso do solo, visto que este é um importante fator de liberação de mercúrio para o ambiente, ocasionando maior mobilidade deste metal para os demais compartimentos ambientais. Em março de 2013 foi realizada capacitação destinada aos profissionais que atuam na Estratégia de Saúde da Família das Unidades de Saúde localizadas em Abunã e Nova Mutum Paraná, conforme evidências apresentadas neste relatório.

- *Estruturar um programa de abordagem participativa junto às comunidades a serem comprometidas pelo empreendimento da hidroelétrica, em consonância com o Programa de Comunicação Social.*

Em atendimento. Os resultados prévios deste Programa são continuamente apresentados nas comunidades localizadas no entorno do empreendimento e em específico aos profissionais de saúde dos postos de atendimento nas comunidades estudadas pelo Programa, por intermédio de palestras e distribuição de materiais socioeducativos impressos. Os articuladores locais (pessoas chave de cada comunidade, garimpeiros manuais e garimpeiros de dragas fluviais) são continuamente contatados no intuito de divulgar e esclarecer as atividades dos estudos de saúde humana da UHE Jirau. Estes sempre se mostraram bem receptivos a esses préstimos. Apesar de resistência/recusa de moradores da região em participar do Programa, até o momento tem-se obtido êxito em envolver uma parcela expressiva da população local.

- *Desenvolver um programa de percepção de risco para as comunidades que serão removidas da área de influência do empreendimento, em consonância com o Programa de Comunicação Social.*

Em atendimento. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional).

- *Utilizar métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos como ferramenta para o monitoramento do mercúrio durante as fases de pré-enchimento e pós-enchimento visando sua capacidade preditiva.*

Em atendimento. A complexidade do rio Madeira exige a necessidade de técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações durante o ciclo hidrológico e ao longo da teia trófica. Neste contexto, além dos métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos, a regressão múltipla tem sido uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito.

- *Em conjunto com outros Programas, construir um mapa de risco/vulnerabilidade socioambiental para a área de influência do empreendimento, com ênfase nas comunidades e construir indicadores de saúde ambiental e ecotoxicológicos que irão subsidiar o Programa de Saúde Pública.*

Em atendimento. O desenvolvimento dos estudos de saúde humana ao longo do tempo possibilitarão análises multivariadas (modelos de regressão linear múltipla e regressão logística) que levem em conta outros fatores com potencial de influência sobre o desempenho na bateria testatória neuropsicológica, obviamente com os devidos ajustes para eventuais influências sazonais nos níveis de exposição por via alimentar (consumo de peixes) ou meio ambiente de trabalho (exposição ocupacional). No âmbito dos estudos de saúde humana deste Programa, as condições de trabalho de pesquisa campo ainda não permitiram até o momento aplicar uma metodologia rigorosa de avaliação do risco tóxico da exposição ambiental por via alimentar com base no cálculo da ingestão diária de mercúrio. Isso decorre das dificuldades logístico-operacionais de se avaliar as porções de consumo de peixe per capita (em gramas) referentes a cada refeição durante o período que a equipe multidisciplinar da área da saúde se encontra em campo, o que é fortemente causado pelo fato da população não consumir peixe frequentemente. Com base na estratificação em diferentes faixas de exposição e considerando os limites de exposição publicados pela Organização Mundial de Saúde em 2003, nos 1.594 voluntários amostrados nas fase pré-enchimento e de enchimento do reservatório aproximadamente 97% dos voluntários apresentaram níveis de exposição abaixo de  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  de Hg no cabelo, ou seja, não apresentaram níveis de exposição indicadores de possíveis riscos de neurotoxicidade mercurial.

### **3. ATENDIMENTO ÀS METAS DO PROGRAMA**

As metas propostas e as respectivas ações adotadas no âmbito deste Programa estão elencadas a seguir:

- *Mensurar variáveis hidrológicas e parâmetros físico-químicos na coluna d'água em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As informações das variáveis hidrológicas e parâmetros físico-químicos na coluna d'água estão sendo obtidas em 01 (uma) estação amostral no rio Mamoré, 01 (uma) no rio Beni, 06 (seis) no rio Madeira, 12 em afluentes e 01 (uma) na área alagada do rio Mutum Paraná. Portanto, a malha amostral previamente proposta para o Programa foi ampliada de 18 20 estações de amostragem, sendo monitorada trimestralmente, considerando as variáveis hidrológicas obtidas durante as campanhas de campo integradas com o Programa de Monitoramento Limnológico. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem do Programa a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG) em amostras de água superficial em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio reativo, mercúrio total e mercúrio orgânico na coluna d'água em 20 estações de amostragem distribuídas nos rio Mamoré, Beni e Madeira, nos tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná foram feitas trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) em amostras de material particulado suspenso em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total em amostras de material particulado suspenso em 20 estações de amostragem distribuídas nos rios Mamoré, Beni e Madeira, nos

tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná foram feitas trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) em perfil de solos em estações amostrais em áreas de pulso de inundações sendo uma (01) na região da estação amostral do rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, dez (10) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, semestralmente em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total em perfil de solos em estações amostrais em áreas de pulso de inundação foram feitas nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 e 2013.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em sedimentos de fundo e perfis em áreas de remansos nas estações de coleta sendo uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em sedimentos de fundo em 20 estações de amostragem distribuídas nos rios Mamoré, Beni e Madeira, nos tributários do rio Madeira e na área alagada do rio Mutum Paraná foram feitas trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em perfis de sedimento de fundo nestas estações de amostragem foram feitas semestralmente nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 e 2013. O ponto de monitoramento no igarapé Ribeirão foi adicionado na malha de amostragem a partir da 5ª campanha de campo, realizada em outubro de 2010.

- *Realizar análises de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em peixes, mamíferos aquáticos e semiaquáticos, macrófitas aquáticas, plâncton e invertebrados em uma (01) estação amostral no rio Mamoré, uma (01) no rio Beni, seis (06) no rio Madeira, nove (09) em afluentes e uma (01) na área alagada de Mutum, trimestralmente considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em peixes foram feitas trimestralmente nas amostras adquiridas diretamente dos pescadores da área de influência da UHE Jirau e pela interface com o Programa de Conservação da Ictiofauna. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em mamíferos aquáticos e semiaquáticos pela interface com o Programa de Conservação da Fauna Silvestre, não foi possível, conforme devidamente justificado nos relatórios técnicos anteriores, pois não houve coleta de material, já que o monitoramento de mamíferos aquáticos e semiaquáticos é realizado apenas por avistamentos, evitando o stress com a captura e retirada de material biológico com o animal vivo. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em macrófitas aquáticas foram feitas trimestralmente pela interface com o Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas. As análises de mercúrio total e metilmercúrio em fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados foram feitas trimestralmente pela interface com o Programa de Monitoramento Limnológico.

- *Realizar medidas semestrais de taxas de metilação no sedimento e nas raízes das macrófitas em duas (02) estações em afluentes do rio Madeira e uma (01) na área alagada de Mutum, considerando as variáveis hidrológicas em todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As medidas da taxa de metilação foram feitas semestralmente, sendo que nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2010 foi utilizada a técnica radioquímica utilizando mercúrio marcado ( $^{230}\text{Hg}$ ) e nos períodos hidrológicos de enchente e vazante de 2011 a 2013 foi utilizado o procedimento validado e publicado por Bisinoti e Jardim (2003), devidamente informada ao órgão ambiental na correspondência AJ/TS 1152-2010, protocolada em 24 de agosto de 2010, e justificada no 6º Relatório Técnico Parcial do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico.

- *Realizar semestralmente intervenções nas comunidades ribeirinhas da área de influência direta e indireta do empreendimento para a avaliação do histórico ocupacional, histórico familiar, hábitos de alimentação, análise neurológica, análise neuropsicológica e avaliação de níveis de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em amostras de cabelo e leite materno dos voluntários durante todas as fases do empreendimento.*

Em atendimento. As avaliações das comunidades ribeirinhas são relatadas semestralmente, entretanto as atividades de campo mostraram a necessidade de intervenções em menor espaço de tempo favorecendo o vínculo entre a equipe multidisciplinar de saúde e as

comunidades atendidas. As avaliações das comunidades ribeirinhas foram feitas até o momento em 08 (oito) abordagens humanas, sendo 07 (sete) na fase rio e 01 (uma) na fase de enchimento do reservatório (**Tabela 2**). Nestas fases dos estudos de saúde humana não foram localizadas lactantes dispostas à fornecer amostras de leite materno, conforme devidamente justificado nos relatórios técnicos do Programa.

- *Criar e alimentar um banco de dados georreferenciados para sistematizar as informações do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico decorrentes das campanhas de campo e análises de laboratório de mercúrio, possibilitando fornecer informações sobre qualidade do pescado, qualidade da água e exposição ocupacional quanto aos níveis mercúrio, possibilitando a construção de indicadores de saúde ambiental e ecotoxicologia.*

Em atendimento. Todas as informações geradas no monitoramento do meio abiótico, biótico e epidemiológico foram compiladas num banco de dados relacional por meio dos softwares Microsoft Access e a geração Arc. Além disso, estas informações estão disponíveis no SisGIG daUHE Jirau.

- *Integrar dados dos programas de limnologia, monitoramento e conservação da ictiologia, subprograma de monitoramento dos mamíferos aquáticos e semiaquáticos e monitoramento de macrófitas aquáticas para avaliar o fenômeno de biomagnificação nas guildas tróficas da ictiofauna*

Em atendimento. A complexidade do rio Madeira exige a necessidade de técnicas que possibilitem uma análise conjunta das informações biogeoquímicas do mercúrio e suas interações, durante o ciclo hidrológico e ao longo da teia trófica. Neste contexto, além dos métodos estatísticos univariados, multivariados e geoestatísticos, a regressão múltipla tem sido uma ferramenta estatística muito importante na validação das relações de causa e efeito.

#### **4. METODOLOGIA**

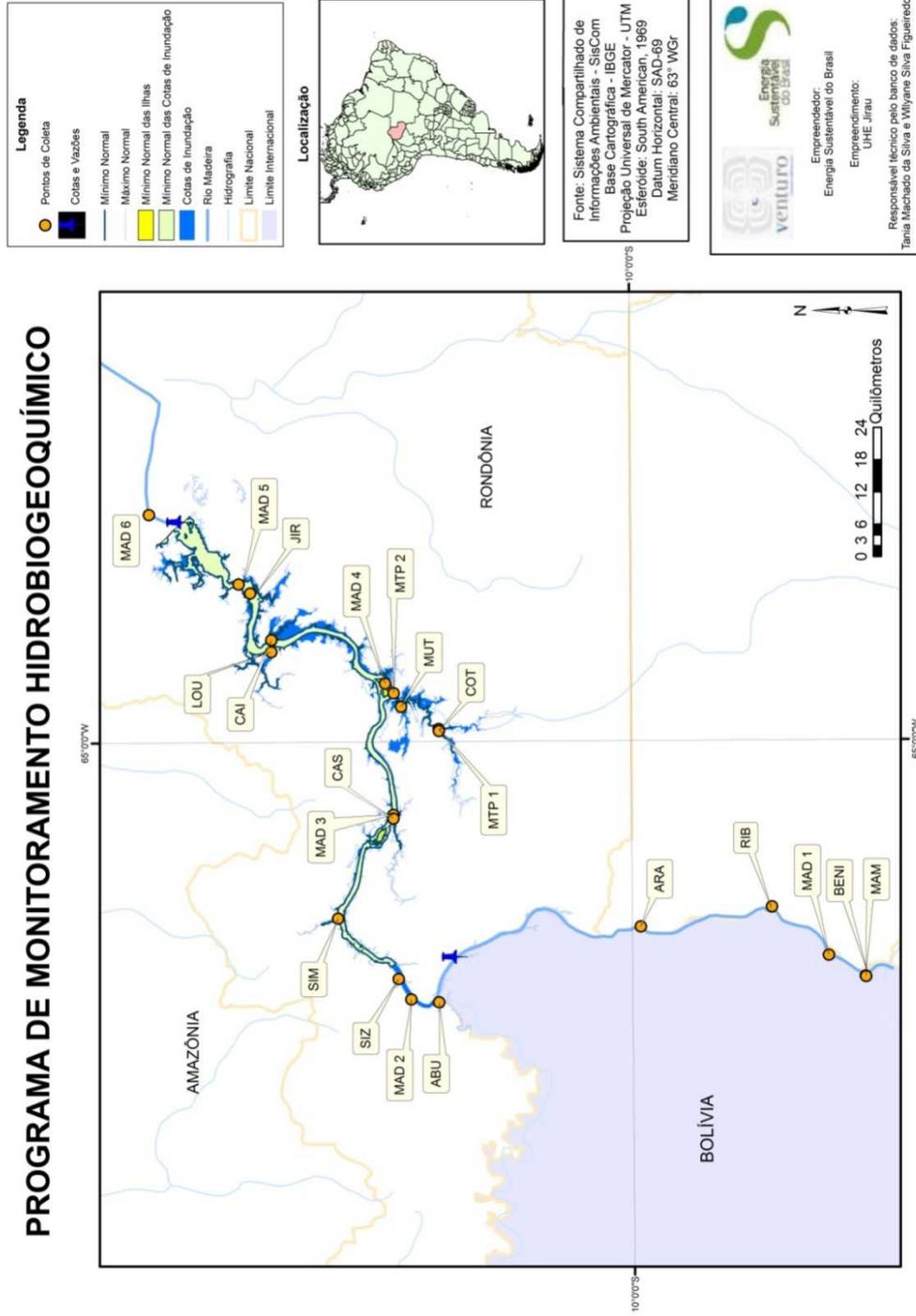
O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico tem uma abordagem interdisciplinar e multi-institucional nos vários níveis possíveis de interação, de modo a integrar o conhecimento do sistema ambiental e suas inter-relações com a saúde humana. Nos estudos ambientais foram monitoradas, obedecendo a sazonalidade regional (cheia, enchente, vazante e seca), as espécies de mercúrio (mercúrio total, mercúrio reativo, mercúrio orgânico e metilmercúrio) durante o

período de setembro de 2009 (período hidrológico de seca) a janeiro de 2013 (período hidrológico de enchente).

As amostras de água superficial, material particulado suspenso e sedimento de fundo foram coletadas trimestralmente em 20 pontos de monitoramento georreferenciados (**Figura 01**). Os perfis de sedimento foram amostrados semestralmente, utilizando metodologia específica, nos períodos hidrológicos de vazante e enchente do rio Madeira. Os perfis de solo foram amostrados semestralmente em 14 pontos nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira nos períodos hidrológicos de enchente e vazante do rio Madeira. As amostras de peixes, invertebrados aquáticos, fitoplâncton, zooplâncton e macrófitas foram disponibilizadas pelas interfaces com o Programa de Conservação da Ictiofauna, Programa de Monitoramento Limnológico e Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas.

O detalhamento dos locais amostrados e das técnicas utilizadas para as análises das espécies de mercúrio nos diferentes compartimentos abióticos e bióticos consta em todos os relatórios técnicos do Programa, referentes às respectivas campanhas, protocolados no IBAMA.

# PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 01** – Mapa do desenho amostral do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nas áreas de influência direta e indireta da UHE Jirau.

As análises dos teores de mercúrio em mamíferos aquáticos e semiaquáticos, em interface com o Programa de Conservação da Fauna Silvestre, não foi possível, conforme devidamente justificado nos relatórios técnicos anteriores, pois não houve coleta de material, já que o monitoramento de mamíferos aquáticos e semi-aquáticos é realizado apenas por avistamentos, evitando assim o stress com a captura e retirada de material biológico com o animal vivo.

Os estudos da taxa de metilação foram feitos semestralmente nas amostras de solo, sedimento de fundo, água superficial e macrófitas aquáticas coletadas na área alagada do bolsão do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) e no igarapé Castanho (P11-CAS), áreas potencialmente críticas por apresentarem águas escuras. Todas as informações geradas foram compiladas em um banco de dados padronizado, facilitando as análises estatísticas univariadas e multivariadas para comparações pareadas e estudos de correlações. As análises estatísticas possibilitaram a avaliação da distribuição dos níveis das espécies de mercúrio nos compartimentos bióticos e abióticos, da dinâmica espacial e temporal das espécies de mercúrio, bem como a investigação dos mecanismos de organificação, bioacumulação e biomagnificação pela biota na bacia do rio Madeira.

A abordagem humana do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nos vários níveis possíveis de integração na área da saúde humana contemplou o desenvolvimento de 02 (dois) estudos epidemiológicos associados ao ecológico, a partir de dados secundários, e outro transversal, considerando o número de habitantes nas localidades, suas características sociais e econômicas e a faixa etária. A equipe de profissionais da área da saúde, a qual garantiu a não existência de danos a dimensão física, psíquica, moral, intelectual, social, cultural ou espiritual dos participantes voluntários é responsável pela aplicação dos questionários com diferentes módulos (sociodemográficos, história ocupacional, morbidade referida, hábitos sociais e culturais, inquérito alimentar, dentre outros) e coleta de amostras de cabelo da população. A avaliação clínica, neurológica e neuropsicológica foi aplicada em sub-amostras de voluntários. Todas as informações geradas foram compiladas no banco de dados padronizado, facilitando as análises estatísticas e avaliação da exposição ambiental.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Parâmetros Físicos e Químicos

Os resultados dos parâmetros físicos e químicos determinados na campanha realizada na fase de enchimento do reservatório (14ª campanha de campo) estão apresentados na **Tabela 03** abaixo.

**Tabela 03.** Resultados dos parâmetros físicos e químicos dos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

Ponto	Tipo	pH	O.D. mg L <sup>-1</sup>	Turbidez NTU	Condutividade μS cm <sup>-1</sup>	Sólido Suspenso mg L <sup>-1</sup>	Temperatura °C
P1-MAM	Calha	6,72	5,25	336	82,1	295	30,0
P2-MAD 1	Calha	6,77	4,67	786	82,4	700	29,2
P3-RIB	Tributário	6,4	6,15	34,6	15,66	5	28,7
P4-ARA	Tributário	5,55	4,60	21	6,56	7	27,5
P5-ABU	Tributário	5,84	6,00	44,7	9,53	26	26,0
P6-MAD 2	Calha	6,86	6,60	1221	74,2	125	29,0
P7-SIZ	Tributário	6,3	5,30	14,8	8,6	13	26,6
P8-SIM	Tributário	6,05	5,80	11,6	8,89	5	26,5
P9-MAD 3	Calha	6,79	5,90	936	68,8	651	29,0
P10-CAS	Tributário	5,16	5,30	5,16	5,61	4	26,0
P11-MTP 1	Lago	5,8	6,20	22,5	10,47	26	26,2
P12-COT	Tributário	5,55	5,30	18,2	5,15	7	26,6
P13-MUT 1	Tributário	5,02	5,10	9,94	6,7	5,0	29,9
P14-MAD 4	Calha	6,44	6,30	768	47,1	376	29,0
P15-LOU	Tributário	5,9	3,20	15,2	7,74	6	29,2
P16-CAI	Tributário	6	5,00	13,7	7,21	5	29,0
P17-JIR	Tributário	5,5	4,5	9,75	7,34	4	29,4
P18-MAD 5	Calha	6,7	5	909	70	452	29,0
P19-MAD 6	Calha	6,79	6,20	819	72	423	28,8
P20-MTP 2	Tributário	6,2	5,60	21,9	9,79	10	27,8

O valor de pH nos pontos amostrados na calha do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou mediana de 6,77 e nos tributários a mediana foi de 5,84. Na fase do empreendimento (período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2012) o valor de pH nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 7,0 e nos tributários a mediana foi de 6,30. Na fase de enchimento do reservatório (período hidrológico de seca de 2012 a enchente de 2013) o valor de pH nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 6,83 e nos tributários a mediana foi de 6,00.

A concentração de oxigênio dissolvido nos pontos amostrados na calha do rio Madeira em janeiro de 2013 apresentou mediana de 5,9 mg L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 5,65 mg L<sup>-1</sup>

<sup>1</sup>. Na fase rio do empreendimento (período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2012) a concentração de oxigênio dissolvido nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 6,16mg L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 5,39 mg L<sup>-1</sup>. Na fase de enchimento do reservatório (período hidrológico de seca de 2012 a enchente de 2013) esta concentração nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 6,25 mg L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 5,30 mg L<sup>-1</sup>.

O valor de turbidez nos pontos amostrados na calha do rio Madeira em janeiro de 2013 apresentou mediana de 819 NTU e nos tributários a mediana foi de 15,20 NTU. Na fase rio do empreendimento (período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2012) o valor de turbidez nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 192 NTU e nos tributários a mediana foi de 17,9 NTU. Na fase de enchimento do reservatório (período hidrológico de seca de 2012 a enchente de 2013) o valor de turbidez nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 321 NTU nos tributários a mediana foi de 19,60 NTU.

O valor de condutividade nos pontos amostrados na calha do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou mediana de 72 μS cm<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 7,74μS cm<sup>-1</sup>. Na fase rio do empreendimento (período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2012) o valor de condutividade nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 77μS cm<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 10 μS cm<sup>-1</sup>. Na fase de enchimento do reservatório (período hidrológico de seca de 2012 a enchente de 2013) o valor de condutividade nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 91,20μS cm<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 8,75 μS cm<sup>-1</sup>.

A concentração de sólidos em suspensão nos pontos amostrados na calha do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou mediana de 426 mg L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 6,33 mg L<sup>-1</sup>. Na fase rio do empreendimento (período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2012) a concentração de sólidos em suspensão nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 170,50mg L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 15mg L<sup>-1</sup>. Na fase de enchimento do reservatório (período hidrológico de seca de 2012 à enchente de 2013) tal concentração nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 199,50 mg L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 9,50 mg L<sup>-1</sup>.

A temperatura nos pontos amostrados na calha do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou mediana de 29°C e nos tributários a mediana foi de 27,50°C. Na

fase rio do empreendimento (período hidrológico de seca de 2009 a vazante de 2012) a temperatura nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 28°C e nos tributários a mediana foi de 26,90°C. Na fase de enchimento do reservatório (período hidrológico de seca de 2012 a enchente de 2013) o valor da temperatura nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 29,10°C e nos tributários a mediana foi de 28,50°C.

### Concentrações das Espécies de Mercúrio na Água Superficial

Os teores de mercúrio total (HgT), mercúrio orgânico (HgORG) e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial coletados na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 04** a seguir.

**Tabela 04.** Resultados das concentrações de mercúrio total (HgT), mercúrio orgânico (HgORG) e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial, coletadas no período hidrológico de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

Ponto	Tipo	Hg <sub>TOTAL</sub> (ng L <sup>-1</sup> )	Hg <sub>REATIVO</sub> (ng L <sup>-1</sup> )	Hg <sub>ORG</sub> (ng L <sup>-1</sup> )
P1-MAM	Calha	18,45	10,08	< 0,3
P2-MAD 1A	Calha	29,12	18,95	< 0,3
P2-MAD 1B	Calha	29,11	26,75	< 0,3
P2-MAD 1C	Calha	31,41	22,74	< 0,3
P3-RIB	Tributário	2,90	1,05	< 0,3
P4-ARA	Tributário	9,46	6,94	< 0,3
P5-ABU	Tributário	18,79	10,55	< 0,3
P6-MAD 2A	Calha	33,6	19,47	< 0,3
P6-MAD 2B	Calha	40,87	23,85	< 0,3
P6-MAD 2C	Calha	39,75	27,87	< 0,3
P7-SIZ	Tributário	15,33	9,75	< 0,3
P8-SIM	Tributário	21,32	8,22	< 0,3
P9-MAD 3A	Calha	41,75	27,07	< 0,3
P9-MAD 3B	Calha	48,53	27,47	< 0,3
P9-MAD 3C	Calha	40,1	29,35	< 0,3
P10-CAS	Tributário	38,73	31,22	< 0,3
P11-MTP 1	Lago	38,1	12,13	< 0,3
P12-COT	Tributário	10,89	10,38	< 0,3
P13-MUT	Tributário	30,38	19,96	< 0,3
P14-MAD 4A	Calha	38,85	18,91	< 0,3
P14-MAD 4B	Calha	38,63	27,86	< 0,3
P14-MAD 4C	Calha	40,42	26,82	< 0,3
P15-LOU	Tributário	41,44	25,04	< 0,3
P16-CAI	Tributário	42,02	19,64	< 0,3
P17-JIR	Tributário	19,05	12,66	< 0,3
P18-MAD 5A	Calha	28,15	14,77	< 0,3
P18-MAD 5B	Calha	70,72	18,47	< 0,3

\*Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

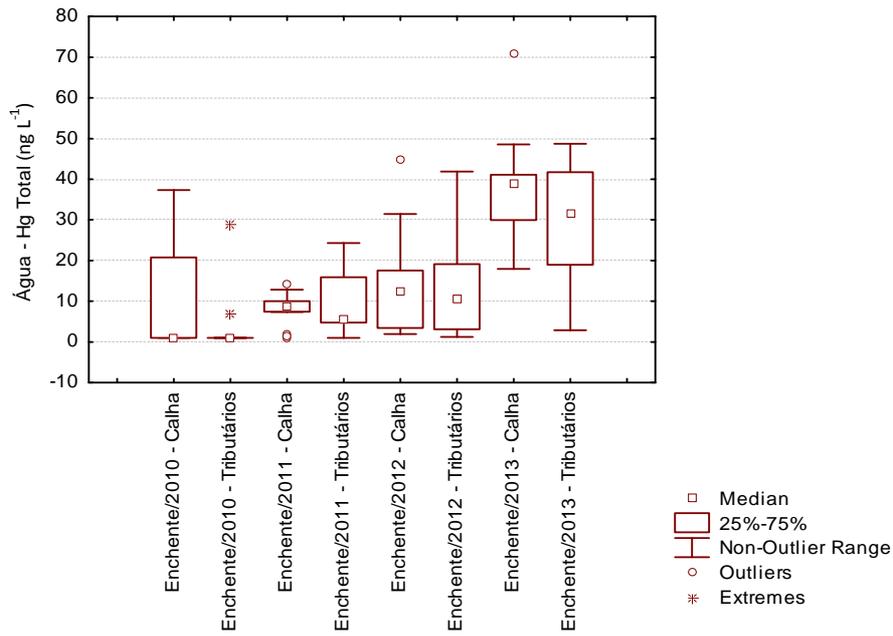
**Tabela 04.** Resultados das concentrações de mercúrio total (HgT), mercúrio orgânico (HgORG) e mercúrio reativo (HgR) nas amostras de água superficial, coletadas no período hidrológico de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013) – Continuação.

Ponto	Tipo	Hg <sub>TOTAL</sub> (ng L <sup>-1</sup> )	Hg <sub>REATIVO</sub> (ng L <sup>-1</sup> )	Hg <sub>ORG</sub> (ng L <sup>-1</sup> )
P18-MAD 5C	Calha	31,59	20,38	< 0,3
P19-MAD 6A	Calha	30,87	17,94	< 0,3
P19-MAD 6B	Calha	42,58	13,12	< 0,3
P19-MAD 6C	Calha	41,35	18,17	< 0,3
P20-MTP 2	Tributário	16,77	13,25	< 0,3

\*Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

A concentração de mercúrio total nas amostras de água superficial coletadas na calha do rio Madeira apresentou mediana de 38,85 ng L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 38,1 ng L<sup>-1</sup>, com exceção do Igarapé Ribeirão (P3 – RIB), Igarapé Araras (P4 – ARA), rio Abunã (P5 – ABU), Igarapé Simãozinho (P7 – SIZ), rio Cotia (P12 – COT), Igarapé Jirau (P17 – JIR) e Foz do Mutum (P20 – MP 2) que apresentaram a mediana de 15,33 ng L<sup>-1</sup>. O estudo em transecto (**Figura 02**) mostra tendência de aumento da concentração de mercúrio ao longo da calha do rio Madeira, sendo o rio Mamoré com 18,45 ng L<sup>-1</sup>, seguindo dos valores em P2-MAD 1 (29,88±1,33 ng L<sup>-1</sup>), P6-MAD 2 (38,07±3,91 ng L<sup>-1</sup>), P9-MAD 3 (43,46±4,47 ng L<sup>-1</sup>), P14-MAD 4 (39,30±0,98 ng L<sup>-1</sup>), P18-MAD 5 (43,49±23,65 ng L<sup>-1</sup>) e P19-MAD 6 (38,27±6,44 ng L<sup>-1</sup>).

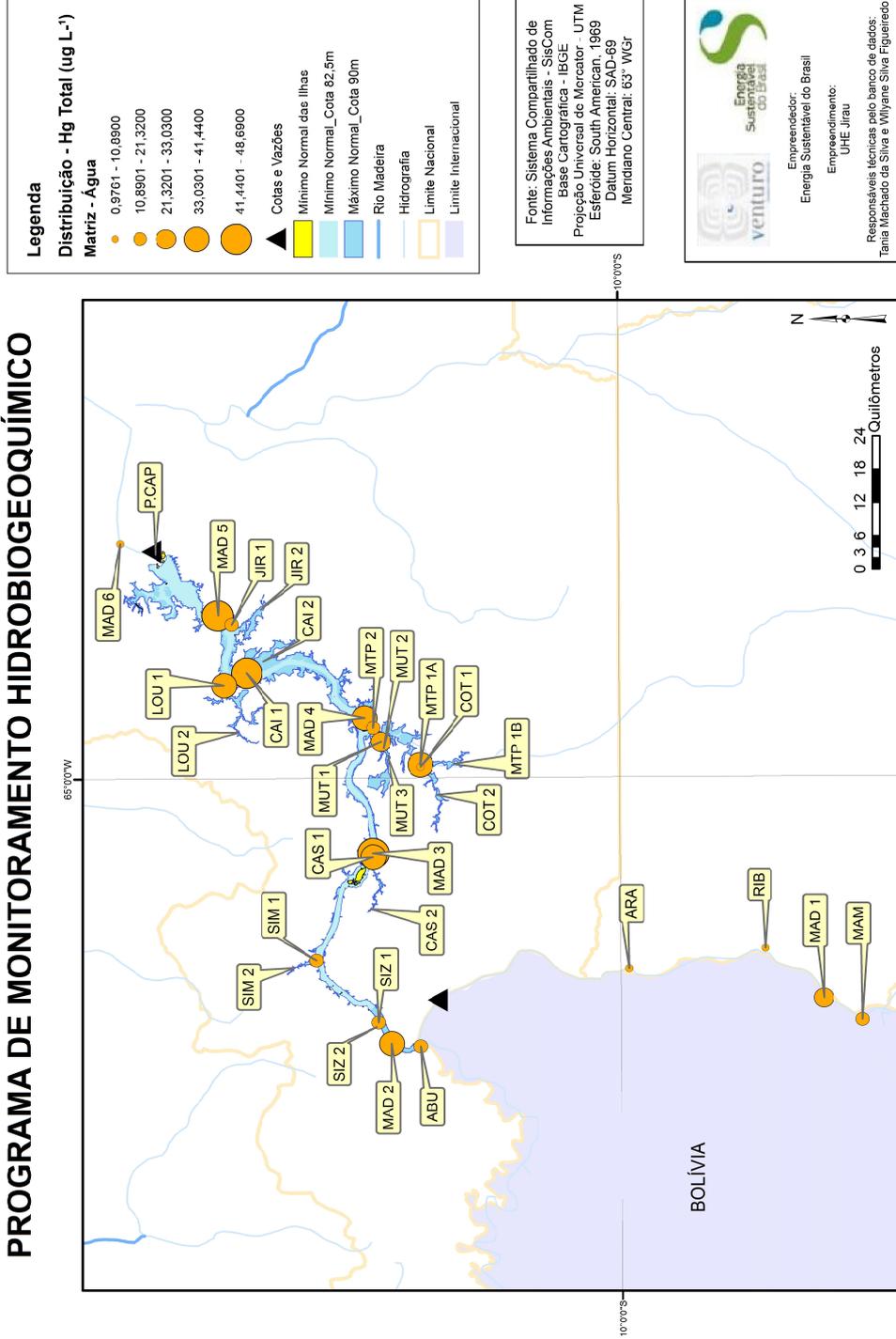
A série temporal das concentrações de mercúrio total nas amostras de água superficial nos períodos hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013 (**Figura 03**) evidencia um aumento das concentrações nos tributários e calha do rio Madeira ao longo do tempo e a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários. Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) as concentrações de mercúrio total na água nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de 10,15ng L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 11,03ng L<sup>-1</sup>. Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 a enchente de 2013) as concentrações de mercúrio total na água nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 31,50ng L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 19,36ng L<sup>-1</sup>, evidenciando um aumento das concentrações de mercúrio nos tributários e calha do rio Madeira.



**Figura 03** – Boxplot das concentrações de mercúrio na água nos tributários e calha do rio Madeira.

A Resolução CONAMA nº 357/2005, dispõe sobre as classificações sobre os corpos de água e as diretrizes ambientais para seu enquadramento, preconiza para sistema de águas doces Classe II o padrão máximo de mercúrio total de 200 ng L<sup>-1</sup>. A Portaria nº 2.914/2011 do Ministério da Saúde, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, preconiza o valor máximo permitido de mercúrio total de 1.000 ng L<sup>-1</sup>, portanto todas as amostras analisadas estão abaixo do valor determinado pela legislação brasileira para os corpos de água e consumo humano.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 02** – Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de água coletas no rio Madeira e seus tributários.

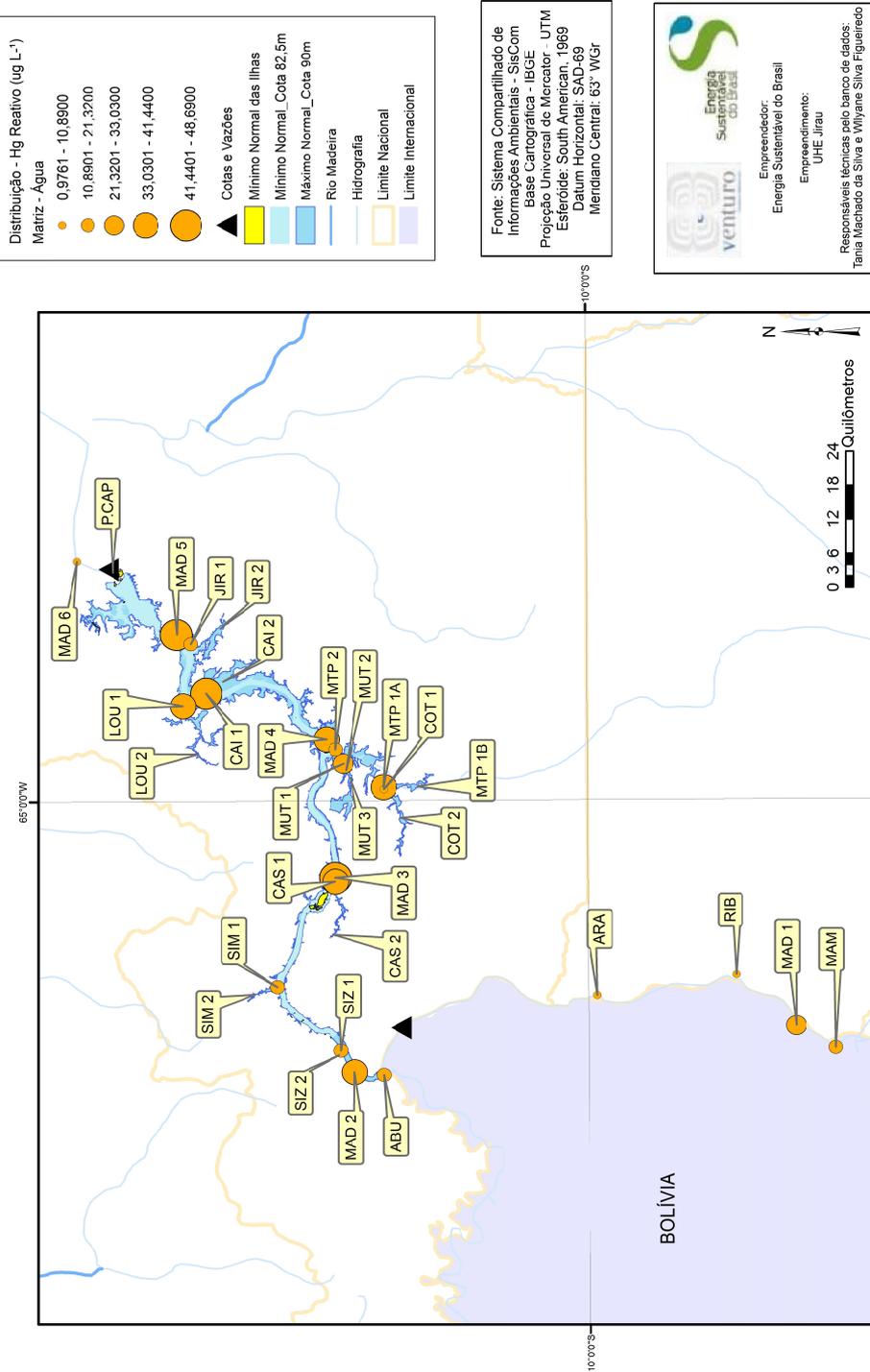
A concentração de mercúrio reativo nas amostras de água superficial coletadas na calha do rio Madeira apresentou mediana de 20,38 ng L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 25,04 ng L<sup>-1</sup>, com exceção do Igarapé Ribeirão (P3 – RIB), Igarapé Araras (P4 – ARA), rio Abunã (P5 – ABU), Igarapé Simãozinho (P7 – SIZ), Igarapé Simão (P7 – SIZ), rio Mutum-Paraná (P11 – MTP), rio Cotia (P12 – COT), Igarapé Jirau (P17 – JIR) e Foz do Mutum (P20 – MTP 2) que apresentaram a mediana de 10,38 ng L<sup>-1</sup>. O estudo em transecto mostra uma tendência homogênea das concentrações de mercúrio reativo ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré (P1-MAM) de 10,08 ng L<sup>-1</sup>, seguindo do P2-MAD 1 de 22,81±3,90 ng L<sup>-1</sup>, P6-MAD 2 de 23,73 ±4,20 ng L<sup>-1</sup>, P9-MAD 3 de 27,96±1,22 ng L<sup>-1</sup>, P14-MAD 4 de 24,53±4,89 ng L<sup>-1</sup>, P18-MAD 5 de 17,87±2,85 ng L<sup>-1</sup> e P19-MAD 6 de 16,41±2,85 ng L<sup>-1</sup> (**Figura 04**).

A série temporal das concentrações de mercúrio reativo nas amostras de água superficial nos períodos hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013 (**Figura 05**) evidencia um aumento das concentrações nos tributários e calha do rio Madeira ao longo do tempo e a prevalência das maiores concentrações na calha do rio Madeira quando comparado aos tributários.

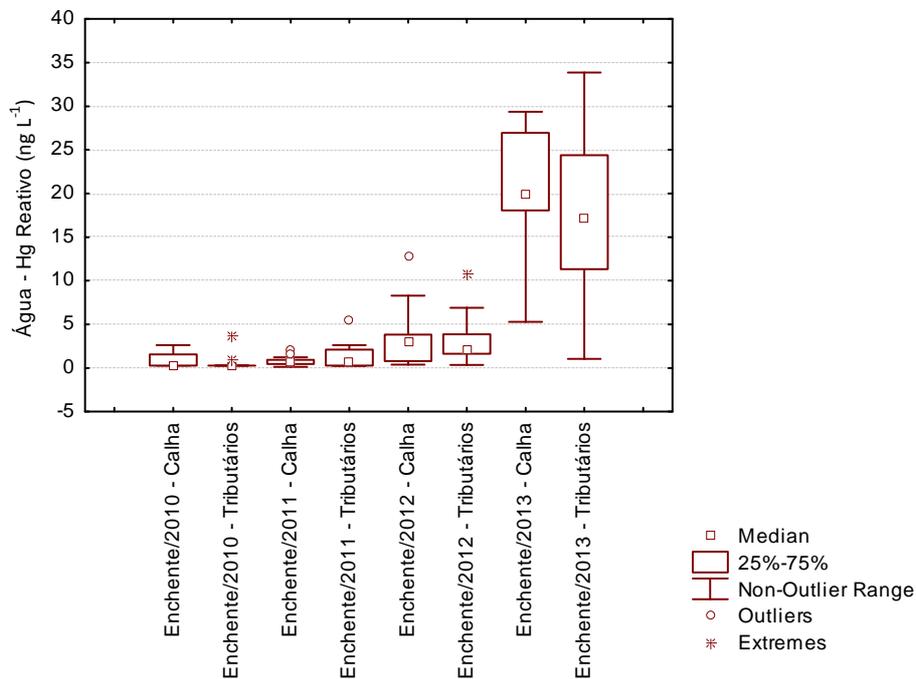
Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) as concentrações de mercúrio reativo na água nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 1,60 ng L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 1,98 ng L<sup>-1</sup>. Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 a enchente de 2013) as concentrações de mercúrio reativo nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de 20,56 ng L<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 12,4 ng L<sup>-1</sup>, evidenciando um aumento das concentrações de mercúrio reativos nos tributários e calha do rio Madeira.

O metilmercúrio é a espécie mais tóxica do mercúrio e o interesse em seu estudo deve-se principalmente à capacidade do mesmo ser bioacumulado e biomagnificado, em até um milhão de vezes ao longo da cadeia alimentar aquática. Geralmente a metilação é favorecida com a presença de matéria orgânica e desfavorecida com o aumento da concentração de material particulado inorgânico (Bisinoti *et al.*, 2004, 2007).

# PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 04** – Distribuição dos níveis de mercúrio reativo nas amostras de água coletas no rio Madeira e seus tributários.



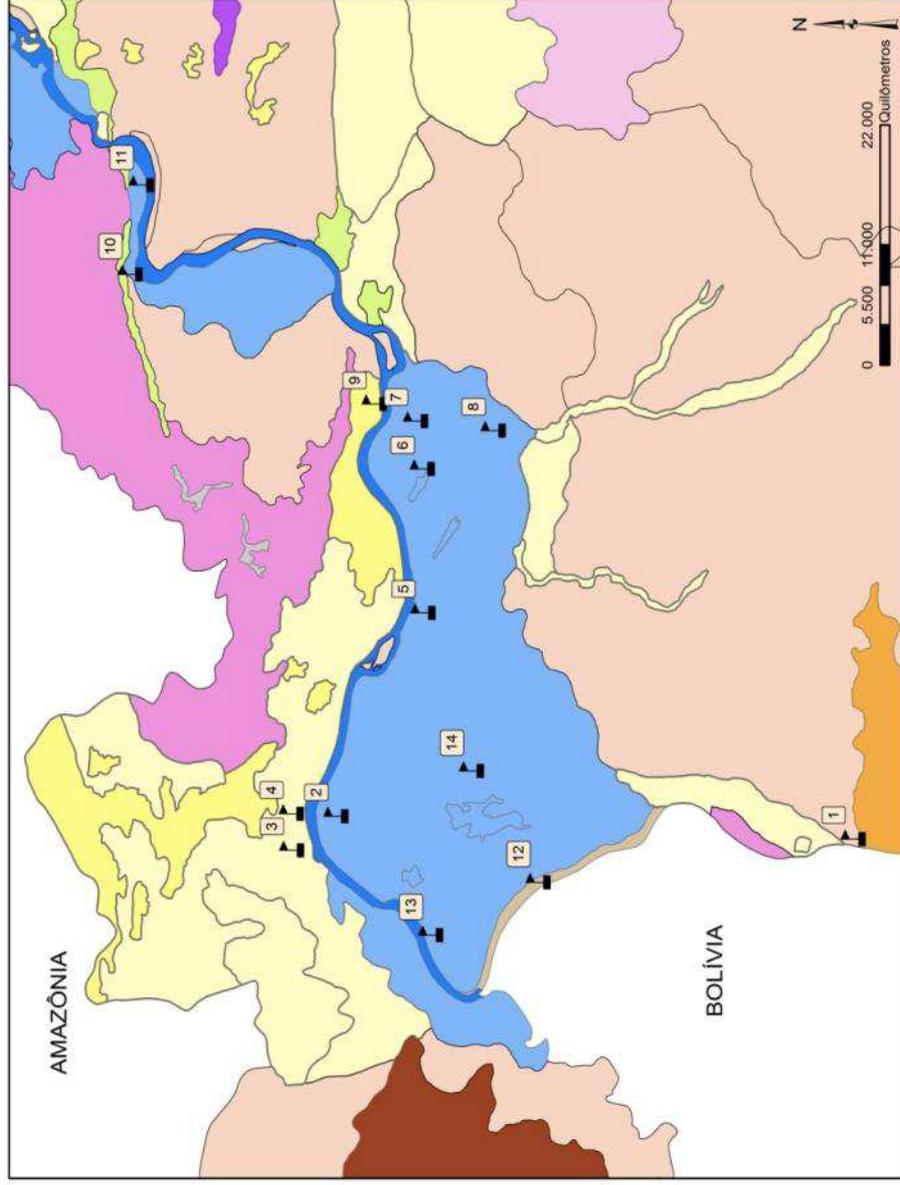
**Figura 05** – Boxplot das concentrações de mercúrio reativo na matriz água nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

A concentração de mercúrio orgânico nas amostras de água superficial coletadas na calha e nos tributários do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou valores menores que  $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ . Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 a vazante de 2012) as concentrações de mercúrio orgânico nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $0,73 \text{ ng L}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $1,04 \text{ ng L}^{-1}$ . Na fase enchimento do reservatório (seca 2012 a enchente de 2013) as concentrações apresentaram valores menores que  $0,3 \text{ ng L}^{-1}$ , não evidenciando pontos característicos de biorreatores naturais para o processo de metilação do mercúrio na área de influência direta da UHE Jirau.

### Concentrações das Espécies de Mercúrio em Solo

Na fase rio os perfis de solo foram amostrados em 03 (três) diferentes malhas amostrais (**Figuras 06 a 08**) e na fase de enchimento do reservatório os perfis de solo foram amostrados em outra malha amostral (**Figura 09**).

# MAPA PEDOLÓGICO



**Legenda**

▲ Pontos de Coleta

AD	Solos Arenosos Distróficos
CD	Camposolúolos Distróficos
DE	Camposolúolos Eutróficos
EE	Regossolos Eutróficos
GD	Solos Gleis Distróficos
GE	Solos Gleis Eutróficos
ID	Solos Concrecionários Distróficos
LAD	Latossolos Amarelos Distróficos
LUD	Latossolos Vermelho-Amarelos Distróficos
LVD	Latossolos Vermelho-Escuros Distróficos
PD	Podzólios Amarelos Distróficos
PO	Podzólios Vermelho-Amarelos Distróficos
O	Áreas Quaternárias
RD	Solos Litólicos Distróficos
	Rio Madeira

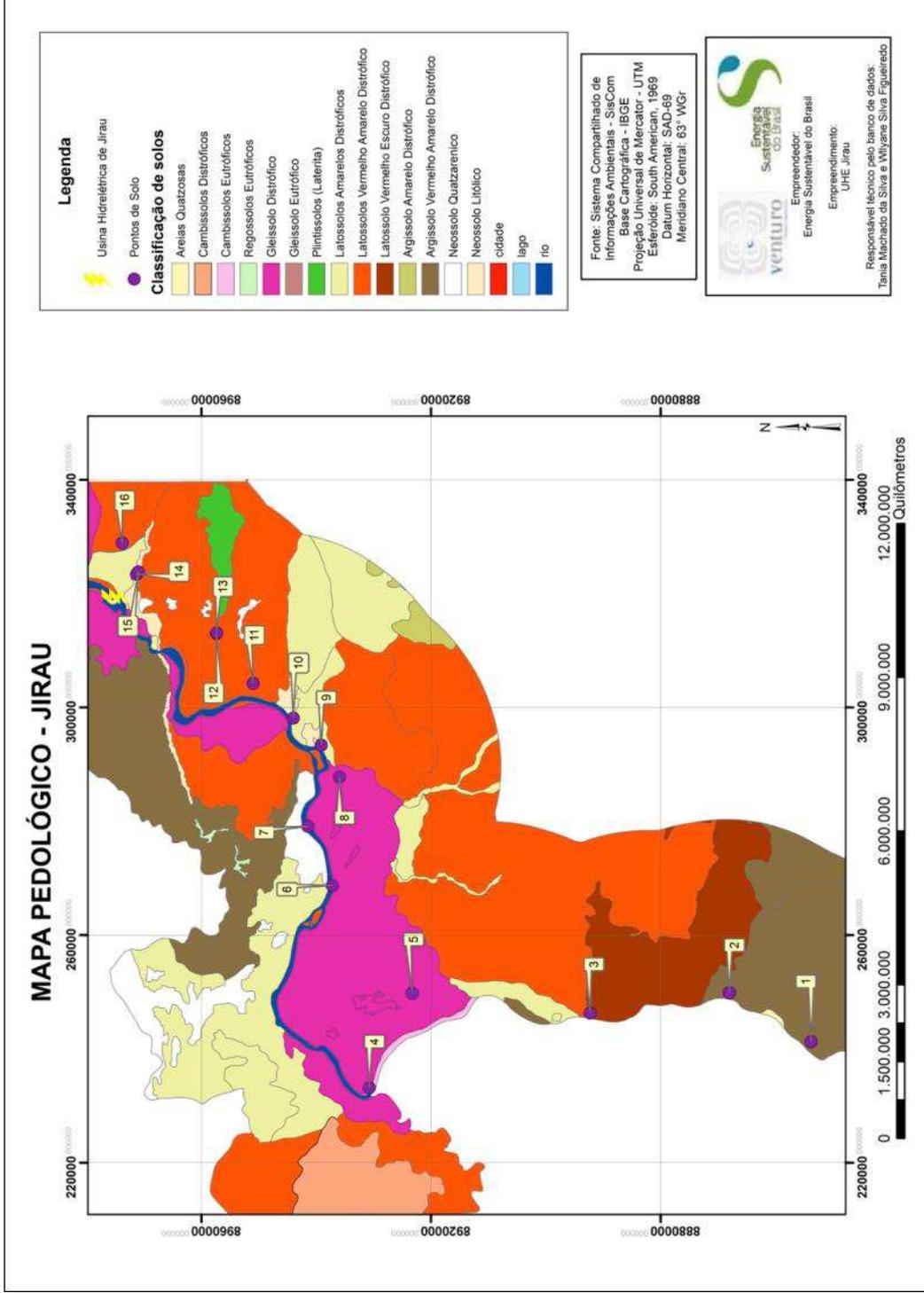


Fonte: Sistema Compartilhado de Informações Ambientais - SisCom  
 Base Cartográfica - IBGE UTM  
 Projeção Universal de Mercator - UTM  
 Esteróide: South American, 1969  
 Datum Horizontal: SAD-69  
 Meridiano Central: 63° WGR

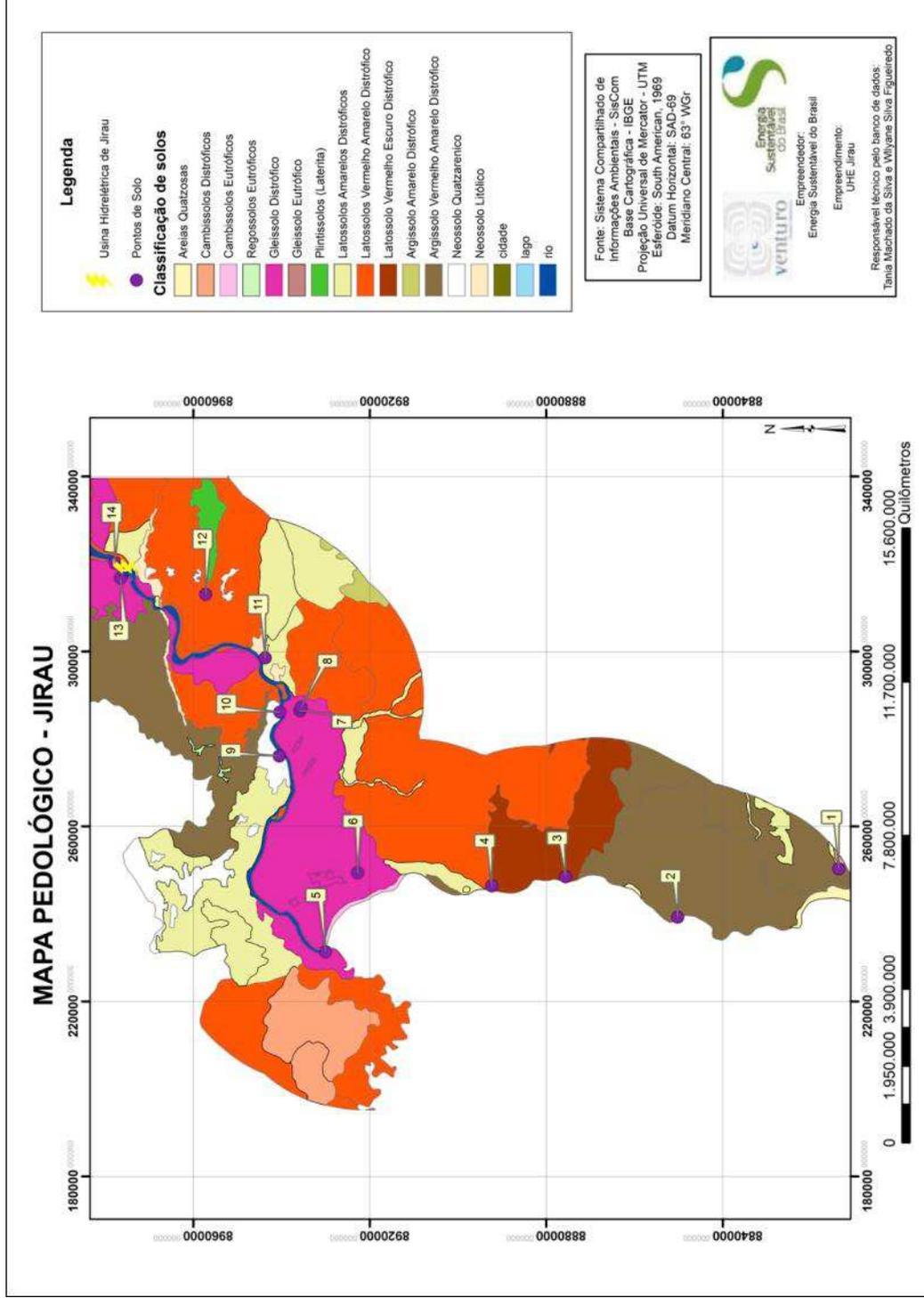
Empreendedor:  
 Energia Sustentável do Brasil  
 Empacotamento:  
 UHE Juruá

Responsável técnico pelo banco de dados:  
 Tatiana Machado da Silva e Willyane Silva Figueredo

**Figura 06** – Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo na 1ª malha amostral (2ª e 4ª campanhas de campo).

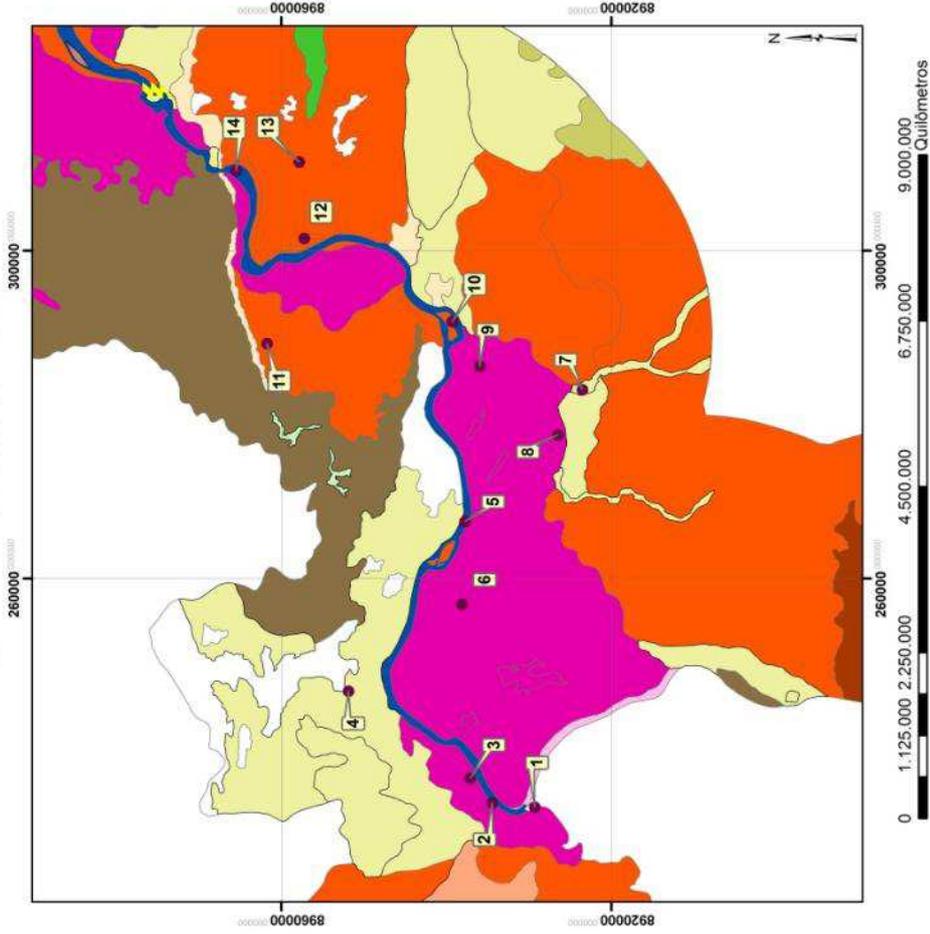


**Figura 07** – Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo na 2ª malha amostral (6ª e 8ª campanhas de campo).



**Figura 08** – Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo na 3ª malha amostral (10ª e 12ª campanhas de campo).

### MAPA PEDOLÓGICO - JIRAU



**Legenda**

- Pontos de Solo
- Usina Hidrelétrica de Jirau

**Classificação de solos**

- Arelas Quartzosas
- Cambissolos Distróficos
- Cambissolos Eutróficos
- Regossolos Eutróficos
- Gleissolo Distrófico
- Gleissolo Eutrófico
- Plintissolos (Lateria)
- Latossolos Amarelos Distróficos
- Latossolos Vermelho Amarelo Distrófico
- Latossolo Vermelho Escuro Distrófico
- Argissolo Amarelo Distrófico
- Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico
- Neossolo Quartzarenítico
- Neossolo Litólico
- cidade
- lago
- rio

Fonte: Sistema Compartilhado de Informações Ambientais - SisCom  
 Base Cartográfica - IBGE  
 Projeção Universal de Mercator - UTM  
 Esferóide: South American, 1969  
 Datum Horizontal: SAD-69  
 Meridiano Central: 63° WGr

Empreendedor:  
Energia Sustentável do Brasil

Empreendimento:  
UHE Jirau

Responsável técnico pelo banco de dados:  
Tena Machado de Silva e Willyane Silva Figueredo

**Figura 09** – Mapa pedológico dos pontos amostrais de solo na 4ª malha amostral (14ª campanha de campo).

Os resultados dos teores de matéria orgânica e análises granulométricas dos solos coletados na área de influência direta e indireta da UHE Jirau durante a 14ª campanha (jan/2013) estão apresentados na **Tabela 05**.

**Tabela 05.** Resultados dos teores de matéria orgânica (% m/m) e das análises granulométricas (% m/m) do solo nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira no período de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

Ponto	Matéria Orgânica	Areia	Silte	Argila
P1	7,27	62,25	29,13	2,98
P2	4,86	61,87	29,39	6,16
P3	12,14	58,62	29,13	3,62
P4	17,72	55,49	21,74	6,68
P5	4,13	57,66	32,78	7,17
P6	6,15	79,64	11,19	3,92
P7	8,97	69,41	22,73	4,42
P8	7,13	68,74	20,15	5,29
P9	9,15	61,73	24,71	6,69
P10	5,58	59,71	29,94	7,41
P11	9,73	61,18	20,19	9,28
P12	11,18	59,18	19,63	9,56
P13	12,18	60,17	22,27	7,13
P14	5,97	58,77	32,86	6,33

A distribuição dos elementos traço e mercúrio no solo e sedimento está relacionada com o conteúdo de carbono orgânico, argila, ferro, fósforo, potencial redox e enxofre, dentre outros. Os agentes orgânicos complexantes solúveis em água, tais como humatos e fulvatos, podem quelar as espécies solúveis e insolúveis na água; os últimos precipitam-se diretamente da solução para o sedimento.

As análises granulométricas dos solos coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira na 14ª campanha de campo (período de enchente de 2013) apresentaram valores médios de  $62,46 \pm 6,26$  % (m/m) de areia,  $24,70 \pm 6,13$  % (m/m) de silte e  $6,19 \pm 1,98$  % (m/m) de argila, enquanto que os valores médios de matéria orgânica foram de  $8,73 \pm 3,69$  % (m/m), sendo característico de solo da região Amazônica.

O padrão monomodal de descarga dos rios amazônicos ou pulso de inundação, combinado com a topografia plana de grande parte da bacia (planície amazônica), inunda e drena anualmente grandes áreas adjacentes aos rios, que correspondem às planícies de inundação. As variações do

nível hidrológico determinam o pulso sazonal de inundação, que, por sua vez, promove um ciclo de carreamento de sedimentos e nutrientes pelo canal do rio. Os teores de mercúrio total (HgT) nas amostras de solo coletadas na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 06**.

**Tabela 06.** Resultados dos teores de mercúrio total ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) no perfil de solo (cm) em horizontes coletados na bacia do rio Madeira no período de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

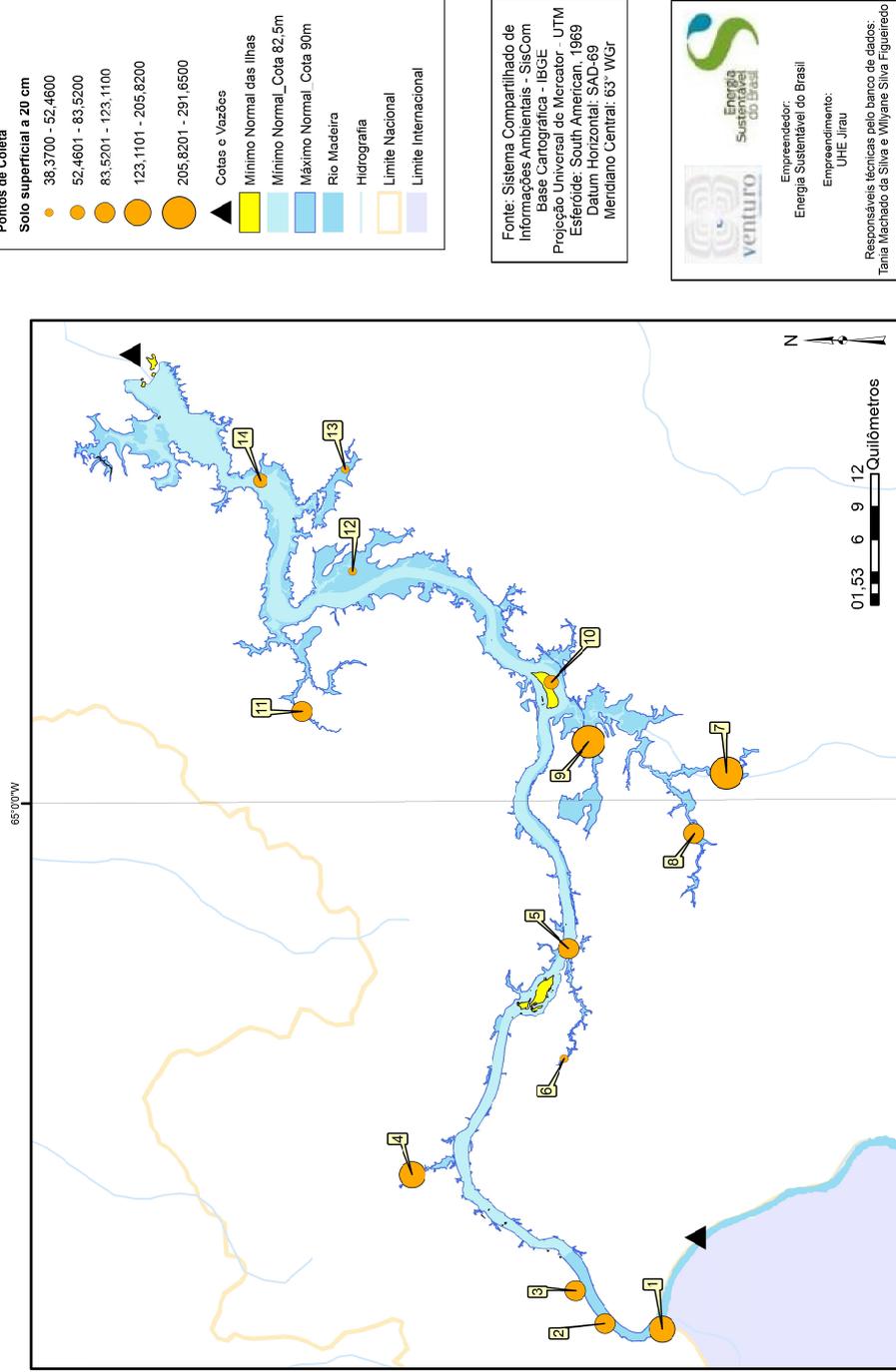
Ponto	5 cm	20 cm	40 cm	60 cm	100 cm
P1	205,82 – O	103,67 – A1	74,15 – A2	52,15 – A3	58,67 – B
P2	98,45 – O	76,73 – A1	44,45 – A2	43,88 – A3	38,51 – B
P3	106,58 – O	95,65 – A1	74,45 – A2	63,65 – A3	35,35 – B
P4	196,24 – O	182,76 – A1	129,65 – A2	96,35 – A3	82,75 – B
P5	98,97 – O	93,12 – A1	54,65 – A2	54,85 – A3	50,87 – B
P6	52,46 – O	59,85 – A1	49,45 – A2	41,45 – A3	50,54 – B
P7	288,95 – O	278,25 – A1	193,88 – A2	204,86 – A3	155,62 – B
P8	93,68 – O	109,65 – A1	107,73 – A2	75,76 – A3	48,98 – B
P9	291,65 – O	178,16 – A1	170,48 – A2	105,18 – A3	115,83 – B
P10	83,52 – O	63,67 – A1	87,83 – A2	96,18 – A3	98,11 – B
P11	123,11 – O	119,17 – A1	100,88 – A2	94,45 – A3	97,97 – B
P12	49,47 – O	40,43 – A1	33,36 – A2	37,66 – A3	35,16 – B
P13	38,37 – O	26,29 – A1	28,16 – A2	19,83 – A3	20,75 – B
P14	73,71 – O	69,65 – A1	70,56 – A2	60,52 – A3	54,63 – B

Horizontes: O, A1, A2, A3 e B, de acordo com a classificação proposta em Rocha *et. al* (2004).

Os estudos do solo têm como função básica o conhecimento de sua composição química, possibilitando estimar as eventuais consequências do enchimento do reservatório na qualidade futura da água do reservatório e do impacto no aquífero quanto aos níveis de mercúrio. O estudo em perfil de 1 m é suficiente para avaliar estes possíveis efeitos, em especial quanto à qualidade de água do reservatório, sendo que nesta profundidade encontramos apenas os horizontes mencionados nos pontos de coleta de solo.

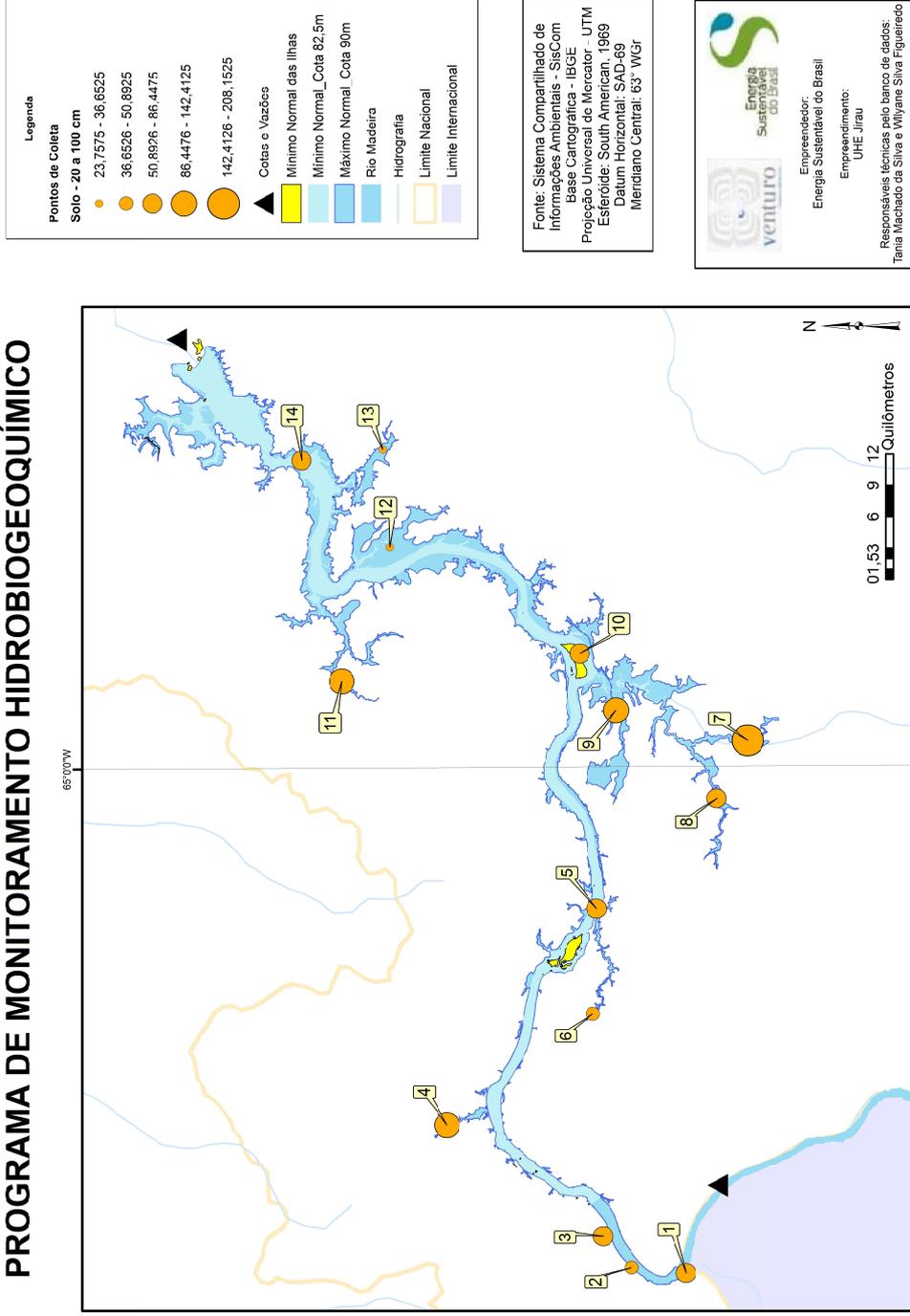
A **Figura 10** mostra a distribuição dos valores médios de mercúrio nos perfis da superfície até 20 cm de profundidade e a **Figura 11** mostra a distribuição dos valores médios de mercúrio nos perfis de 20 cm a 100 cm de profundidade solo coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira, sendo evidenciados os maiores valores nas camadas superiores.

# PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 10** – Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de perfil de solo da superfície até 20 cm de profundidade da bacia do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



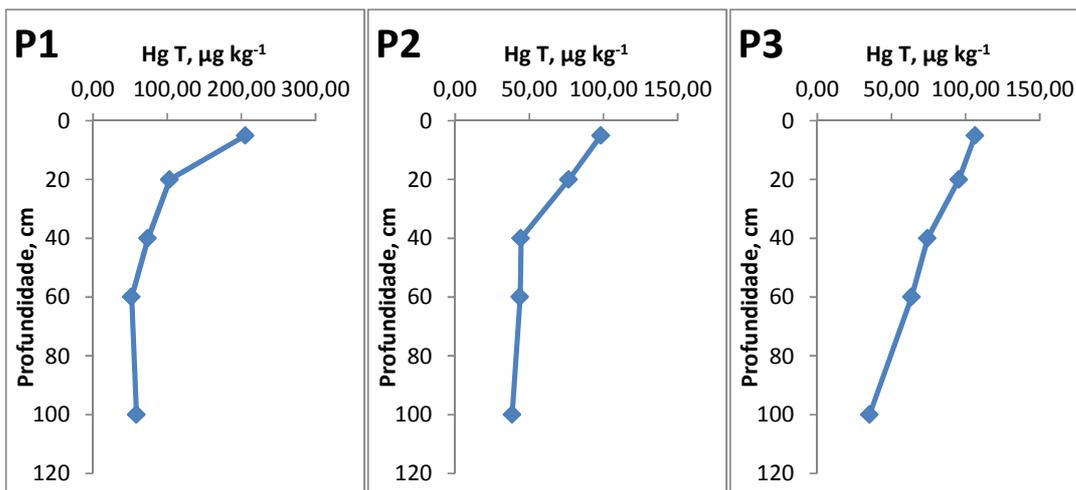
**Figura 11** – Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de perfil de solo de 20 a 100 cm de profundidade da bacia do rio Madeira.

A concentração de mercúrio total nos perfis de solo até 20 cm quando comparados aos perfis de solo de 20 cm a 100 cm nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira apresentou valor até 1,5 vezes maior evidenciando o aporte mais recente de mercúrio possivelmente devido ao período de intensa atividade de garimpo de ouro na bacia do rio Madeira.

Os solos possuem uma elevada capacidade de reter e armazenar elementos traço, devido ao forte acoplamento deste com o carbono presente. Os solos argilosos apresentam aparentemente uma elevada capacidade de reter elementos traço, podendo acumulá-los por muitos anos (Rocha *et. al.*, 2000 e 2003). Os maiores níveis de mercúrio total foram encontrados na camada superior do solo, com maior teor de matéria orgânica.

Os níveis de mercúrio total nos perfis de solo coletados nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira devem ser analisados com cuidado, uma vez que a integridade do perfil nem sempre é garantida, ou seja, o fato de se obter fatias do solo a partir da interface com a atmosfera, parte do pressuposto que não houve perturbação na forma de depósito nestes segmentos de solo.

Os resultados dos perfis de solo coletados em janeiro de 2013 evidenciam uma tendência de diminuição da concentração em função da profundidade de coleta conforme mostram as **Figuras 12 a 16**, evidenciando o aporte mais recente deste metal seja por via atmosférica ou por via hídrica.



**Figura 12.** Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo.

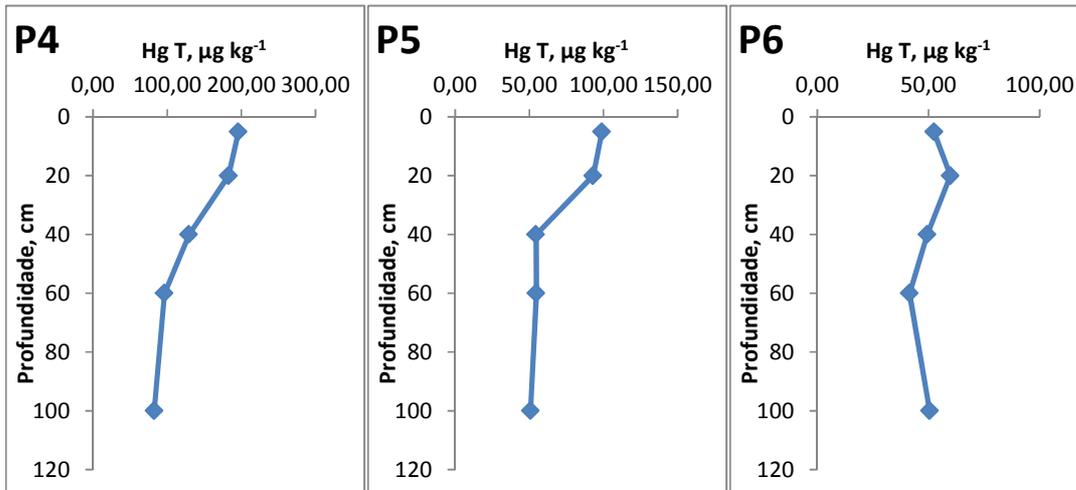


Figura 13. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo .

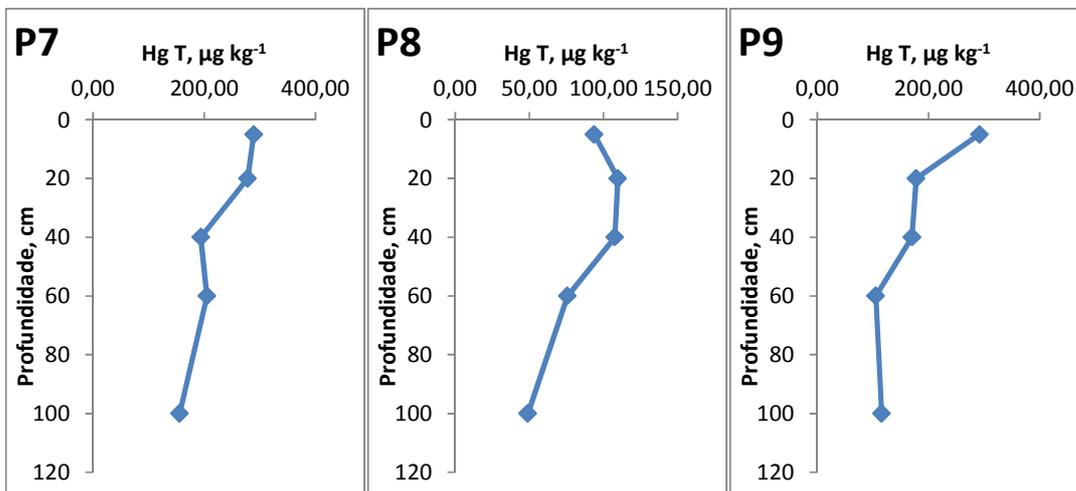


Figura 14. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo.

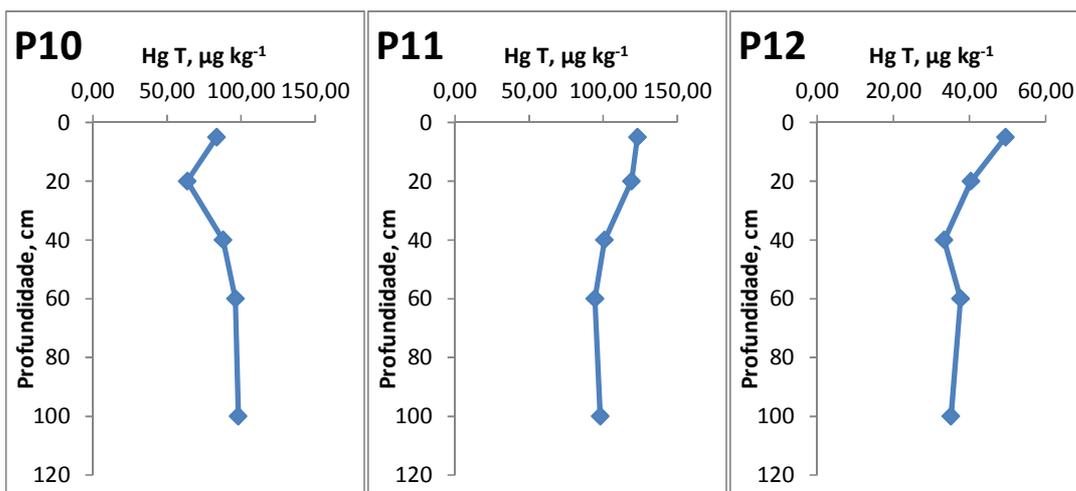
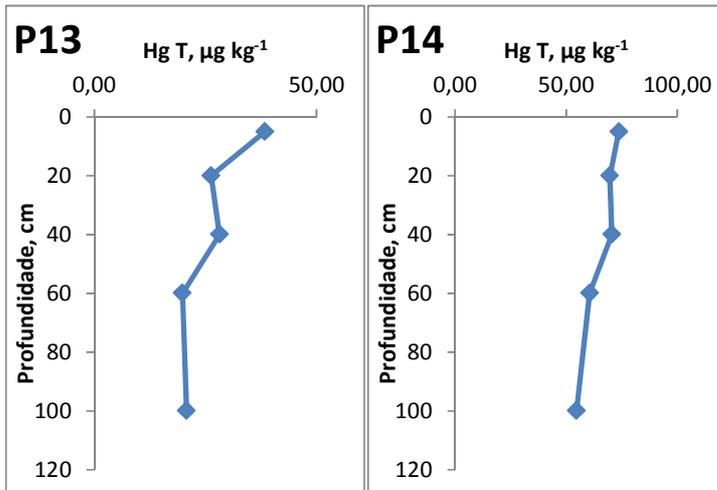


Figura 15. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo.



**Figura 16.** Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do solo.

A Resolução CONAMA nº 420/2009 que dispõe sobre os valores orientadores para solos, define como valor de prevenção a concentração de mercúrio de  $500 \mu\text{g kg}^{-1}$ , acima da qual podem ocorrer alterações prejudiciais à qualidade do solo e da água subterrânea.

O valor de intervenção indica a concentração de determinada substância no solo acima da qual existem riscos potenciais, diretos ou indiretos, à saúde humana considerada um cenário de exposição genérico. Para o solo, foi calculado utilizando-se procedimento de avaliação de risco à saúde humana para cenários de exposição de mercúrio em área agrícola de  $12.000 \mu\text{g kg}^{-1}$ , área residencial de  $36.000 \mu\text{g kg}^{-1}$  e área industrial de  $70.000 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

As amostras de solo coletadas nas áreas dos pulsos de inundação do rio Madeira e tributários na 14ª campanha de campo apresentaram valores de mercúrio total aproximadamente 5 vezes menores quando comparado ao valor de prevenção preconizado pela Resolução CONAMA nº 420/2009.

### Concentrações das espécies de mercúrio em sedimento

Os teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas amostras de sedimento coletados na bacia do rio Madeira na 14ª campanha de campo (jan/2013) estão apresentados na **Tabela 07** abaixo.

**Tabela 07.** Resultados dos teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no sedimento amostrados no período de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

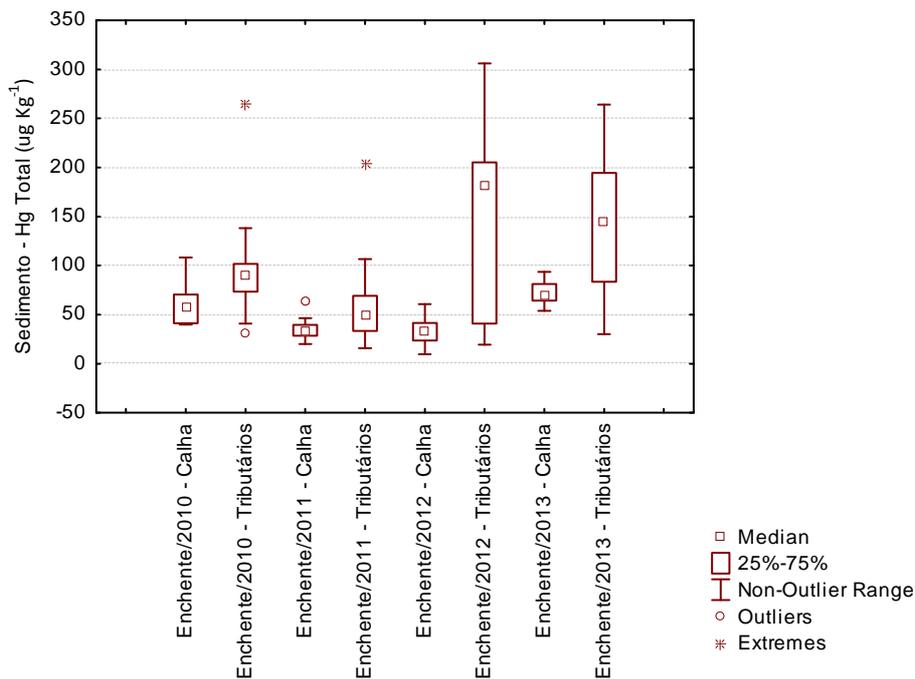
Ponto	Tipo	HgT ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	MeHg ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )
P1-MAM	Calha	87,71	0,5281
P2-MAD 1A	Calha	69,96	0,2152
P2-MAD 1B	Calha	63,23	0,1974
P2-MAD 1C	Calha	54,95	0,1897
P3-RIB	Tributário	201,11	1,1351
P4-ARA	Tributário	183,09	0,8392
P5-ABU	Tributário	87,71	0,5281
P6-MAD 2A	Calha	68,28	0,2455
P6-MAD 2B	Calha	74,54	0,2649
P6-MAD 2C	Calha	86,76	0,2373
P7-SIZ	Tributário	76,95	0,2475
P8-SIM	Tributário	180,86	1,3254
P9-MAD 3A	Calha	205,75	1,4472
P9-MAD 3B	Calha	63,59	0,1630
P9-MAD 3C	Calha	68,42	0,2011
P10-CAS	Tributário	93,64	0,1970
P11-MTP 1	Lago	80,49	0,8345
P12-COT	Tributário	154,68	2,0472
P13-MUT 1	Tributário	147,71	2,4245
P14-MAD 4A	Calha	193,84	3,0596
P14-MAD 4B	Calha	64,28	0,2546
P14-MAD 4C	Calha	53,76	0,1923
P15-LOU	Tributário	72,72	0,2147
P16-CAI	Tributário	264,28	2,2243
P17-JIR	Tributário	94,74	0,7529
P18-MAD 5A	Calha	86,52	0,4908
P18-MAD 5B	Calha	74,9	0,2225
P18-MAD 5C	Calha	69,45	0,1953
P19-MAD 6A	Calha	69,62	0,1859
P19-MAD 6B	Calha	70,76	0,2022
P19-MAD 6C	Calha	89,67	0,1052
P20-MTP 2	Tributário	81,19	0,2973

\*Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

A concentração de mercúrio total nas amostras de sedimentos coletadas na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $70,76 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $168,89 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do rio Abunã (P5-ABU), Igarapé Castanho (P10-CAS), rio Mutum-Paraná (P11-MTP 1A), Igarapé Cotia (P12-COT), Igarapé Caiçara (P16-CAI) e o Igarapé Jirau (P17-JIR) que apresentaram mediana de  $79,64 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto (**Figura 17**) mostra uma tendência homogênea dos níveis de mercúrio total ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de  $87,71 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguindo dos valores em P2-MAD 1 de  $62,71 \pm 7,52 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD

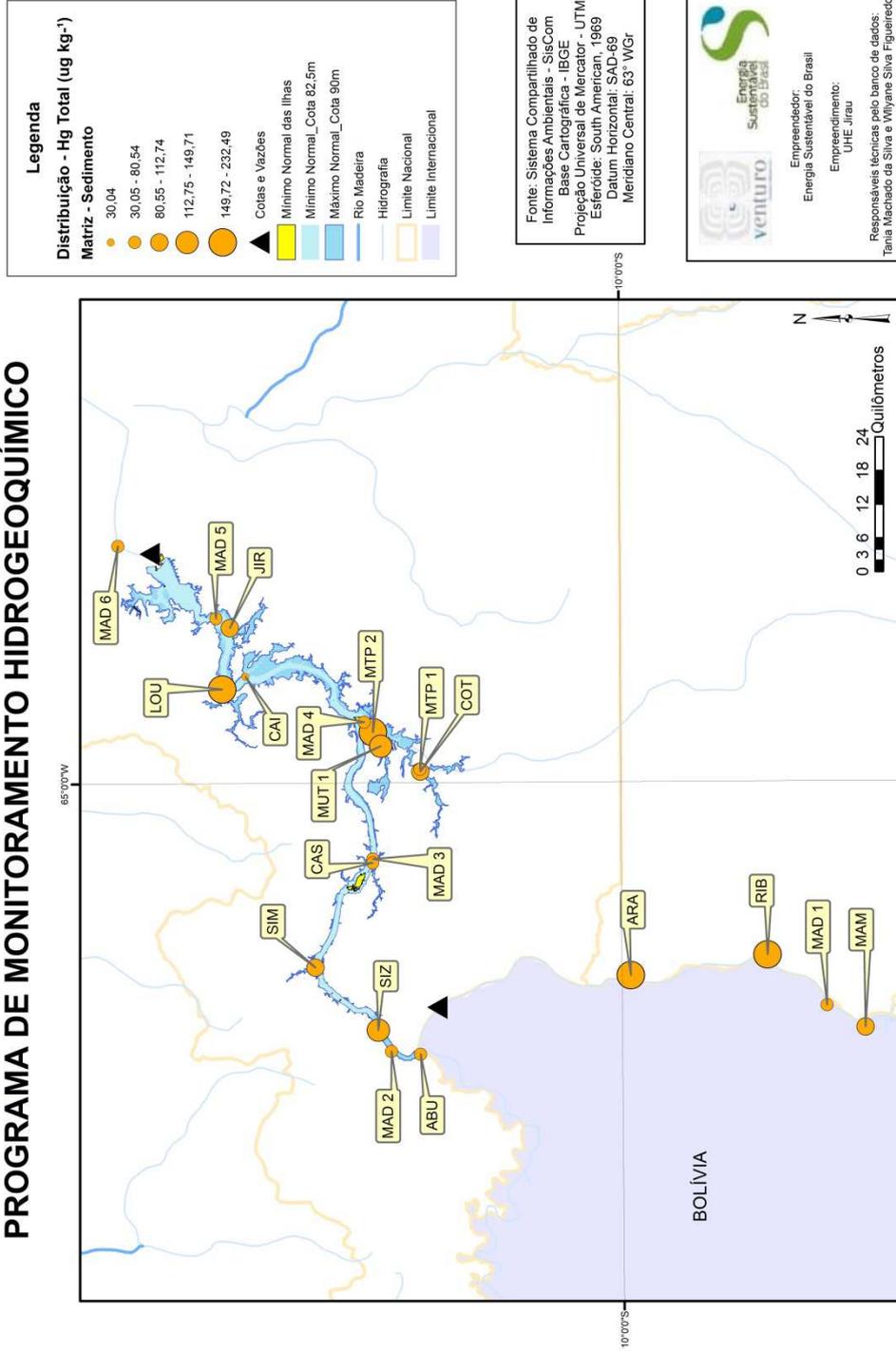
2 de  $79,42 \pm 6,47 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $75,22 \pm 16,14 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $63,56 \pm 9,50 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $71,32 \pm 3,10 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $80,54 \pm 9,47 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

A série temporal das concentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013 (**Figura 18**) evidencia variações sazonais na calha do rio Madeira e maiores concentrações de mercúrio nos sedimentos dos tributários quando comparados aos valores da calha do rio Madeira.



**Figura 18** – Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz sedimento nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROGEOQUÍMICO



**Figura 17** – Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de sedimento da bacia do rio Madeira e seus tributários.

Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) asconcentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $34,44 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $66,25 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 aenchente de 2013) asconcentrações de mercúrio total nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $63,41 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $103,23 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento da concentração de mercúrio total no sedimento, sendo as concentrações de mercúrio total nos tributários aproximadamente 2 vezes maior quando comparado a calha do rio Madeira.

Os teores de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na bacia do rio Madeira estão apresentados na **Tabela 08**.

**Tabela 08.** Resultados dos teores de mercúrio total ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) nos perfis de sedimento coletados no rio Madeira e tributários na 14ª campanha de campo (17/01 a 31/01/2013).

Ponto	Tipo	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
P1-MAM	Calha	84,56	75,91	63,07	62,88
P2-MAD 1	Calha	35,38	34,97	30,24	30,85
P3-RIB	Tributário	300,34	271,51	170,26	156,22
P4-ARA	Tributário	323,61	318,92	239,67	160,95
P5-ABU	Tributário	77,31	71,84	62,53	70,34
P6-MAD 2	Calha	94,14	96,94	95,72	99,32
P7-SIZ	Tributário	53,84	49,51	34,05	31,31
P8-SIM	Tributário	63,13	45,86	33,44	30,46
P9-MAD 3	Calha	47,07	42,49	37,12	37,95
P10-CAS	Tributário	52,86	33,18	25,43	19,83
P11-MTP 1	Lago	126,74	119,69	81,77	72,45
P12-COT	Tributário	137,22	99,97	88,61	69,58
P13-MUT 1A	Tributário	183,99	84,54	66,76	58,32
P14-MAD 4	Calha	87,23	62,46	41,96	44,27
P15-LOU	Tributário	206,56	145,43	98,31	69,77
P16-CAI	Tributário	50,18	49,53	32,19	28,07
P17-JIR	Tributário	131,97	101,68	79,48	42,82
P18-MAD 5	Calha	80,47	85,64	70,28	72,09
P19-MAD 6	Calha	77,29	83,01	79,14	70,66
P20-MTP 2	Tributário	638,61	588,62	425,75	363,85

\*Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

As concentrações de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na calha do rio Madeira e tributários apresentam tendência de menores valores com a profundidade de coleta conforme mostra as **Figuras de 19 a 25**, seguindo a mesma tendência observada para o solo.

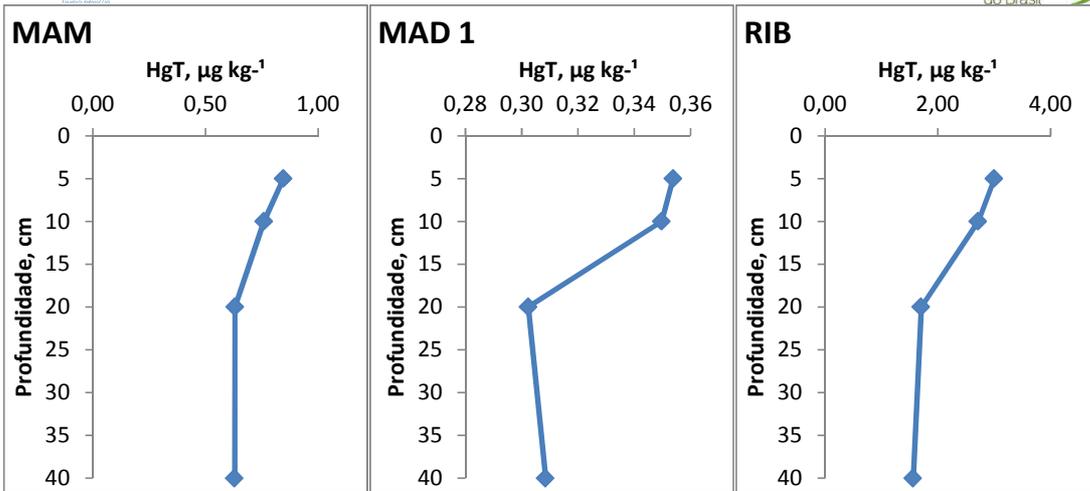


Figura 19. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

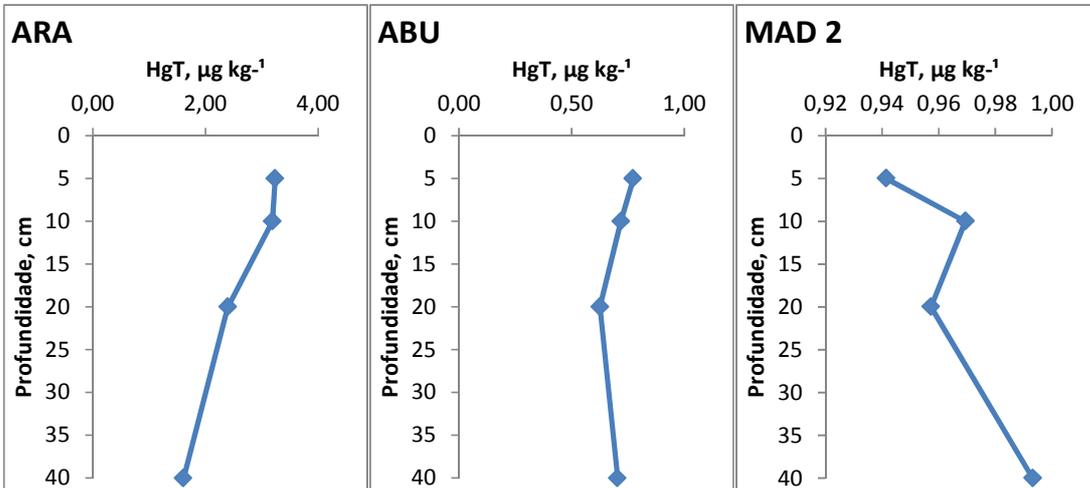


Figura 20. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

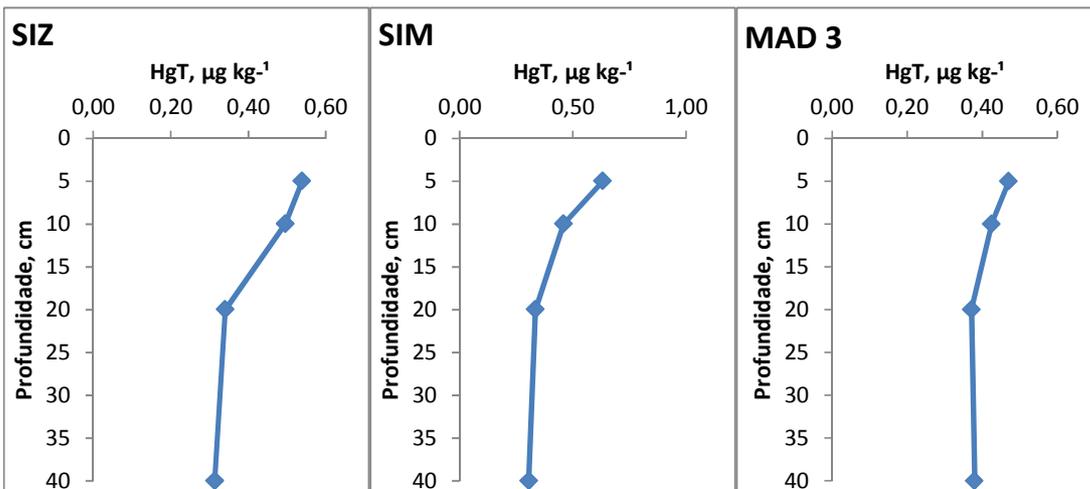


Figura 21. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

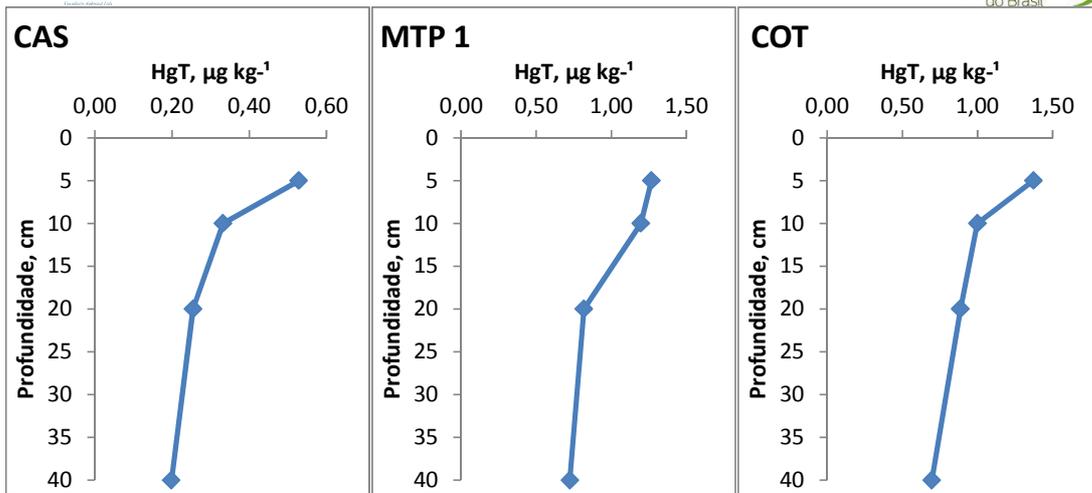


Figura 22. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

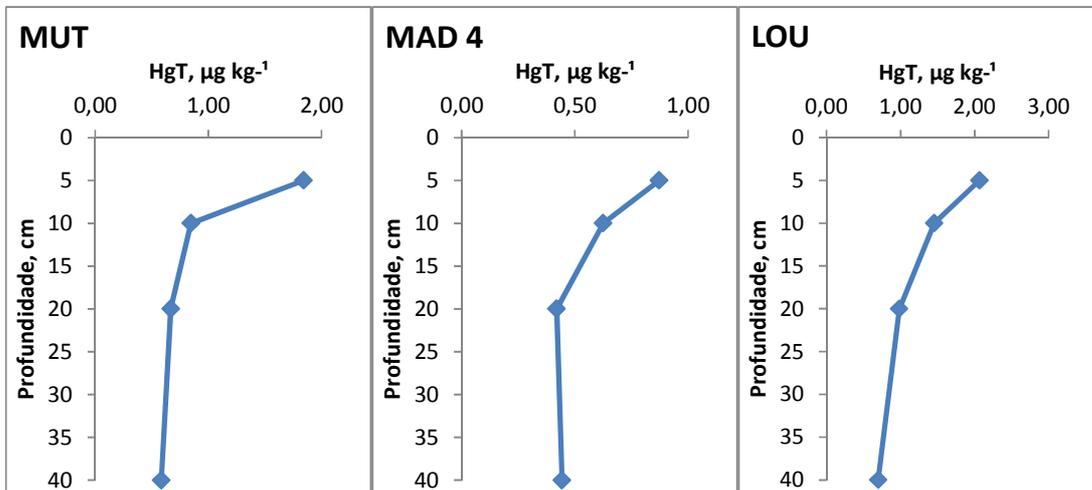


Figura 23. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

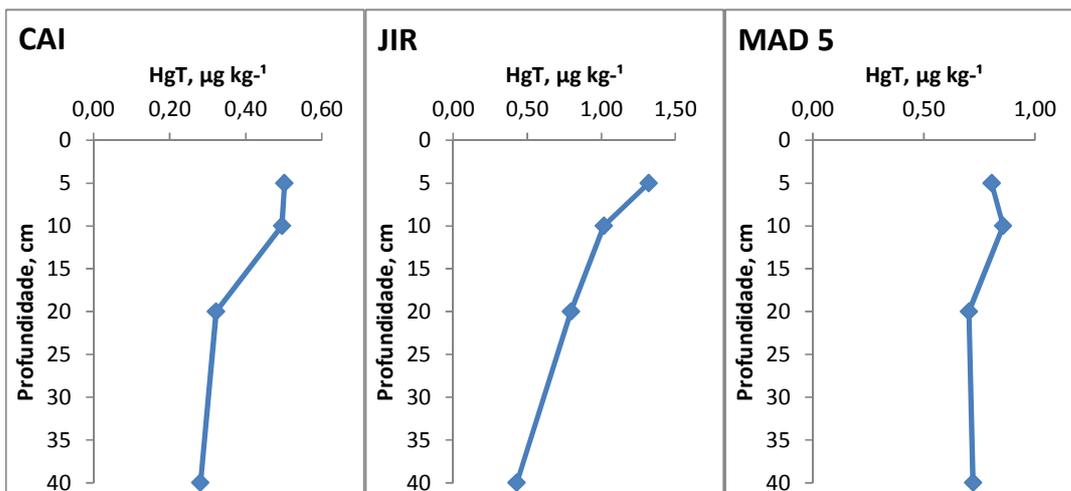
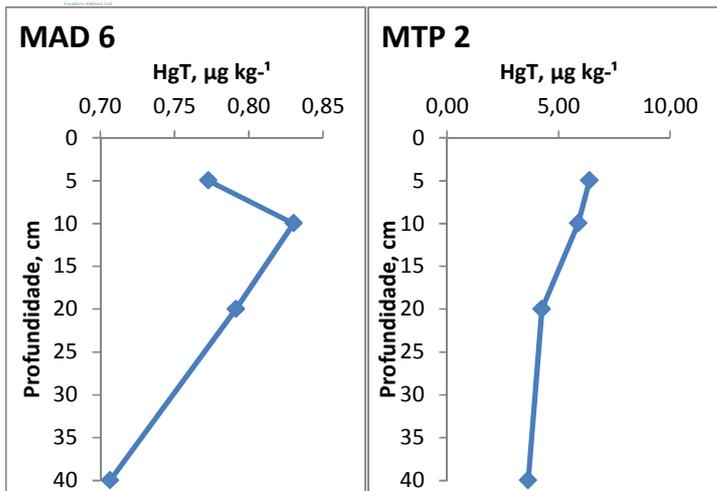


Figura 24. Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.



**Figura 25.** Curvas de distribuição dos níveis de mercúrio total em função da profundidade do sedimento.

Os valores de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na calha e nos tributários do rio Madeira na 14ª campanha de campo são compatíveis com os níveis relatados pela literatura para a região Amazônica (**Tabela 09**). As distribuições das concentrações de mercúrio total nos perfis de sedimento coletados na fase rio (seca de 2009 a vazante de 2012) apresentaram comportamento semelhante aos perfis de sedimento coletados na fase de enchimento do reservatório (seca de 2012 a enchente de 2013).

**Tabela 09.** Faixa de concentração de mercúrio total em sedimento na região Amazônica.

Localização	HgTotal µg kg <sup>-1</sup>	Referência
Rio Negro – Amazônia	70-270	Bisinoti <i>et al.</i> , 2007
Rio Madeira – Rondônia	30 – 350	Malmet <i>et al.</i> , 1990
Rio Madeira – Rondônia	20-530	Sousa <i>et al.</i> , 1999
Rio Madeira – Rondônia	30-120	Bastos <i>et al.</i> , 2006
Rio Mutum Paraná – Rondônia	210-19.800	Pfeiffer <i>et al.</i> , 1989

A Resolução CONAMA nº 344/2004, que dispõe sobre as diretrizes gerais e os procedimentos mínimos para a avaliação do material a ser dragado em águas, preconiza os valores orientadores de mercúrio total para material nível 1 de 170 µg kg<sup>-1</sup> e para material nível 2 de 486 µg kg<sup>-1</sup>. Nesta resolução o nível 1 indica o limiar abaixo do qual se prevê baixa probabilidade de efeitos adversos à biota enquanto que o nível 2 indica o limiar acima do qual se prevê um provável efeito adverso à biota. As concentrações de mercúrio total nas amostras de sedimento dos tributários e da calha do rio Madeira atendem aos teores orientadores preconizados na Resolução CONAMA nº 344/2004.

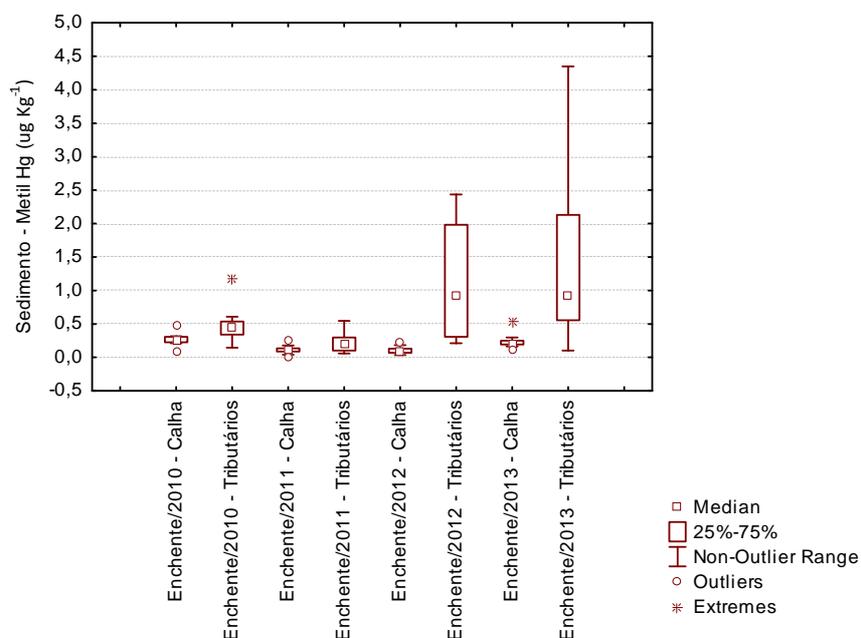
A concentração de metilmercúrio nas amostras de sedimentos coletadas na calha do rio Madeira apresentaram mediana de 0,2022 µg kg<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 0,6254 µg kg<sup>-1</sup>, com

exceção do Igarapé Ribeirão (P3-RIB), rio Cotia (P12-COT), área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1A) e foz do rio Mutum Paraná (P20-MTP 2) que apresentaram mediana de  $2,04 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

O estudo em transecto (**Figura 26**) mostra uma tendência homogênea dos níveis de metilmercúrio ao longo do rio Madeira com exceção do rio Mamoré, sendo no rio Mamoré de  $0,5281 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguindo do P2-MAD 1 de  $0,2008 \pm 0,0131 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $0,2499 \pm 0,0140 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $0,1870 \pm 0,0209 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $0,2205 \pm 0,0316 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $0,2012 \pm 0,0190 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $0,2016 \pm 0,0961 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

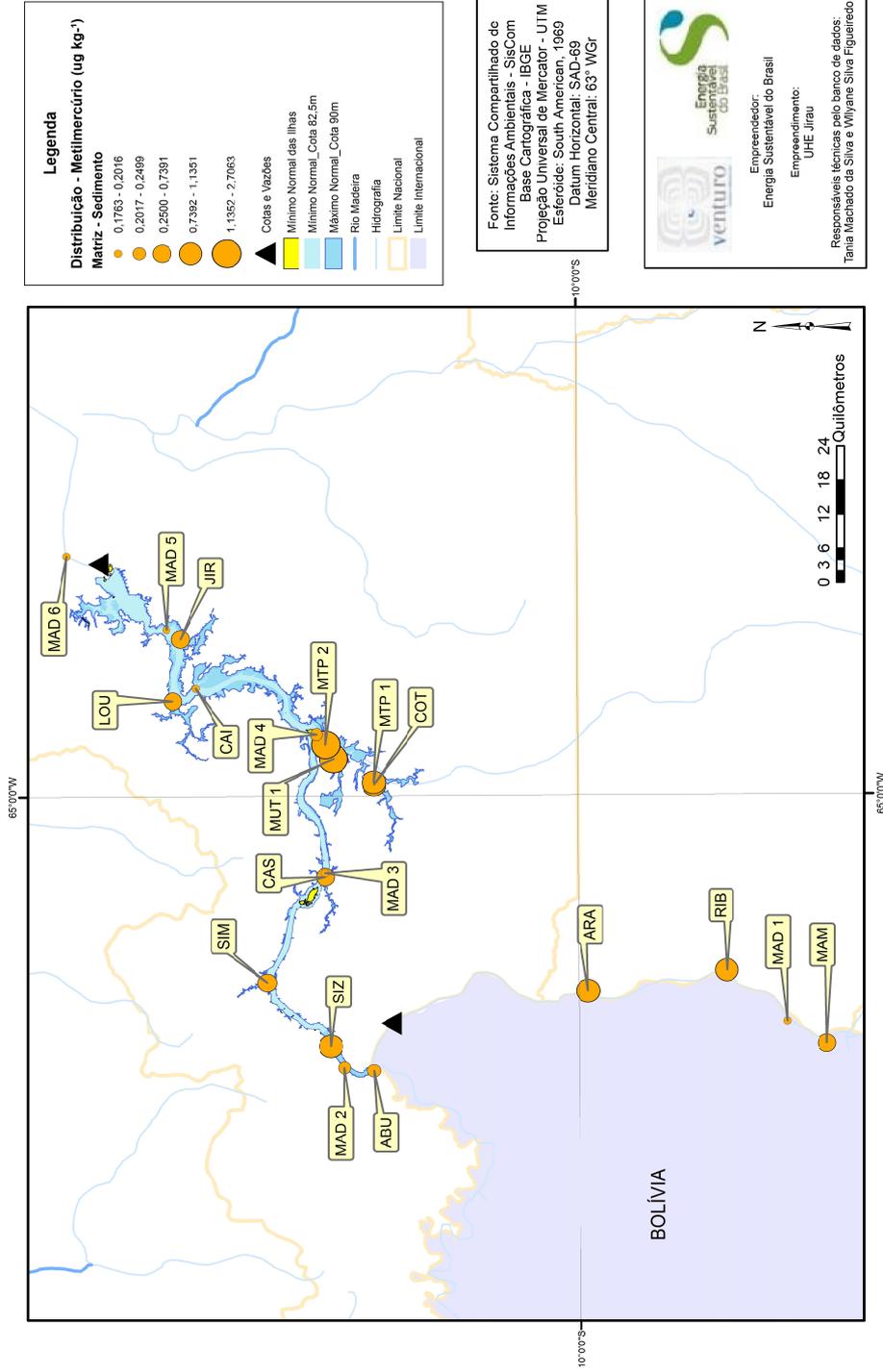
A série temporal das concentrações de metilmercúrio nas amostras de sedimento nos períodos hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013 (**Figura 27**) evidencia variações sazonais na calha do rio Madeira e tendência de aumento nos tributários ao longo do tempo.

Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 a vazante de 2012) as concentrações de metilmercúrio nas amostras de sedimento nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $0,1079 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana de  $0,3078 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 a enchente de 2013) as concentrações de mercúrio total nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $0,1885 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $0,5994 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de metilmercúrio no sedimento, sendo as concentrações nos tributários aproximadamente 4 vezes maiores quando comparado à calha do rio Madeira.



**Figura 27** – Boxplot das concentrações de metilmercúrio na matriz sedimento nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



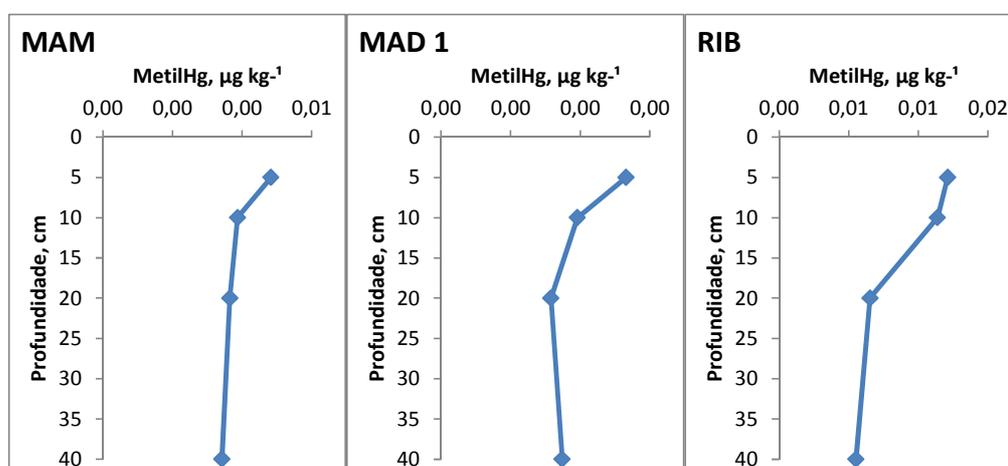
**Figura 26** – Distribuição dos níveis de metilmercúrio nas amostras de sedimento na calha do rio Madeira e seus tributários.

Os teores de metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados na calha do rio Madeira e nos tributários estão apresentados na **Tabela 10**.

**Tabela 10.** Resultados dos teores de metilmercúrio ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) nos perfis de sedimento coletados no rio Madeira e tributários na 14ª campanha de campo (17/01 a 31/01/2013).

Ponto	Tipo	5 cm	10 cm	20 cm	40 cm
P1-MAM	Calha	0,483	0,387	0,365	0,342
P2-MAD 1	Calha	0,133	0,098	0,079	0,087
P3-RIB	Tributário	1,211	1,137	0,653	0,552
P4-ARA	Tributário	1,538	1,512	1,262	0,783
P5-ABU	Tributário	0,342	0,281	0,217	0,265
P6-MAD 2	Calha	0,241	0,263	0,223	0,217
P7-SIZ	Tributário	0,279	0,246	0,223	0,176
P8-SIM	Tributário	0,301	0,242	0,165	0,129
P9-MAD 3	Calha	0,092	0,082	0,086	0,082
P10-CAS	Tributário	0,562	0,355	0,281	0,184
P11-MTP 1	Lago	1,567	1,455	1,012	0,881
P12-COT	Tributário	1,627	1,241	1,079	0,791
P13-MUT	Tributário	3,811	1,867	1,035	0,915
P14-MAD 4	Calha	0,288	0,197	0,123	0,095
P15-LOU	Tributário	1,031	0,862	0,483	0,351
P16-CAI	Tributário	0,275	0,239	0,148	0,136
P17-JIR	Tributário	0,518	0,391	0,271	0,131
P18-MAD 5	Calha	0,279	0,262	0,215	0,211
P19-MAD 6	Calha	0,268	0,213	0,191	0,16
P20-MTP 2	Tributário	7,611	6,806	4,851	3,554

Os níveis de metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados na calha do rio Madeira e tributários tiveram tendência em diminuir com a profundidade de coleta conforme mostram as **Figuras 28 a 34**. As distribuições das concentrações de metilmercúrio nos perfis de sedimento coletados na fase rio (seca de 2009 a vazante de 2012) apresentaram comportamento semelhante nos perfis de sedimento coletados na fase de enchimento do reservatório (seca de 2012 a enchente de 2013)



**Figura 28.** Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

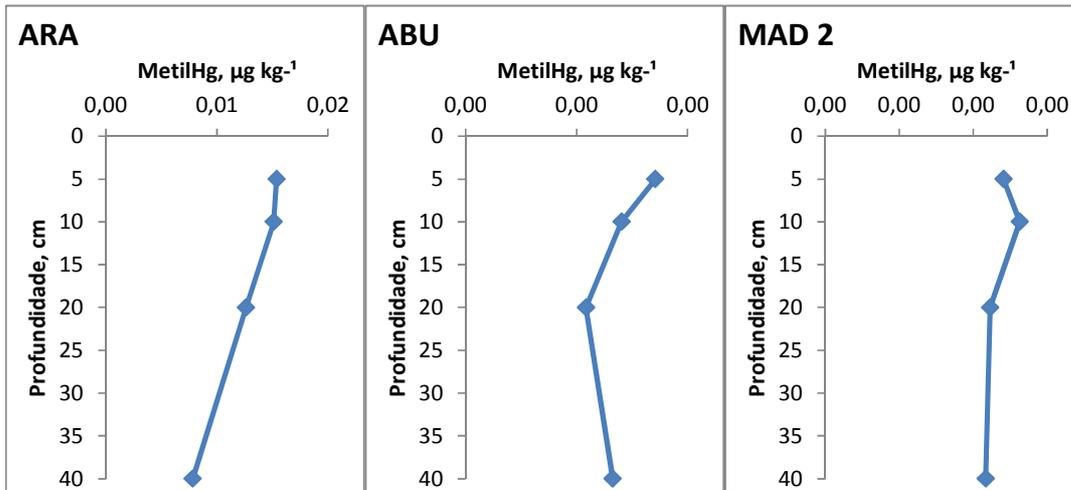


Figura 29. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

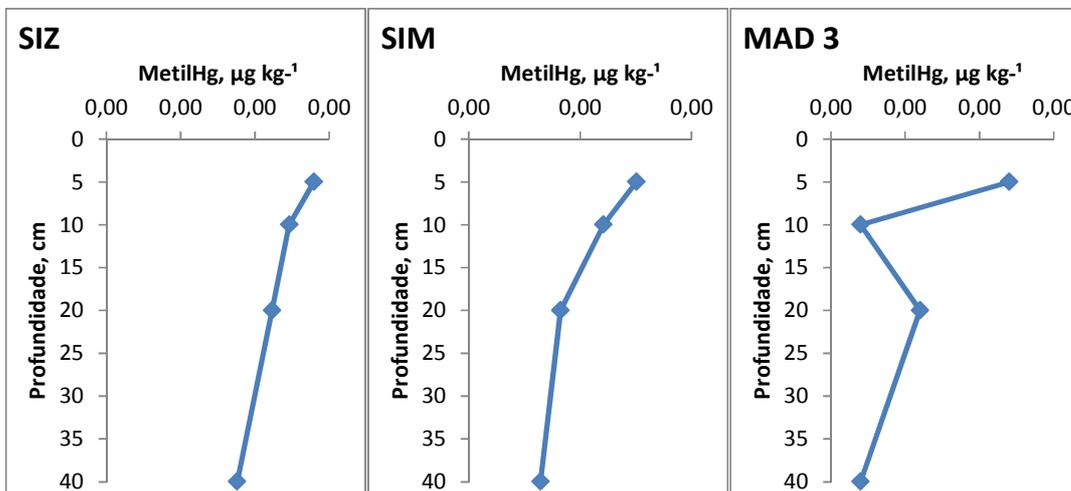


Figura 30. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

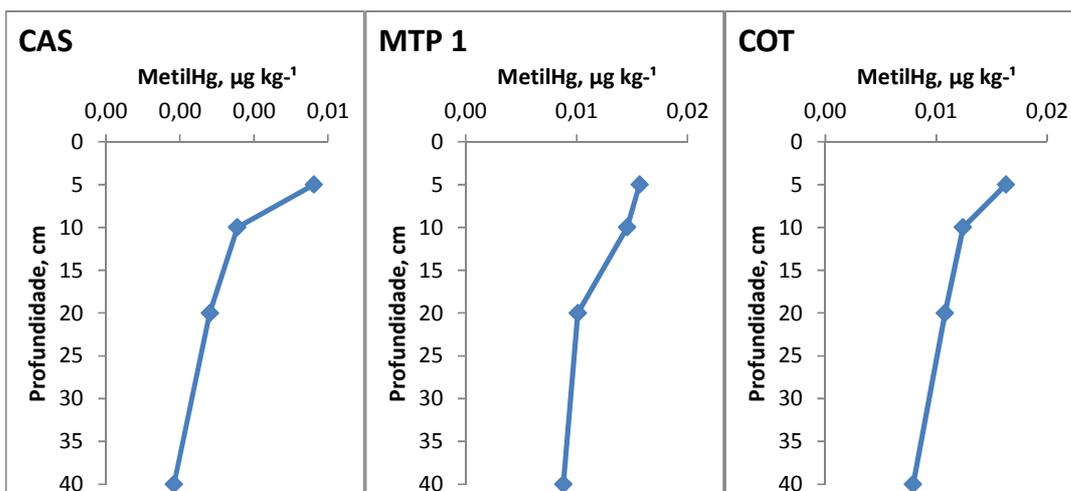


Figura 31. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

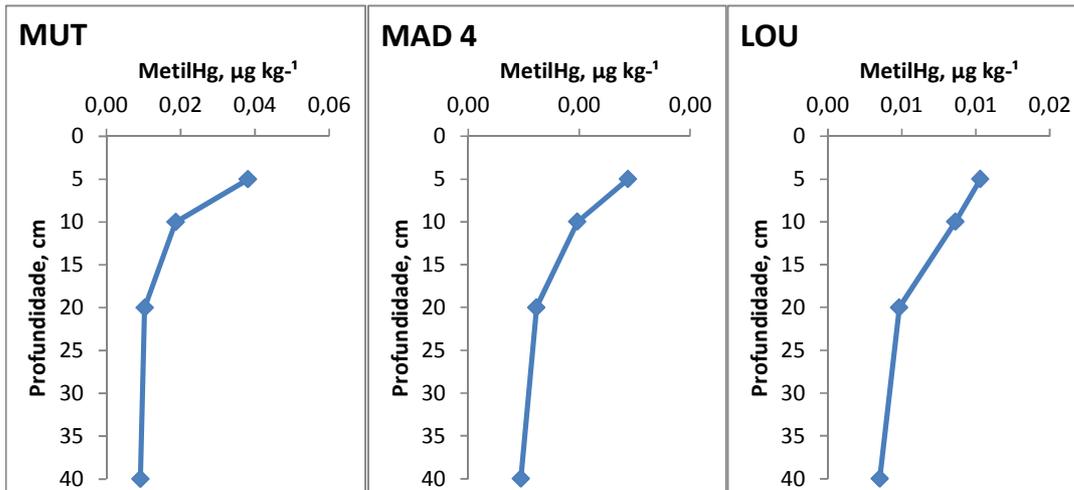


Figura 32. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

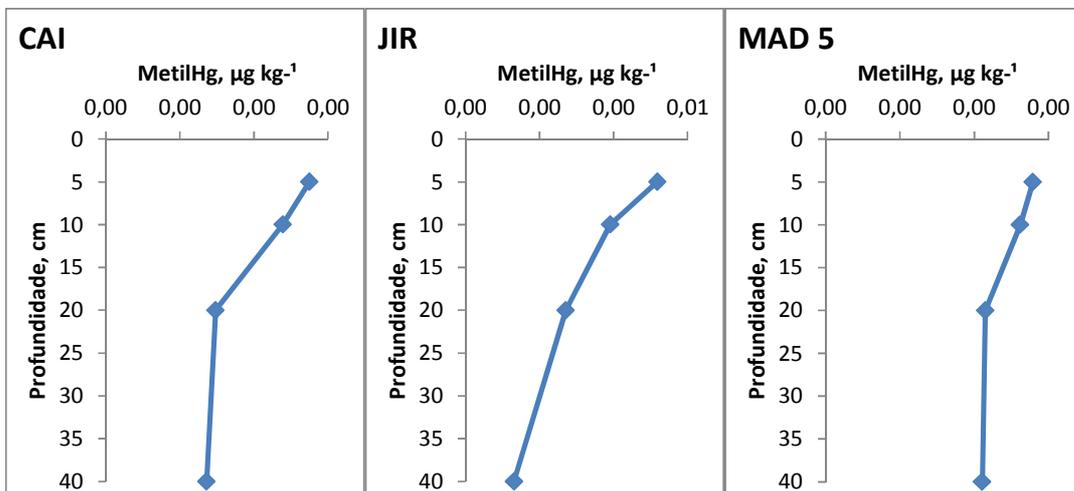


Figura 33. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

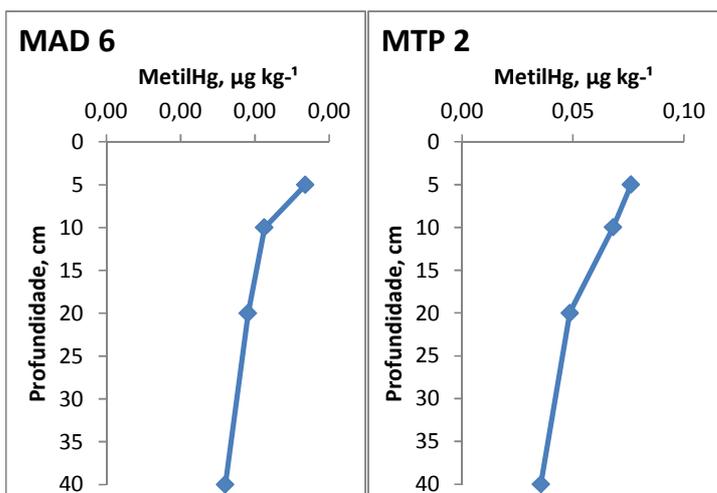


Figura 34. Curvas de distribuição dos níveis de metilmercúrio em função da profundidade do sedimento.

## Concentração de mercúrio no material particulado suspenso

A **Tabela 11** apresenta valores de mercúrio total no material particulado suspenso coletado na bacia do rio Madeira durante a 14ª campanha de campo (jan/2013).

**Tabela 11.** Resultados dos teores de mercúrio total (HgT) no material particulado suspenso nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira e tributários no período de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

Ponto	Tipo	HgT ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )
P1-MAM	Calha	635,96
P2-MAD 1A	Calha	300,73
P2-MAD 1B	Calha	310,51
P2-MAD 1C	Calha	222,41
P3-RIB	Tributário	114,85
P4-ARA	Tributário	218,22
P5-ABU	Tributário	63,78
P6-MAD 2A	Calha	380,27
P6-MAD 2B	Calha	224,35
P6-MAD 2C	Calha	306,42
P7-SIZ	Tributário	89,94
P8-SIM	Tributário	142,61
P9-MAD 3A	Calha	210,43
P9-MAD 3B	Calha	236,85
P9-MAD 3C	Calha	224,74
P10-CAS	Tributário	105,43
P11-MTP 1	Lago	86,53
P12-COT	Tributário	104,81
P13-MUT	Tributário	148,36
P14-MAD 4A	Calha	356,72
P14-MAD 4B	Calha	394,66
P14-MAD 4C	Calha	308,65
P15-LOU	Tributário	74,93
P16-CAI	Tributário	63,01
P17-JIR	Tributário	80,28
P18-MAD 5A	Calha	215,94
P18-MAD 5B	Calha	236,36
P18-MAD 5C	Calha	218,00
P19-MAD 6A	Calha	232,47
P19-MAD 6B	Calha	231,42
P19-MAD 6C	Calha	263,37
P20-MTP 2	Tributário	101,13

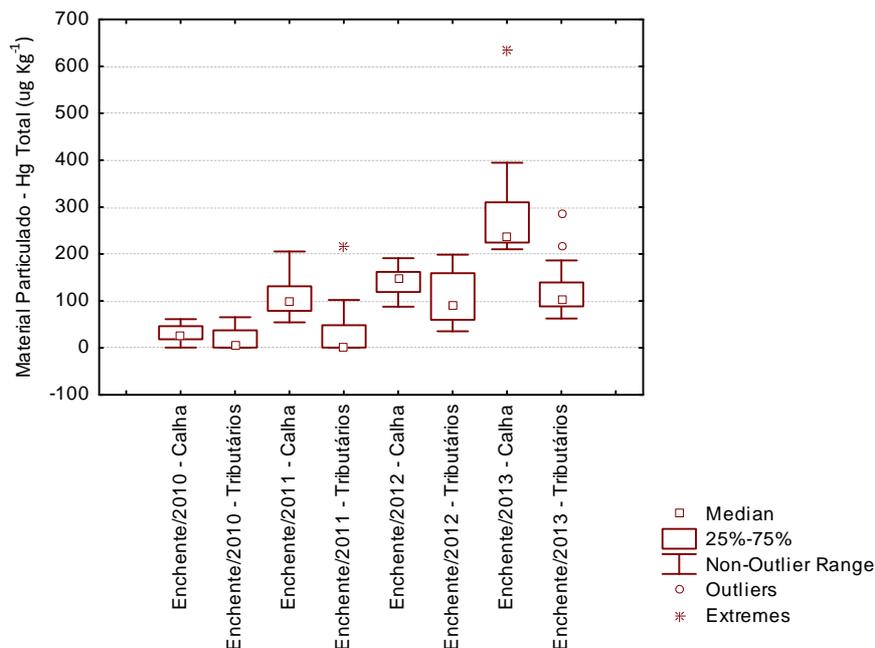
\*Estudos em transecto: A-margem direita do rio, B-centro do rio e C-margem esquerda do rio.

A concentração de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso coletadas na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $236,85 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $114,85 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do rio Abunã (P5-ABU), Igarapé Simãozinho (P7-SIZ), rio MutumParaná

(P11-MTP 1A e 1B), Igarapé São Lourenço (P15-LOU), Igarapé Caiçara (P16-CAI ) e Igarapé Jirau (P17-JIR), que apresentaram mediana de  $80,28 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto mostra uma tendência homogeneia das concentrações de mercúrio total ao longo do rio Madeira (**Figura 35**), sendo no rio Mamoré (P1-MAM) de  $635,96 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguindo do P2-MAD 1 de  $277,88 \pm 48,26 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $303,68 \pm 78,00 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $224,01 \pm 13,23 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $353,34 \pm 43,10 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $223,43 \pm 11,24 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $242,42 \pm 18,15 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

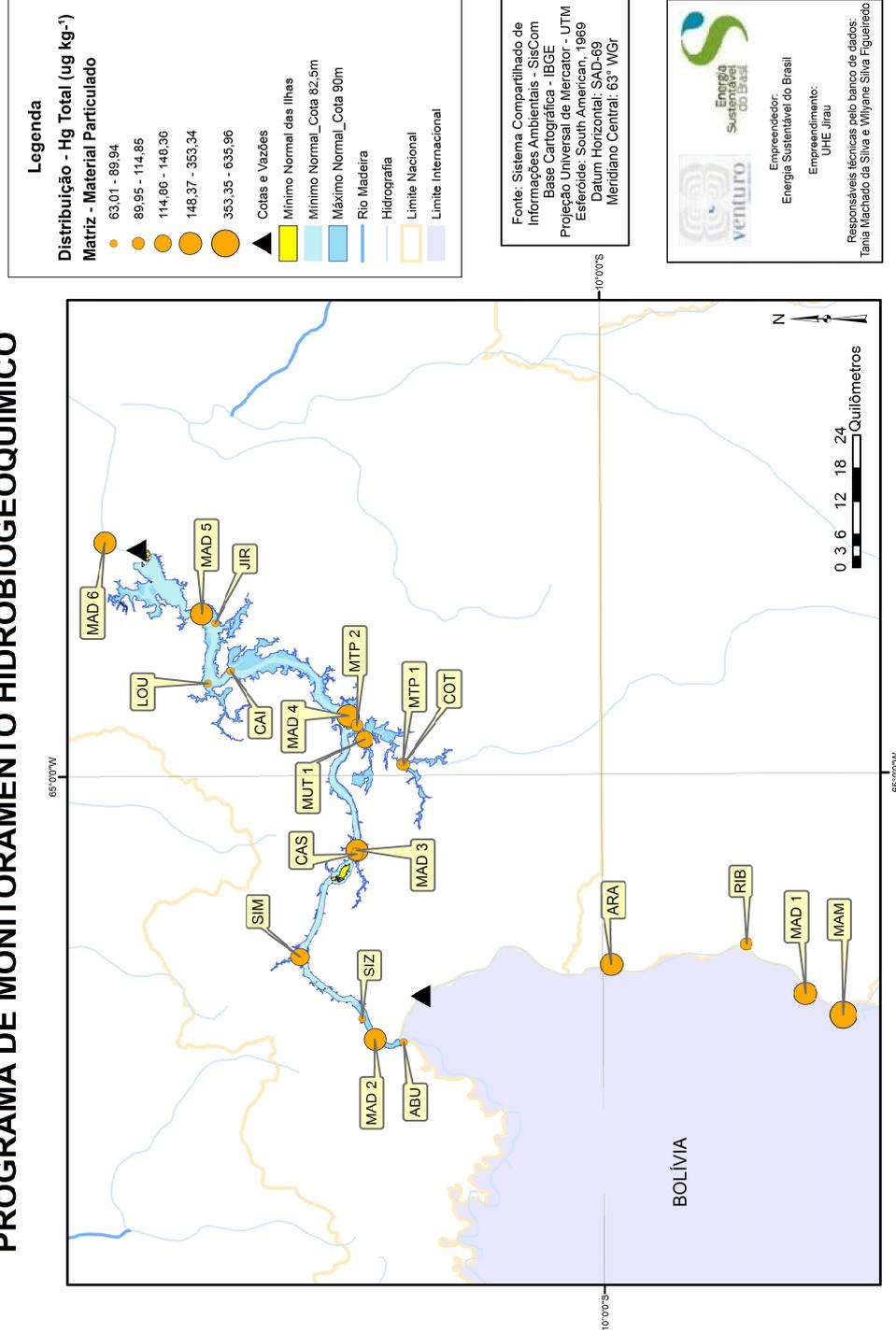
A série temporal das concentrações de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso nos períodos hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013 (**Figura 36**) evidencia variações sazonais nos tributários e calha do rio Madeira e tendência de aumento das concentrações de mercúrio ao longo tempo.

Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) as concentrações de mercúrio total no material particulado nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $113,32 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $46,89 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 a enchente de 2013) as concentrações de mercúrio reativonos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $225,44 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana de  $90,43 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de mercúrio no material particulado suspenso, sendo as menores as concentrações nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira .



**Figura 36** – Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz material particulado suspenso nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 35** – Distribuição das concentrações de mercúrio total nas amostras de material particulado suspenso da bacia do rio Madeira e seus tributários.

## Concentrações de Mercúrio na Comunidade Planctônica

O plâncton é o nível trófico na coluna d'água que apresenta a característica funcional de ser o primeiro elo na cadeia alimentar a incorporar diretamente da água o mercúrio biodisponível (Lacerda *et al.*, 2008). A fração orgânica de mercúrio pode ser absorvida por uma gama de organismos aquáticos, sendo capazes de bioacumular e biomagnificar ao longo dos níveis tróficos. Nascimento *et al.* (2007) relatam que o fitoplâncton pode incorporar mercúrio por processos passivos, enquanto o zooplâncton pode incorporar mercúrio por processos passivos e ativos, por meio da ingestão de fitoplâncton e material particulado em suspensão contendo mercúrio, sendo acumulado principalmente no exoesqueleto. A **Tabela 12** apresenta valores de mercúrio total e metilmercúrio no plâncton e nos invertebrados coletados na bacia do rio Madeira durante a 14ª campanha (jan/2013).

**Tabela 12.** Resultados dos teores de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados nos pontos amostrados na bacia do rio Madeira e tributários no período hidrológico de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

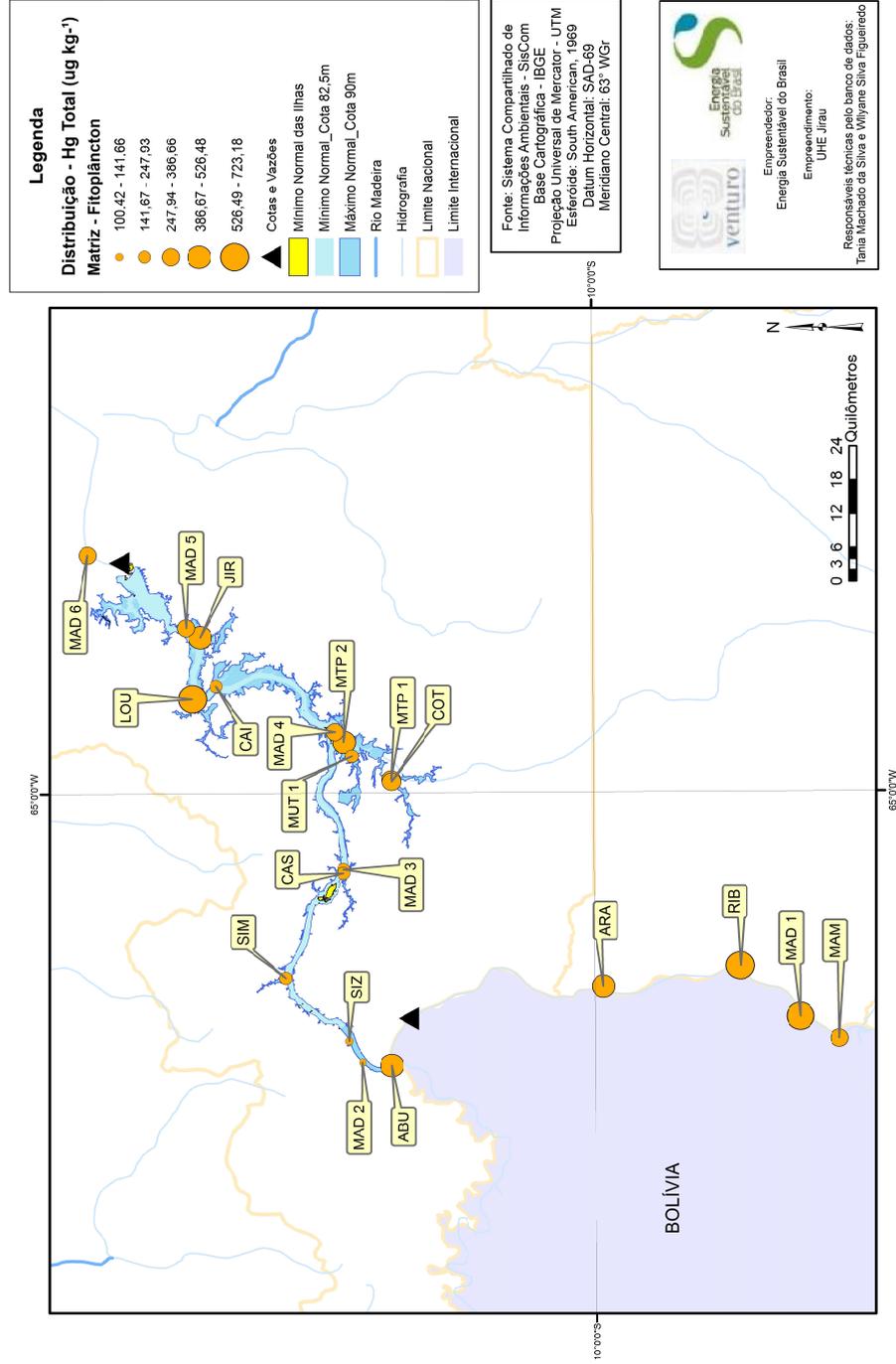
Ponto	Fitoplâncton ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		Zooplâncton ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )		Invertebrado ( $\mu\text{g kg}^{-1}$ )	
	HgT	MeHg	HgT	MeHg	HgT	MeHg
P1-MAM	295,04	8,64	672,23	17,42	902,00	21,47
P2-MAD 1	723,18	18,16	533,42	12,54	723,00	12,97
P3-RIB	635,22	10,86	664,63	10,36	814,00	10,38
P4-ARA	459,36	15,88	446,84	14,39	324,00	9,45
P5-ABU	437,63	16,23	502,12	17,54	1387,45	44,95
P6-MAD 2	141,66	6,34	381,18	9,75	1125,18	29,44
P7-SIZ	100,42	6,84	140,97	6,73	436,42	21,55
P8-SIM 1	235,9	8,94	297,88	13,09	935,49	36,42
P9-MAD 3	223,64	7,14	105,13	7,15	1397,86	33,32
<b>P10-CAS</b>	195,95	15,86	384,42	24,18	633,49	48,54
P11-MTP 1	309,34	16,36	514,56	20,43	1373,68	77,8
P12-COT	296,74	17,42	320,04	20,36	453,93	39,55
P13-MUT	247,93	30,22	229,18	27,35	1830,19	229,5
P14-MAD 4	386,66	11,21	184,41	7,70	1036,23	32,15
P15-LOU 1	637,00	30,18	282,41	9,53	654,16	33,08
P16-CAI 1	205,06	10,71	231,93	6,19	326,29	13,73
P17-JIR 1	526,48	12,35	747,93	16,36	1512,17	42,76
P18-MAD 5	318,81	6,42	282,18	7,28	1119,36	26,69
P19-MAD 6	369,12	13,78	271,31	8,25	196,65	33,12
P20-MTP 2	204,79	9,19	130,96	6,39	728,39	29,36

A concentração de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton coletadas na calha do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou mediana de  $306,93 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do ponto P2-MAD 1 que apresentou o valor de  $723,18 \mu\text{g kg}^{-1}$ , enquanto que nos tributários a mediana foi de  $272,34 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção dos igarapés Ribeirão (P3-RIB), São Lourenço (P15-LOU) e Jirau (P17-JIR), que apresentaram mediana de  $635,22 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto mostra uma tendência heterogênea das concentrações de mercúrio total no fitoplâncton ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de  $295,04 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguido dos pontos P2-MAD 1 de  $723,18 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $141,66 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $223,64 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $386,66 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $318,81 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $369,12 \mu\text{g kg}^{-1}$ , conforme mostra o **Figura 37**.

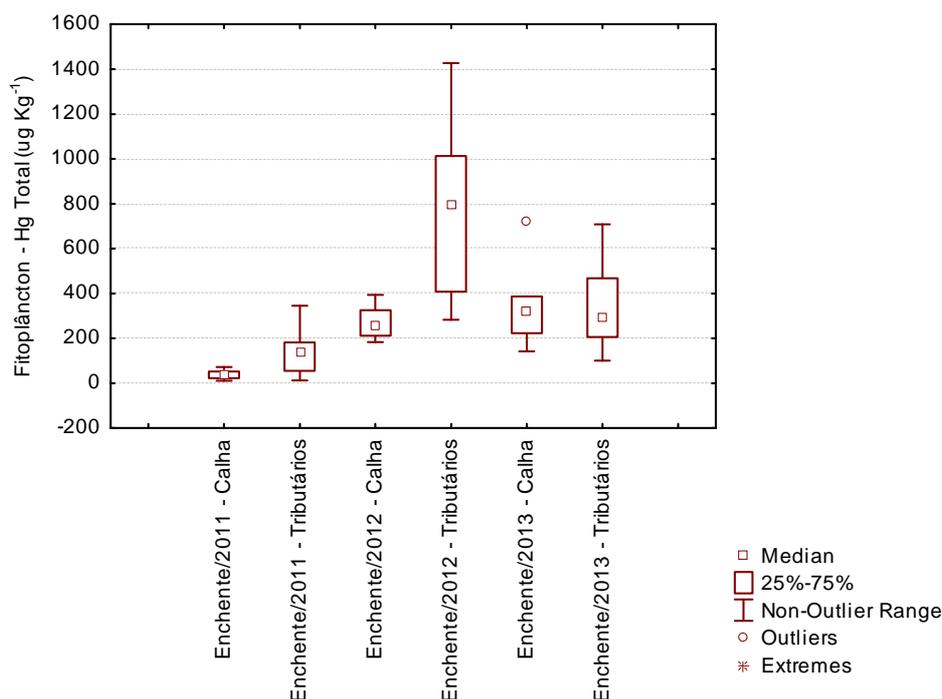
A série temporal das concentrações de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2011, 2012 e 2013 (**Figura 38**) evidencia as maiores concentrações de mercúrio total no fitoplâncton nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira e tendência de aumento das concentrações de mercúrio ao longo do tempo. No período hidrológico de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio total no fitoplâncton foram menores que  $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$  em grande parte dos pontos amostrados nos tributários e calha do rio Madeira, impossibilitando a inclusão desta campanha na análise da série temporal.

Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) as concentrações de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $92,20 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $258,31 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 a enchente de 2013) as concentrações de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $303,89 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $305,99 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de mercúrio total no fitoplâncton na calha do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 37** – Distribuição das concentrações de mercúrio total nas amostras de fitoplâncton coletados na bacia do rio Madeira e seus tributários.

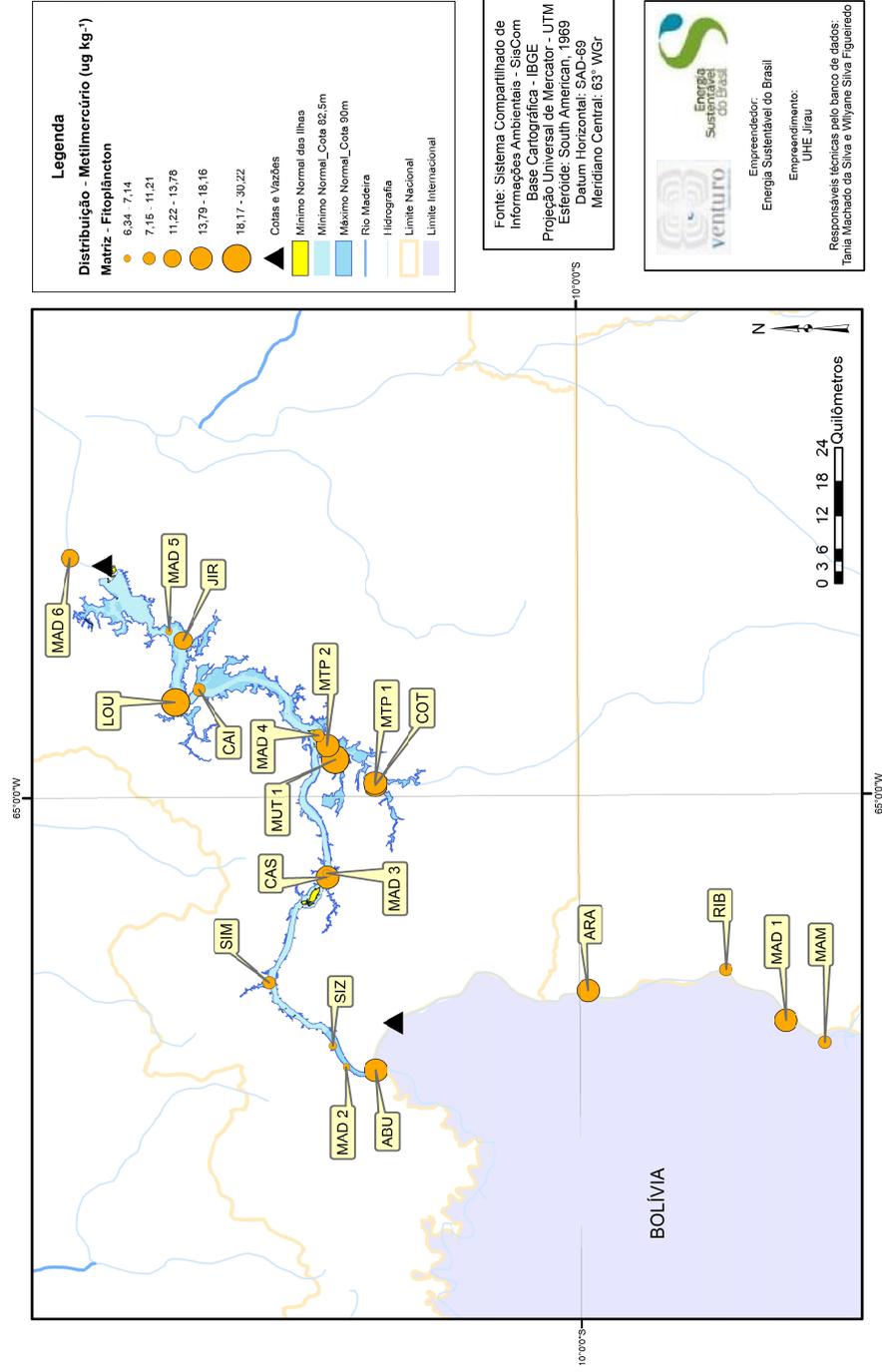


**Figura 38** – Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

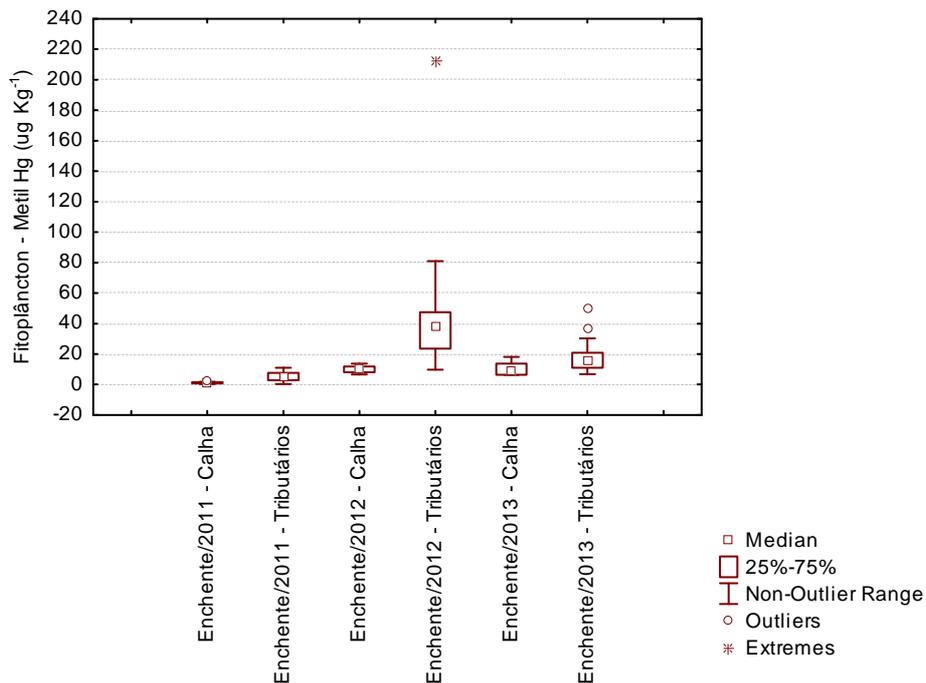
A concentração de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton coletadas na calha do rio Madeira no período hidrológico de enchente de 2013 apresentou mediana de  $7,89 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do ponto P2-MAD 1, que apresentou o valor de  $18,16 \mu\text{g kg}^{-1}$ , e nos tributários a mediana foi de  $15,86 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção dos valores de concentração de metilmercúrio na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) e no Igarapé São Lourenço (P15-LOU), que apresentou mediana de  $30,20 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto mostra uma tendência heterogênea das concentrações de metilmercúrio ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de  $8,64 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguindo dos valores em P2-MAD 1 de  $18,16 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $6,34 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $7,14 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $11,21 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $6,42 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $13,78 \mu\text{g kg}^{-1}$ , conforme pode ser observado na **Figura 39**.

A série temporal das concentrações de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2011, 2012 a 2013 (**Figura 40**) evidencia as maiores concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira e tendência de aumento das concentrações de metilmercúrio ao longo do tempo. No período hidrológico de enchente de 2010 as concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton foram menores que  $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$ , em grande parte dos pontos amostrados nos tributários e calha do rio Madeira, impossibilitando a inclusão desta campanha na análise da série temporal.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 39** – Distribuição das concentrações de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton coletados na bacia do rio Madeira e seus tributários.



**Figura 40** – Boxplot das concentrações de metilmercúrio na matriz fitoplâncton nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 a vazante de 2012) as concentrações de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $2,85 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $9,8 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca de 2012 a enchente de 2013) as concentrações de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $7,89 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana de  $14,17 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de metilmercúrio no fitoplâncton na calha do rio Madeira.

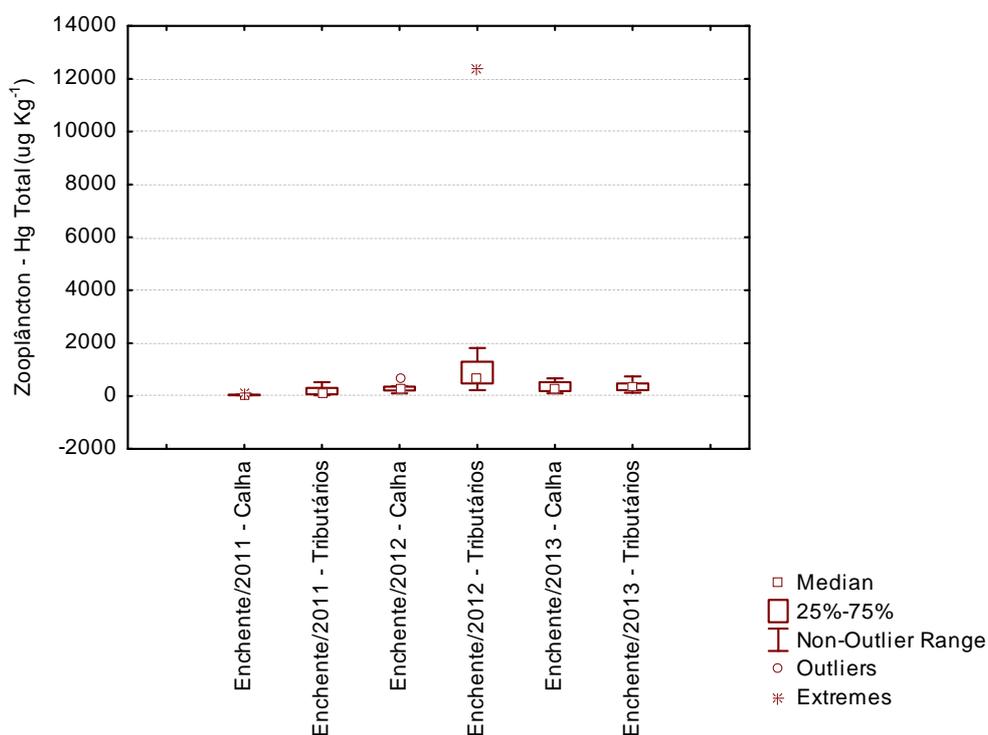
Em janeiro de 2013 (período de enchente) a porcentagem de metilmercúrio nas amostras de fitoplâncton foi de aproximadamente 2,9% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e de 4,4% do estoque total de mercúrio nos tributários, evidenciando o favorecimento do processo de orgânicização do mercúrio nos tributários possivelmente associado as características físicas e químicas destes sistemas.

A importância do estudo do fito e do zooplâncton em relação às concentrações de mercúrio está na verificação de possível alteração em seu metabolismo, devido à presença deste metal e sua posição trófica, transferindo este elemento para os níveis subsequentes (larvas de peixe, insetos, peixes planctívoros e outros). A concentração de mercúrio total nas amostras de zooplâncton



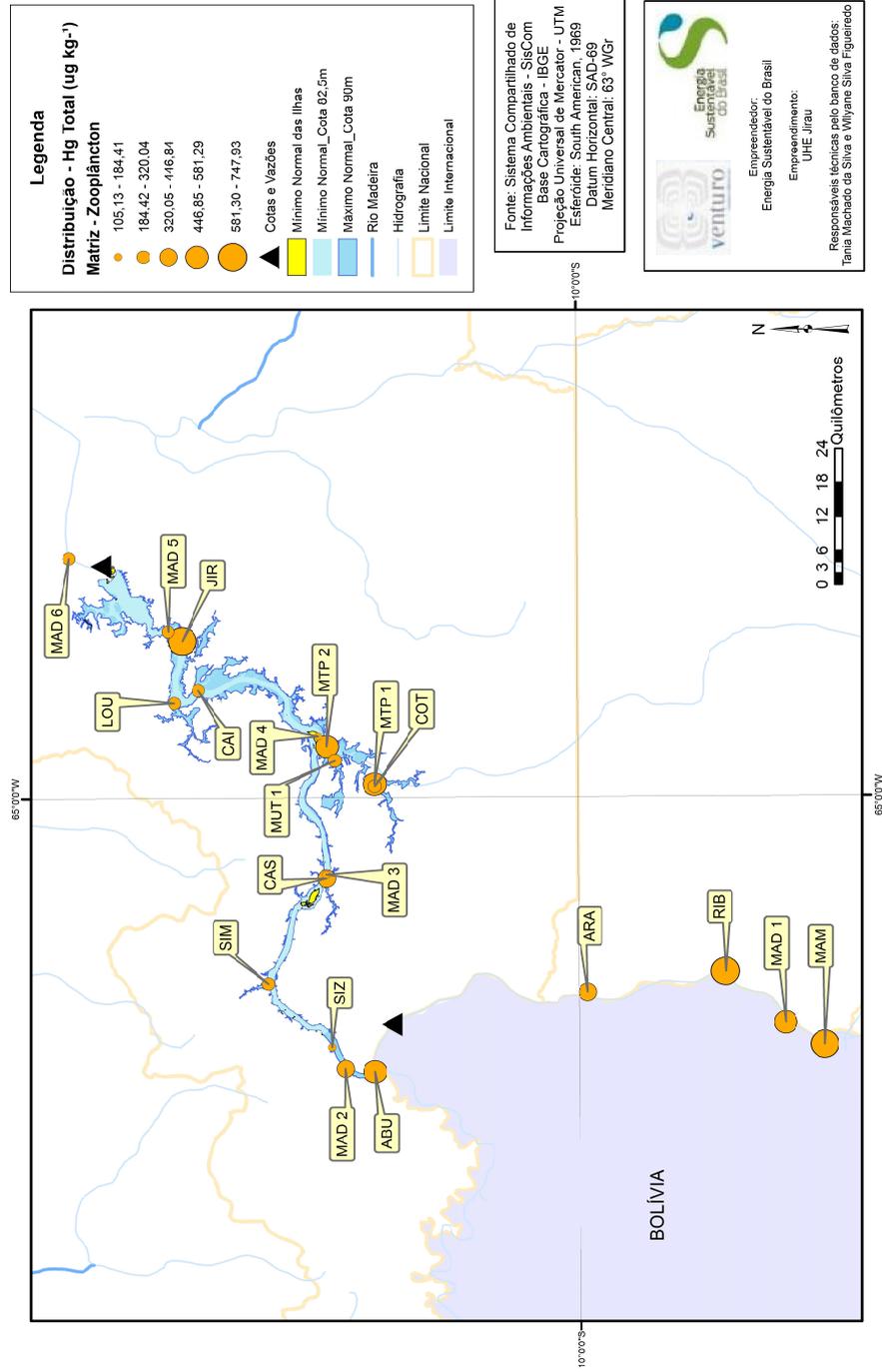
coletadas na calha do rio Madeira em janeiro de 2013 (período de enchente) apresentou mediana de  $271,31 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção dos valores do rio Mamore (P1-MAM) e do rio Madeira (P2-MAD 1), e nos tributários a mediana foi de  $320,04 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do igarapé Ribeirão (P3-RIB) e igarapé Jirau (P17-JIR 1), que apresentaram mediana de  $706,28 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto (**Figura 41**) mostra uma tendência heterogênea das concentrações de mercúrio total ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de  $672,23 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguido dos pontos P2-MAD 1 de  $533,42 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $381,18 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $105,13 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $184,41 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $282,18 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $271,31 \mu\text{g kg}^{-1}$ .

A série temporal das concentrações de mercúrio total nas amostras de zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2011, 2012 a 2013 (**Figura 42**) evidencia a variação sazonal nos tributários e calha do rio Madeira. No período hidrológico de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio total no zooplâncton foram menores que  $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$  em grande parte dos pontos amostrados nos tributários e calha do rio Madeira, impossibilitando a inclusão desta campanha na análise da série temporal.



**Figura 42** – Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 41** – Distribuição dos níveis de mercúrio total nas amostras de zooplâncton coletados na bacia do rio Madeira e seus tributários.

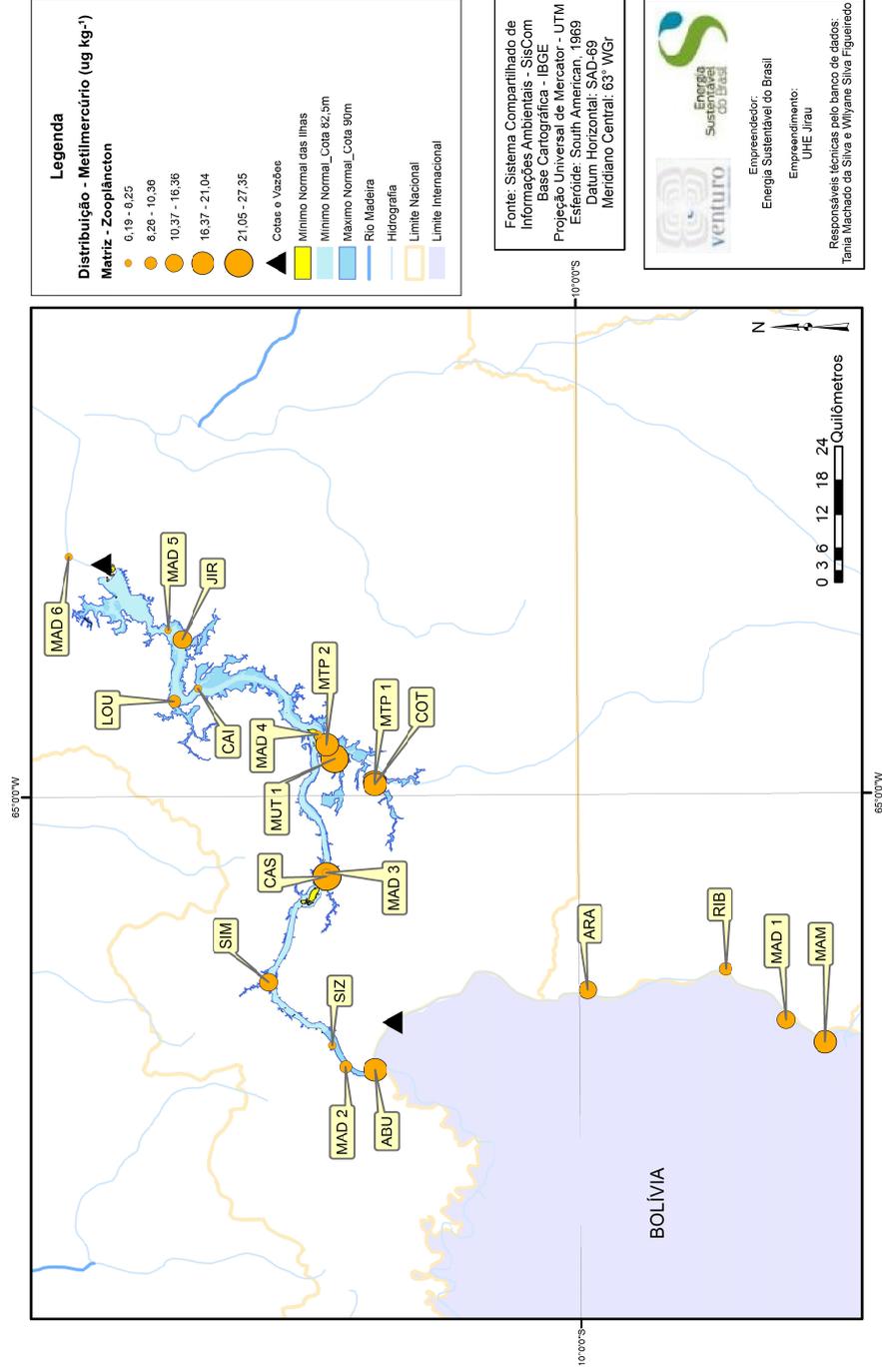
Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) asconcentrações de mercúrio total nas amostras de zooplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $150,89 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $273,96 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 aenchente de 2013) asconcentrações nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $276,75 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $327,89 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de mercúrio total no zooplâncton na calha do rio Madeira .

A concentração de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton coletadas na calha do rio Madeira, em janeiro de 2013, apresentou mediana de  $7,98 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do rio Mamoré (P1-MAM) e nos tributários a mediana foi de  $14,39 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção do igarapé Castanho (P10-CAS) e da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1), que apresentaram mediana de  $25,77 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto mostra uma tendência heterogênea das concentrações de metilmercúrio ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de  $17,42 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguindo dos valores em P2-MAD 1 de  $12,54 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $9,75 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $7,15 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $7,7 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $7,28 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $8,25 \mu\text{g kg}^{-1}$ , conforme pode ser observado na **Figura 43**.

A série temporal das concentrações de metilmercúrio amostras de zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente de 2011, 2012 e 2013 (**Figura 44**) evidencia maiores concentrações de metilmercúrio no zooplâncton nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira e tendência de aumento das concentrações de metilmercúrio ao longo do tempo. Vale ressaltar que no período hidrológico de enchente de 2010 as concentrações de metilmercúrio no zooplâncton foram menores que  $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$  em grande parte dos pontos amostrados nos tributários e calha do rio Madeira, impossibilitando a inclusão desta campanha na análise da série temporal.

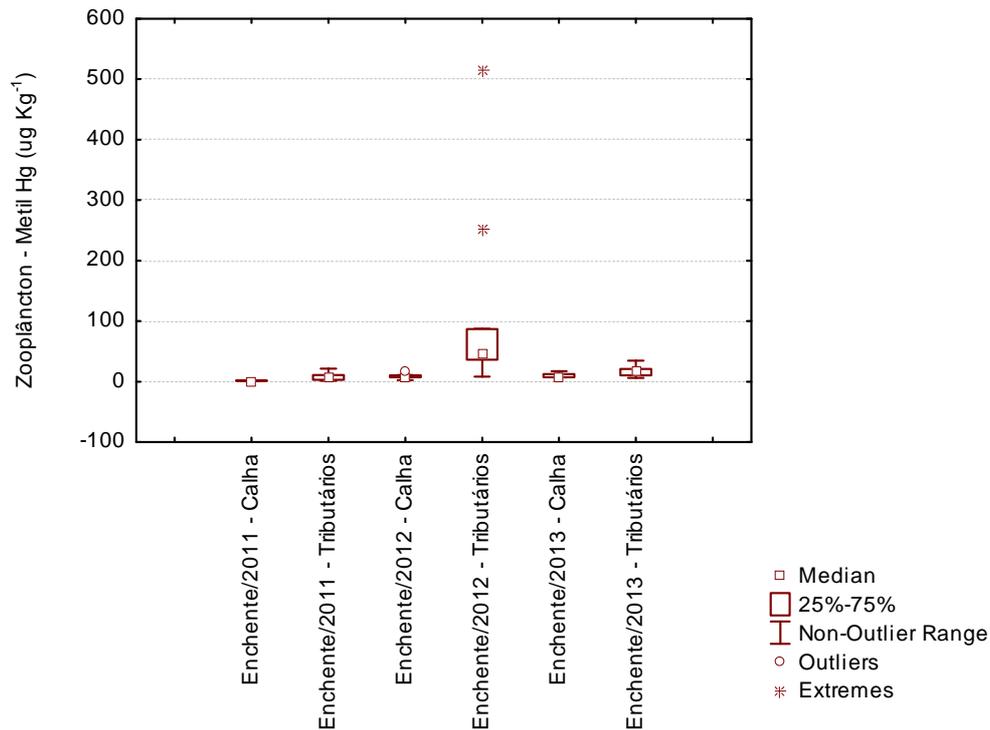
Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) asconcentrações de metilmercúrio total nas amostras de zooplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $4,09 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $10,88 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 aenchente de 2013) asconcentrações de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $9,00 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $13,74 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de metilmercúrio no zooplâncton nos tributários e calha do rio Madeira.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 43** – Distribuição das concentrações de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton coletados na bacia do rio Madeira e seus tributários.





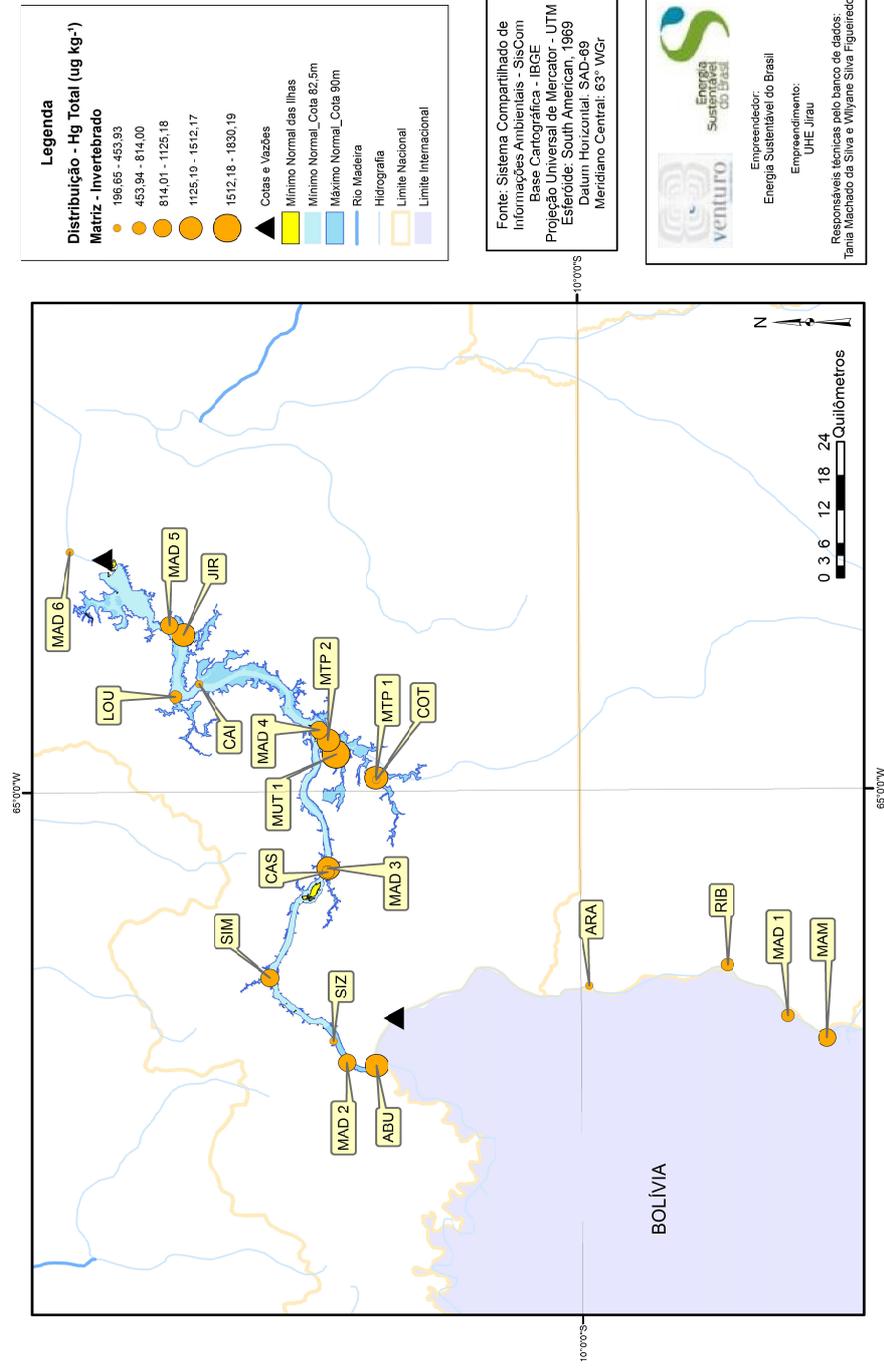
**Figura 44** – Boxplot das concentrações de metilmercúrio na matriz zooplâncton nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

Em janeiro de 2013 (período de enchente) a porcentagem de metilmercúrio nas amostras de zooplâncton foi de aproximadamente 2,9% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e de 3,9% do estoque total de mercúrio nos tributários, evidenciando o favorecimento do processo de orgânicização do mercúrio nos tributários possivelmente associado as características físicas e químicas destes sistemas.

A concentração de mercúrio total nas amostras de invertebrados coletadas na calha do rio Madeira, no período hidrológico de enchente de 2013, apresentou mediana de 1.077,8 µg kg<sup>-1</sup> e nos tributários a mediana foi de 543,71 µg kg<sup>-1</sup>, com exceção do igarapé Abunã (P5-ABU), do rio Mutum Paraná (P11-MTP 1), da área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1), do igarapé Jirau (P17-JIR) e da foz do rio Mutum Paraná (P20-MTP 2) que apresentaram mediana de 1.388,45 µg kg<sup>-1</sup>. O estudo em transecto mostra uma tendência heterogênea das concentrações de mercúrio total ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de 902 µg kg<sup>-1</sup>, seguido dos pontos P2-MAD 1 de 723 µg kg<sup>-1</sup>, P6-MAD 2 de 1125,18 µg kg<sup>-1</sup>, P9-MAD 3 de 1397,86 µg kg<sup>-1</sup>, P14-MAD 4 de 1036,23 µg kg<sup>-1</sup>, P18-MAD 5 de 1119,36 µg kg<sup>-1</sup> e P19-MAD 6 de 196,65 µg kg<sup>-1</sup>, conforme mostra a **Figura 45**.



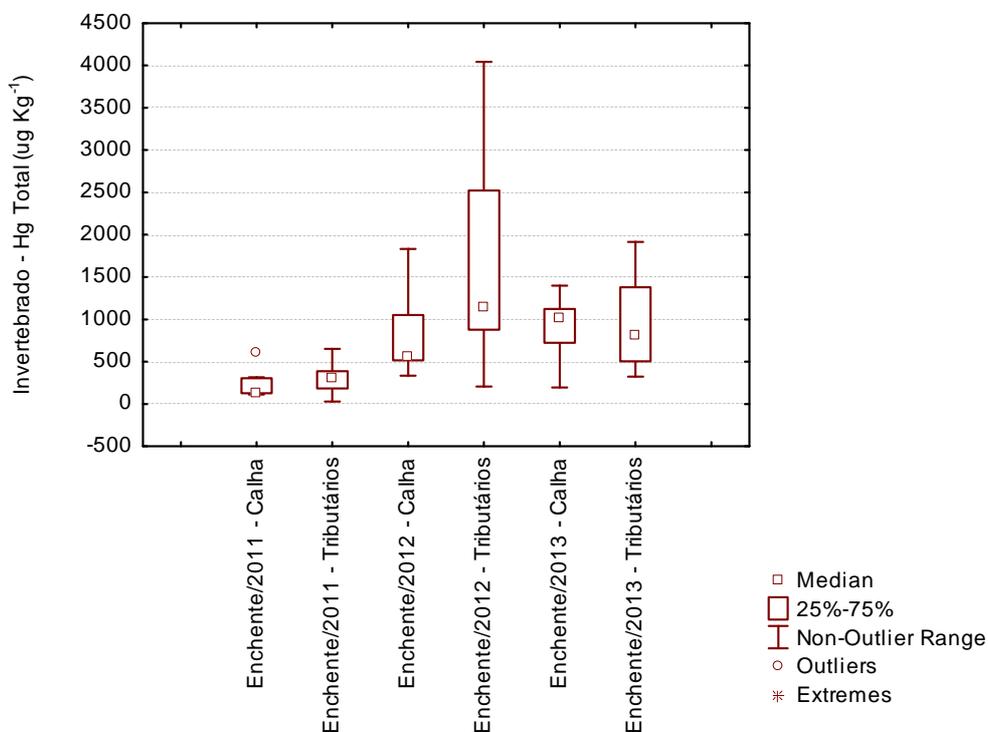
## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 45** – Distribuição das concentrações de mercúrio total nas amostras de invertebrados coletados na bacia do rio Madeira e seus tributários.

A série temporal das concentrações de mercúrio total nas amostras de invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2011, 2012 e 2013 (**Figura 46**) evidencia a variação sazonal nos tributários e calha do rio Madeira e prevalência de maiores concentrações nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira. Vale ressaltar que no período hidrológico de enchente de 2010 as concentrações de mercúrio total no invertebrado foram menores que  $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$  em grande parte dos pontos amostrados nos tributários e calha do rio Madeira, impossibilitando a inclusão desta campanha na análise da série temporal.

Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) as concentrações de mercúrio total nas amostras de invertebrados nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $381,2 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $502,73 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 aenchente de 2013) as concentrações de mercúrio total nas amostras de invertebrados nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $996,74 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $746,95 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de mercúrio total nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira .



**Figura 46** – Boxplot das concentrações de mercúrio total na matriz invertebrado nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

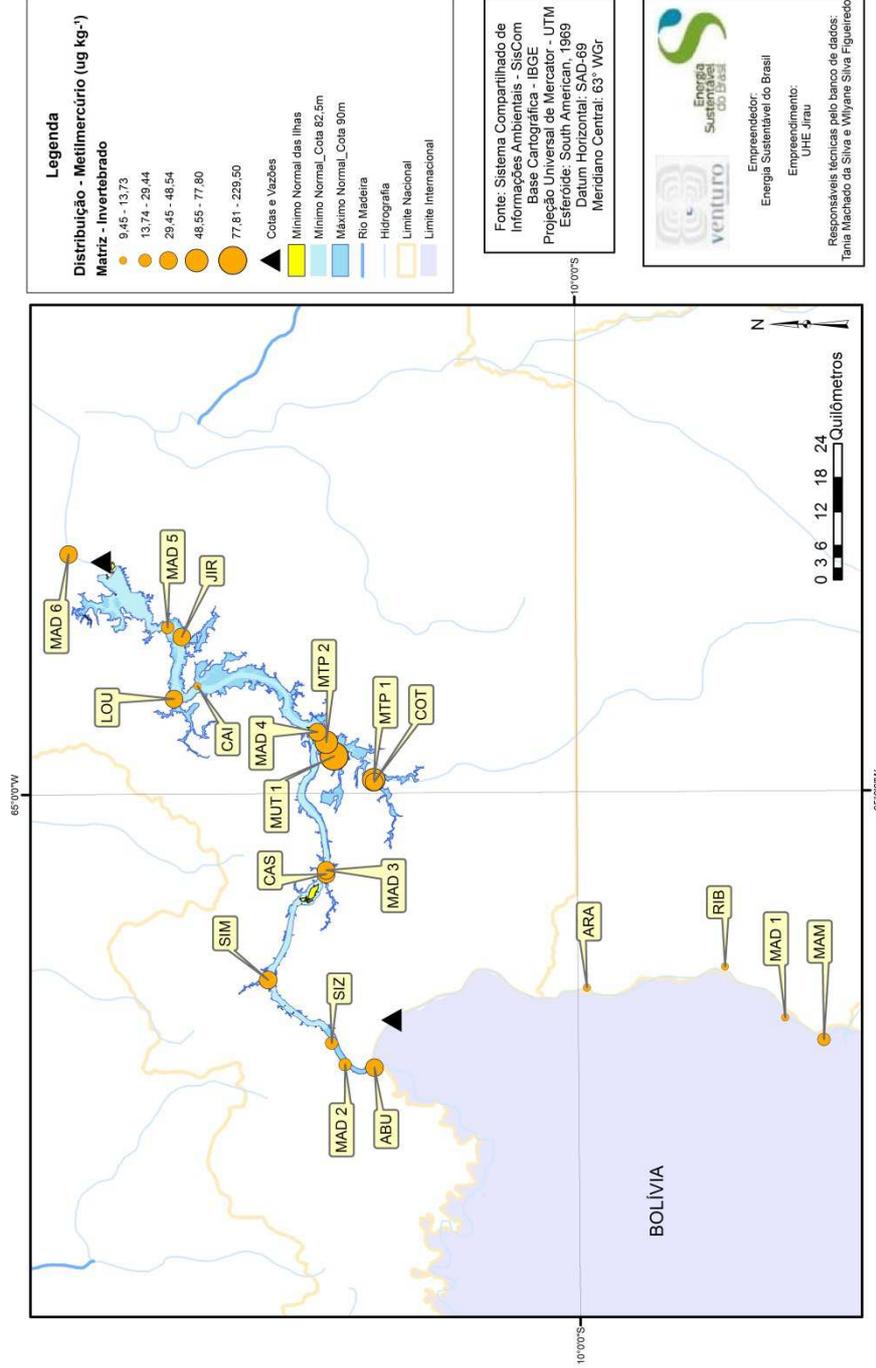
A concentração de metilmercúrio nas amostras de invertebrados coletadas na calha do rio Madeira, em janeiro de 2013, apresentou mediana de  $29,44 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $37,99 \mu\text{g kg}^{-1}$ , com exceção dos valores encontrados na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1), que apresentou medianade  $229,50 \mu\text{g kg}^{-1}$ . O estudo em transecto mostra uma tendência heterogênea das concentrações de metilmercúrio ao longo do rio Madeira, sendo no rio Mamoré de  $21,47 \mu\text{g kg}^{-1}$ , seguindo dos valores em P2-MAD 1 de  $12,97 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P6-MAD 2 de  $29,44 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P9-MAD 3 de  $33,32 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P14-MAD 4 de  $32,15 \mu\text{g kg}^{-1}$ , P18-MAD 5 de  $26,69 \mu\text{g kg}^{-1}$  e P19-MAD 6 de  $33,12 \mu\text{g kg}^{-1}$  conforme pode ser observado na **Figura 47**.

A série temporal das concentrações de metilmercúrio nas amostras de invertebrados nos períodos hidrológicos de enchente de 2011, 2012 e 2013 (**Figura 48**) evidencia as maiores concentrações de metilmercúrio nos invertebrados nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira e tendência de aumento das concentrações de metilmercúrio ao longo do tempo. Vale ressaltar que no período hidrológico de enchente de 2010 as concentrações de metilmercúrio nos invertebrados foram menores que  $1,02 \mu\text{g kg}^{-1}$  em grande parte dos pontos amostrados nos tributários e calha do rio Madeira, impossibilitando a inclusão desta campanha na análise da série temporal.

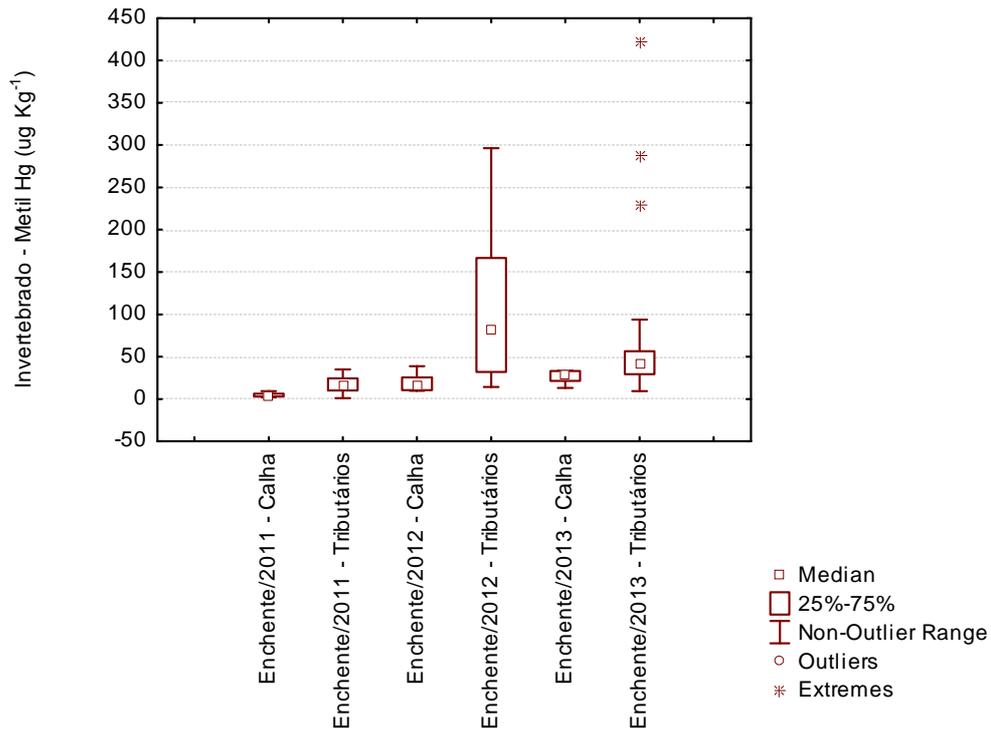
Na fase rio do empreendimento (seca de 2009 avazante de 2012) as concentrações de metilmercúrio nas amostras de invertebrados nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentou mediana de  $9,38 \mu\text{g kg}^{-1}$ , enquanto que nos tributários a mediana foi de  $29,08 \mu\text{g kg}^{-1}$ . Na fase de enchimento do reservatório (seca 2012 aenchente de 2013) as concentrações de metilmercúrio nas amostras de invertebrados nos pontos amostrados na calha do rio Madeira apresentaram mediana de  $27,39 \mu\text{g kg}^{-1}$  e nos tributários a mediana foi de  $37,08 \mu\text{g kg}^{-1}$ , evidenciando o aumento das concentrações de metilmercúrio nos invertebrados nos tributários e calha do rio Madeira .

Em janeiro de 2013 (período de enchente) a porcentagem de metilmercúrio nas amostras de invertebrados foi de aproximadamente 2,9% do estoque total de mercúrio na calha do rio Madeira e de 7,7% do estoque total de mercúrio nos tributários, evidenciando o favorecimento do processo de orgânificação do mercúrio nos tributários possivelmente associado as características físicas e químicas destes sistemas.

## PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO



**Figura 47** – Distribuição das concentrações de metilmercúrio nas amostras de invertebrados coletados na bacia do rio Madeira e seus tributários.



**Figura 48** – Boxplot das concentrações de metilmercúrio na matriz invertebrado nos períodos hidrológicos de enchente do rio Madeira.

### Concentrações de mercúrio nos peixes

Os organismos aquáticos apresentam elevada capacidade de absorver os compostos de mercúrio, quer sejam de origem orgânica ou inorgânica. Os peixes absorvem o mercúrio com facilidade e o acumulam em seus tecidos, principalmente na forma de metilmercúrio, mesmo quando expostos a espécies iônicas de mercúrio, indicando a ocorrência de metilação nestes organismos (Bisinoti *et al.*, 2004). A **Tabela 13** mostra os níveis de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas amostras de peixe adquiridas pela interface com o Programa de Conservação da Ictiofauna. Os valores foram parametrizados em função do tamanho das espécies para efeitos comparativos intra-espécies.

**Tabela 13.** Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em músculo de peixe de relevante consumo pela população na bacia do rio Madeira coletados na 14ª campanha de campo, período hidrológico de enchente de 2013 (17/01 a 31/01/2013).

Espécime		HgT mg kg <sup>-1</sup>	MeHg mg kg <sup>-1</sup>
Dourada ( <i>Brachyplatystoma avicans</i> ) – (n = 17)	Carnívoro	0,59±0,20	0,53±0,16
Tucunaré ( <i>Cichlaocellaris</i> ) – (n = 14)	Carnívoro	0,46±0,17	0,42±0,19
Filhote ou Piraíba ( <i>Hopliasmalabaricus</i> ) – (n = 16)	Carnívoro	0,94±0,27	0,71±0,28
Barba chata ( <i>Pinirampus pirinampus</i> ) – (n = 20)	Carnívoro	0,57±0,10	0,55±0,12
Apapá ( <i>Pellona castelneana</i> ) – (n = 28)	Piscívoro	0,57±0,14	0,44±0,11
Jatuarana ( <i>Brycon cf. melanopterus</i> ) – (n = 13)	Onívoro	0,11±0,08	0,08±0,03

A concentração de mercúrio total por hábito alimentar apresenta os valores médios de  $0,34 \pm 0,11$  mgkg<sup>-1</sup> nas espécies não carnívoras e  $0,63 \pm 0,20$  mg kg<sup>-1</sup> nas espécies carnívoras, enquanto que a concentração de metilmercúrio apresenta os valores médios de  $0,25 \pm 0,08$  mg kg<sup>-1</sup> nas espécies não carnívoras e  $0,57 \pm 0,17$  mg kg<sup>-1</sup> nas espécies carnívoras, evidenciando os processos de bioacumulação e biomagnificação do mercúrio na ictiofauna.

Atualmente, no Brasil, não existe legislação específica sobre limites máximos de metais permitidos em peixes de água doce para o consumo humano. Contudo, pode ser utilizada como referência a Portaria ANVISA nº 685 de 27 de agosto de 1998, que aprovou um regulamento técnico que trata dos “Princípios Gerais para o Estabelecimento de Níveis Máximos de Contaminantes Químicos em Alimentos” e traz um anexo com os “Limites Máximos de Tolerância para Contaminantes Inorgânicos”, sendo preconizado para o elemento mercúrio em peixe não predador de 0,5 mgkg<sup>-1</sup> e para peixe predador de 1,0 mg kg<sup>-1</sup>. Desta forma, os teores de mercúrio total encontrados nas amostras de peixe analisadas na 14ª campanha de campo estão abaixo do valor preconizado pela Agência Nacional de Vigilância Sanitária para o consumo humano. Os valores observados são concordante com os resultados da literatura científica para a região Amazônica conforme observado por Bastos e colaboradores (2008) .

Bastos e colaboradores (2006) avaliaram a distribuição de mercúrio em matrizes ambientais e na população ribeirinha do rio Madeira, sendo encontrado os valores para pacu (*Mylossoma aureum*) de  $0,046 \pm 0,039$  mgkg<sup>-1</sup>, jaraqui (*Semaprochilodus theraponera*) de  $0,099 \pm 0,068$  mg kg<sup>-1</sup>, Curimatã (*Prochilodus nigricans*) de  $0,083 \pm 0,058$  mg kg<sup>-1</sup>, branquinha (*Curimata amazonica*) de  $0,095 \pm 0,045$  mg kg<sup>-1</sup>, tucunaré (*Cichla monoculus*) de  $0,414 \pm 0,228$  mg kg<sup>-1</sup> e tambaqui (*Colossoma macropomum*) de  $0,099 \pm 0,085$  mg kg<sup>-1</sup>. Barbosa *et al.* (2003) coletaram 951 peixes ao longo da bacia do rio Negro e quantificaram o teor de mercúrio total, sendo os valores médios de 0,69 mg kg<sup>-1</sup> para os piscívoros, 0,19 mg kg<sup>-1</sup> para os onívoros, 0,14

mg kg<sup>-1</sup> para os detritívoros e 0,07 mg kg<sup>-1</sup> para os herbívoros. Guimarães *et al.* (1999) encontraram um valor médio de mercúrio total em peixes de rios do Amapá de 0,45 mg kg<sup>-1</sup>, com valores máximos de até 0,65 mg kg<sup>-1</sup>. As concentrações de mercúrio total em peixes piscívoros, onívoros e herbívoros de 12 diferentes locais do rio Madeira (Amazônia), variaram de 0,09 a 1,45 mgkg<sup>-1</sup> dependendo da espécie considerada (Dorea *et al.*, 1998). Em outro trabalho, também realizado com peixes coletados no rio Madeira, porém em área de mineração na região do rio Beni, a concentração de mercúrio total em peixe variou de 0,33 a 2,30 mgkg<sup>-1</sup>, sendo nos peixes onívoros e naqueles que se alimentam de lama os teores variaram de 0,02 a 0,19 mg kg<sup>-1</sup> (Bourgoinet *et al.*, 2000).

### Concentração de Mercúrio nas Macrófitas Aquáticas

O processo de metilação do mercúrio pode ocorrer através da ação de microrganismos aeróbicos, sendo mais intenso quando realizado pelos organismos anaeróbicos, no entanto, pode ainda ser exclusivamente químico, ocorrendo de diferentes modos, como os intermediados por ácidos húmicos e fúlvicos ou pela metilcobalamina (Mauro *et al.*, 2001).

As concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) nas raízes das amostras de macrófitas aquáticas flutuantes da espécie *Eichornia crassipes* coletadas no rio Mamoré (P1-MAM) estão apresentadas na **Tabela 14**.

**Tabela 14.** Concentração de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) em raízes das amostras de macrófitas aquáticas flutuantes da espécie *Eichornia crassipes* coletadas no rio Mamoré (P1-MAM)

Fase	Campanha	Período hidrológico	HgT mg kg <sup>-1</sup>	MeHg mg kg <sup>-1</sup>
Fase de enchimento	14 <sup>a</sup>	Enchente 2013	72,34 ± 6,72	0,085 ± 0,021
	13 <sup>a</sup>	Seca 2012	198,98 ± 37,84	6,669 ± 2,013
Fase rio	12 <sup>a</sup>	Vazante 2012	86,52 ± 6,11	1,089 ± 0,304
	11 <sup>a</sup>	Cheia 2012	66,46 ± 4,12	0,992 ± 0,086
	10 <sup>a</sup>	Enchente de 2012	52,73 ± 6,26	1,136 ± 0,223
	9 <sup>a</sup>	Seca de 2011	217,76 ± 27,44	6,437 ± 1,273
	8 <sup>a</sup>	Vazante de 2011	107,32 ± 7,34	0,934 ± 0,190
	7 <sup>a</sup>	Cheia de 2012	87,96 ± 9,71	0,771 ± 0,015
	6 <sup>a</sup>	Enchente de 2011	46,28 ± 3,34	0,086 ± 0,012
	5 <sup>a</sup>	Seca de 2010	359,93 ± 19,37	11,22 ± 0,18
	4 <sup>a</sup>	Vazante de 2010	74,01 ± 4,21	1,812 ± 0,216
	3 <sup>a</sup>	Cheia de 2010	30,82 ± 2,17	0,052 ± 0,021
	2 <sup>a</sup>	Enchente de 2010	41,32 ± 2,17	0,078 ± 0,014
1 <sup>a</sup>	Seca de 2009	67,81 ± 6,35	0,129 ± 0,012	

As concentrações de metilmercúrio apresentam tendência de menores valores nos períodos de águas altas e valores maiores no período de águas baixas possivelmente devido à interação e ao transporte de mercúrio do sedimento de fundo.

### **Taxa de Metilação**

O igarapé Castanho (P11-CAS) e a área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) são caracterizados por sistemas lenticos de água escura que podem favorecer o processo de organificação do mercúrio, ocasionando áreas potenciais de metilação do mercúrio.

A taxa de metilação das amostras de macrófitas aquáticas *E. azurea* coletadas no igarapé Castanho (P10-CAS) e na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) durante o período hidrológico de enchente de 2013 foi menor que  $1,7 \times 10^{-4}$  % metilmercúrio / g / hora nas amostras de macrófita seca.

A taxa de metilação das amostras coletadas no igarapé Castanho (P10-CAS) durante o período hidrológico de enchente de 2013 foi de  $5,18 \times 10^{-4}$  % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial, de  $4,79 \times 10^{-2}$  % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que  $0,3 \times 10^{-4}$  % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de solo seco. As taxas de metilação nas campanhas de campo realizadas no período hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013 apresentaram valores similares nos diferentes ciclos hidrológicos da bacia do rio Madeira.

A taxa de metilação das amostras coletadas na área alagada do rio Mutum Paraná (P13-MUT 1) durante o período hidrológico de enchente 2013 foi menor que  $5,72 \times 10^{-4}$  % metilmercúrio / mL / hora nas amostras de água superficial,  $3,49 \times 10^{-2}$  % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de sedimento seco e menor que  $0,3 \times 10^{-4}$  % metilmercúrio / g seco / hora nas amostras de solo seco. As taxas de metilação nas amostras de solo e sedimento coletadas na área alagada do rio Mutum Paraná foram semelhantes nos períodos hidrológicos de enchente de 2010, 2011, 2012 e 2013, entretanto as taxas de metilação nas amostras de água superficial foram maiores no período de enchente quando comparado ao período de vazante, estando possivelmente associado ao aumento da carga de carbono orgânico dissolvido associado a menores valores de pH característico do início do período de enchente, entretanto este comportamento somente poderá ser avaliado com o desenvolvimento dos estudos temporais do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico.

A metilação é normalmente mediada por bactérias e ocorre preferencialmente em ambientes com alta concentração de material orgânico e elevadas taxas de decomposição, sendo favorecida por águas ácidas e ricas em carbono orgânico dissolvido (COD). Este é de importância primordial para o entendimento da especiação de mercúrio no ambiente natural. Complexos de mercúrio com COD facilitam seu transporte e acúmulo no ecossistema. A literatura tem mostrado que o aumento na formação de metilmercúrio em água e sedimento é proporcional à concentração de matéria orgânica, o que pode ser atribuído ao efeito estimulante de nutrientes orgânicos sobre a atividade microbiana (Rocha *et al.*, 2000).

Em estudo realizado por Guimarães e colaboradores (1998), sedimentos do rio Madeira contaminados com 2 µg de Hg inorgânico para cada 100 mL da amostra (incubados por 15-24 h) apresentaram uma taxa de metilação média de  $1,5 \times 10^{-5}$  % metilmercúrio / mL água / hora. Neste mesmo trabalho, para sedimentos do rio Mutum Paraná, a taxa calculada foi de  $1,0 \times 10^{-2}$  % metilmercúrio / g sedimento / hora e para sedimentos do rio Jamari de  $6,6 \times 10^{-1}$  % metilmercúrio / g sedimento / hora. Guimarães e colaboradores (2000) também avaliaram a formação de metilmercúrio em água e sedimento sob condições aeróbias (66,5 e 11,3%, respectivamente) e anaeróbias (44,1 e 4,2%, respectivamente) após contaminação do sedimento com  $0,7 \text{ mg kg}^{-1}$  de mercúrio inorgânico e um período de 21 a 38 dias, observando que a metilação foi maior em condições aeróbias tanto para a água quanto para o sedimento. Estudos na região do rio Tapajós realizados por Stordal & Gill (2005) indicaram que a metilação de mercúrio em solos e sedimentos foi maior nas camadas superiores, diminuindo com o aumento da profundidade, sendo os maiores valores obtidos correlacionados ao maior conteúdo de carbono (8,9% de metilação). No entanto, na superfície das águas a metilação não foi detectada ( $< 3 \times 10^{-2}$  % metilmercúrio), o que pode ser explicado por dois motivos, o primeiro deve-se à possibilidade de degradação do metilmercúrio nesta matriz e o segundo, pela menor capacidade de formação do metilmercúrio na coluna d'água.

Ainda são poucos os trabalhos com sedimentos e águas provenientes de regiões tropicais, indicando a necessidade de maiores investigações envolvendo outros parâmetros, bem como a avaliação abiótica para poder inferir sobre a dinâmica do metilmercúrio no ambiente.

### **Análises estatísticas**

As variáveis estudadas foram submetidas inicialmente ao teste de normalidade de Shapiro Wilk, para definição dos teste estatísticos a posteriores e de acordo com as premissas do tipo de distribuição encontrada. As distribuições das concentrações das espécies de

mercúrio nas matrizes de interesse ambiental não tiveram distribuição normal, portanto foram selecionados dois testes estatísticos sendo o primeiro de Kruskal-Wallis (Análise de Variância Não Paramétrica) para testar a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações da espécie de mercúrio vêm de uma mesma população ou a hipótese alternativa  $H_1$ : As concentrações da espécie de mercúrio não vêm de uma mesma população. O segundo teste foi realizado a posteriores (post-hoc), sendo escolhido o teste bilateral de Dunn para averiguação das diferenças das concentrações nos grupos formados, por meio do ajuste de Bonferroni.

O teste de Kruskal-Wallis é frequentemente utilizada como uma alternativa à análise de variância em que a hipótese de normalidade não é aceitável conforme Siegel. and Castellan (1988). É usado para testar se as amostras provêm da mesma população ou populações com propriedades idênticas em relação a um parâmetro de posição (o parâmetro de posição é conceitualmente próximo da média, mas o teste de Kruskal-Wallis leva em conta mais informações, além da posição dada pela mediana. Este teste é também conhecido como ANOVA não paramétrica. O valor  $p$  é relacionado com um determinado valor de  $Q$  e pode ser aproximada por uma distribuição  $\chi^2$  com  $(k-1)$  graus de liberdade (Lehmann 1975, Hollander e Wolfe 1999). Neste sentido, análise de variâncias não paramétricas foi realizada para comparar os períodos hidrológicos de 2009 a 2013 estabelecidos pelas 14 campanhas de coleta realizadas na área de estudo, resultados das estações nos tributários e na calha do rio Madeira e entre as fases do empreendimento (fases rio e enchimento).

O teste de comparações múltiplas ou Teste Bilateral de Dunn (1964) foi realizado a posteriores ao teste de Kruskal-Wallis, quando o valor de da probabilidade  $p$  for menor que 0,05, tal que a hipótese  $H_0$  tem de ser rejeitada, e depois, pelo menos, um elemento (ou grupo) é diferente do outro. Para identificar quais os elementos são responsáveis pela rejeição de  $H_0$ , o procedimento de comparação múltipla pode ser utilizado (Dunn, 1964; Nemenyi, 1963). Para se ter em conta o fato de existem  $K(k-1) / 2$  comparações possíveis, a correção do nível de significância de Bonferroni proposto pelo teste, pode ser aplicado na determinação dos grupos diferenciados e elementos. As análises estatísticas foram realizadas com as variáveis (Hg total, Hg reativo e Hg orgânico), que tiveram suas concentrações acima do limite de detecção na fase química analítica. Os resultados da estatística descritiva na matriz água estão divididos por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (calha do Rio Madeira e tributários) **(Tabela 15)**.

As concentrações dos espécimes de mercúrio total e mercúrio reativo foram maiores na fase de enchimento do reservatório em relação à fase rio. Isto pode ser explicado pelo carreamento e lixiviação, oriundos das áreas e solos inundados durante o enchimento e ou dos Andes, pelo processo de degelo, erosão e lixiviação, conforme estudos de Guyot et. al. (1990); Guyot et. al. (1996) e Aalto & Guyot (2006). As concentrações de mercúrio orgânico diminuíram significativamente na fase do enchimento do reservatório possivelmente devido ao efeito de diluição. Vale ressaltar que tais resultados ainda são preliminares e análises mais robustas serão realizadas ao longo da execução do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico.

**Tabela 15.** Estatística descritiva de espécimes de mercúrio (Hg total, Hg reativo e Hg orgânico) da matriz água está distribuída por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

Variável	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
HgTOTAL   FR	393	0,890	125,010	12,178	12,797
HgTOTAL   FE	86	1,880	70,720	30,206	11,592
HgTOTAL   Seca	141	1,020	49,110	16,917	10,432
HgTOTAL   Enchente	141	0,890	70,720	17,129	15,294
HgTOTAL   Cheia	98	1,020	26,910	9,090	6,849
HgTOTAL   Vazante	99	1,020	125,010	17,096	20,476
HgTOTAL   Calha	278	0,890	125,010	14,921	13,162
HgTOTAL   Tributário	201	1,020	109,970	16,098	15,875
HgREATIVO   Calha	278	0,150	36,410	5,171	7,289
HgREATIVO   Tributário	201	0,260	35,650	6,808	8,529
HgREATIVO   Seca	141	0,260	35,650	8,105	8,458
HgREATIVO   Enchente	141	0,150	33,850	7,158	9,442
HgREATIVO   Cheia	98	0,300	8,770	2,187	2,536
HgREATIVO   Vazante	99	0,300	36,410	4,442	6,378
HgREATIVO   FR	393	0,150	36,410	2,993	4,163
HgREATIVO   FE	86	0,750	35,650	18,950	7,529
HgORG   FR	393	0,150	6,910	0,430	0,522
HgORG   FE	86	0,300	0,300	0,300	0,000
HgORG   Seca	141	0,150	2,120	0,407	0,282
HgORG   Enchente	141	0,300	1,800	0,350	0,215
HgORG   Cheia	98	0,300	0,680	0,305	0,040

**Tabela 15.** Estatística descritiva de espécimes de mercúrio (Hg total, Hg reativo e Hg orgânico) da matriz água está distribuída por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira) – Continuação.

Variável	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
HgORG   Vazante	99	0,300	6,910	0,587	0,934
HgORG   Calha	278	0,300	2,700	0,362	0,246
HgORG   Tributário	201	0,150	6,910	0,469	0,670

A variabilidade destes espécimes está associada também a matéria orgânica (ácidos húmicos/fúlvicos) e dos sólidos em suspensão, que são constituídos de argilominerais formadores dos sedimentos de várzea (Martinelli *et al.*, 1993) e fluviais (Lyons & Bird, 1995; Guyot, *et al.*, 2007) que interage com a água intersticial mobilizando os espécimes de Hg. A dinâmica das interações durante os períodos hidrológicos deve ser monitorada, para inferirmos sobre o efeito da sazonalidade na relação dos espécimes com a transformação do ambiente lótico para o lântico. Estas variações são em parte explicadas pelo regime de vazões do período hidrológico, cuja dinâmica se inicia com o degelo Guyot *et al.*, (1999) e termina com regime pluvial tropical.

As concentrações dos espécies de mercúrio (Hg total, Hg reativo) foram sempre maiores nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira, isto indica um forte indício de que as concentrações destes espécimes têm como fonte a lixiviação das rochas e solos da área do empreendimento. Outro fator importante refere-se às características físico-químicas destas águas, cujo caráter ácido favorece as condições de mobilização dos espécies de mercúrio. Outro fator que pode estar atuando é a mudança de ecossistema de lântico para lótico, que também favorece a mobilização do mercúrio e seus espécies para a coluna d'água. Naturalmente este processo ocorre nas cheias, cujas águas do rio Madeira represam as águas de seus tributários, os transformando em ambientes lânticos, sendo esta relação extremamente importante para o entendimento da dinâmica do mercúrio neste sistema.

A hipótese verificada inicialmente envolve a fase rio do empreendimento e fase enchimento do reservatório, assim a hipótese nula H0: As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do mercúrio total, quando comparadas as fases rio e enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa H1: As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o elemento mercúrio total, valor p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa

igual 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total apresentou diferença significativa na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, fase rio (A) e fase enchimento (B) formam dois grupos estatisticamente significativos (**Tabela 16**).

**Tabela 16.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água na fase rio e fase enchimento do reservatório para as concentrações de mercúrio total.

Matriz /variável Hg total	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
Fase Rio	125,788	<0,0001	A*	
Fase Enchimento				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

As variações nas concentrações do mercúrio total durante as 14 campanhas de campo do Programa foram maiores no período hidrológico de enchente e menores durante o período hidrológico de cheia do rio Madeira. A maior concentração pode estar associada ao efeito da concentração do mercúrio em relação ao volume de água e a relação inversa também é válida e significativa, quando no período hidrológico de cheia as concentrações diminuíram devido ao efeito de diluição. Este aumento nas concentrações no período de enchente está associado à lixiviação e ao carreamento dos Andes de acordo com Guyot et. al. (1990); Guyot et. al. (1996) e Aalto & Guyot (2006). Outra fonte pode estar associada ao carreamento de argilominerais dos solos das áreas próximas ao empreendimento, via chuvas intensas e das áreas inundadas durante o enchimento. Vale ressaltar que estas análises ainda são preliminares, tendo em vista a realização de apenas 02 (duas) campanhas na fase de enchimento do reservatório.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), originou a formação de dois grupos sendo o grupo A constituído pelo período hidrológico de cheia e o grupo B constituído pelos períodos hidrológicos de vazante, seca e enchente. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 17**).

**Tabela 17.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para o mercúrio total.

Matriz /variável Hg	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
<b>total</b>				
Cheia	28,46	<0,0001	A*	
Vazante				B*
Enchente				B*
Seca				B*

\*A, B - representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula  $H_0$  e rejeitar a hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (A) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram um único grupo, conforme o ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 18**).

**Tabela 18.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água nos tributários e calha do rio Madeira para as concentrações de mercúrio total.

Água/Hg total	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)
Fase Rio	0,068	0,795	A*
Fase Enchimento			A*

\*A - representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

As concentrações de mercúrio reativo foram maiores na fase de enchimento do reservatório em relação à fase rio do empreendimento, possivelmente devido o carreamento e lixiviação, oriundos das áreas e solos inundados durante o enchimento e/ou dos Andes, pelo processo de degelo, erosão e lixiviação, conforme estudos de Guyot et. al. (1990); Guyot et. al. (1996) e Aalto & Guyot (2006). As concentrações mercúrio reativo foram sempre maiores nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira, indicando um forte indício de que as concentrações deste elemento têm como fonte a lixiviação das rochas e solos da área do empreendimento. Outro fator importante refere-se às características físico-químico destas águas, cujo caráter ácido favorece as condições de mobilização do mercúrio reativo. Outro fator que pode estar atuando é a mudança de ecossistema de lântico para lóxico, que favorece a mobilização do mercúrio

reativo para a coluna de água. Naturalmente este processo ocorre nas cheias, cujas águas do rio Madeira represam as águas de seus tributários, os transformando em ambientes lânticos.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença nas concentrações do mercúrio reativo, quando comparadas as fases rio e de enchimento do reservatório. Caso contrario a hipótese alternativa  $H_1$ : As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o Hg reativo, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio reativo apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (Tabela 19).

**Tabela 19.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água na fase rio e fase enchimento do reservatório para as concentrações de mercúrio reativo.

Matriz /variável Hg	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
reativo				
Fase Rio	183,733	<0,0001	A*	
Fase Enchimento				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

As variações nas concentrações de mercúrio reativo durante as 14 campanhas de campo realizadas foram maiores no período hidrológico de enchente e menores durante o período de cheia. A maior concentração pode estar associada ao efeito da concentração do elemento em relação ao volume de água e a relação inversa, também é válida e significativa, quando no período hidrológico de cheia as concentrações diminuíram devido ao efeito de diluição. O aumento nas concentrações de mercúrio reativo no período de enchente está associado à lixiviação e ao carreamento dos Andes, de acordo com Guyot et. al. (1990); Guyot et. al. (1996) e Aalto & Guyot (2006). Outra fonte pode estar associada ao carreamento de argilominerais dos solos das áreas próximas ao empreendimento, via chuvas intensas e das áreas inundadas durante o enchimento.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio reativo, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese

nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio reativo apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral) originaram três grupos sendo o grupo A constituído pelo período hidrológico de cheia, o grupo B constituído pelos períodos hidrológicos de vazante e enchente, enquanto que o grupo C é constituído pelo período hidrológico de seca. Os três grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 20**).

**Tabela 20.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de mercúrio reativo.

Água/Hg reativo	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgREATIVO   Cheia	41,807	<0,0001	A*		
HgREATIVO   Vazante				B*	
HgREATIVO   Enchente				B*	
HgREATIVO   Seca					C*

\*A, B, C – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio reativo, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula H0 e rejeitar a hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio reativo não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (A) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram um único grupo, conforme o ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 21**).

**Tabela 21.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água na calha do rio Madeira e tributários para as concentrações de mercúrio reativo.

Matriz /variável Hg reativo	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)
Calha	1,334	0,248	A*
Tributário			A*

\*A – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

As concentrações do elemento mercúrio orgânico foram maiores na fase de rio em relação à fase enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio orgânico, valor p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio orgânico apresentou diferença significativa na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, fase rio (A) e fase de enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos (**Tabela 22**).

**Tabela 22.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água na fase rio e fase enchimento do reservatório para as concentrações de mercúrio orgânico.

Água /Hg orgânico	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
Fase Rio	12,150	<0,000	A*	
Fase Enchimento				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

As variações nas concentrações de mercúrio orgânico durante as 14 campanhas de campo realizadas foram maiores no período hidrológico de vazante e menores durante o período de cheia. A maior concentração pode estar associada ao efeito da concentração do elemento em relação ao volume de água e a relação inversa, também é válida e significativa, quando na cheia as concentrações diminuíram. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio orgânico, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio reativo apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), o grupo A é constituído pelos períodos hidrológicos de cheia, enchente e vazante, enquanto que o grupo B é constituído pelos períodos hidrológicos de vazante e seca. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 23**).

**Tabela 23.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para o Hg orgânico.

Água /Hg orgânico	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupos	
HgORG   Cheia	16,175	0,001	A*	
HgORG   Enchente			A*	
HgORG   Vazante			A*	B*
HgORG   Seca				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio orgânico, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula  $H_0$  e rejeitar a hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio reativo não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (A) e a calha do rio Madeira grupo (A) formaram um único grupo, conforme o ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 24**).

**Tabela 24.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz água na calha do Rio Madeira e Tributários para o Hg orgânico.

Água/Hg orgânico	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)
Calha	0,452	0,502	A*
Tributário			A*

\*A – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

Os resultados da estatística descritiva na matriz material particulado suspenso e sedimento estão divididos por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE), período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (calha do Rio Madeira e tributários) (**Tabela 25**).

**Tabela 25.** Estatística descritiva de espécies de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) na matriz material particulado suspenso e sedimento de fundo estão distribuídas por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (calha do Rio Madeira e tributários).

Matriz	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
<b>Particulado/HgTOTAL</b>					
HgTOTAL   Calha	258	1,020	688,890	143,432	108,483
HgTOTAL   Tributário	188	1,020	356,380	69,248	60,421

**Tabela 25.** Estatística descritiva de espécies de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) na matriz material particulado suspenso e sedimento de fundo estão distribuídas por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (calha do Rio Madeira e tributários) – Continuação

Matriz	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
HgTOTAL   Enchente	141	1,020	635,960	114,934	97,176
HgTOTAL   Cheia	98	1,020	374,150	96,343	97,107
HgTOTAL   Vazante	98	5,270	241,670	92,347	66,284
HgTOTAL   Seca	109	14,980	688,890	140,610	117,476
HgTOTAL   FR	360	1,020	688,890	96,764	91,078
HgTOTAL   FE	86	51,130	635,960	176,615	102,045
<b>Sedimento/HgTOTAL</b>					
HgTOTAL   FR	360	4,110	364,710	60,061	59,530
HgTOTAL   FE	86	27,330	264,280	96,492	57,122
HgTOTAL   Seca	141	8,300	295,230	69,368	54,745
HgTOTAL   Cheia	98	4,110	364,710	53,632	66,051
HgTOTAL   Vazante	98	6,740	243,650	62,452	53,441
HgTOTAL   Enchente	109	9,720	305,990	80,398	66,807
HgTOTAL   Calha	258	8,300	164,250	41,709	23,295
HgTOTAL   Tributário	188	4,110	364,710	101,912	76,978
<b>Sedimento/ MeHg</b>					
MeHg   FR	360	0,011	2,436	0,288	0,391
MeHg   FE	86	0,078	4,349	0,649	0,767
MeHg   Seca	141	0,023	1,943	0,351	0,387
MeHg   Cheia	98	0,022	1,779	0,228	0,342
MeHg   Vazante	98	0,020	1,650	0,312	0,373
MeHg   Enchente	109	0,011	4,349	0,523	0,765
MeHg   Calha	258	0,011	0,675	0,141	0,100
MeHg   Tributário	188	0,022	4,349	0,654	0,665

As concentrações dos espécies de mercúrio total e metilmercúrio no material particulado suspenso e no sedimento de fundo foram maiores e significativas na fase de enchimento do reservatório em relação à fase rio. Isto pode ser explicado pelo carreamento e lixiviação, oriundos das áreas e solos inundados durante o enchimento e ou dos Andes, pelo processo de degelo e erosão, conforme estudos de Guyot et. al. (1990); Guyot et. al. (1996) e Aalto & Guyot (2006). A variabilidade destes espécimes está associada também as concentrações matéria orgânica (ácidos húmicos/fúlvicos) e dos sólidos em suspensão, que estão adsorvidos e constituído os argilominerais formadores dos

sedimentos de várzea (Martinelli *et al.*, 1993) e fluviais (Lyons & Bird, 1995; Guyot, *et al.*, 2007), que interage com a água intersticial precipitando os espécimes de mercúrio no sedimento a partir do material particulado suspenso.

A dinâmica das interações durante os períodos hidrológicos deve ser monitorada, para ser possível inferir sobre o efeito da sazonalidade na relação dos espécimes com a transformação do ambiente lótico para o lêntico. Estas variações são em parte explicadas pelo regime de vazões do período hidrológico, cuja dinâmica se inicia com o degelo Guyot *et al.*, (1999) e termina com regime pluvial tropical. As variações nas concentrações do mercúrio total no material particulado suspenso e no sedimento de fundo durante as 14 campanhas de campo realizadas foram maiores no período de enchente para o sedimento e maiores no período de seca para o material particulado suspenso. As menores concentrações do mercúrio total foram registradas nos períodos hidrológicos de cheia e vazante, respectivamente.

As concentrações de metilmercúrio no sedimento de fundo foram maiores nos tributários quando comparadas a calha do rio Madeira, indicando um forte indício de que as concentrações destes espécimes têm como fonte a lixiviação das rochas e solos da área do empreendimento. Outro fator importante refere-se às características físico-químico destas águas, cujo caráter ácido favorece as condições de mobilização e formação MeHg pelas bactérias metanogênicas e sulfogênicas. Além disso, a mudança de ecossistema de lêntico para lótico pode estar favorecendo a mobilização do metilmercúrio e mercúrio total para a coluna de água.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula H0: As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do mercúrio total, quando comparadas as fase rio e de enchimento do reservatório. Caso contrario a hipótese alternativa H1: As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases de rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total e metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio total e metilmercúrio nas 02 (duas) matrizes (material particulado suspenso e sedimento de fundo) apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio (A) e fase de enchimento do reservatório (B) formam 02 (dois) grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 26**).

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total e metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio total apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), o grupo A é constituído pelos períodos hidrológicos de vazante e cheia, enquanto o grupo B é constituído pelos períodos hidrológicos de vazante e seca e enchente, neste caso a vazante também contribui para o grupo B. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 26**).

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total e metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula H0 e rejeitar a hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio total não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (A) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram um único grupo, conforme o ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 26**).

**Tabela 26.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz material particulado e sedimento de fundo na fase rio e na fase de enchimento, períodos hidrológicos e calha do rio Madeira e tributários, para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg).

Matriz	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
<b>Particulado</b>				
HgTOTAL   FR	58,416	<0,0001	A	
HgTOTAL   FE				B
HgTOTAL   Cheia	17,699	0,001	A	
HgTOTAL   Vazante			A	
HgTOTAL   Enchente			A	B
HgTOTAL   Seca				B
HgTOTAL   Tributário	71,285	< 0,0001	A	
HgTOTAL   Calha				B

**Tabela 26.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz material particulado e sedimento de fundo na fase rio e na fase de enchimento, períodos hidrológicos e calha do rio Madeira e tributários, para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) – Continuação

Matriz	K (Kruskal-Wallis)	p (Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
<b>sedimento</b>				
HgTOTAL   FR	55,724	< 0,0001	A	
HgTOTAL   FE				B
HgTOTAL   Cheia	7,815	< 0,0001	A	
HgTOTAL   Vazante			A	B
HgTOTAL   Seca				B
HgTOTAL   Enchente				B
HgTOTAL   Calha	84,185	< 0,0001	A	
HgTOTAL   Tributário				B
MeHg   FR	44,149	< 0,0001	A	
MeHg   FE				B
MeHg   Cheia	22,332	< 0,0001	A	
MeHg   Vazante			A	B
MeHg   Seca				B
MeHg   Enchente				B
MeHg   Calha	131,928	< 0,0001	A	
MeHg   Tributário				B

A Estatística Descritiva (**Tabela 27**) da matriz fitoplâncton está dividida por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

**Tabela 27.** Estatística Descritiva das concentrações de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton está distribuída por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento do reservatório (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

Fitoplâncton	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
MeHg   FR	228	0,030	212,790	10,201	18,719
MeHg   FE	62	4,570	50,280	15,130	9,612
MeHg   Seca	93	0,030	47,630	9,108	8,641
MeHg   Cheia	62	0,030	103,560	9,020	16,072
MeHg   Vazante	62	0,510	35,860	8,561	8,069
MeHg   Enchente	73	0,380	212,790	18,178	27,658

**Tabela 27.** Estatística Descritiva das concentrações de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) no fitoplâncton está distribuída por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento do reservatório (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira) – Continuação

Fitoplâncton	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
MeHg   Calha	102	0,030	18,160	4,351	4,224
MeHg   Tributário	188	0,030	212,790	15,001	20,300
HgTOTAL   FR	228	1,020	1810,500	226,674	254,045
HgTOTAL   FE	62	89,720	723,180	325,093	163,412
HgTOTAL   Seca	93	1,020	938,670	223,037	182,718
HgTOTAL   Cheia	62	1,020	1810,500	206,972	291,264
HgTOTAL   Vazante	62	18,800	828,020	224,860	182,539
HgTOTAL   Enchente	73	11,190	1427,720	333,172	282,531
HgTOTAL   Calha	102	1,020	723,180	143,405	141,999
HgTOTAL   Tributário	188	1,020	1810,500	304,310	263,693

As análises estatísticas na matriz fitoplâncton indicaram que as concentrações de mercúrio total foram maiores na fase enchimento do reservatório quando comparado à fase rio do empreendimento. As concentrações de mercúrio total no período hidrológico de enchente foram maiores quando comparado aos outros períodos hidrológicos de seca, cheia e vazante. As concentrações de mercúrio total foram maiores nos tributários quando comparado à calha do rio Madeira.

As análises estatísticas na matriz fitoplâncton indicaram que as concentrações de metilmercúrio apresentaram o mesmo comportamento do mercúrio total sendo maiores na fase enchimento do reservatório, no período hidrológico de enchente e nos tributários.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do metilmercúrio na matriz fitoplâncton, quando comparados as fases rio e de enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa  $H_1$ : As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, metilmercúrio na matriz fitoplâncton apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que

0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio do empreendimento (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 28**).

**Tabela 28.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz fitoplâncton nas fases rio e de enchimento do reservatório para a concentração de metilmercúrio (MeHg).

Fitoplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   FR	38,835	<0,0001	A*	
MeHg   FE				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o metilmercúrio apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), o grupo A é constituído pelos períodos hidrológicos de cheia, vazante e seca, enquanto o grupo B é constituído pelo período hidrológico de enchente. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 29**).

**Tabela 29.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz fitoplâncton nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de metilmercúrio (MeHg).

Fitoplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   Cheia	23,427	< 0,0001	A*	
MeHg   Vazante			A*	
MeHg   Seca			A*	
MeHg   Enchente				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o metilmercúrio na matriz fitoplâncton, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula  $H_0$  e rejeitar a hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o metilmercúrio não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações

múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (B) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram dois grupos. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 30**).

**Tabela 30.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz fitoplâncton na calha e tributários do rio Madeira para as concentrações de metilmercúrio (MeHg).

Fitoplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   Calha	62,358	< 0,0001	A*	
MeHg   Tributários				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A hipótese verificada inicialmente envolve a fase rio e a fase de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do mercúrio total na matriz fitoplâncton, quando comparadas as fases rio e de enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa  $H_1$ : As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total na matriz fitoplâncton apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio do empreendimento (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 31**).

**Tabela 31.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz fitoplâncton nas fases rio e de enchimento do reservatório para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Fitoplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   FR	26,498	< 0,0001	A*	
HgTOTAL   FE				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total apresentou diferença

significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), originou dois grupos sendo o grupo A constituído pelos períodos hidrológicos de cheia, seca e vazante, o grupo B constituído pelo período hidrológico de enchente, com contribuição dos períodos hidrológicos de seca e vazante. Os três grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 32**).

**Tabela 32.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz fitoplâncton nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Fitoplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   Cheia	17,796	0,000	A*	
HgTOTAL   Seca			A*	B*
HgTOTAL   Vazante			A*	B*
HgTOTAL   Enchente				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para mercúrio total na matriz fitoplâncton, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula  $H_0$  e rejeitar a hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total não apresentou diferença significativa entre os tributários e a calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (B) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram dois grupos. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 33**).

**Tabela 33.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz fitoplâncton na calha e tributários do rio Madeira para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Fitoplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   Calha	38,412	< 0,0001	A*	
HgTOTAL   Tributário				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A Estatística Descritiva (**Tabela 34**) da matriz zooplâncton está dividida por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

**Tabela 34.** Estatística descritiva das concentrações de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) no zooplâncton está distribuída por coortes: fase rio (FR), fase enchimento do reservatório (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

Zooplâncton	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
MeHg   FR	228	0,030	513,150	14,610	39,938
MeHg   FE	62	4,160	34,440	14,794	7,312
MeHg   Seca	93	0,030	49,240	10,855	9,882
MeHg   Cheia	62	0,030	69,840	10,259	16,040
MeHg   Vazante	62	0,237	67,880	11,159	13,859
MeHg   Enchente	73	1,060	513,150	26,178	66,243
MeHg   Calha	102	0,030	31,140	5,196	5,531
MeHg   Tributário	188	0,030	513,150	19,779	43,150
HgTOTAL   FR	228	1,020	12352,210	327,302	855,523
HgTOTAL   FE	62	105,130	747,930	339,624	173,946
HgTOTAL   Seca	93	1,020	995,350	268,150	229,293
HgTOTAL   Cheia	62	1,020	1311,070	243,969	297,883
HgTOTAL   Vazante	62	2,650	1041,990	269,362	265,939
HgTOTAL   Enchente	73	29,740	12352,210	533,111	1440,393
HgTOTAL   Calha	102	1,020	730,210	177,512	180,713
HgTOTAL   Tributário	188	1,020	12352,210	412,635	928,010

As análises estatísticas na matriz zooplâncton indicaram que as concentrações de mercúrio total foram maiores na fase enchimento do reservatório quando comparado à fase rio. As concentrações de mercúrio total no período de enchente foram maiores quando comparado aos outros períodos hidrológicos de seca, cheia e vazante. As concentrações de mercúrio total foram maiores nos tributários quando comparado à calha do rio Madeira.

As análises estatísticas na matriz zooplâncton indicaram que as concentrações de metilmercúrio apresentaram o mesmo comportamento do mercúrio total, sendo maiores na fase enchimento do reservatório, no período hidrológico de enchente e nos tributários.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do metilmercúrio na matriz zooplâncton, quando comparadas as fase rio e de enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa  $H_1$ : As

concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, metilmercúrio na matriz fitoplâncton apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 35**).

**Tabela 35.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz zooplâncton nas fases rio e de enchimento do reservatório para a concentração de metilmercúrio (MeHg).

Zooplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   FR	28,496	< 0,0001	A*	
MeHg   FE				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal - Wallis para o metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o metilmercúrio apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), originou três grupos sendo o grupo A constituído pelos períodos hidrológicos de cheia, seca e vazante, o grupo B constituído pelo período hidrológico de enchente, com contribuição dos períodos hidrológicos de seca e vazante. Os três grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 36**).

**Tabela 36.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz zooplâncton nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de metilmercúrio (MeHg).

Zooplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   Cheia	17,930	0,000	A*	
MeHg   Vazante			A*	
MeHg   Seca			A*	B*
MeHg   Enchente				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para ometilmercúrio na matriz zooplâncton, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula H0 e rejeitar a hipótese alternativa H1, ou seja, o metilmercúrio não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (B) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram dois grupos. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 37**).

**Tabela 37.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz zooplâncton na calha e tributários do rio Madeira para as concentrações de metilmercúrio (MeHg).

Zooplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   Calha	53,209	< 0,0001	A*	
MeHg   Tributário				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula H0: As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do mercúrio total na matriz zooplâncton, quando comparadas as fases rio e de enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa H1: As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio total na matriz zooplâncton apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 38**).

**Tabela 38.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz zooplâncton nas fases rio e enchimento do reservatório para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Zooplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   FR	17,319	< 0,0001	*A	
HgTOTAL   FE				*B

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula H0 em favor da hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio total apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), originou três grupos sendo o grupo A constituído pelos períodos hidrológicos de cheia, seca e vazante, o grupo B constituído pelo período hidrológico de enchente, com contribuição dos períodos hidrológicos de seca e vazante. Os três grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 39**).

**Tabela 39.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz zooplâncton nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Zooplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   Cheia	13,695	0,003	A*	
HgTOTAL   Vazante			A*	B*
HgTOTAL   Seca			A*	B*
HgTOTAL   Enchente				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para mercúrio total na matriz zooplâncton, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula H0 e rejeitar a hipótese alternativa H1, ou seja, o mercúrio total não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula H0 quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (B) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram dois grupos. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 40**).

**Tabela 40.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz zooplâncton na calha e tributários do rio Madeira para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Zooplâncton	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   Calha	29,054	< 0,0001	A*	
HgTOTAL   Tributário				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A Estatística Descritiva (**Tabela 41**) da matriz invertebrados está dividida por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

**Tabela 41.** Estatística Descritiva das concentrações de mercúrio total (HgTOTAL) e metilmercúrio (MeHg) nos invertebrados está distribuída por coortes: fase rio (FR), fase de enchimento do reservatório (FE); período hidrológico (cheia, vazante, seca e enchente) e estações (tributários e calha do rio Madeira).

Invertebrados	Observações	Mínimo	Máximo	Média	Desvio padrão
MeHg   Calha	102	0,030	38,790	11,431	10,697
MeHg   Tributário	188	0,030	537,480	56,472	91,768
MeHg   Enchente	74	0,030	421,840	49,537	73,798
MeHg   Seca	92	0,030	537,480	51,557	99,442
MeHg   Cheia	62	0,030	132,910	17,903	24,371
MeHg   Vazante	62	1,020	402,850	36,512	74,314
MeHg   FR	228	0,030	537,480	35,164	74,017
MeHg   FE	62	8,920	421,840	60,731	85,410
HgTOTAL   FR	228	1,020	4043,280	496,692	548,671
HgTOTAL   FE	62	119,830	1915,570	886,875	449,869
HgTOTAL   Enchente	74	1,020	4043,280	864,827	800,957
HgTOTAL   Seca	92	1,020	1691,250	603,076	439,975
HgTOTAL   Cheia	62	1,020	1778,420	357,658	379,960
HgTOTAL   Vazante	62	1,020	1044,230	428,663	265,845
HgTOTAL   Calha	102	1,020	1833,410	434,923	365,494
HgTOTAL   Tributário	188	1,020	4043,280	658,883	617,454

As análises estatísticas na matriz invertebrados indicaram que as concentrações de mercúrio total foram maiores na fase enchimento do reservatório quando comparado à fase rio. As concentrações de mercúrio total no período hidrológico de enchente foram as maiores quando comparado aos outros períodos hidrológicos de seca, cheia e vazante. As concentrações de mercúrio total foram maiores nos tributários quando comparado à calha do rio Madeira.

As análises estatísticas na matriz invertebrados indicaram que as concentrações de metilmercúrio apresentaram o mesmo comportamento do mercúrio total, sendo maiores na fase de enchimento do reservatório quando comparado à fase rio, no período hidrológico de seca foram maiores quando comparado aos outros períodos hidrológicos de enchente, cheia e vazante e maiores nos tributários quando comparado à calha do rio Madeira.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e de enchimento do reservatório, assim a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do metilmercúrio na matriz invertebrado, quando comparadas as fases rio e de enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa  $H_1$ : As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases de rio e de enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, metilmercúrio na matriz invertebrado apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (**Tabela 42**).

**Tabela 42.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz invertebrado nas fases rio e de enchimento do reservatório para a concentração de metilmercúrio (MeHg).

Invertebrados	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   FR	33,505	< 0,0001	A*	
MeHg   FE				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o metilmercúrio, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o metilmercúrio apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), o grupo A é constituído pelos períodos hidrológicos de seca e enchente, enquanto o grupo B é constituído pelos períodos hidrológicos de cheia e vazante, neste caso a enchente também contribui para o grupo B. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (**Tabela 43**).

**Tabela 43.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz invertibrado nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de metilmercúrio (MeHg).

Invertebrados	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   Seca	24,733	< 0,0001	A*	
MeHg   Enchente			A*	B*
MeHg   Cheia				B*
MeHg   Vazante				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para e metilmercúrio na matriz invertibrado, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula  $H_0$  e rejeitar a hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o metilmercúrio não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (B) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram dois grupo. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (Tabela 44).

**Tabela 44.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz invertibrado nas estações calha e tributários do rio Madeira para as concentrações de metilmercúrio (MeHg).

Invertebrados	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
MeHg   Calha	65,882	< 0,0001	A*	
MeHg   Tributário				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A hipótese verificada inicialmente envolve as fases rio e deenchimento do reservatório, assim a hipótese nula  $H_0$ : As concentrações vêm de uma mesma população, ou seja, não existe diferença nas concentrações do mercúrio total na matriz invertibrado, quando comparadas fases rio e de enchimento do reservatório. Caso contrário, a hipótese alternativa  $H_1$ : As concentrações não vêm de uma mesma população, ou seja, existe diferença entre as fases de rio e enchimento do reservatório. A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total na matriz invertibrado apresentou diferença na fase rio em relação à fase de enchimento

do reservatório. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparação múltipla pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilateral, fase rio (A) e fase enchimento do reservatório (B) formam dois grupos estatisticamente significativos pelo ajuste de Bonferroni ( $p < 0,05$ ) (Tabela 45).

**Tabela 45.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz invertebrados nas fases rio e de enchimento do reservatório para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Invertebrados	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   FR	42,104	< 0,0001	A*	
HgTOTAL   FE				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para o mercúrio total, cujo p-valor calculado foi menor que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se rejeitar a hipótese nula  $H_0$  em favor da hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o mercúrio total apresentou diferença significativa em relação aos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn (Teste bilateral), originou três grupos sendo o grupo A constituído pelos períodos hidrológicos de cheia e vazante, o grupo B constituído pelos períodos hidrológicos de seca, com contribuição do período hidrológico de vazante e o grupo C constituído pelo período hidrológico de enchente. Os três grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (Tabela 46).

**Tabela 46.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz invertebrados nos períodos hidrológicos de cheia, vazante, seca e enchente para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Invertebrados	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)		
HgTOTAL   Cheia	31,169	< 0,0001	A*		
HgTOTAL   Vazante			A*	B*	
HgTOTAL   Seca				B*	C*
HgTOTAL   Enchente					C*

\*A, B, C – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

A análise de variâncias não paramétricas Kruskal- Wallis para mercúrio total na matriz invertebrado, cujo p-valor calculado foi maior que o nível de significância alfa igual a 0,05, deve-se aceitar a hipótese nula  $H_0$  e rejeitar a hipótese alternativa  $H_1$ , ou seja, o

metilmercúrio não apresentou diferença significativa entre os tributários e calha do rio Madeira. O risco de rejeitar a hipótese nula  $H_0$  quando ela é verdadeira é menor do que 0,01%. Comparações múltiplas pareadas utilizando o procedimento de Dunn / Teste bilaterais, os tributários grupo (B) e calha do rio Madeira grupo (A) formaram dois grupo. Os dois grupos formados foram estatisticamente significativos pelo ajustamento de Bonferroni com  $p < 0,05$  (Tabela 47).

**Tabela 47.** Análise de variâncias não paramétrica Kruskal- Wallis e teste bilateral de Dunn com ajuste de Bonferroni, para diferenciação de grupos da matriz invertebrado na calha e tributários do rio Madeira para as concentrações de mercúrio total (HgTOTAL).

Invertebrados	K (Kruskal-Wallis)	p(Kruskal-Wallis)	Grupo (Dunn teste)	Grupo (Dunn teste)
HgTOTAL   Calha	9,526	0,002	A*	
HgTOTAL   Tributário				B*

\*A, B – representam grupos diferenciados pelo teste bilateral de Dunn ao nível de ( $p < 0,05$ ), pelo ajuste de Bonferroni.

## Estudos de saúde humana

A primeira consolidação semestral da fase de enchimento do reservatório dos estudo de saúde humana integrante do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico apresenta informações resultantes das análises de dados provenientes da série histórica dos estudos na fase rio ( 1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup>abordagem humana–abril de 2010 a julho de 2012), comparativamente a um primeiro conjunto de dados relativos à fase de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup>abordagem humana – outubro de 2012). As abordagens humanas foram direcionadas à população residente nas comunidades de Nova Mutum Paraná, Fortaleza do Abunã, Abunã, Canteiro de Obras da UHE Jirau, dragas e garimpos em terra firme e comunidaderibeirinha (**Fotos de 01 a 10**).

O recrutamento das pessoas foi feito no âmbito de uma amostragem transversal realizada durante todas as abordagens humanas, onde pessoas chave de cada comunidade (incluindo-se garimpos de terra e dragas fluviais) foram previamente contatadas pela coordenação geral do Programa, no intuito de ajudar a divulgar as atividades propostas assim como sua importância no âmbito da obra de grande envergadura ora em construção. Tais pessoas chave (e.g., líderes comunitários, donos de draga, etc.) sempre se mostram bastante abertos à esses préstimos.

Ainda sobre a estratégia de recrutamento humano, se por um lado é reconhecido e valorizado o recrutamento da população com base em metodologia rigorosa de amostragem aleatória, por outro lado, as condições de trabalho de campo no interior da Amazônia tornam bastante difícil, para não dizer inviável, a aplicação de tais métodos. Diante de tais dificuldades em adotar uma estratégia randômica de amostragem humana nesse contexto, amostras de conveniência têm sido utilizadas, as quais têm se mostrado apropriadas para representar populações de base em outros estudos e contextos (Passos et al., 2007; Kelly et al., 2002; Zelinski et al., 2001). Tais amostragens são realizadas com verificação paralela das distribuições de parâmetros como sexo e faixas etárias de idade na população de base da região, e isso para fins de verificação da representatividade da população regional (área de abrangência do Programa), estimada por meio de dados constantes no EIA/RIMA. Por fim, utilizou-se também um questionário geral para coleta de dados sociodemográficos e de história biomédica que permitissem traçar um perfil geral da população avaliada



Foto 1 – Abordagem humana



Foto 2 – Abordagem humana



Foto 3 – Abordagem humana



Foto 4 – Abordagem humana



Foto 5 – Abordagem humana



Foto 6 – Abordagem humana



Foto 7 – Abordagem humana



Foto 8 – Abordagem humana



Foto 9 – Abordagem humana



Foto 10 – Abordagem humana



Foto 11 – Abordagem humana



Foto 12 – Abordagem humana de Abuña



Foto 13 – Abordagem humana



Foto 14 – Abordagem humana



Foto 15 – Abordagem humana

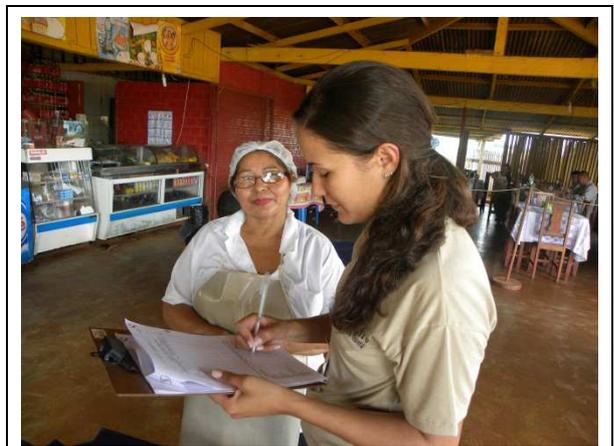


Foto 16 – Abordagem humana



Foto 17 – Abordagem humana



Foto 18 – Abordagem humana



Foto 19– Abordagem humana



Foto 20– Abordagem humana



Foto 21– Abordagem humana



Foto 22– Abordagem humana



Foto 23– Abordagem humana



Foto 24– Abordagem humana

No total, o universo amostral humano dos estudos de saúde humana é composto de 1.427 participantes na fase rio (1<sup>a</sup> a 7<sup>a</sup> abordagem humana), com idade variando entre 1 e 100 anos (média:  $34,6 \pm 16,3$  anos), enquanto que na fase de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana) constam 167 pessoas participantes, com idade variando entre 11 e 87 anos (média:  $37,2 \pm 14,3$ ).

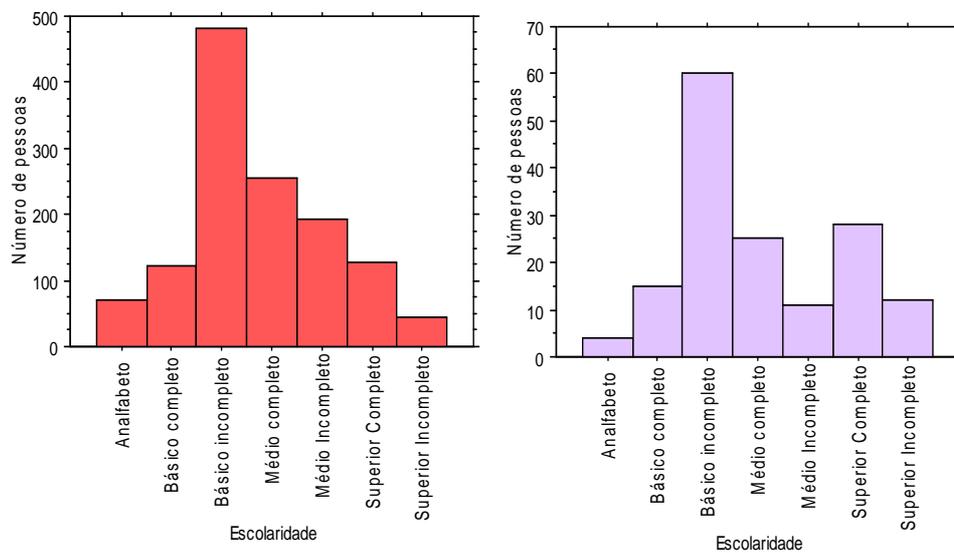
O tempo de residência dessas pessoas na região varia bastante, a maioria (42,3%) vivendo na região de 1 a 5 anos, 12,1% de 5 a 10 anos, 32,6% há mais de 10 anos, incluindo-se tanto pessoas que foram remanejadas de Mutum Paraná para Nova Mutum Paraná, quanto pessoas de outras comunidades vizinhas assim como imigrantes recentes que chegaram na região em busca de trabalho na atividade garimpeira e/ou nos Canteiros de Obras das UHE Santo Antônio e Jirau.

Neste relatório o grupo de participantes é composto por 828 homens e 599 mulheres na fase rio (1<sup>a</sup> a 7<sup>a</sup> abordagem humana), onde os indivíduos do sexo masculino apresentam idade média de  $36,1 \pm 16,4$  anos, levemente superior quando comparada à idade média das participantes femininas ( $32,6 \pm 15,9$  anos). Quanto à fase enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana), o grupo é composto por 110 homens e 57 mulheres, onde os indivíduos do sexo masculino apresentam idade média de  $37,9 \pm 14,7$  anos, levemente superior comparativamente à idade média das mulheres ( $35,1 \pm 12,9$  anos).

Nas abordagens humanas, utilizou-se um questionário geral para coleta de dados sociodemográficos que permitissem traçar um perfil geral da população avaliada. A **Figura 58** mostra as diferentes categorias de grau de instrução na população amostrada durante as 02 (duas) fases aqui analisadas, sendo possível observar para a fase rio do empreendimento que a grande maioria (37,3%) possui o ensino básico incompleto, seguidos por 19,3% que possui ensino médio completo, 14,1% o ensino médio incompleto, e 3,0% que possui nível superior incompleto, estes últimos sendo normalmente situados entre alguns colaboradores do próprio canteiro de obras. Um padrão globalmente similar de distribuição dessas categorias de grau de instrução se apresenta foram observados na fase enchimento do reservatório (**Quadro 01**).

**Quadro 01**– Distribuição de frequências das categorias de grau de instrução das populações amostradas durante as fases rio e de enchimento, em valores absolutos (*count*) e percentuais (*percent*).

	Total Count	Total Percent	Fase Rio Count	Fase Rio Percent	Fase Enchimento Count	Fase Enchimento Percent
Analfabeto	74	5,100	70	5,401	4	2,581
Básico completo	137	9,442	122	9,414	15	9,677
Básico incompleto	541	37,285	481	37,114	60	38,710
Médio completo	281	19,366	256	19,753	25	16,129
Médio Incompleto	205	14,128	194	14,969	11	7,097
Superior Completo	156	10,751	128	9,877	28	18,065
Superior Incompleto	57	3,928	45	3,472	12	7,742
Total	1451	100,000	1296	100,000	155	100,000



**Figura 58**- Distribuição das categorias de grau de instrução da população de estudo para a fase rio do empreendimento (cor vermelha) e na fase enchimento do reservatório (cor roxo).

Os participantes das abordagens humanas declararam ter residência em diferentes pequenos pontos dentro da área de abrangência do empreendimento. A frequência de histórico de malária na população da fase rio do empreendimento é elevada, onde cerca de 68,2% dos participantes já tiveram malária pelo menos uma vez durante a vida. Com base em uma sub-amostra composta por 597 pessoas (41,8% da população total da fase rio do empreendimento), constatou-se que 14,9% sofre de hipertensão, 1,8% sofre de diabetes mellitus, 0,8% foi vítima de acidente cerebral isquêmico ou hemorrágico, 3% declarou ter feito uso de drogas ilícitas pelo menos uma vez na vida e 28,32% declararam utilizar medicação para algum tipo de problema de saúde, apesar de somente 35 pessoas (5,9%) terem declarado alguma queixa de saúde no momento do exame clínico pela médica de nossa equipe em campo. Quanto à abordagem humana na fase enchimento do reservatório a frequência de

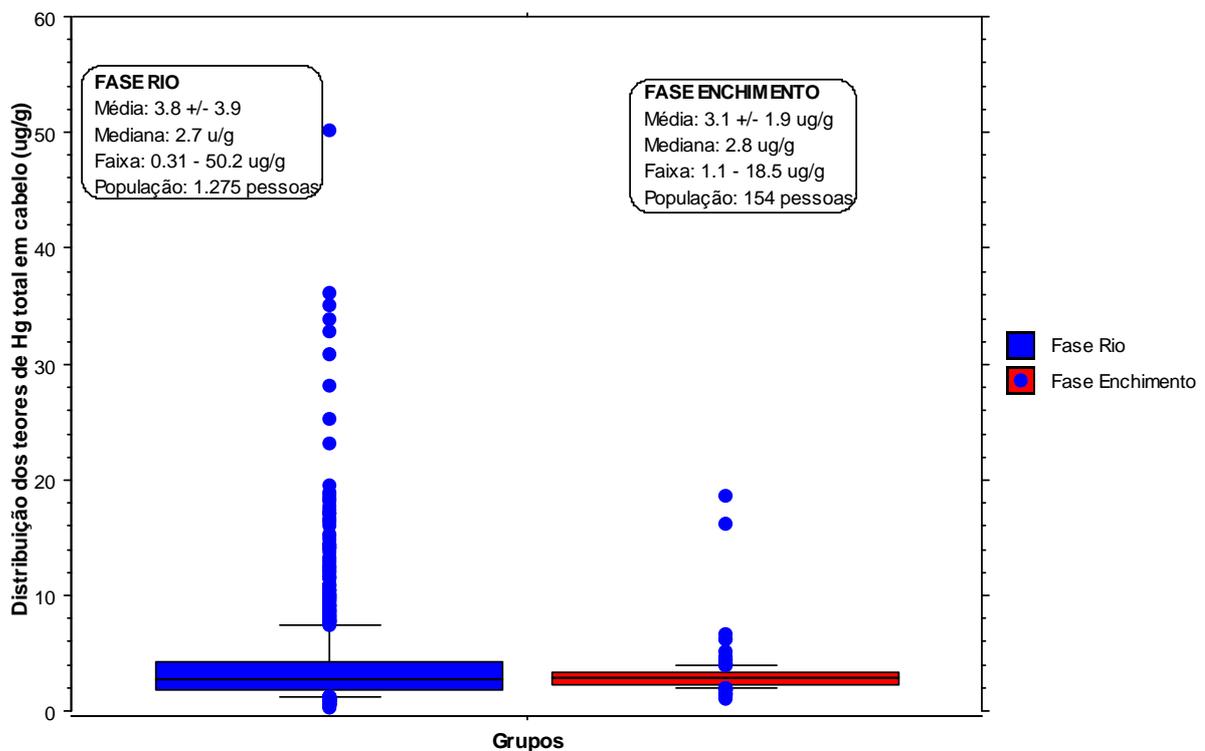
histórico de malária foi mais baixa, onde cerca de 51,9% dos participantes já tiveram malária pelo menos uma vez durante a vida. Com base em uma sub-amostra composta por 93 pessoas (55,7% da população total da fase enchimento do reservatório), constatou-se que 14% sofre de hipertensão, 4,3% sofre de diabetes mellitus, ninguém foi vítima de acidente cerebral isquêmico ou hemorrágico, 1,1% declarou ter feito uso de drogas ilícitas pelo menos uma vez na vida e 30,10% declararam utilizar medicação para algum tipo de problema de saúde, apesar de somente 4 pessoas (4,3%) terem declarado alguma queixa de saúde no momento do exame clínico pela médica de nossa equipe em campo.

Com base nas respostas ao questionário sobre hábitos de fumo na fase rio do empreendimento, 284 pessoas (21,2%) se declararam fumantes, e desse contingente 132 pessoas fumam entre 1 e 10 cigarros por dia, 93 pessoas fumam entre 11 e 20 cigarros por dia, somente 16 pessoas fumando entre 21 e 30 cigarros por dia (6,3%). O consumo de bebidas alcoólicas apresenta maior frequência quando comparado ao de cigarros, com 583 pessoas declarando serem consumidores regulares de bebidas, perfazendo 43,5% da população abordada nesta avaliação com a população humana desta fase do empreendimento. Quanto à abordagem humana na fase de enchimento do reservatório, 31 pessoas (19,9%) se declararam fumantes, e desse contingente 18 pessoas fumam entre 1 e 10 cigarros por dia, 9 pessoas fumam entre 11 e 20 cigarros por dia, e ninguém fuma mais que 20 cigarros por dia. O consumo de bebidas alcoólicas também apresenta maior frequência quando comparado ao de cigarros, com 80 pessoas declarando ser consumidores regulares de bebidas, perfazendo 51,3% da população abordada recentemente durante o início da fase de enchimento.

Na população das abordagens humanas durante a fase rio do empreendimento o equivalente a 1.007 participantes (76,6%) declararam trabalhar em alguma atividade, e as ocupações assumem as mais diversas formas. Como o nível geral de escolaridade é bastante baixo, as atividades predominantes nesta população a caracterizam como pessoal de apoio (34,6%), seguidas da atividade garimpeira (16,3%), e atividade estudantil (12,1%). Outras atividades, como serviços domésticos (donas de casa) ou agropecuários, foram bem menos frequentes neste grupo. Quanto à abordagem humana na fase enchimento do reservatório, da mesma forma, 139 participantes (89,1%) também declararam trabalhar em alguma atividade, as atividades predominantes sendo: pessoal de apoio (42%), atividade garimpeira (16,2%), engenheiros das empreiteiras prestadoras de serviços (9,1%), e atividade agropecuária (8,4%).

Amostras de cabelo para fins de análise dosimétrica do teor de mercúrio total e metilmercúrio nas pessoas têm sido amplamente utilizadas em diversos estudos visando à avaliação de

exposição crônica a baixas doses de Hg por via alimentar no meio ambiente natural, e apresenta diversas vantagens metodológicas, como por exemplo o fato de se poder estabelecer um histórico da exposição humana ao longo do tempo, além do fato de serem coletadas por meio de método não-invasivo e, portanto, mais aceito pelos participantes, diferentemente de outros fluidos biológicos como o sangue por exemplo (Passos & Mergler, 2008). Essa vantagem metodológica é particularmente interessante em tipos de estudo de avaliação de exposição onde se necessita o voluntariado por parte da população. A **Figura 49** apresenta a distribuição das concentrações de mercúrio total determinado nas amostras de cabelo da populações humanas da fase rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana) e na fase de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana).

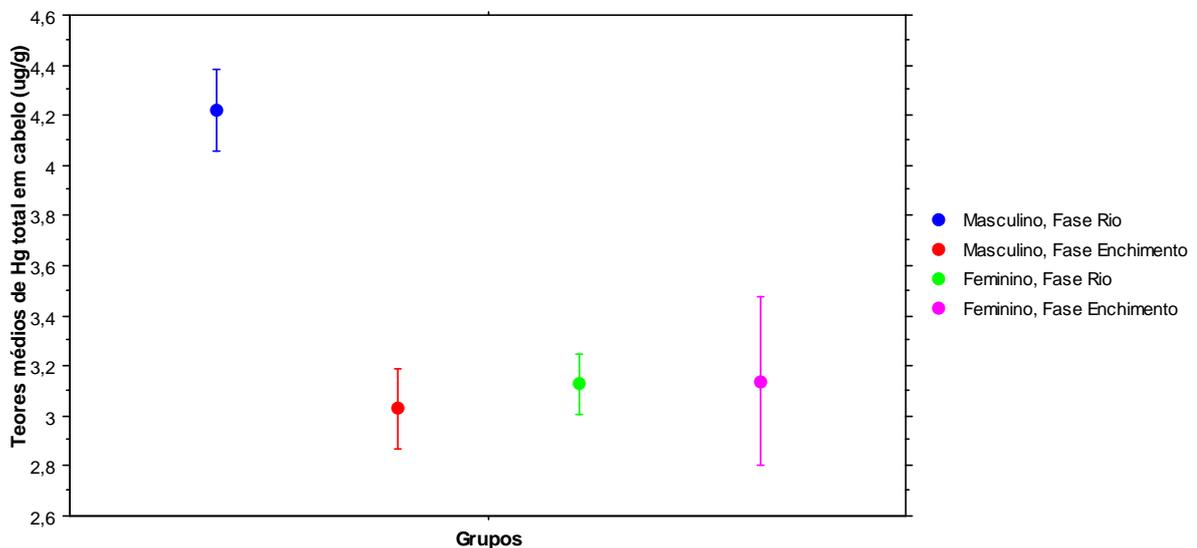


**Figura 49-** Distribuição das concentrações de mercúrio total em amostras de cabelo das populações abordadas nas fases rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana) e de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana).

Na fase rido do empreendimento as concentrações de mercúrio total variaram entre 0,51 e 50,2  $\mu\text{g g}^{-1}$  (média:  $3,8 \pm 3,9 \mu\text{g g}^{-1}$ ) enquanto que na fase de enchimento do reservatório as concentrações de mercúrio total variaram entre 1,1 e 18,5  $\mu\text{g g}^{-1}$  (média:  $3,1 \pm 1,95 \mu\text{g g}^{-1}$ ). Quando os concentrações de mercúrio total no cabelo dos participantes são analisados separadamente em função dos sexos masculino e feminino, e as médias dos concentrações de mercúrio total no cabelo de ambos os sexos comparadas pelo teste não-paramétrico Mann-

Whitney U para grupos independentes (**Figura 50**), observa-se uma diferença altamente significativa ( $p < 0.0001$ ) entre a concentração média mais elevada de concentrações de mercúrio total em homens ( $4,2 \pm 4,5 \mu\text{g g}^{-1}$ ) comparativamente à média observada entre as mulheres ( $3,1 \pm 2,7 \mu\text{g g}^{-1}$ ) durante a fase rio do empreendimento. Entretanto, na fase enchimento do reservatório tais diferenças entre sexos masculino e feminino não são observadas na população amostrada, provavelmente devido ao pequeno tamanho amostral disponível.

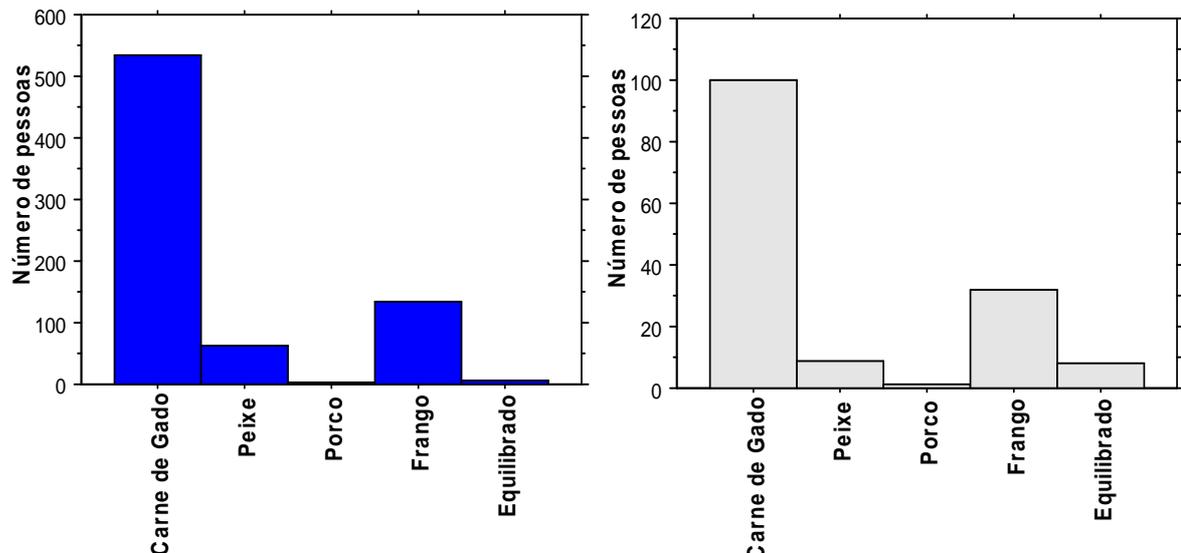
A concentração média de metilmercúrio no cabelo dos participantes foi de  $2,60 \pm 2,64 \mu\text{g g}^{-1}$ , estando de acordo com literatura científica para a região Amazônica de aproximadamente 62 a 70 % do teor de mercúrio total (Passos & Mergler, 2008).



**Figura 50-** Diferenças de concentrações médias de mercúrio total em cabelos de homens e mulheres nas fases rio (1ª a 7ª abordagem humana) e de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana).

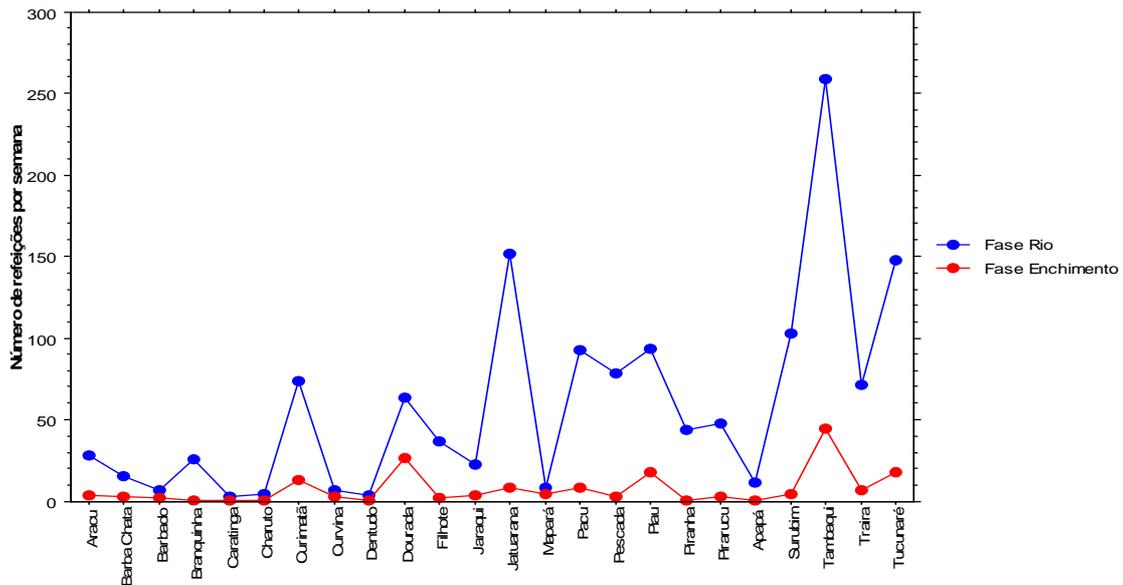
Diversos estudos têm mostrado que parte expressiva das exposições ambientais ao Hg na Amazônia se dá por via alimentar, e isso devido à contaminação dos recursos pesqueiros nos ecossistemas aquáticos. Assim, torna-se importante examinar o perfil alimentar da população em estudo, afim de documentar a importância desta via de exposição na área de abrangência do empreendimento. Por meio da utilização de questionários de frequência alimentar, realizaram-se inquéritos recordatórios do consumo de diversos alimentos, cobrindo os últimos sete dias anteriores ao momento da entrevista, e com base nessa metodologia observou-se que na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) a maioria dos participantes tem na carne bovina sua principal fonte de proteína animal (533 pessoas, 72,1%), seguida de frango (134 pessoas, 18,1%), e somente 61 pessoas (8,3%) declararam ter consumido algum tipo de peixe ao longo

dos últimos sete dias, durante as campanhas de campo. Similarmente, durante a fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) a maioria dos participantes também tem na carne bovina sua principal fonte de proteína animal (100 pessoas, 66,7%), seguida de frango (32 pessoas, 21,3%), e somente 9 pessoas (6%) declararam ter consumido algum tipo de peixe. O restante da amostra em ambas as fases consumiu outras fontes de proteína animal, bem menos expressivas, como ovos e carne de caça, de maneira bem mais esporádica (**Figura 51**).



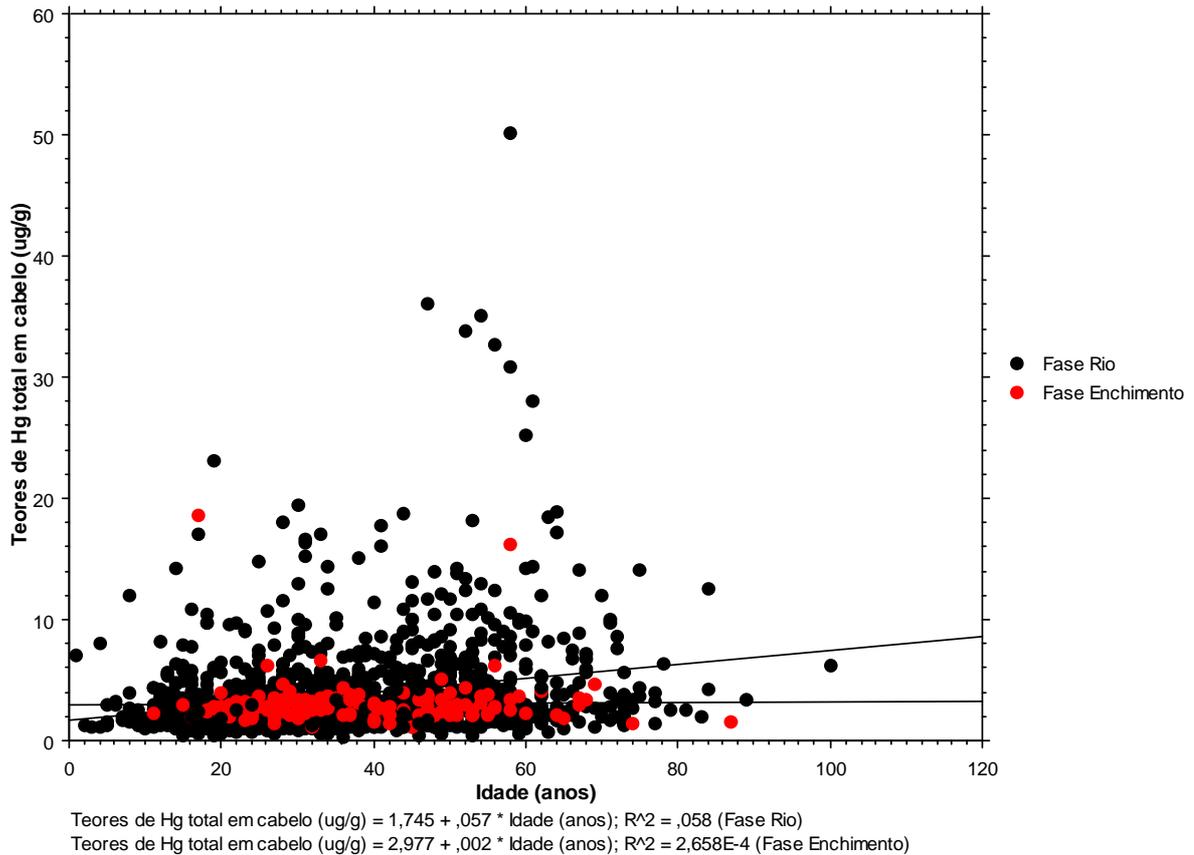
**Figura 51**– Padrões gerais de consumo alimentar fase rio (1ª a 7ª abordagem humana – cor azul) e na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana – cor cinza).

Ao se analisar mais detalhadamente o perfil de consumo de peixe, percebe-se que existe uma gama considerável de espécies que é consumida na região, tanto carnívoras como herbívoras e omnívoras, apesar da frequência de consumo *per capita* ser bastante baixa quando se consideram os universos amostrais nas fases rio e de enchimento do reservatório (**Figura 52**). Os perfis de consumo píceo apresentam padrões similares para ambas as fases, com importante protagonismo do Tambaqui (*Colossomamacropomum*) que é uma espécie não carnívora (frutívora) e que, portanto, apresenta menores concentrações de mercúrio quando comparado a espécimes carnívoras, seguida pela Jatuarana (*Brycon sp.*), que é espécie omnívora e o Tucunaré (*Cichla spp.*), que é espécie altamente carnívora e que se encontra dentre aquelas espécies com maiores concentrações de mercúrio. As baixas frequências de consumo píceo na fase enchimento do reservatório não representam quaisquer diminuições de consumo ao longo do tempo, mais simplesmente pelo fato da amostra ser consideravelmente reduzida nesta comparação.



**Figura 52-** Frequências de consumo de peixe nas populações abordadas nas fases rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana) e de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana).

Análise não-paramétrica de correlação (Spearman) mostra que de maneira geral as concentrações de mercúrio total determinadas nas amostras de cabelo são diretamente relacionados à idade da população com elevado nível de significância estatística ( $p < 0.0001$ ) durante a fase rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana), tanto no grupo de sexo masculino quanto no grupo de sexo feminino. Porém, tais correlações não foram observadas ( $p = 3354$ ) na população amostrada durante o início da fase enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana), provavelmente devido ao pequeno tamanho amostral (**Figura 53**). Ainda com relação à possível influência da idade sobre os níveis de exposição ao mercúrio nesta população, observa-se que tais níveis variam substancialmente ao longo das diferentes faixas etárias do grupo constituindo a fase rio do empreendimento (Teste Kruskal Wallis para comparação de médias de amostras independentes,  $p < 0.0001$ ), o mesmo não sendo observado para o pequeno grupo constituindo a fase enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana), muito provavelmente devido às mesmas razões de tamanho amostral reduzido.



**Figura 53**– Correlação altamente positiva entre concentrações de mercúrio em cabelo e idade da população masculina e feminina das fases rio (Spearman,  $p < 0.0001$ ) e ausência de correlação no grupo da fase de enchimento do reservatório (Spearman,  $p > 0.05$ ).

### Análise e mapeamento do risco tóxico

Diversas recomendações para limitar a exposição ambiental ao mercúrio têm sido publicadas ao longo das últimas décadas por diferentes agências reguladoras (Adams & Schantz, 2006). Resultados de grandes estudos longitudinais prospectivos sobre a toxicidade do mercúrio ao neurodesenvolvimento realizados na Nova Zelândia assim como nas Ilhas Seychelles e Faroer, usando diferentes interpretações das evidências epidemiológicas, as recomendações de ingestão de mercúrio sem riscos apreciáveis/significativos atualmente variam de 0,1 a 0,3  $\mu\text{g}/\text{kg}$  de peso corpóreo/dia (Clarkson & Magos, 2006; Innis et al., 2006; Wijngaarden et al., 2006). No caso da Amazônia, devido aos elevados níveis de exposição ao mercúrio, alguns grupos de pesquisa tentaram estimar as taxas de ingestão de mercúrio para fins de avaliação de riscos à saúde humana (**Tabela 48**). Nesta tabela, Passos & Mergler (2008) listam uma série de estudos que avaliaram ingestas diárias de peixe e mercúrio em diferentes cenários e contextos amazônicos, onde nota-se que de maneira geral grandes quantidades de peixe são consumidas

com diferentes ingestas de mercúrio, como, por exemplo, 35,2 µg de metilmercúrio durante o período de 1 ano no reservatório da UHE-Balbina (Kehrig et al., 1998), variando entre 40 e 60 µg/dia na Guiana Francesa (Fréry et al., 2001), ou ainda variando entre 0 e mais que 4 µg/kg/dia conforme ilustrado na **Tabela 48**, excedendo portanto amplamente a dose de referência de 0,23 µg/kg/dia para ingestas de mercúrio, conforme recente revisão da Organização Mundial da Saúde (FAO/WHO, 2003), a qual deriva de uma concentração de referência de 14 µg de Hg por grama de cabelo como indicadora de possíveis efeitos neurotóxicos que poderiam ser esperados na população (Grandjean et al., 2005).

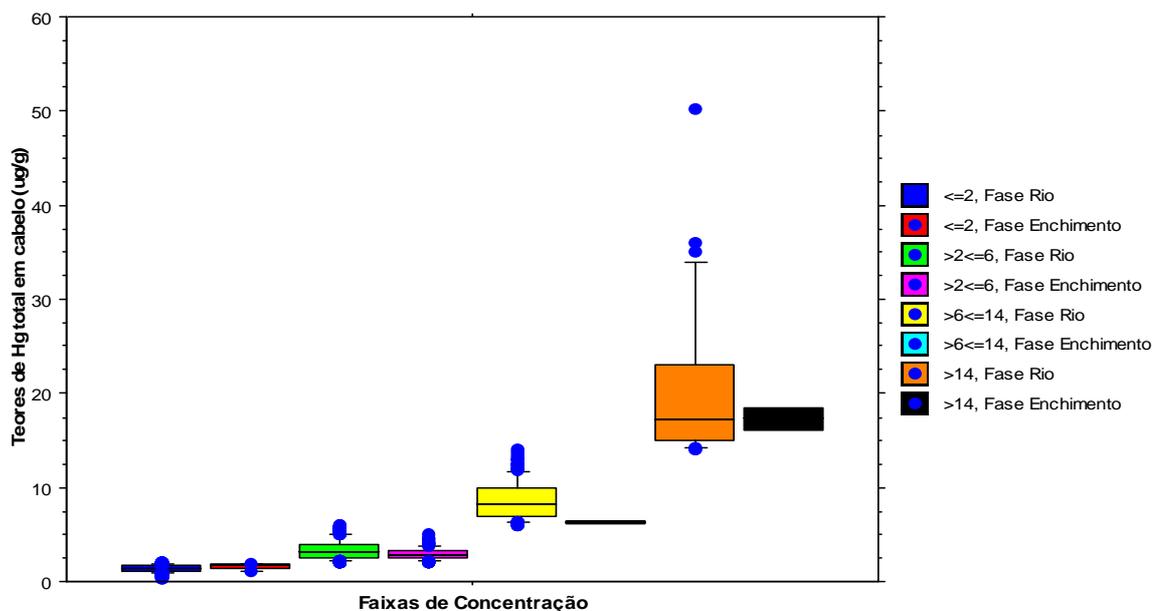
**Tabela 48** – Síntese dos estudos de avaliação de risco tóxico na Amazônia (retirada com permissão de Passos & Mergler, 2008).

Localização	População	Ingestão de Peixe	População Total	Entrada de Hg (Mulher)	Entrada de Hg (Filho)	Média do Quociente de Risco	Referência
Rio Madeira	Ribeirinho	200g/dia	2,2 µg/kg/dia	*1,2 µg/kg/dia	**6,4 µg/kg/dia	Mulher: 0,02; Filho: 21	Boischio&Henshel
Rio Tartarugalzinho	Ribeirinho	200g/dia	1,6 µg/kg/dia	-	-	-	Bidoneet al.
Cidade Alta Floresta	Urbano	População geral: 8g/dia; Filho: 5g/dia; Grupos de pescadores: 110 g/dia	Família de pescadores: 2,2 µg/kg/dia	-	Famílias de pescadores: 3,5 µg/kg/dia	População geral: 1,4; Família de pescadores: 8,6	Haconet al.
Reservatório da Vila Barbina	Ribeirinho	110 g/dia	35,2 µg/dia	-	-	-	Kehrig et al.
Rio Madeira	Ribeirinho	243 g/dia	2,6 µg/kg/dia	-	-	-	Boischio&Henshel
Alto Rio Maroni	Indígena	163,1 g/dia	40-60 µg/dia	41,4 µg/dia	17,5 µg/dia	-	Fréry et al.
Norte do Mato Grosso	Urbano	-	0,01-3,9 µg/kg/dia	-	-	-	Haconet al.
Municípios do Rio Tapajós	Ribeirinho	141 g/refeição	0-4,3 µg/kg/dia	-	-	-	Passos et al.

\*15-48 anos de idade; \*\* < 5 anos de idade.

No âmbito dos estudos de saúde humana do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, as condições de trabalho de pesquisa campo ainda não permitiram até o momento aplicar uma metodologia rigorosa de avaliação do risco tóxico da exposição ambiental por via alimentar com base no cálculo da ingestas diárias de mercúrio. Isso decorre das dificuldades logístico-operacionais de se avaliar as porções de consumo de peixe per capita (em gramas) referentes a cada refeição durante o período que a equipe multidisciplinar da área da saúde se encontra em campo, o que por sinal é fortemente causado pelo fato da população não consumir peixe frequentemente. Apesar disso, com base na concentração de

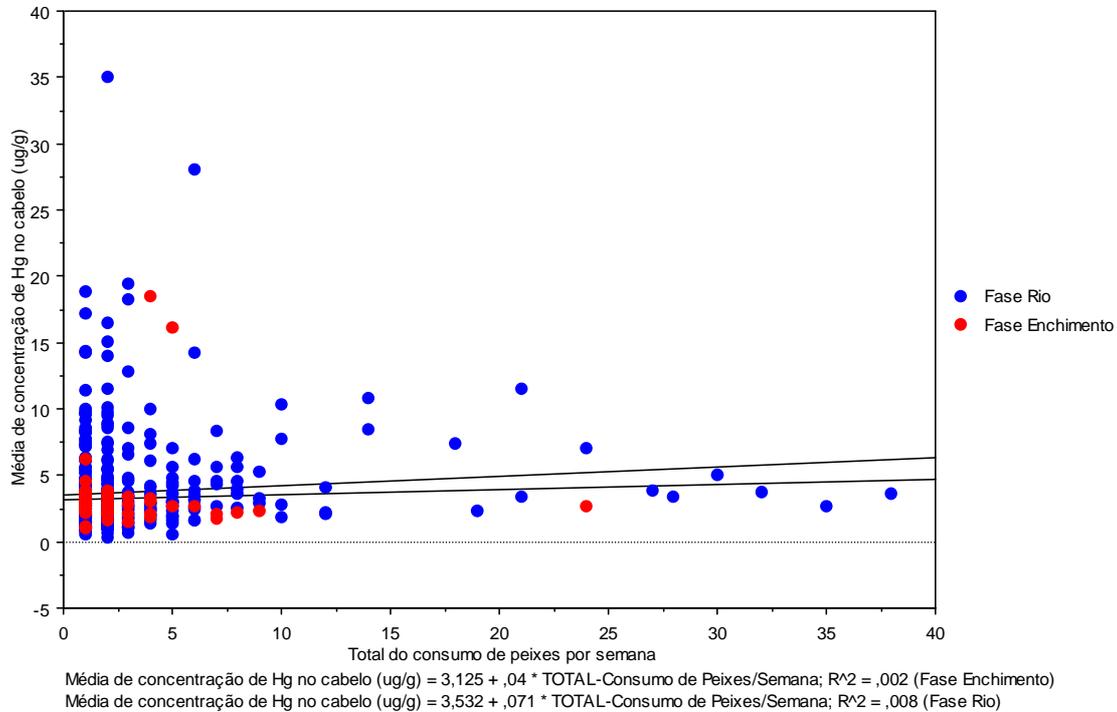
mercúrio de referência acima mencionada de  $14 \mu\text{g g}^{-1}$ , nota-se que a maioria das pessoas voluntárias apresenta concentrações de mercúrio total no cabelo abaixo de tal referência, somando-se 1.241 pessoas na fase rio (87% do universo amostral) e 152 pessoas na fase de enchimento do reservatório (91% do universo amostral), sendo que todas as pessoas com níveis de exposição igual ou superior à dose de referência adotada nesta avaliação, os quais poderiam em tese eventualmente apresentar algum risco de toxicidade ao sistema nervoso, foram todas encaminhadas para as avaliações clínico-neurológica e neuropsicológica durante os trabalhos de campo. A **Figura 54** abaixo mostra as distribuições das concentrações de mercúrio nas amostras de cabelo das pessoas na fase rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana) e na fase de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana), estratificados em 4 grandes faixas de concentração: inferior ou igual a  $2 \mu\text{g g}^{-1}$ ; de 2 a  $6 \mu\text{g g}^{-1}$ ; de 6 a  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  e superiores a  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  a partir da qual efeitos neurotóxicos podem ser esperados na população exposta (Grandjean *et al.*, 2005).



**Figura 54-** Distribuição das concentrações de mercúrio nas amostras de cabelo dos participantes, estratificados nas faixas de concentração inferior a  $2 \mu\text{g g}^{-1}$ ; de 2 a  $6 \mu\text{g g}^{-1}$ ; de 6 a  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  e superiores a  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  nas fases rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana) e de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana).

No que tange a exposição por via alimentar, a análise não-paramétrica de correlação (Spearman) mostra que de maneira geral as concentrações de mercúrio total determinadas nas amostras de cabelo são diretamente relacionados ao consumo de peixe da população, com elevado nível de significância estatística ( $p < 0,002$ ) durante a fase rio (1<sup>a</sup> a 7<sup>a</sup> abordagem

humana). Contudo, tais correlações não foram observadas ( $p = 1462$ ) na pequena população amostrada durante o início do enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), provavelmente devido ao pequeno tamanho amostral (**Figura 55**).



**Figura 55**– Correlação positiva entre concentrações de mercúrio em cabelo e consumo de peixe da população da fase rio do empreendimento (Spearman,  $p < 0,002$ ), e ausência de correlação no grupo da fase enchimento do reservatório (Spearman,  $p > 0,05$ ).

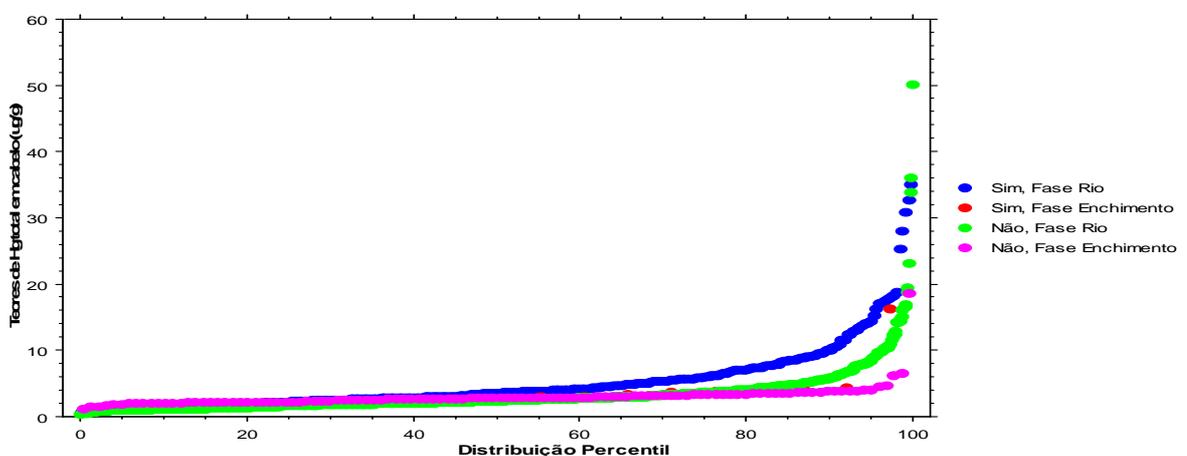
O consumo de outras fontes de proteínas animal (carne bovina e frango) não apresentou correlação significativa com as concentrações de mercúrio total determinados nas amostras de cabelo de acordo com análise não-paramétrica de correlação (Spearman) (**Tabela 49**).

**Tabela 49.** Análise não-paramétrica de correlação (Spearman) para o consumo de fontes de proteína animal (peixe, carne bovina e frango) Vs concentrações de mercúrio nas amostras de cabelo nas fases rio e de enchimento do reservatório.

	Valid	Spearman	t(N-2)	p-level
Concentração de Hg no cabelo (µg/g) & Peixes(refeições/semana)	414	0,156874	3,224119	0,001364*
Concentração de Hg no cabelo (µg/g) & Peixes(refeições/semana)	65	-0,182229	-1,47103	0,146260
Média de concentração de Hg no cabelo (µg/g) & Carne bovina (refeições/semana)	749	0,042791	1,170598	0,242134
Concentração de Hg no cabelo (µg/g) & Carne bovina (refeições/semana)	129	0,089879	1,017001	0,311087
Concentração de Hg no cabelo (µg/g) & Carne frango (refeições/semana)	786	0,088928	2,499882	0,012627
Concentração de Hg no cabelo (µg/g) & Carne frango (refeições/semana)	92	-0,099765	-0,951203	0,344049

\*Correlações marcadas são significativas à  $p < 0,005$

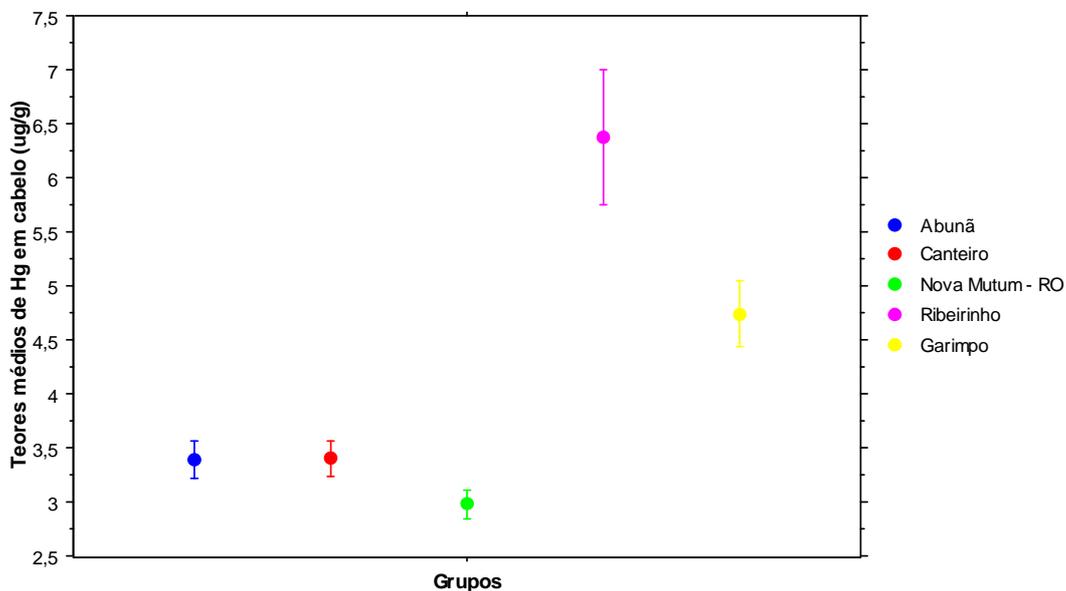
Na fase rio (1<sup>a</sup> a 7<sup>a</sup> abordagem humana) aproximadamente 21% (302 pessoas participantes) declarou ter vivido e/ou trabalhado em regiões de garimpo na bacia do rio Madeira, enquanto que na fase de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana) somente 11,4% (19 pessoas participantes) da população abordada declarou ter se envolvido com atividade garimpeira ao longo de sua vida. De maneira coerente com o histórico de exposição ocupacional desta parcela da população nos garimpos de ouro da região nas décadas de 1980 e 1990, as concentrações de mercúrio total em cabelo do grupo de pessoas garimpeiras da fase rio do empreendimento quando comparados pelo teste não-paramétrico Mann-Whitney U às pessoas que nunca viveram e/ou trabalharam em áreas de garimpo apresentam níveis de exposição ao mercúrio mais elevados ( $p < 0.0001$ ), porém estatisticamente similares no caso do grupo da fase enchimento do reservatório (**Figura 56**). Esses dados evidenciam a persistência e importância de exposições ocupacionais ao mercúrio na região de abrangência do empreendimento, apesar de nem sempre tais atividades serem decisivas na determinação dos níveis de exposição da população regional, e isso talvez por estar sendo utilizado somente o cabelo como biondicador de exposição, o qual não necessariamente constitui a melhor métrica de exposição a formas inorgânicas do metal, tal qual é o caso predominante em regiões de atividade garimpeira de ouro na Amazônia (Hacon et al., 2008; Passos & Mergler, 2008).



**Figura 56**– Distribuição das concentrações de mercúrio em cabelo mostrando o importante contraste de exposição entre colaboradores do canteiro de obras e moradores de comunidades locais em geral.

Devido às dinâmicas migratórias de pessoas de outras regiões da Amazônia e do país como um todo para Rondônia em busca de trabalho na região de abrangência do empreendimento hidrelétrico, torna-se importante examinar não só as diferenças de perfil de exposição entre essa população imigrante e a população local, mas também a evolução desses perfis ao longo

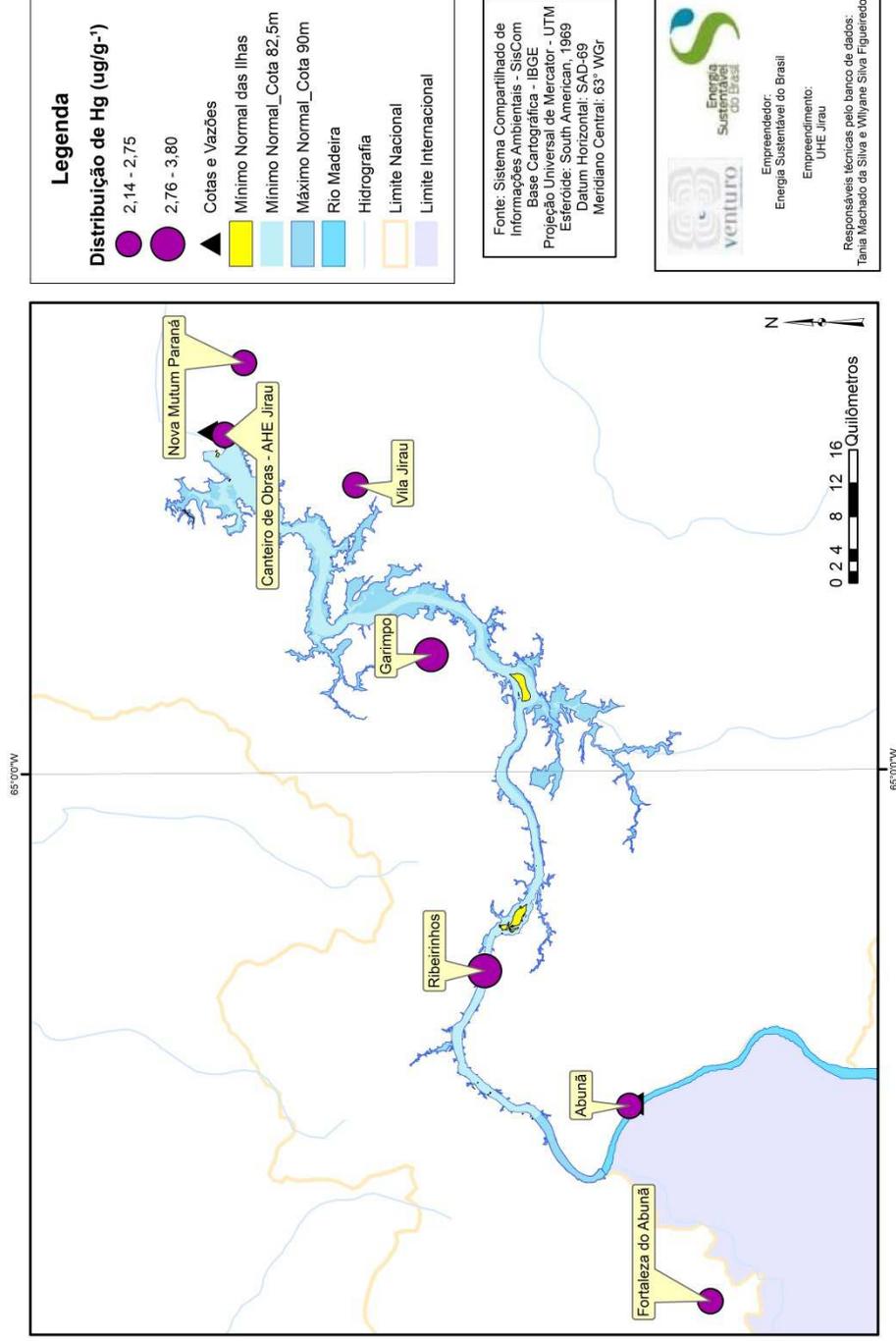
das diferentes fases do empreendimento. Assim, na presente avaliação observou-se um importante contraste em termos de exposição entre colaboradores do Canteiro de Obras quando comparados não só às pessoas locais moradoras de comunidades circunvizinhas (e.g., Abunã e Fortaleza do Abunã), mas também aos moradores da localidade de Nova Mutum Paraná além da região garimpeira e ribeirinha (**Figura 57**). Com base nesta análise, constata-se que as pessoas que vivem na comunidade de Abunã, em Nova Mutum Paraná assim com os colaboradores apresentam níveis médios de exposição ao mercúrio relativamente baixos ( $\sim 3 \mu\text{g/g}$ ) ao passo que as pessoas da região garimpeira e ribeirinha apresentam níveis médios de exposição mais elevados ( $\sim 5$  a  $6 \mu\text{g/g}$ ). Os contrastes são de importante significância estatística (Kruskal Wallis,  $p < 0.001$ ), permanecendo importante monitorar a evolução desse contraste de exposição ao longo do período de execução do Programa.



**Figura 57-** Distribuição espacial das concentrações de mercúrio em cabelo mostrando a diferença de exposição entre colaboradores do Canteiro de Obras, comunidades à beira da estrada (Abunã e Nova Mutum), e comunidades da região garimpeira e ribeirinha (Fortaleza do Abunã).

A **Figura 58** ilustra a distribuição das concentrações de mercúrio total nas amostras de cabelo nas comunidades localizadas no entorno do empreendimento nas fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e de do reservatório (8ª abordagem humana), sendo possível observar nas comunidades denominadas como “Ribeirinhos” e “Garimpo” os maiores valores de mediana, na faixa entre  $2,76$  e  $3,8 \mu\text{g g}^{-1}$ , enquanto que nas comunidades Fortaleza do Abunã, Abunã, Vila Jirau, Canteiro de Obras e Nova Mutum Paraná foram observadas menores mediana de mercúrio total na faixa entre  $2,14$  e  $2,75 \mu\text{g g}^{-1}$ .

## MONITORAMENTO DE SAÚDE HUMANA



**Figura 58**– Mapa da distribuição das concentrações de mercúrio total nas amostras de cabelo nas comunidades localizadas no entorno do empreendimento nas suas fases rio e de enchimento do empreendimento.

Ao se analisar os níveis de exposição humana ambiental apresentados na fase rio (1<sup>a</sup>a7<sup>a</sup> abordagem humana) e de enchimento do reservatório (8<sup>a</sup> abordagem humana) em relação a indicadores de possível neurotoxicidade (avaliações neuropsicológica e clínico-neurológica), percebe-se que o desempenho das pessoas na grande maioria dos testes neuropsicológicos que compõem a bateria utilizada nos trabalhos de campo não parece ser influenciado pelas concentrações de mercúrio determinados nas amostras de cabelo, tanto para a amostra da fase rio como para o grupo da fase de enchimento do reservatório, conforme dados globais da

**Tabela 50** abaixo:

**Tabela 50.** Resultados do Teste Kruskal Wallis para verificação de diferenças de concentrações médias de mercúrio (Amostras Independentes) entre as diferentes categorias dos resultados dos testes neuropsicológicos.

TESTES NEUROPSICOLÓGICOS	CATEGORIAS DE DESEMPENHO	Valores “p” (Teste Kruskal Wallis)
<b>TEDIF I</b>	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
<b>TEDIF II</b>	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
<b>TEDIF III</b>	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
<b>Teste de Memória de Reconhecimento</b>	Superior, Média Superior, Média, Média Inferior, Inferior	> 0.05
<b>Teste de Atenção Concentrada</b>	Superior, Média Superior, Média, Média Inferior, Inferior	> 0.05
<b>Teste de Produtividade</b>	Superior, Médio Superior, Médio, Médio Inferior, Inferior	> 0.05
<b>Teste de Emotividade</b>	Muito Aumentada, Aumentada, Média, Diminuída, Muito Diminuída	> 0.05
<b>Organização ou Ordem</b>	Muito Boa, Boa, Média, Regular, Ruim, Muito Ruim	> 0.05
<b>Gráfico Palográfico</b>	Irregular, Rígido, Equilibrado, Ascendente, Convexo, Côncavo, Descendente	> 0.05
<b>Ritmo</b>	Muito Alto, Alto, Médio, Baixo, Muito Baixo	> 0.05

Seguindo as mesmas tendências das análises acima apresentadas, a totalidade dos parâmetros clínico-neurológicos avaliados numa sub-amostra da população abordada nesta série de amostragens (inclusive pessoas apresentando os níveis mais elevados de exposição - e.g., acima da referência de 14  $\mu\text{g g}^{-1}$ ), não parece ser influenciada pelos níveis de exposição ambiental ao mercúrio, e isso com base tanto no teste não paramétrico Mann Whitney para amostras independentes (com resposta de dois níveis), quanto se utilizando o Teste Kruskal Wallis para comparação de médias (com resposta em mais de dois níveis). Apesar deste

comportamento, é importante notar que os mesmos não podem ser considerados conclusivos neste momento para a fase enchimento do reservatório devido ao número bastante reduzido de pessoas distribuídas nas diferentes categorias de desempenho, variando de teste para teste ou exame para exame, conforme sua estrutura própria. A continuidade do Programa possibilitará verificar o real significado em termos de risco tóxico dessas observações, na medida em que teremos tamanhos amostrais mais robustos (avaliações anuais e/ou comparação entre as fases rio, de enchimento do reservatório e de operação da UHE Jirau, o que permitirá inclusive ajustar modelos estatísticos multivariados para examinar essas possíveis associações, ao mesmo tempo controlando para outros importantes fatores de risco presentes na população.

A problemática da contaminação de diversos compartimentos ambientais por mercúrio na Amazônia tem sido objeto de inúmeros estudos das mais diversas naturezas desde o final da década de 1980, já perfazendo mais de 2 décadas de produção acadêmico-científica e técnica sobre o assunto (para amplas revisões favor consultar Santos et al., 2003; Boudou et al., 2006; Hacon et al., 2008; Passos & Mergler, 2008; Barbieri & Gardon, 2009).

Por exemplo, Boischio et al. (1993) investigaram 150 famílias ao longo de 170 km do rio Madeira, a jusante de Porto Velho, sendo amostrado cabelo de 311 indivíduos, e os resultados mostraram que 70,4% dos indivíduos ( $n = 219$ ) apresentaram valores menores que  $15 \mu\text{g g}^{-1}$ , enquanto que 27% dos indivíduos ( $n = 84$ ) na faixa de 15 a  $50 \mu\text{g g}^{-1}$  e apenas 2,6% dos indivíduos ( $n = 8$ ) valores acima de  $50 \mu\text{g g}^{-1}$ . Os resultados de pesquisas na Amazônia apontam para concentrações elevadas de mercúrio nos peixes piscívoros, sendo observados valores médios de  $0,669 \text{ mg Kg}^{-1}$ , e como consequência também elevado o teor de mercúrio em amostras de cabelo da população ribeirinha da Amazônia (média de  $19,1 \mu\text{g g}^{-1}$ ) em cuja alimentação o consumo do peixe é predominante (Souza et al., 2000).

Estudos mais recentes têm apresentado uma atualização dos níveis de contaminação ambiental e exposição humana a este poluente na Amazônia. Bastos et al. (2006) apresenta e discute dados de uma ampla campanha amostral em diferentes compartimentos ambientais (sedimentos de rios, solos de floresta, matéria orgânica suspensa, peixe, além de amostras humanas) cerca de 15 a 20 anos após a diminuição expressiva de atividades garimpeiras na Amazônia, e conclui que apesar da redução das emissões de mercúrio no rio Madeira provenientes de atividades garimpeiras, os concentrações de mercúrio em peixes e humanos

permanecem similares àqueles determinados na época do pico de tais atividades (final dos anos 1980 e início dos anos 1990).

Passos & Mergler (2008) apresentam uma ampla revisão da literatura científica brasileira e internacional, com vistas a avaliar os níveis de exposição ao mercúrio em diversos países amazônicos. Uma das tabelas apresentadas no artigo, e reproduzida abaixo, relata de maneira sumária e cronológica uma grande quantidade de dados sobre as concentrações de mercúrio em cabelos de diversas comunidades consumidoras de peixe, dentre as quais as populações ribeirinhas encontram-se dentre as mais expostas, com médias de mercúrio no cabelo tão altas quanto  $38 \mu\text{g g}^{-1}$  e  $65 \mu\text{g g}^{-1}$ .

Os resultados da dosimetria de mercúrio nas pessoas participantes dos estudos de saúde humana nas fases rio e de enchimento do reservatório mostram que as concentrações médias de mercúrio apresentam valores abaixo das médias gerais observadas em várias regiões da Amazônia, provavelmente por se tratar de uma população que tem vivido dividida entre a Amazônia dos Rios (ribeirinha) e a Amazônia das Estradas (Tabela 51).

**Tabela 51** - Concentrações de mercúrio no cabelo relatados para comunidades consumidoras de peixe na Bacia Amazônica (extraída de PASSOS & MERGLER, 2008).

Localização	População	Idade	n	HgT ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		% MeHg	Referência
				Média $\pm$ SD	Faixa	Faixa	
Rio Madeira	Ribeirinho	-	713	15,2 $\pm$ 9,6	6 - 150	-	Bastos et al. 26
Rio Tapajós	Ribeirinho	< 15 a 65	69	15 $\pm$ NA	-	-	Pinheiro et al. 27
Rio Madeira	Ribeirinho	-	241	17,2 $\pm$ NA	NA - 303*	**	Boischio & Barbosa 30
Parque Xingu	Indígena	-	27	18,5 $\pm$ NA	6,9 - 34	-	Vaconcelos et al. 154
Lago Cuniã	Ribeirinho	-	75	8,7 $\pm$ NA	NA - 31,9	70 - 80	Barbosa et al. 45
Rio Fresco	Indígena	-	419	8,0 $\pm$ NA	-	-	Barbosa et al. 45
Rio Tapajós	Ribeirinho	-	101	21 $\pm$ NA	4,7 - 151	85 - 91	Malm et al. 65
Município de Santarém	Urbana	-	10	2,7 $\pm$ NA	-	-	Malm et al. 65
Rio Negro	Ribeirinho	-	101	38,6 $\pm$ 14,4	-	-	Eve et al. 37
Rio Teles Pires e Juruena	Indígena	-	55	34,2 $\pm$ NA	10 a > 50	87,2***	Barbosa et al. 66
Yanomami	Indígena	-	14	3,3 $\pm$ 1,2	1,5 - 6,0*	58 - 97	Kehrig et al. 67
Rio Tapajós e Madeira	Ribeirinho	-	82	16,7 $\pm$ 7,3	1,0 - 59,4*	8,7 - 100	Kehrig et al. 67
Rio Tapajós	Ribeirinho	$\geq$ 15	96	12,9 <sup>#</sup>	0 - 145	73 - 94	Lebel et al. 68
Rio Fresco	Indígena	< 2 a 45	28	8,1 $\pm$ 3,2	0,8 - 13,7	-	Barbosa et al. 155

**Tabela 51** - Concentrações de mercúrio no cabelo relatados para comunidades consumidoras de peixe na Bacia Amazônica (extraída de PASSOS & MERGLER, 2008) – Continuação

Localização	População	Idade	n	HgT ( $\mu\text{g g}^{-1}$ )		% MeHg	Referência
				Média $\pm$ SD	Faixa	Faixa	
Rio Madeira	Ribeirinho	< 2 a 45	98	14,1 $\pm$ 10,7	2,6 – 94,7	-	Boischio&Cernichiari 156
Rio Madeira	Ribeirinho	0,1 - 32	28	-	4,0 – 84,4	84 - 90	Barbosa et al. 155
Lago Pracuúba	Ribeirinho	-	15	16,7 $\pm$ NA	-	-	Guimarães et al. 75
Cidade de Alta Floresta	Urbana	14 - 45	75	1,1 $\pm$ 1,17	0,1 – 8,2	-	Hacon et al. 70
Rio Tapajós	Ribeirinho	-	-	17 $\pm$ 8,5	2,9 – 71,5	-	Pinheiro et al. 71
Rio Tapajós	Ribeirinho	12 - 68	36	12,5 <sup>#</sup>	2,9 - 27	-	Dolbec et al. 72
Parque Xingu	Indígena	-	-	13,6 $\pm$ 4,7	4,3 – 32,8*	-	Vasconcelos et al. 118
Rio Negro	Ribeirinho	< 15 a 40	76	21,4 $\pm$ 12,7	1,7 - 59	34 - 100	Barbosa et al. 157
Município de Rio Branco	Urbana	0 a > 60	2,32	2,4 $\pm$ 3,9	0,8 – 72,7	-	Santos et al. 39
Rio Tapajós	Ribeirinho	< 1	-	12 $\pm$ NA	9,6 – 14,6	-	Boischio et al. 158
Município de Santarém	Urbana	17 - 25	44	2,0 $\pm$ 1,8	0,08 – 15,2	-	Passos et al. 40
Reserva Pakaanóva	Indígena	0,5 - 90	910	8,4 $\pm$ 6,4	0,5 – 83,9	-	Santos et al. 73
Rio Tapajós	Indígenas	< 10	203	8,1 $\pm$ 5,2	-	-	Dórea et al. 159
Rio Negro	Urbana	-	399	11,4 $\pm$ NA	0,1 – 83,1	-	Santos et al. 41
Rio Tapajós e Tocantins	Ribeirinho	0,1 - 12	168	5,1 <sup>###</sup>	0,4 – 53,8	-	Pinheiro et al. 160
Rio Beni	Indígenas	-	80	9,8 $\pm$ NA	4,3 – 19,5	-	Maurice-Bourgoin et al 33

NA – não avaliado; \* - metilmercúrio no cabelo; \*\* - indicação do autor que 70% da sub-amostra > 80% MeHg;\*\*\* - média aritmética; # - média; ### - média geométrica; HgT – mercúrio total; MeHg – metilmercúrio

### **Avaliação Clínica e Neurológica**

A avaliação clínica neurológica foi realizada em uma sub-amostra composta por 600 pessoas equivalente a 42% dos voluntários na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 125 pessoas equivalente a 75% dos voluntários na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), sendo indivíduos aleatórios e voluntários residente nas comunidades de Nova Mutum Paraná, Fortaleza do Abunã, Abunã, no Canteiro de Obras da UHE Jirau, nas dragas fluviais de exploração aurífera, nos garimpos em terra firme e na região ribeirinha. Todos entrevistados foram submetidos a uma avaliação clínica geral e neurológica, sendo realizada em 02 (duas) etapas: a primeira com uma anamnese e exame físico geral, e a segunda etapa com uma anamnese direcionada aos sintomas neurotóxicos do mercúrio e exame físico neurológico. Na 8ª abordagem humana (fase enchimento do reservatório) foi incluído o oferecimento do teste de glicemia capilar para todas as pessoas voluntárias.

A anamnese geral consta de: (1) identificação do paciente, sexo, grau de instrução, faixa etária, profissão e contato com o garimpo, (2) história médica ambiental e ocupacional, (3) histórico familiar, (4) alimentação, consumo de peixe quantas vezes na semana, (5) hábitos gerais de vida (fumo, consumo de álcool condições gerais de saúde) e questões específicas dos indivíduos (problemas: gastrointestinal, cardiorrespiratório, neurológico, psíquico, dérmico, visual, auditivo), (6) uso de medicamentos e (7) queixa e duração. Os participantes que apresentam algumas patologias que podem interferir, e ser fator de confusão com a intoxicação por mercúrio, como o acidente vascular encefálico, uso excessivo de álcool, diabetes mellitu com neuropatia diabética foram excluídos das análises de correlação com os efeitos neurotóxicos do mercúrio.

A primeira fase do exame físico foi direcionada para a inspeção geral com os itens hidratação, icterícia, cianose e temperatura, sendo essas informações cruciais para a avaliação da saúde geral do paciente (**Figura 59**).

O exame físico tem início com a inspeção geral com os itens hidratação, icterícia, cianose, temperatura, são dados colhidos que tem valor crucial para a saúde geral do paciente, seguido pelo exame cardiorrespiratório com a ausculta cardíaca e respiratória com aferição de pressão arterial sistólica e diastólica, frequência cardíaca e frequência respiratória, além de exame físico da tireoide. Se o entrevistado possuir uma queixa o exame físico abordará outros itens relacionados com a queixa citada.



**Figura 59**– Avaliação clínica geral e anamnese do estado de saúde do voluntário durante a 8ª abordagem humana.

No contato com o médico foi questionado sobre alguma queixa no momento da entrevista ou nos dias que antecederam a mesma, sendo 39 indivíduos relataram queixas, como, por exemplo, cefaleia e tosse, porém nenhum com grave quadro clínico no momento.

Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 14,83% da sub-amostra clínica e na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) 13,04% da amostra clínica sabia ser hipertensa e a maioria usava inibidor da enzima conversora da angiotensina como medicamento. A utilização de beta bloqueadores podem camuflar o tremor fino de extremidades, dado importante para a análise do efeito neurotóxico do mercúrio na população humana. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 11 participantes e na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) 6 participantes sabiam ser diabéticos, porém sem critério de neuropatia diabética e, portanto, não estes não foram excluídos da sub-amostra clínica.

No que se refere ao relato de acidente vascular encefálico isquêmico (1164), em ambas as fases (1ª a 8ª abordagem humana), apenas 05 (cinco) voluntários fizeram relato, sendo estes critérios de exclusão, pois sabidamente os mesmos teriam alteração neurológica no exame físico. Nenhum com acidente hemorrágico ou demência, sendo estes critérios de exclusão, pois sabidamente teriam alteração neurológica no exame físico.

Nas fases rio e enchimento do reservatório (1ª a 8ª abordagem humana) 20 voluntários, quando questionados, admitiram o uso de drogas ilícitas como maconha e cocaína, as quais também acarretam alterações nos exames neurológicos.

Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) aproximadamente 27% da sub-amostra clínica e na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) 24% sub-amostra clínica fazem uso regular de medicamentos, sendo considerado uso regular mais que 03 vezes por semana, principalmente anticoncepcionais e também o uso de antialérgico e anti-hipertensivos, sendo, portanto, os principais medicamentos em uso contínuo. Descongestionantes nasais ou antialérgicos a base de efedrina podem causar tremor fino de extremidades além de taquicardia horas após o seu uso. Não foi observado nenhum com uso de benzodiazepínicos ou outros medicamentos que pudessem identificar respostas verbais e motoras.

Na sub-amostra clínica da fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) a média da pressão sistólica aferida durante as entrevista (**Figura 60**) foi de 109 MMHG e da pressão diastólica foi de 67 MMHG, com frequência cardíaca média de 76 batimentos por minuto. Na fase de enchimento (8ª abordagem humana) a média da pressão sistólica aferida durante a entrevista foi de 113 MMHG e a média da pressão diastólica foi de 69 MMHG, com frequência cardíaca média de 75 batimentos por minuto. Nas 02 (duas) fases não houve intercorrência, ou seja, nenhum dos voluntários submetidos a avaliação clínica apresentou medições com alterações importantes ou sintomas associados. A pressão arterial foi aferida com esfigmomanometro da marca BD, e um estetoscópio da Littiman.

A primeira fase do exame físico foi direcionada para a inspeção geral com os itens hidratação, icterícia, cianose e temperatura, sendo essas informações cruciais para a avaliação da saúde geral do paciente. Nas avaliações da primeira fase do exame físico foi realizada a inspeção da mucosa e turgor de pele, além da aferição da temperatura corporal, sendo que durante todas as abordagens humana não foram observados voluntários em estado febril, ictérico ou cianótico; 37 voluntários apresentaram hipocoloração leve possivelmente associado a anemia, entretanto, sem comprometimento geral. Os voluntários foram prontamente informados da alteração e foi sugerida uma investigação mais elucidativa do quadro, entretanto a maioria destes voluntários teve malária o que causa uma anemia, podendo ser o causador da alteração no exame físico geral.



**Figura 60**– Aferição da pressão dos voluntários durante a 8ª abordagem humana.

Na segunda fase do exame físico foi abordado o exame cardiorrespiratório com a ausculta cardíaca e respiratória com aferição de pressão arterial sistólica e diastólica, frequência cardíaca e respiratória, além de exame físico da tireóide. No exame físico da tireóide não foram observados voluntários com alteração na palpação da tireóide.

Na sub-amostra clínica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), no exame cardíaco apenas 11 voluntários (1,85 da sub-amostra clínica) apresentaram alteração, sendo que 03 (três) voluntários possuíam um sopro cardíaco e apenas 02 (dois) voluntários faziam seguimento desta alteração. Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), no exame cardíaco não teve nenhuma alteração dos indivíduos.

Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), no exame do aparelho respiratório poucas pessoas possuíam alteração (11 voluntários). Nesta fase também foram observados 02 (dois) voluntários com quadro de asma. Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), no exame respiratório, nenhum entrevistado possui alteração, mesmo sendo alguns tabagistas, porém sem alterações na ausculta respiratória. Os tabagistas mesmo com ausculta respiratória normal foram veementemente incentivados a cessação do tabagismo.

No teste neurológico, referente à mobilidade ocular (**Figura 61**), o examinador solicita ao voluntário que olhe de um lado, do outro, para cima e para baixo, estando sua cabeça fixa, dirigida para frente. Deve-se, também, testar a mobilidade ocular em direção intermediária

àquelas, ou seja, obliquamente para cima e para fora, para cima e para dentro, etc. A seguir, pede-se para olhar para um dedo, colocado próximo aos olhos, na linha mediana, para testar a capacidade de convergência ocular. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 05 (cinco) voluntários apresentaram alteração neste exame, na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) apenas em 01 (um) voluntário houve alteração.



**Figura 61**– Teste neurológico referente à mobilidade ocular durante a 8ª abordagem humana.

No teste de memória recente, o examinador solicita ao voluntário que repita palavras simples como: cachorro, gato e casa, e após outro teste neurológico desenvolvido durante um período de tempo solicita ao voluntário para repetir as mesmas palavras supracitadas, esse teste é um dos itens do mini-exame do estado mental, teste criado em 1975, por Folstein, Folstein&McHugh, e o mais utilizado mundialmente que avalia de uma forma simples a memória recente do entrevistado, lembrando que uma alteração neste item pode estar relacionada a um número extenso de possibilidades. Inicialmente o conjunto de palavras (cachorro, gato e casa) é repetido com o examinador e após alguns minutos o conjunto de palavras deve ser lembrado pelo entrevistado. Nestes testes de memória recente na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), 47,8% dos voluntários lembraram as três palavras, 26,9% apenas duas palavras, 20,1% uma palavra e 5,2% não conseguiram lembrar nenhuma palavra. Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) 45,6% dos voluntários lembraram as três palavras, 40,0% apenas duas palavras, 8,0% uma palavra e 6,4% não conseguiram lembrar nenhuma palavra.

No teste de reflexo foi escolhido o reflexo bicipital, percutir o tendão do bíceps na sua inserção na região interna do cotovelo com interposição do dedo (fossa intercubital) e com o antebraço fletido em 90º em relação ao braço. Como o indivíduo estava sentado, o antebraço e as mãos ficaram apoiadas nas coxas homolaterais, com os membros superiores bem relaxados. Resposta, contração do bíceps com flexão do antebraço. Nas fases rio e de enchimento do reservatório (1ª a 8ª abordagem humana) poucos voluntários apresentaram hiper ou hiporreflexia.

O exame da sensibilidade tátil dos membros superiores e inferiores foram testados, sendo solicitado ao voluntário para expor todo o braço e em seguida colocar o braço estendido sobre a mesa, posteriormente solicitado para fechar os olhos. Tocando com a ponta da caneta (sem deixar marcas) um ponto na superfície ventral da última falange do dedo indicador do voluntário. Logo em seguida o voluntário deverá abrir os olhos e apontar o local que foi tocado. A distância (em milímetros) entre os dois pontos tocados é medida e repito todo o procedimento mais duas vezes variando o local tocado. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 43 voluntários não apresentaram sensibilidade tátil nos membros superiores e inferiores. Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) nenhum dos voluntários apresentaram anormalidade neste quesito. A sensibilidade dolorosa dos membros inferiores e superiores também foi testada e na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 43 voluntários não apresentaram sensibilidade dolorosa nos membros superiores e 44 voluntários nos inferiores. Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) todos os entrevistados apresentaram sensibilidade dolorosa.

O sinal de Romberg foi aplicado para testar o equilíbrio estático (**Figura 62**), sendo solicitado ao voluntário para permanecer em pé com os pés juntos, mãos ao lado do corpo e olhos fechados por um minuto. O examinador permaneceu perto do paciente por precaução, minimizando possíveis riscos de queda. O teste é considerado positivo quando se observa o paciente balançar, balançar irregularmente ou mesmo queda. A característica principal a ser observada é que o paciente se torna mais instável com os olhos fechados. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 10 voluntários apresentaram o teste alterado e apenas 01 (um) voluntário na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana).



**Figura 62**– Exame de equilíbrio estático realizado durante a 8ª abordagem humana.

A avaliação da marcha é feita quando o indivíduo entra para fazer a avaliação clínica neurológica, e também quando solicitado que ele ande na sala da entrevista. Na fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) 3 voluntários apresentaram marcha anormal e apenas 01 voluntário apresentou alteração neste exame na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana).

Na prova índice-nariz (**Figura 63**), o examinador solicitou ao voluntário para estender e abduzir os braços e, a seguir, colocar os dedos indicadores no nariz, repetidamente. A prova foi realizada com movimentos simétricos e ao mesmo tempo ou alternadamente, colocando-se primeiro o índice direito no nariz voltando a estender o braço direito e, a seguir, fletir o braço esquerdo, colocando o índice esquerdo no nariz repetindo-se essa sequência várias vezes, de olhos abertos e, a seguir de olhos fechados. Durante o movimento, observa-se a harmonia, a medida e o aparecimento de tremores. Alterações:

- a - Na harmonia do movimento com fases de movimento mais rápidos e mais lentos, mais para o alto ou mais para baixo;
- b - Na medida do movimento com interrupção, antes do alvo (nariz ou orelha) ou a ultrapassagem do alvo (dismetria);
- c - Tremor que se acentua quando o índice está parado, próximo do alvo (tremor de intenção).

Na fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) 15 voluntários e na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) 2 voluntários apresentaram anormalidade no teste de índice-nariz, principalmente no item b, isto é, por dismetria.



**Figura 63**– Prova índice-nariz realizado durante a 8ª abordagem humana.

A prova do calcanhar Joelho testa a coordenação dos membros inferiores. A prova foi feita com o voluntário, em decúbito dorsal, sendo solicitado que coloque um dos calcanhares no joelho oposto e, a seguir, deslize o calcanhar encostado na região tibial da perna, até a ponta dos pododáctilos. Este movimento deve ser feito alternado, ora com um membro, ora com o outro, com o voluntário olhando os movimentos e, a seguir, de olhos fechados. As alterações citadas anteriormente nas provas índice-nariz deverão ser observadas nesta fase da prova do calcanhar-Joelho. Quando as alterações se acentuam, após o fechamento dos olhos, há comprometimento da coordenação muscular. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 3 voluntários mostraram alguma alteração neste exame enquanto que nenhum voluntário na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) mostrou alteração neste exame.

A diadococinesia é a capacidade de inverter, rapidamente, a direção de um movimento. A prova utilizada para avaliação da diadococinesia (**Figura 64**) foi a supinação-pronação da mão (movimentos rápidos, alternados, batendo ora com a palma, ora com o dorso da mão no próprio joelho). Estas provas alteradas indicam que há disdiadococinesia (incoordenação de origem cerebelar), sendo que na sub-amostra clínica da fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) 06 voluntários apresentaram alteração e na fase enchimento do

reservatório (8ª abordagem humana) apenas 01 voluntário teve alterações. A fala também foi analisada com a articulação das palavras e pensamento lógico, sendo que na fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) 03 voluntários apresentaram fala alterada e na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) não houve alteração dos voluntários.



**Figura 64**– Prova para avaliação da diadococinesia realizado durante a 8ª abordagem humana.

O campo visual dos voluntários foi analisado com o examinador deslocando o dedo indicador de ambas as mãos, nos vários pontos do campo visual do examinado. O examinador olha fixamente no olho do voluntário para ter certeza do mesmo não desviar o olho do ponto fixo (geralmente a testa do examinador). As hemianopsias ou quadrantopsias são detectadas com certa facilidade por esta prova, sendo com maior dificuldade detecção dos escotomas centrais e amaurose. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 12 voluntários e na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) 01 voluntário apresentaram campo visual alterado.

Também foi realizado o teste da gnosis visual dos pacientes, pede-se para que o individuo reconheça objetos simples como caneta, relógio ou lápis. Nas fases rio e enchimento do reservatório (1ª a 8ª abordagem humana) houve apenas um erro neste teste.

Na avaliação neurológica, também foi solicitado ao voluntário a elevação do membro superior sem apoio para avaliar se possui tremores (**Figura 65**). De forma subjetiva foi realizada a avaliação de parestesias, sensação de formigamento em membros superiores e inferiores, com uma pergunta direcionada enquanto era realizado o exame neurológico. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) cerca de 20,3% dos voluntários e na fase enchimento do reservatório (8ª

abordagem humana) 24,0% dos voluntários afirmaram que tinham parestesias, principalmente no fim do dia.



**Figura 65**– Avaliação de tremores nos voluntários realizado na 8ª abordagem humana.

A capacidade de localização temporal e espacial do indivíduo faz parte da avaliação do mini mental, sendo, portanto, perguntado ao voluntário a data completa (dia, mês e ano) e sua localização (cidade, estado, país), sendo observado erro de 23,4% na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 18,4 %, na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), sendo que o mais esquecido foi o dia. Além disso, a cidade, o estado e o país foram questionados e na fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) 7,7% dos voluntários não souberam afirmar a localização espacial e na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) não houve erros.

O teste do monofilamento de Semmes-Weinstein (estesiometria) é um método que consiste na inspeção de dez pontos específicos nos pés com um filamento de nylon, visando determinar a presença ou ausência de sensibilidade tátil. A incapacidade de sentir a pressão necessária ao se curvar suavemente o monofilamento de 10 g, quando observado em quatro dos dez pontos do pé avaliados é compatível com neuropatia sensorial. Segundo Pedrosa (2007), considerando estudos de vários autores, a sensibilidade do uso de quatro pontos plantares é de 90% e a sensibilidade é de 80%. Porém a maioria das vezes a condição de realização do exame médico é em condições adversas para a prática deste teste, que exige o paciente em posição confortável.

A amostra clínica analisada nas fases rio do empreendimento e enchimento do reservatório (725 voluntários) não apresentou alterações significativas, nas avaliações clínica e neurológicas realizadas. Uma pequena porcentagem não significativa da amostra clínica teve alteração no exame neurológico, sendo a principalmente referida a parestesias. A maioria dos voluntários que usam medicamentos diários são mulheres em uso de anticoncepcional oral. Os voluntários que referiram uso de tabaco foram incentivados a cessação do tabagismo, reforçando os malefícios causados pelo cigarro. Os voluntários que relataram uso de drogas, já não o faziam mais há pelo menos de 2 anos, portanto não foram excluídos das análises de correlação com os efeitos neurotóxicos do mercúrio. Na amostra clínica analisada nas fases rio do empreendimento e enchimento do reservatório foram identificados muitos voluntários com o diagnostico estabelecido de hipertensão, porém sem fazerem o uso correto da medicação. Portanto, foi reforçado como deve ser o uso correto das medicações e também a importância de fazer o uso correto. Apesar dos critérios de exclusão deste protocolo de pesquisa, nenhum dos voluntário excluídos das análises de correlação com os efeitos neurotóxicos do mercúrio foi impedido de terminar o exame médico assim como suas dúvidas foram sanadas.

Apartir da 8ª abordagem humana (fase enchimento do reservatório) foi incluído no protocolo da avaliação clínica o teste do glicosímetro, que seria uma medida capilar da glicemia, entretanto as análises nem sempre são realizada em jejum. Portanto, não foi realizado o diagnostico de Diabetes Mellitus, mas orientações da importância do exame de glicemia de jejum, o qual seria o padrão ouro para o diagnostico. Neste teste alterações maiores que 140 mg/dL foram orientados a fazer o teste de glicemia de jejum venosa e para valores maiores de 200 mg/dL foram fortemente orientados a fazer o teste de glicemia de jejum venosa. Na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) os voluntário com teste de glicemia maior de 200 mg/dL sabiam ser diabético, ou seja já tinha esse diagnóstico, porém foram orientados a procurar seus médicos para avaliação quanto a necessidade de ajustes da medicação.

### Avaliação Neuropsicológica

Os resultados das baterias testatórias fornecem dados que sugerem as áreas cerebrais mais relacionadas com as funções avaliadas e permitem assim a correlação com os achados dos exames de imagem. (Malder, 2002). No Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico a bateria testatória neuropsicológica foi adequada para estabelecer a presença ou não de disfunções cognitivas associadas aos efeitos neurotóxicos do mercúrio. Durante todas as 08 (oito) abordagens humanas foram feitas as devolutivas da bateria testatória neuropsicológica e dosimetria do mercúrio das campanhas anteriores, sendo todas as devolutivas individualizadas e acompanhadas pelo grupo de psicólogas, minimizando quaisquer impactos neuropsicológicos negativos deste estudo e resguardando a confidencialidade dos exames (Figuras 66e 67).



**Figura 66**– Devolutiva dos resultados dos estudos de saúde humana.



**Figura 67**– Devolutiva dos resultados dos estudos de saúde humana.

A avaliação neuropsicológica foi realizada em uma sub-amostra neuropsicológica composta de 50% da amostra de voluntários na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 40% da amostra de voluntários na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), sendo constituída de 710 e 67 voluntários, respectivamente, aleatórios e voluntários residentes nas comunidades de Nova Mutum Paraná, Fortaleza do Abunã, Abunã, Canteiro de Obras da UHE Jirau, dragas fluviais de exploração aurífera, garimpos em terra firme e região ribeirinha. Os cenários de avaliação foram oferecidos pela própria comunidade atendida, como: Centro Comunitário local, escolas e residências dos voluntários conforme mostram as **Figuras 68e 69**.



**Figura 68**– Aplicação da bateria de testes neuropsicológicos durante a 8ª abordagem humana.



**Figura 69**– Aplicação da bateria de testes neuropsicológicos durante a 8ª abordagem humana.

A aplicação de testes foi realizada em pequenos grupos, pelas psicólogas Msc. Valéria Vasconcellos Serra (CRP – 01/3559) e Msc Vera L. D. Simões (CRP – 01/2198), mestres em psicologia, credenciadas pelo Conselho Federal de Psicologia.

No universo amostral da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) a sub-amostra neuropsicológica foi composta de 710 voluntários (50% do universo amostral, sendo 59% pessoas do sexo masculino e 41% do sexo feminino). A idade variou entre 15 a 75 anos. Quanto à escolaridade, obteve-se o escore percentual de 8% com ensino fundamental completo, 25% com ensino fundamental incompleto, 28% com ensino médio, 19% com ensino médio incompleto, 14% com ensino superior e 5% com ensino superior incompleto.

Na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) a sub-amostra neuropsicológica foi composta de 67 voluntários (46,21% da amostra), sendo 70% pessoas do sexo masculino e 30% do sexo feminino. A idade variou entre 18 a 68 anos. Quanto à escolaridade, obteve-se o escore percentual de 11% com ensino fundamental completo, 6% com ensino fundamental incompleto, 29% com ensino médio, 11% com ensino médio incompleto, 32% com ensino superior e 11% com ensino superior incompleto.

A bateria testatória foi composta pelos testes neuropsicológicos:

- 1 – AC – Susy V. Cambraia, que avalia a função cognitiva de atenção concentrada, ligada à percepção de similaridades e diferenças, em curto espaço de tempo;
- 2 – BGFM 4 – TMR – Emílio Carlos Tonglet - Teste de Memória de Reconhecimento de curto e longo termos, que avalia a aprendizagem e a memória;
- 3 – BGFM 1 Emílio Carlos Tonglet – TEDIF 1, 2 e 3 – Teste de Atenção Difusa, que avalia a função mental, que foca, de uma só vez, diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida, no tempo determinado;
- 4 – Teste PALOGRÁFICO – Irai Cristina Boccato Alves, Cristiano Esteves - Teste expressivo de personalidade, que avalia a dinâmica da personalidade, o equilíbrio, a coordenação motora, a energia produtiva e a emotiva.

#### Teste de atenção concentrada - SusyVijande Cambraia

A literatura científica relata ampla discussão sobre o conceito de atenção concentrada. Em uma perspectiva psicológica, Warren (1956), no Dicionário de Psicologia, apresenta, dentre tantas outras, a atenção como um processo que consiste em focar certas porções de uma experiência de modo que elas se tornem mais evidentes ou destacadas. Segundo Strauss, Barton e Reilley (1995), a atenção pode ser considerada uma função mental complexa que se

refere à capacidade do sujeito para focalizar sua mente em algum aspecto ou estímulo do meio ambiente ou do seu conteúdo interno. Portanto, trata-se da capacidade para selecionar e manter o controle sobre a entrada de informações externas e o processamento de informações internas necessárias em um dado momento. Essa capacidade seletiva é fundamental para a manutenção da atividade mental, pois ela controla o processamento da grande quantidade de estímulos provenientes do meio ambiente e do mundo interior que uma pessoa recebe. Como afirmam Cortese, Mattos e Bueno (1999), “sem esta capacidade de seleção a quantidade de informações externas e/ou internas, seria enorme a tal ponto de inviabilizar qualquer atividade mental”.

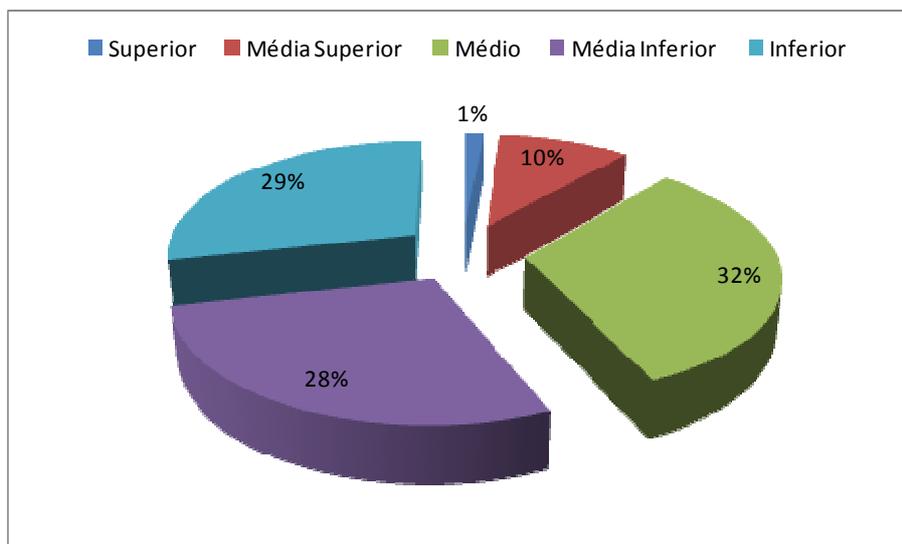
Luria (apud Fazzani Neto, 1985), Cortese, Mattos e Bueno (1999) e Hilgard e Atkinson (1979) afirmam que a capacidade de atenção também pode ser influenciada por estados emocionais. Estes seriam responsáveis por aumentar ou diminuir o grau de atenção que uma pessoa coloca sobre determinados estímulos. Segundo Luria (1979), a seletividade dos estímulos e o direcionamento de nossa atividade mental são mediados também pela importância e interesse por uma determinada tarefa em detrimento de outras. Esses autores relatam que, além de todos os complexos processos que compõem a capacidade de atenção, ela envolveria também as atividades e operações intelectuais necessárias para executar a tarefa que foi selecionada. Existe uma relação entre a atenção e a concentração. Segundo, Székely (1946) toda concentração começa pela atenção e a concentração não é senão a unificação das atenções.

A atenção concentrada pode ser definida como a capacidade de selecionar uma fonte de informação (estímulo do meio ambiente ou do mundo interior) entre todas as que estão disponíveis em um determinado momento e conseguir dirigir sua atenção (manter o foco) para esse estímulo ou tarefa a ser realizada no decorrer do tempo. Então, em qualquer tarefa que precise ser realizada ou atividade em que esteja envolvido, é necessário que o indivíduo focalize sua atenção concentrada por um maior intervalo de tempo, a fim de facilitar o processo de aprendizagem, promovendo o bom aproveitamento e a qualidade de seu trabalho.

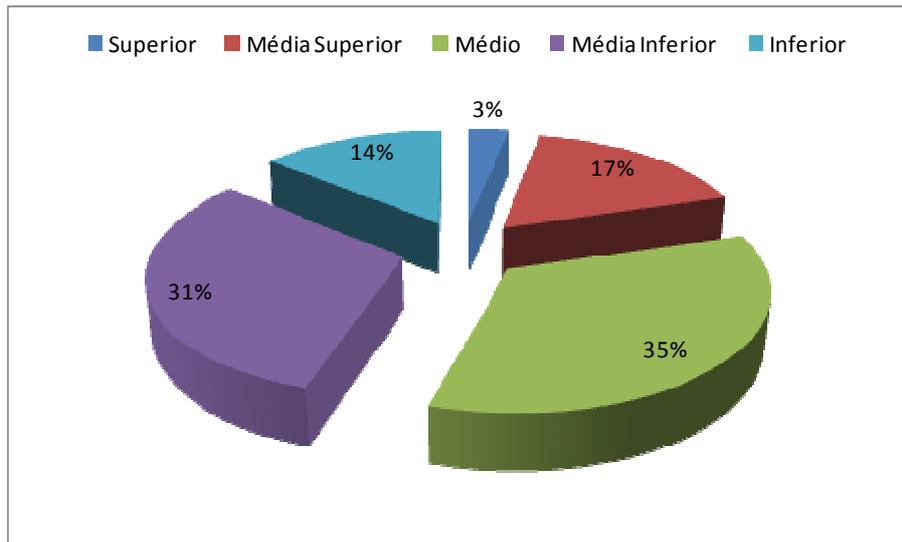
Os testes de Atenção Concentrada podem ser usados na avaliação psicológica em geral e também na avaliação neuropsicológica, que por sua vez preocupa-se com o conhecimento dos aspectos funcionais da atenção e as relações com os circuitos cerebrais e também com o tipo de intervenção mais apropriado para cada caso, inclusive reabilitação cognitiva.

A atenção é um centro funcional complexo que percorre extensos caminhos cerebrais envolvendo tanto áreas corticais como subcorticais, sendo solicitada a cada momento da vida

e de extremamente importante para o funcionamento cognitivo e afetivo do psiquismo. A atenção é uma qualidade da percepção, enquanto que a percepção é o ponto de contato mais imediato entre os órgãos dos sentidos e o cérebro e também entre o estado interno corporal por meio das mais variadas sensações, permitindo receber informações tanto sobre o mundo interno como externo. Dessa maneira, é possível compreender a importância da avaliação da atenção concentrada e a atenção difusa por estarem extremamente relacionadas com a qualidade com que as pessoas executam as tarefas que se propõem a realizar no seu dia a dia. A bateria de testes neuropsicológicos aplicados na sub-amostra neuropsicológica nas 08 (oito) abordagens humanas teve início com o teste de Atenção Concentrada, sendo que a consecução dos resultados (**Figuras 80 e 81**) foi considerada a tabela de percentil em função da escolaridade e para a amostra do estado do Amazonas (2008).



**Figura 70**– Resultado do teste de Atenção Concentrada aplicado aos voluntários da sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 71**– Resultado do teste de Atenção Concentrada aplicado aos voluntários da sub-amostra neuropsicológica da fase de enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

O teste de Atenção Concentrada possibilita a diferenciação de 02 (dois) grupos da sub-amostra da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), sendo o primeiro grupo formado pelos percentuais obtidos das classificações superior, média superior e média, correspondendo a 42,57% da sub-amostra neuropsicológica, e o segundo grupo formado pelos percentuais obtidos das classificações média inferior e inferior correspondendo a 55,41% da sub-amostra neuropsicológica, sendo que 2,02% de participantes não realizaram este teste. Portanto, uma considerável parcela da população avaliada apresenta dificuldades de atenção concentrada. Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) o teste de Atenção Concentrada também possibilitou a diferenciação de 02 (dois) grupos da sub-amostra, sendo o primeiro grupo formado pelos percentuais obtidos das classificações superior, média superior e média, correspondendo a 54,69% da sub-amostra neuropsicológica, e o segundo grupo formado pelos percentuais obtidos das classificações média inferior e inferior, correspondendo a 45,31% da sub-amostra neuropsicológica. Portanto, uma considerável parcela da população avaliada apresenta dificuldades de atenção concentrada.

Considerando que o teste de Atenção Concentrada avalia a função cognitiva de atenção, ligada à percepção de similaridades em curto espaço temporal, os resultados prévios obtidos em todas as abordagens (fases rio reendimento e enchimento do reservatório inferem que a população avaliada, em sua maioria, apresenta um nível baixo de percepção de similaridades em curto espaço de tempo, ou seja, de atenção concentrada.

Partindo do pressuposto de que em qualquer tarefa que precise ser realizada ou atividade em que esteja envolvido, é necessário que o indivíduo focalize sua atenção concentrada por um maior intervalo de tempo, pode-se inferir que um contingente significativo de sujeitos, cerca de 55,41% dos 710 participantes da fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) e 45,31% dos 67 participantes da fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), possuem dificuldades em atenção concentrada. Como pode também apresentar problemas no funcionamento das áreas corticais e subcorticais do cérebro.

Portanto, pode-se afirmar, alicerçados nos resultados obtidos, que os baixos escores percentuais dos sujeitos participantes em atenção concentrada podem ter como causas os estados emocionais que, como afirmam os autores consultados, são responsáveis por aumentar ou diminuir o grau de atenção que uma pessoa coloca sobre determinados estímulos. E que como afirma Luria, a seletividade e o direcionamento de nossa atividade mental é mediada também pela importância e interesse por uma determinada tarefa. E ainda, os complexos processos que formam a capacidade de atenção envolvem atividades e operações intelectuais necessárias para executar a tarefa. Em suma, os resultados numéricos apresentados se devem a problemas emocionais relacionados ao interesse e motivação, como também às dificuldades intelectivas dos sujeitos avaliados.

#### Teste de Atenção Difusa – Emílio Carlos Tonglet

O Teste de Atenção Difusa possibilita avaliar a função mental que foca simultaneamente diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida, no tempo determinado. A Bateria Geral de Funções Mentais: Testes de Atenção Difusa consiste de um conjunto de instrumentos psicológicos com a finalidade de investigar, avaliar, classificar e padronizar as funções mentais relacionadas à cognição representadas pelos sistemas atentos, memória e raciocínio lógico.

A BGFM – 1 - Bateria Geral de Funções Mentais em seu primeiro volume tem os Testes de Atenção Difusa cujas funções mentais investigadas são a atenção difusa e a atenção difusa complexa. A Atenção Difusa é a função mental que focaliza simultaneamente diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo para o indivíduo. A Atenção Difusa Complexa é a função mental que focaliza parcialmente diversos estímulos coloridos, compostos por figuras geométricas idênticas ou diferenciadas, que se encontram bem dispersas espacialmente,



realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo e parcial para o indivíduo (Tougllet,1999).

Os testes são que compõem a Bateria Geral de Funções Mentais - BGFM 1 são :

TEDIF – 1 Teste de Atenção Difusa Forma 1 – é um novo instrumento psicológico com o objetivo de ser utilizado tanto na avaliação psicológica para candidatos à admissão em empresas e funcionários para avaliação de potencial como também na avaliação neuropsicológica. Emprega apenas um tipo de símbolo. Por meio da aplicação deste instrumento psicológico pode-se observar a rapidez ou lentidão com que o examinando utiliza sua atenção difusa, tornando possível classificá-lo de acordo com a padronização do teste;

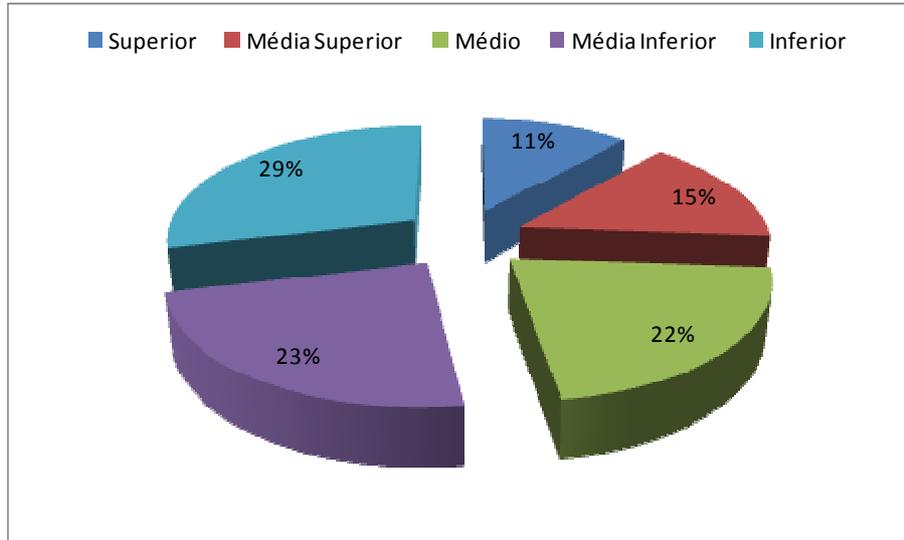
TEDIF – 2 Teste de Atenção Difusa Complexa Forma 2 – construído com a finalidade de investigar, avaliar e mensurar a atenção difusa complexa. Sua utilização é similar a do TEDIF 1 e também emprega apenas um tipo de símbolo;

TEDIF – 3 Teste de Atenção Difusa Complexa Forma 3 – construído com a mesma finalidade e utilização do TEDIF 2. Emprega dez tipos de símbolos, cujas formas são representadas por: triângulos, quadrados, losangos, pentágonos, hexágonos, octógonos com figuras maiores e menores.

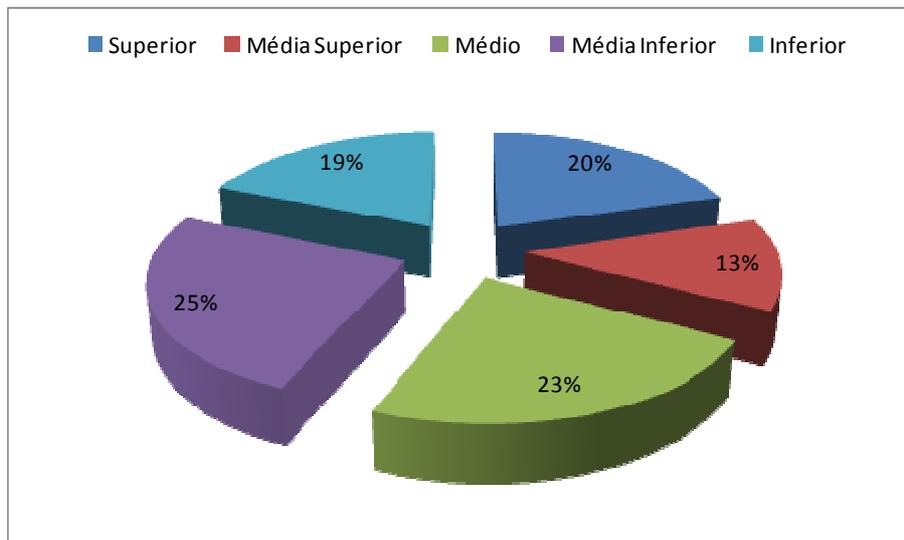
Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), os resultados obtidos pelos voluntários no Teste de Atenção Difusa – TEDIF 1 (**Figura 72**), que envolve maior simplicidade, indicaram que a maioria dos sujeitos testados está na categoria inferior (28,87% da sub-amostra), significando um desempenho em atenção difusa abaixo da média. Considerando o agrupamento das categorias de análises com percentual de desempenho superior, média superior e média obteve-se um percentual de 47,75% da sub-amostra neuropsicológica, enquanto que as categorias de análises com desempenho médio inferior e inferior apresenta percentual de 47,75% da sub-amostra neuropsicológica, representando uma quantidade significativa de pessoas com dificuldades em atenção difusa de menor complexidade.

Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), os resultados obtidos pelos voluntários no Teste de Atenção Difusa – TEDIF 1 (**Figura 73**), indicaram que a maioria dos sujeitos testados está na categoria médio inferior (25% da sub-amostra), significando, assim como na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), um desempenho em atenção difusa abaixo da média. Considerando o agrupamento das categorias de análises com percentual de desempenho superior, média superior e média obteve-se um percentual de 56,25% da sub-amostra neuropsicológica, enquanto que as categorias de análises com desempenho médio inferior e inferior apresenta percentual de 43,75% da sub-amostra neuropsicológica,

representando uma quantidade muito significativa de pessoas com dificuldades em atenção difusa de menor complexidade.



**Figura 72**– Resultado percentuais do teste de atenção difusa – TEDIF 1 aplicado na sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 73**– Resultado percentuais do teste de atenção difusa – TEDIF 1 aplicado na sub-amostra neuropsicológica da fase enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

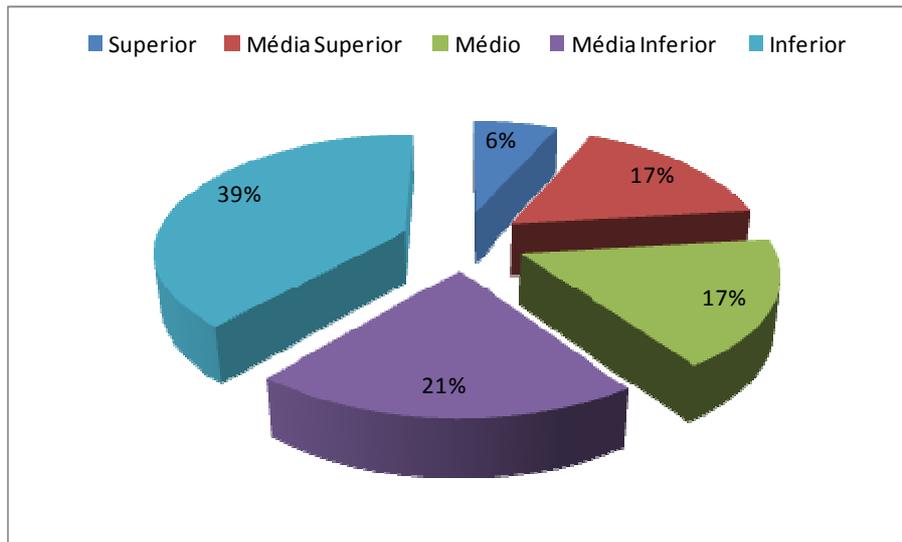
O objetivo do Teste de Atenção Difusa é avaliar a função mental que foca, de uma só vez, diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida, no tempo determinado. Pode-se afirmar que 52,25% dos participantes na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e que 43,75% dos participantes na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) apresentam dificuldades na expressão desta função cognitiva, o que

pode significar problemas nas áreas corticais e subcorticais do cérebro ou dificuldades de escolarização que impedem a compreensão dos objetivos do teste ou a execução do mesmo.

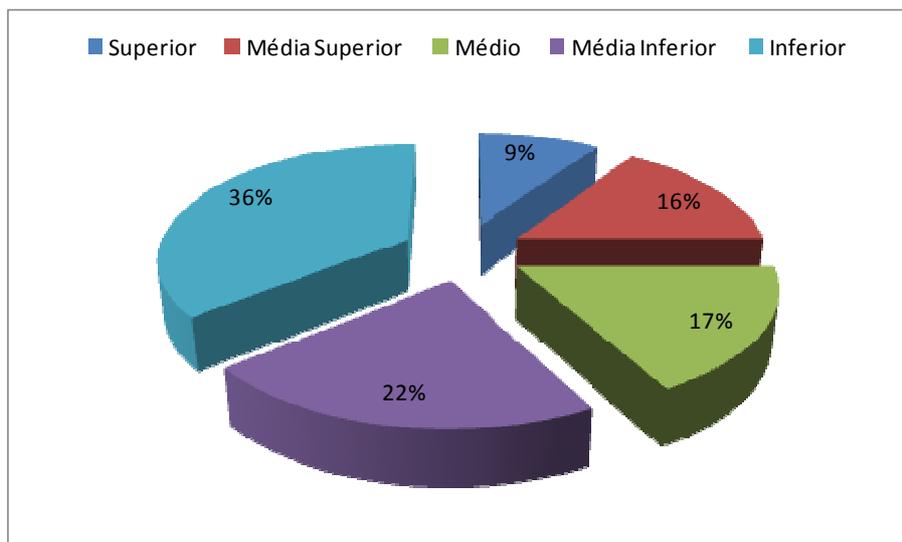
Na fase rio do empreendimento (1ª a 7ª abordagem humana) os resultados referentes ao teste de Atenção Difusa Complexa - TEDIF 2 (**Figura 74**) mostram que o maior percentual dos voluntários está na categoria inferior (38,72% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários com média inferior (20,82% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários com percentuais abaixo e muito abaixo da média resulta em 59,53% da sub-amostra neuropsicológica. Este resultado indica que um contingente significativo de sujeitos obteve desempenho abaixo do esperado, abaixo da média em Atenção Difusa Complexa. O agrupamento dos voluntários nas categorias superior, média superior e média representa 40,47% da sub-amostra neuropsicológica, o que equivale dizer que esse percentual de sujeitos obteve desempenho muito bom e bom no teste.

Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) os resultados referentes ao teste de Atenção Difusa Complexa - TEDIF 2 (**Figura 75**) mostram que, assim como na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), o maior percentual dos voluntários está categoria inferior (35,94% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários com média inferior (21,94% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários com percentuais abaixo e muito abaixo da média resulta em 57,81% da sub-amostra neuropsicológica. Este resultado indica que um contingente significativo de sujeitos obteve desempenho bem abaixo do esperado, abaixo da média em Atenção Difusa Complexa. O agrupamento dos voluntários nas categorias superior, média superior e média representa 42,19% da sub-amostra neuropsicológica, o que equivale dizer que esse percentual de sujeitos obteve desempenho muito bom e bom no teste.

O fato de 59,53% dos participantes na fase rio e 57,81% na fase de enchimento apresentarem desempenho baixo e muito baixo leva a concluir que houve muitas dificuldades nas respostas ao teste de Atenção Difusa Complexa 2 demonstrando a possibilidade de problemas na estrutura cerebral nas áreas corticais e subcorticais, problemas emocionais relacionados ao interesse e motivação ou problemas de escolarização.



**Figura 74**– Resultado percentuais do teste de atenção difusa complexa – TEDIF 2 aplicado a sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 75**– Resultado percentuais do teste de atenção difusa complexa – TEDIF 2 aplicado a sub-amostra neuropsicológica da fase enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

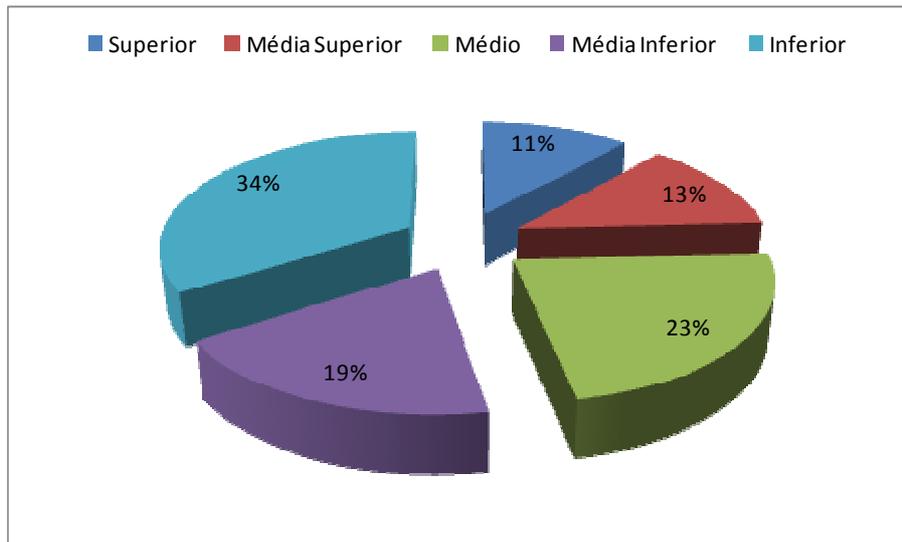
Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) os resultados do teste de Atenção Difusa Complexa 3 – TEDIF 3 (**Figura 76**) mostram que o maior percentual dos voluntários está categoria inferior (34,11% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários pertencentes a categoria média (22,99% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários com percentuais inferior e médio inferior resulta em 52,86% da sub-amostra neuropsicológica complexa. Por tais resultados pode-se aventar a possibilidade de tais sujeitos apresentarem problemas nas áreas corticais e subcorticais do cérebro, dificuldades emocionais

ligadas ao interesse e motivação ou problemas graves de escolarização que impedem uma boa execução do teste e expressão correta dessa função cognitiva. O agrupamento dos voluntários nas categorias superior, média superior e média representa 47,14% sub-amostra neuropsicológica, ou seja, grande parte dos sujeitos encontra-se posicionada nestas categorias apresentam desempenho muito bom no teste.

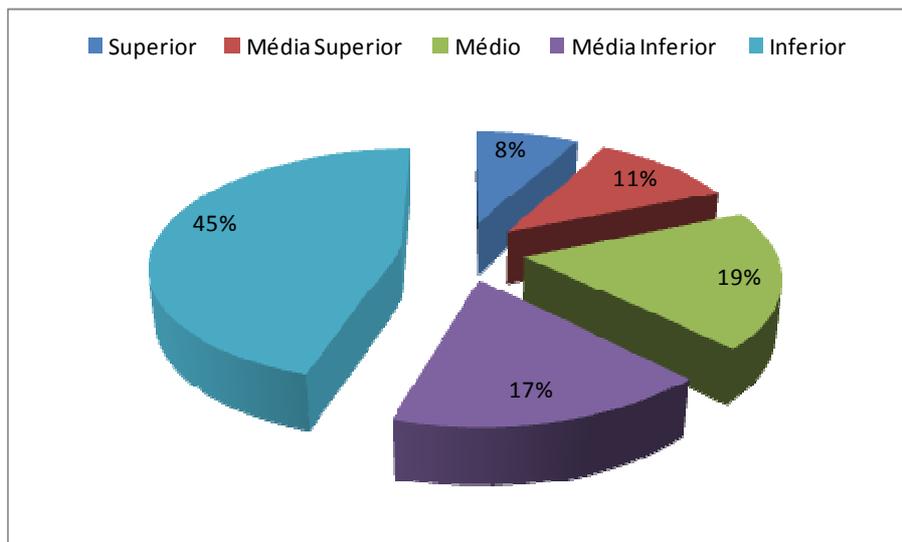
Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) os resultados do teste de Atenção Difusa Complexa 3 – TEDIF 3 (**Figura 77**) mostram que o maior percentual dos voluntários está categoria inferior (45,31% da sub-amostra neuropsicológica) seguido pelo grupo dos voluntários pertencentes a categoria média (18,75% da sub-amostra neuropsicológica), portanto o agrupamento dos voluntários com percentuais inferior e médio inferior resulta em 62,50% da sub-amostra neuropsicológica complexa. Por tais resultados pode-se aventar a possibilidade de tais sujeitos apresentarem problemas nas áreas corticais e subcorticais do cérebro, dificuldades emocionais ligadas ao interesse e motivação ou problemas de escolarização que impedem uma boa execução do teste e expressão correta dessa função cognitiva. O agrupamento dos voluntários nas categorias superior, média superior e média representa 37,50% sub-amostra neuropsicológica, ou seja, parte dos sujeitos encontra-se posicionada nestas categorias apresentam desempenho muito bom no teste.

O agrupamento dos voluntários nas categorias superior, média superior e média em ambas fases do empreendimento evidencia um bom desempenho em atenção difusa complexa como também na compreensão das instruções do teste, sendo possível inferir que este grupo possui bom potencial cognitivo no que se refere aos processos atentos e especificamente em atenção difusa complexa, como também um potencial para aprendizagens, em caso de desempenho bom ser fruto de aprendizagem da técnica de respostas para esse tipo de teste, após realização do TEDIF 1 e 2.

A análise do desempenho dos sujeitos nos testes de atenção (Concentrada e Difusa) mostra que um percentual significativo de sujeitos que se situa nas categorias Média, Média Superior e Superior. Essas pessoas apresentam bom desempenho em atenção como também na compreensão das instruções do teste. Pode-se inferir que este grupo tem um bom potencial cognitivo no que se refere aos processos atentos e especificamente em atenção. Em contrapartida o desempenho dos sujeitos nos quatro testes de atenção aplicados teve um saldo médio de 54,88% da sub-amostra neuropsicológica na fase e 54,69% da sub-amostra neuropsicológica na fase de enchimento do reservatório posicionados nas categorias Inferior e Média Inferior o que é sugestivo de problemas nesta função cognitiva.



**Figura 76**– Resultado percentuais do teste de atenção difusa complexa 3 – TEDIF 3 aplicado a sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 77**– Resultado percentuais do teste de atenção difusa complexa 3 – TEDIF 3 aplicado a sub-amostra neuropsicológica da fase enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

A atenção é um centro funcional complexo que percorre extensos caminhos cerebrais envolvendo tanto áreas corticais como subcorticais. Ela é solicitada a cada momento da vida e é extremamente importante para o funcionamento cognitivo e afetivo do psiquismo. Esta capacidade seletiva é fundamental para a manutenção da atividade mental, pois ela controla o processamento da grande quantidade de estímulos provenientes do meio ambiente e do mundo interior que uma pessoa recebe. O fato dos sujeitos apresentarem resultados similares nos 02 (dois) tipos de atenção parece óbvio, pois, se não se aprendeu ou desenvolveu a habilidade de selecionar estímulos ou porções de uma experiência também não vai conseguir

focalizar de uma só vez diversos estímulos numa captação rápida, pois está implícito que para tanto será necessário a habilidade de selecionar, focalizar.

Portanto, pode-se concluir que um percentual significativo dos sujeitos avaliados apresenta problemas em uma função cognitiva tão importante para o funcionamento geral do ser humano em ambas fases do empreendimento.

#### Teste de memória de reconhecimento – TMR – Emílio Carlos Tonglete

Tonglet (2000) define a memória de curto termo como sendo a capacidade de memorizar ou fixar determinadas informações, de reter estes dados e depois evocá-los através da linguagem escrita ou falada, em curto prazo de tempo. Gazzaniga e Heatherton (2005) definem a memória de curto prazo como sendo um sistema de memória de capacidade limitada, que mantém informações na consciência por um breve período de tempo.

A Psicologia Sócio-histórica de Vygotsky e Luria relacionou os conceitos de consciência e memória. Luria (1990) mostra que a psicologia soviética empregou o conceito de consciência como “existência consciente” e sustentou que a consciência é a forma mais elevada de reflexão da realidade, criada pelo desenvolvimento sócio-histórico com as primeiras relações sociais e comunicações da criança e formada por meios de instrumentos utilizados pelo homem para se orientarem e manipularem o ambiente. Os instrumentos servem como mediadores para organizar as operações cognitivas e também a consciência.

Ao se refletir sobre a consciência definida como habilidade, pode ser pensada como responsável pela criação dos sistemas de memória, explícita que exige a participação consciente, e, implícita que antes de ser automatizada (sem a participação da consciência) necessitou de uma aprendizagem que passou pelo sistema consciente. Na memória de reconhecimento a participação da consciência é mais evidente. Segundo Stenberg (2000) o reconhecimento é um processo de memória frequentemente empregado em tarefas de memória, no qual a pessoa é solicitada apenas a reconhecer como correto (não a produzir) um fato, uma palavra ou um item de memória.

A memória de reconhecimento é um tipo diferenciado de memória que envolve dois mecanismos distintos: a familiaridade e a lembrança, como são descritas pela teoria da memória de reconhecimento, elaborada por Mandler (1980):

- um mecanismo que se baseia na familiaridade do estímulo; a familiaridade é determinada pela quantidade de organização intra-item, o que por sua vez depende do grau de integração dos elementos sensoriais e perceptuais do estímulo;

- se o nível de familiaridade do estímulo for alto, então o sujeito decide rapidamente que reconhece o estímulo; se o nível de familiaridade for baixo, é tomada uma decisão rápida de que o estímulo não é um item a ser lembrado;

O outro mecanismo é a identificação, que envolve um processo de recuperação. A identificação é utilizada se o nível de familiaridade for intermediário, de forma que uma decisão acurada não possa ser feita baseada simplesmente na familiaridade do estímulo. (citado por Eysenck & Keane, 1994).

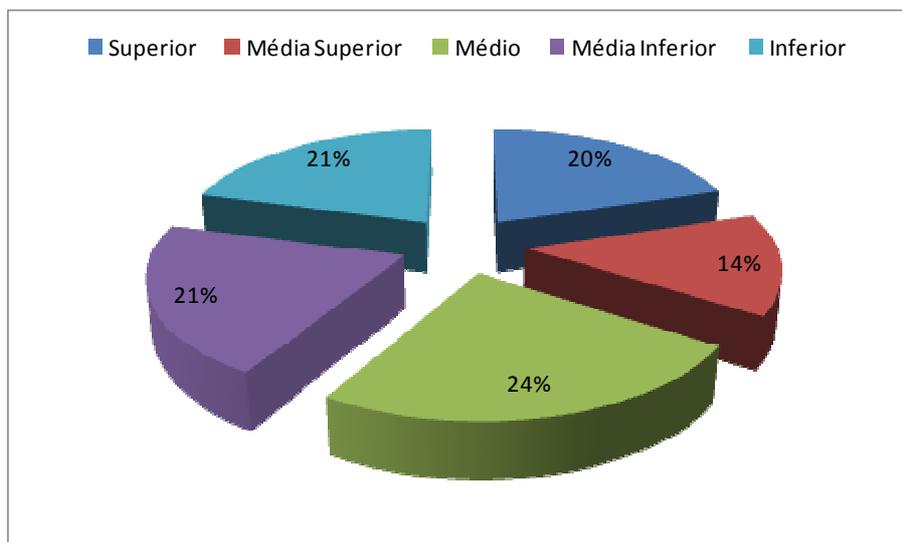
A identificação também é conhecida como lembrança (recordação) e neste sentido os dois mecanismos, familiaridade e lembrança são essenciais para a memória de reconhecimento. O teste TMR avalia a familiaridade e lembrança. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) os resultados da avaliação do teste de memória de reconhecimento visual (**Figura 78**) mostram que o somatório dos sujeitos que recebeu classificação Superior, Média Superior e Média perfaz 58,51% dos participantes, ou seja, um percentual muito significativo de pessoas demonstrou facilidade para executar a atividade de memória visual de curto prazo. Por outro lado, a quantidade de pessoas que obtiveram a classificação Média Inferior e Inferior foi de 41,49% dos participantes avaliados, demonstrando dificuldades na memória de reconhecimento visual de curto termo.

Na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) os resultados da avaliação do teste de memória de reconhecimento visual (**Figura 79**) mostram que o somatório dos sujeitos que recebeu classificação Superior, Média Superior e Média perfaz 46,88% dos participantes, sendo um resultado semelhante ao observado no universo amostral da fase rio. Por outro lado, a quantidade de pessoas que obtiveram a classificação Média Inferior e Inferior foi de 53,13% dos participantes avaliados, demonstrando dificuldades na memória de reconhecimento visual de curto termo.

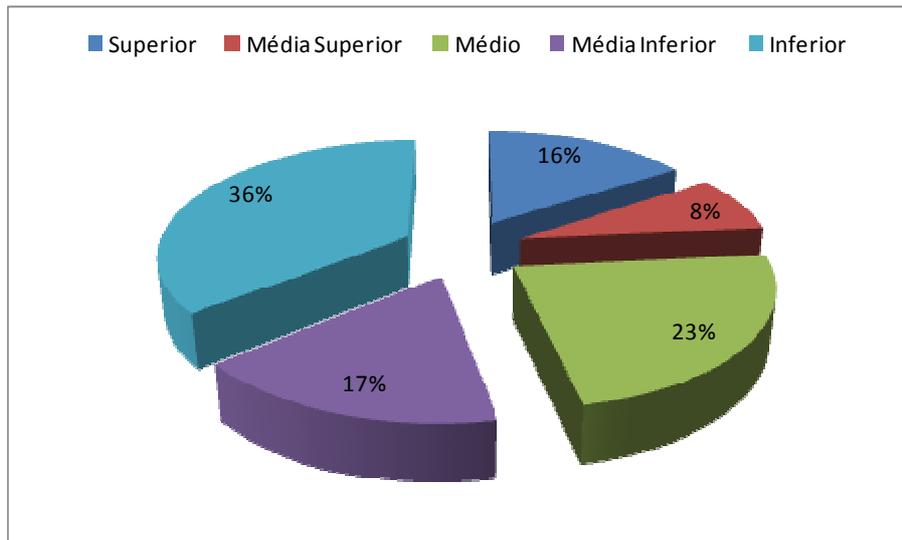
Tonglet (2000) define a memória de curto termo como “a capacidade de memorizar ou fixar determinadas informações, de reter estes dados e depois evocá-los através da linguagem escrita ou falada, em curto prazo de tempo”.

O Teste de Memória de Reconhecimento de Curto Tempo avalia a aprendizagem e a memória. Para tanto, utiliza-se dos mecanismos da familiaridade e da identificação. Esses dois mecanismos, familiaridade e lembrança são essenciais para a memória de reconhecimento. Partindo de tais pressupostos, pode-se afirmar que os participantes da pesquisa possuem um bom potencial de familiaridade e de lembrança das formas e cores apresentadas pelo teste, pois 58,51% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 46,88% da sub-amostra

neuropsicológica na fase de enchimento do reservatório situam-se nas faixas média, média superior e superior. Os resultados inferem, de acordo com os pressupostos teóricos do teste, que o nível de consciência da realidade da maior parte dos participantes da pesquisa é bom como também seu potencial de aprendizagem. Os resultados do teste de memória de reconhecimento visual mostra percentual significativo dos sujeitos que realizaram o teste na faixa inferior nas duas fases apresentadas, demonstrando que os mecanismos de familiaridade e de lembrança estão problemáticos, o que prejudicou sua memória de reconhecimento visual, pois eles são essenciais para que em curto prazo memorizem-se os estímulos propostos pelo teste. Pode-se inferir que tais dificuldades na habilidade de memorização em curto prazo dos estímulos e acontecimentos do dia-a-dia influenciam em termos de prejuízos no desempenho laboral como também nas vivências cotidianas e nas relações sociais. Essas dificuldades podem se relacionar ao Lobo Occipital do cérebro responsável pelo processamento das informações visuais, ou ao Bloco de Recepção, Reelaboração e Conservação da Informação (partes posteriores do Córtex). Portanto, trata-se de um contingente significativo de pessoas com problemas nessa função cognitiva que podem estar relacionadas às questões de escolaridade que dificultam a compreensão das instruções dos testes, às dificuldades emocionais e/ou neuropsicológicas.



**Figura 78**– Resultado do teste de memória de reconhecimento visual aplicado aos voluntários da sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 79**– Resultado do teste de memória de reconhecimento visual aplicado aos voluntários da sub-amostra neuropsicológica da fase enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

#### Teste Palográfico – Irai Cristina Boccato Alves e Cristiano Esteves

De acordo com a classificação de testes de personalidade proposta por Van Kolck (1974-1975), o teste Palográfico pode ser considerado um teste expressivo de personalidade. Segundo Van Kolck (1984), no ato de desenhar estão presentes e juntas a adaptação, a expressão e a projeção, e mais do que qualquer produção pessoal deve ser analisada cuidadosamente. A adaptação se refere à adequação em relação à tarefa solicitada, isto é, realiza-se a tarefa de modo convencional, original ou fantasioso, bem como se a execução está de acordo com a idade e o sexo. A expressão se refere ao estilo peculiar da resposta do sujeito, que se revela através das qualidades propriamente gráficas, que dizem mais respeito à forma. A projeção é avaliada por meio da atribuição de qualidades às situações e objetos, que aparecem no conteúdo e na maneira de tratar o tema. Em seus estudos sobre o comportamento expressivo, Allport e Vernon concluíram que tanto os gestos como a escrita refletem um estilo individual constante e estável. As atividades expressivas parecem não estar dissociadas, mas sim relacionadas e organizadas entre si. As evidências encontradas indicam que existe uma congruência entre os movimentos expressivos e as atitudes, os traços, os valores e outras disposições de personalidade. Existem numerosas questões relativas às disposições subjacentes ao movimento e ao efeito do movimento sobre os outros. Allport e Vernon (1933) definem o movimento expressivo como aqueles aspectos do movimento que são suficientemente característicos para diferenciar um indivíduo do outro. Segundo Klages (1959), o princípio da expressão diz que a todo movimento interior corresponde um movimento

corporal análogo ou que todo movimento expressivo é involuntariamente dirigido para o fim instintivo contido na vivência da vida interior. Na força do movimento é expressa a força do impulso psíquico, que pode se manifestar de diversas formas como a amplificação do movimento, a aceleração da velocidade, o reforçamento do traço ou a intensificação da pressão sobre o lápis. Os movimentos, em geral, têm características expressivas e não expressivas. Allport (1974) afirma que todos os nossos movimentos apresentam dois componentes: o adaptativo ou instrumental e o expressivo. O instrumental, que constitui “o que fazemos”, seria o predicado da ação, e o expressivo, que é o “como fazemos”, seria o advérbio da ação. O autor resume as seguintes diferenças entre os comportamentos instrumental e expressivo na Tabela 52 abaixo.

**Tabela 52** – Diferenças entre os comportamentos instrumental e expressivo.

Instrumental	Expressivo
Intencional	Não intencional
Determinado pelas necessidades do momento e da situação	Reflete a estrutura mais profunda da personalidade
Produzido formalmente	Transmitido espontaneamente
Pode ser controlado	Menos alterável e frequentemente Incontrolável
Procura mudar ambiente	Não tem objetivo, embora possa ter efeito sobre os outros
Tipicamente consciente	Abaixo do limiar da consciência

A fase de treino do Palográfico avalia mais aspectos adaptativos e instrumentais, uma vez que no início da tarefa o examinando vai trabalhar tentando se adequar as instruções dadas. No entanto, à medida que a tarefa continua, vai se tornando uma tarefa mais espontânea, menos controlada vai revelando mais aspectos expressivos, principalmente na segunda parte do teste. O Palográfico subdivide-se em vários aspectos que são: produtividade, ritmo, gráfico, emotividade e organização ou ordem.

### I - Produtividade

A produtividade no Teste Palográfico refere-se à quantidade de trabalho que o examinado é capaz de fazer, tanto em termos profissionais, como em outros tipos de atividade. A produtividade pode ser classificada em:

Superior ou muito alta – indica rendimento superior no trabalho, capacidade de produzir muito acima da média. Minicucci (2002) chama este grupo de Taquipsíquico;

Muito Superior ou alta – revela rendimento no trabalho acima da média;

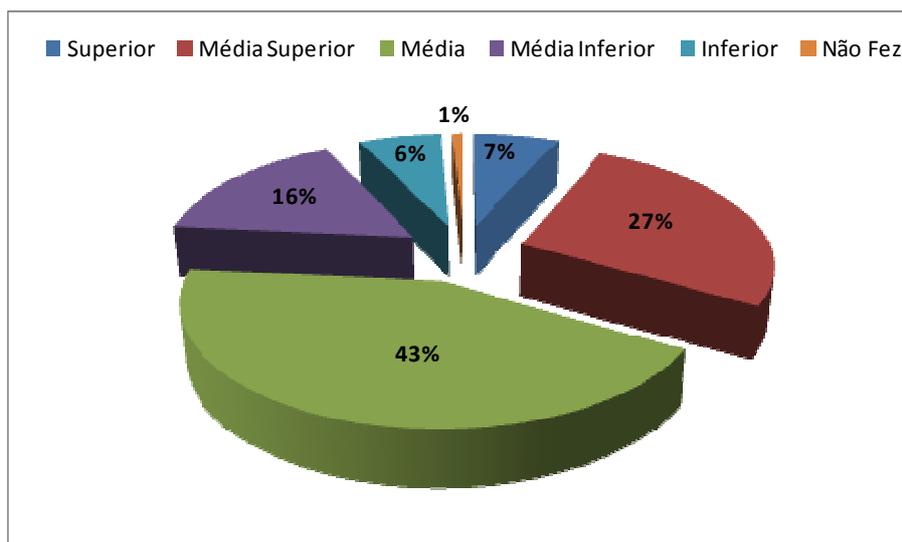
Média – reflete rendimento médio no trabalho;

Médio inferior ou baixa – relaciona-se ao rendimento abaixo da média no trabalho e;  
Inferior ou lento – apresenta rendimento no trabalho muito abaixo da média, com capacidade de produção deficiente em relação à média.

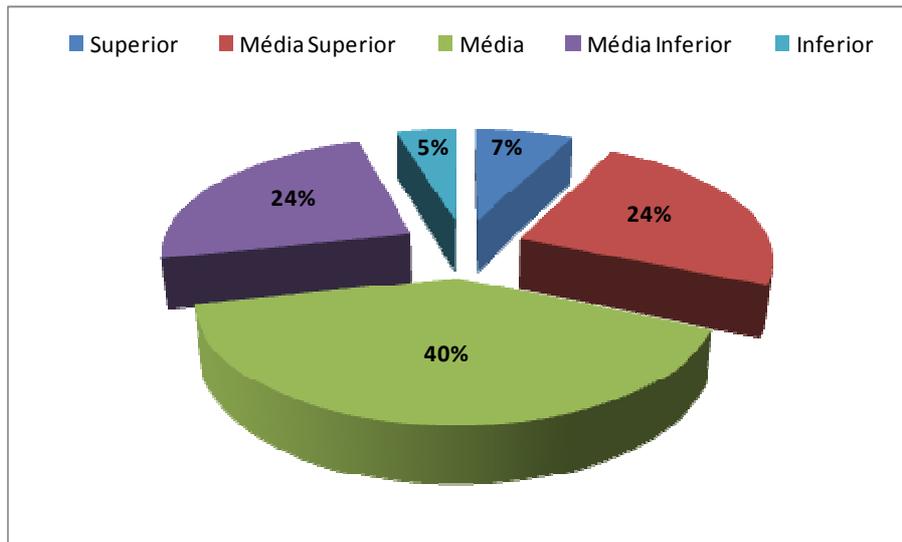
Os resultados das análises de desempenho de produtividade na sub-amostra neuropsicológica do universo amostral da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) estão apresentados nas **Figuras 80 e 81**.

O teste de produtividade mostra a diferenciação de 02 (dois) grupos da sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana). Um grupo está na faixa entre superior, média superior e média, perfazendo 86% da sub-amostra neuropsicológica revelando rendimento no trabalho acima da média e na média. Por outro lado, o percentual de 14% da sub-amostra neuropsicológica demonstrou desempenho muito abaixo da média, inferior ou lento com capacidade de produção deficiente em relação à média. Apenas 1% da sub-amostra neuropsicológica não realizou o teste.

O resultado da análise de desempenho de produtividade da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) mostrou que os voluntários da sub-amostra neuropsicológica, em sua maioria, estão na faixa entre superior, média superior e média perfazendo 88% da sub-amostra neuropsicológica, revelando rendimento no trabalho acima da média e na média. Por outro lado, 12% da sub-amostra neuropsicológica apresentou um desempenho muito abaixo da média, inferior ou lento com capacidade de produção deficiente em relação à média.



**Figura 80**– Resultado do desempenho de produtividade dos voluntários da sub-amostra da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 81**– Resultado do desempenho de produtividade dos voluntários da sub-amostra da fase enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

Considerando que a Produtividade no Teste Palográfico refere-se à quantidade de trabalho que o examinado é capaz de fazer, tanto em termos profissionais, como em outros tipos de atividade pode-se afirmar que um percentual muito alto dos participantes de ambas fases do empreendimento apresenta um nível muito bom de produção laboral. Em uma produção, no trabalho, muito elevada deve-se, porém, aventar a possibilidade de existência do Taquipsiquismo ou patologia das funções psíquicas aceleradas (pensamento, linguagem, psicomotricidade, etc) em alguns indivíduos ou grupo Taquipsíquico (Minicucci, 2002). Em contrapartida é importante verificar que 14% na fase rio e 12% na fase de enchimento são percentuais significativos de sujeitos que apresentaram produtividade baixa no trabalho, havendo casos de muita lentidão ou capacidade de produção deficiente em relação à média. Tal grupo pode ser que apresente lentidão anormal dos movimentos devida a transtornos dos centros psicomotores, grupo Bradipsíquico ou que possui a patologia do Bradipsiquismo caracterizada pela lentificação de todas as atividades mentais.

## II - Ritmo

O ritmo no palográfico é avaliado pelo Nível de Oscilação Rítmica (NOR), que verifica a variabilidade da produtividade do trabalho do indivíduo nos diferentes tempos do teste, reproduzindo as possíveis flutuações de produtividade no desenvolvimento das tarefas. Assim, os valores menores do NOR indicam uma regularidade e uma estabilidade da produtividade,

porém um valor muito baixo pode indicar rigidez e mesmo obsessividade. Os valores altos significam maior irregularidade no ritmo de trabalho. A classificação :

Muito alto – indica grandes variações no rendimento no trabalho;

Alto – significa flutuações e instabilidade no desempenho das tarefas;

Médio – corresponde à pessoa que, embora apresente instabilidade no ritmo de produção, consegue adaptação adequada às tarefas rotineiras;

Baixo – denota estabilidade no ritmo de produção, que permite desenvolver tarefas com certa uniformidade;

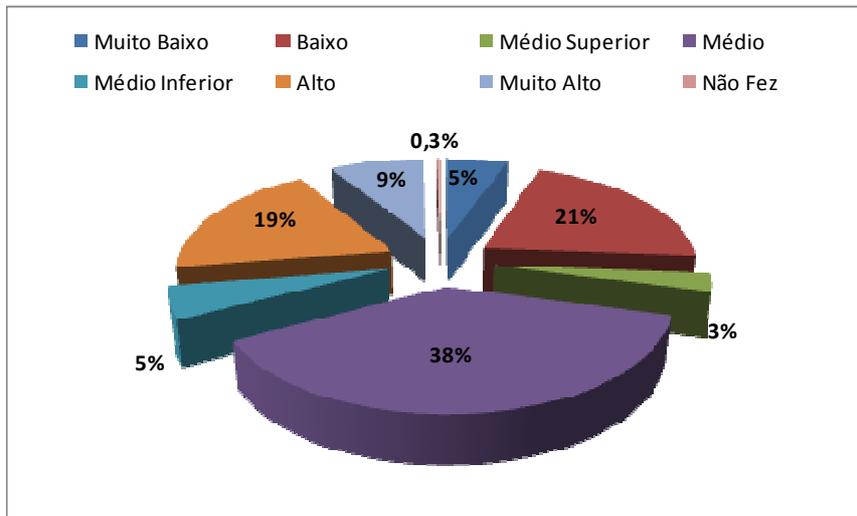
Muito baixo – revela alta regularidade na realização das atividades, se oscilações bruscas na produção, tendência à rigidez.

Os resultados das análises de desempenho de ritmo na sub-amostra neuropsicológica do universo amostral da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) estão apresentados nas **Figuras 82e 83**.

Ao analisar a variabilidade do ritmo do trabalho dos indivíduos nos diferentes tempos do teste, na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), com as possíveis flutuações no desempenho de tarefas, juntou-se os sujeitos classificados nas categorias Médio, Baixo e Muito Baixo e verificou-se que 64% pertence a este grupo. Já na fase de enchimento 68% (8ª abordagem humana) fazem parte deste grupo.

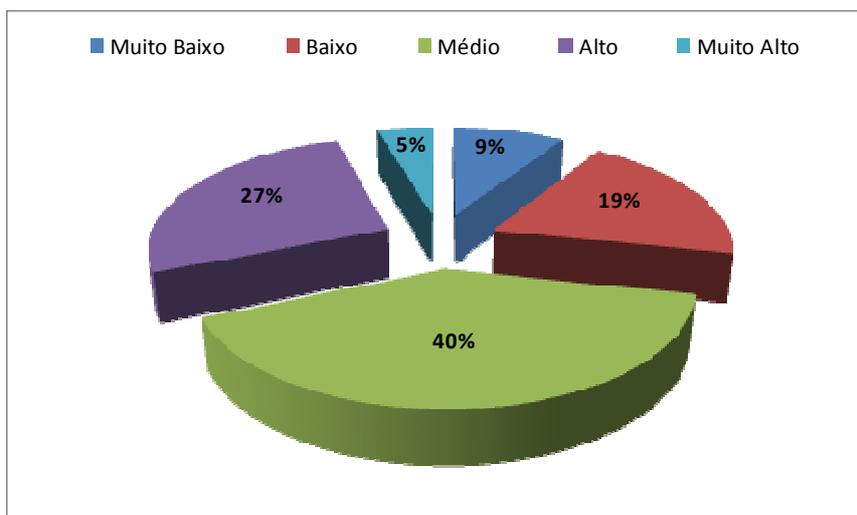
Deste percentual há pessoas que embora apresentem instabilidade no ritmo de produção, conseguem adaptação adequada às tarefas rotineiras ou sujeitos que se situam numa faixa de oscilação no ritmo de trabalho que mantém estabilidade no ritmo de produção que permite desenvolver tarefas com certa uniformidade e alguns sujeitos revelam alta regularidade na realização das atividades, sem oscilações bruscas, podendo, no entanto, apresentar tendência à rigidez. Observa-se, portanto, que a maioria das pessoas mantém uma oscilação rítmica na atividade laboral em níveis considerados muito bons. É importante observar os sujeitos que apresentam tendência à rigidez, pois a flexibilidade é uma característica do aparato psíquico importante para o bom funcionamento do sujeito no mundo.





**Figura 82**– Resultado do nível de oscilações rítmicas dos voluntários da sub-amostra da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).

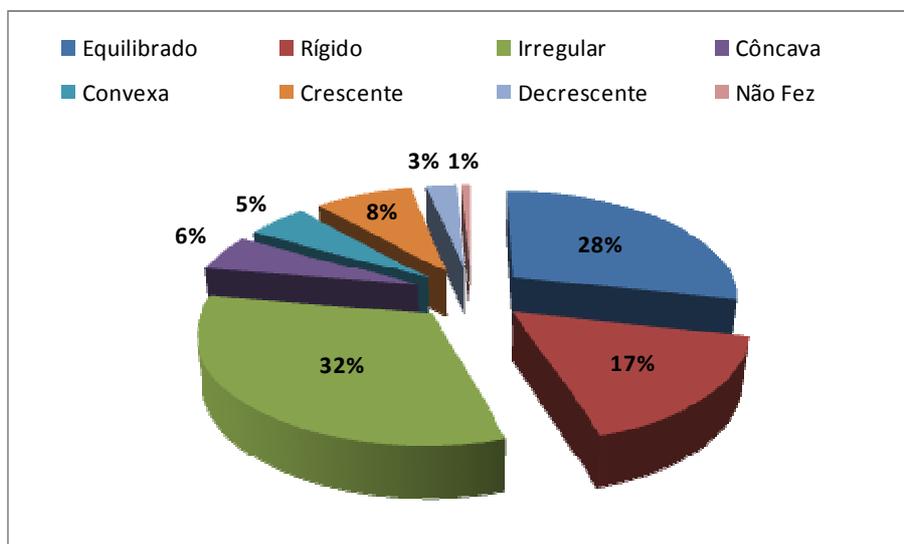
Verifica-se que 24% dos sujeitos na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 32% dos voluntários na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) situam-se na faixa de classificação de ritmo Muito Alto e Alto demonstrando grandes variações no rendimento no trabalho, e também flutuações e instabilidade no desempenho de tarefas. Trata-se de um percentual significativo de pessoas que não consegue manter regularidade na produção laboral ou em outras atividades que desempenha. Tais dificuldades podem ser relacionadas ao Bloco de Programação, Regulação e Controle da Atividade – partes parietais do cérebro que quando problemáticas o indivíduo não apresenta facilidade para programar e executar um plano, distrair-se, não consegue se concentrar e pode apresentar inércia ou hiperatividade. Apenas 0,3% da sub-amostra neuropsicológica da fase rio não realizou o teste.



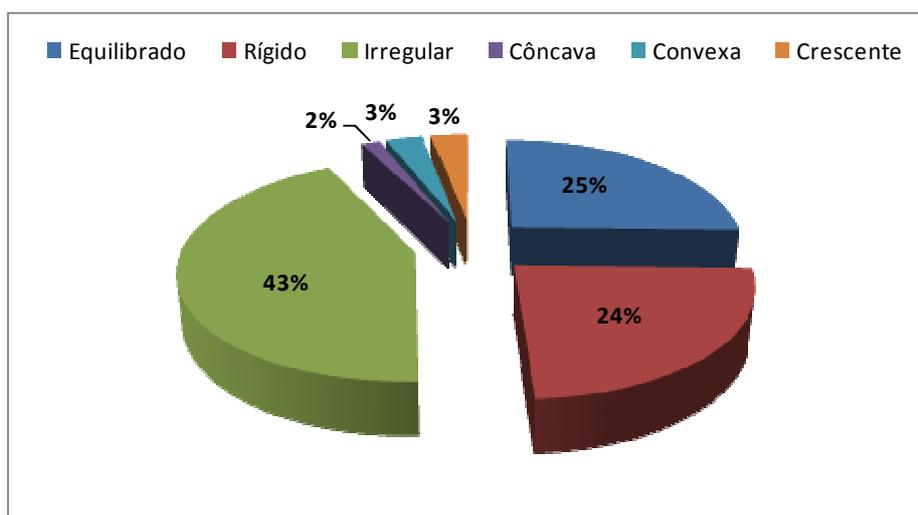
**Figura 83**– Resultado do nível de oscilações rítmicas dos voluntários da sub-amostra da fase enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).

### III – Gráfico de rendimento

A avaliação da qualidade do rendimento no trabalho e a propensão à fadiga é demonstrada no gráfico do teste que permite uma visão mais clara entre a produtividade e o ritmo. O gráfico mostra como o sujeito produz durante a atividade laboral e em que momento demonstra aumento ou diminuição dessa produtividade. Os resultados das análises dos gráficos na sub-amostra neuropsicológica do universo amostral da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) estão apresentados nas **Figuras 84 e 85**.



**Figura 84**– Classificação do traço do gráfico dos voluntários da sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 85**– Classificação do traço do gráfico dos voluntários da sub-amostra neuropsicológica da fase de enchimento (8ª abordagem humana - 67 voluntários).



Na amostra de voluntários avaliados na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), aproximadamente 32% produziram traçado de gráfico de característica irregular ou oscilante, e na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) foram 43% dos voluntários, cuja interpretação é de irregularidade no ritmo de trabalho, pode indicar estresse, falta de ânimo e disposição, motivação deficiente, ou interferência do estado emocional. Dos voluntários avaliados, na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), 17% produziram traçado de gráfico horizontal, constante ou estável compatível com a interpretação de rígido, na fase de enchimento (8ª abordagem humana) foram 24% dos voluntários, o que reflete pessoas obsessivas por detalhes e organização, com rigidez da personalidade. Na população avaliada, na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana), 28% dos voluntários produziram um traçado de gráfico horizontal, constante ou estável compatível com a interpretação equilibrado, e na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) foram 25% dos voluntários, o que indica capacidade e distribuição do tônus muscular de forma organizada e sistemática. Revela realização de trabalho uniforme.

O traçado de gráfico ascendente ou crescente foi produzido por 8% dos voluntários na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e por 3% na fase de enchimento (8ª abordagem humana). Sua interpretação indica prudência diante de uma nova tarefa, mas aumento da produção à medida que o indivíduo se sente mais seguro na situação. Também significa dinamismo e iniciativa.

A produção do gráfico de 5% dos voluntários na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e por 3% na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), foi de formato convexa ou parabólica cuja interpretação é de que expressa ímpeto para iniciar as tarefas, que não se mantém até o final, podendo estar relacionado à falta de planejamento das suas ações e do tempo. A forma do traçado do gráfico de 6% dos voluntários na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e por 2% na fase enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) foi compatível com a classificação côncava cuja interpretação é a de que a produção inicial é mais alta, que diminui por uma falta de disposição durante a atividade e recupera com a continuação da tarefa.

O gráfico do tipo descendente ou decrescente foi de 5% dos voluntários avaliados na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) é indicativo de cansaço, fadiga ou estresse, dificuldade de manter o tônus muscular, falta de ânimo e disposição. Pode refletir também tendência à depressão. Na fase enchimento (8ª abordagem humana) não houve voluntários com este tipo de traçado.



A análise dos resultados apresentados pelos sujeitos, tanto na fase rio quanto na fase de enchimento, mostra que o percentual maior de sujeitos está com ritmo de trabalho irregular, o que pode ser significativo de estresse, falta de ânimo e disposição, motivação deficiente, indicativo de cansaço, fadiga, dificuldade de manter o tônus muscular, falta de ânimo e disposição. Pode refletir também tendência à depressão. Pode indicar também falta de planejamento das suas ações e do tempo.. Seguido de um percentual significativo de pessoas com traços de ritmo de atividade laboral equilibrado, o que indica capacidade e distribuição do tônus muscular de forma organizada e sistemática. Apenas 1% da sub-amostra neuropsicológica da fase rio não realizou o teste.

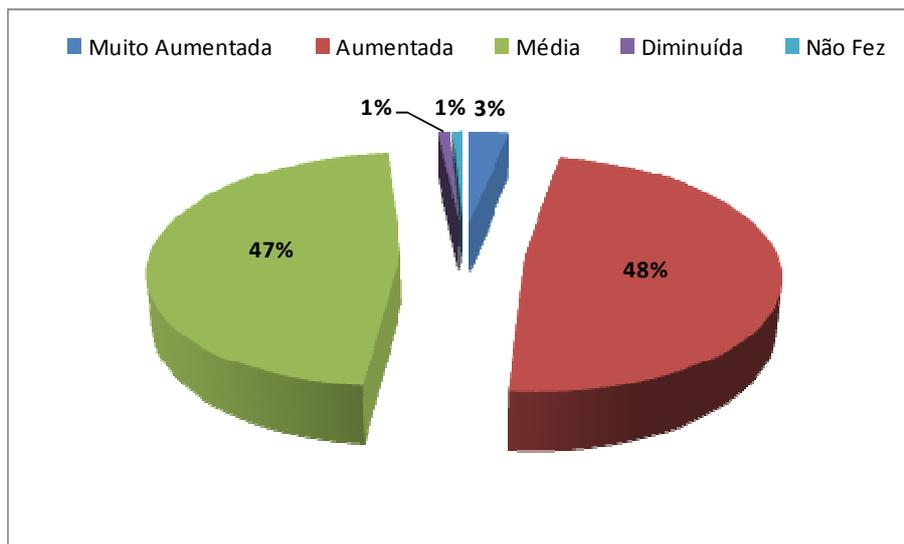
#### IV - Emotividade

A emotividade caracteriza-se por vibrações, choques ou comoções interiores das funções psicológicas e fisiológicas (Vels, 1983). Ela depende das condições do sistema nervoso, sendo normal quando os acontecimentos não repercutem de forma exagerada, as funções orgânicas e psicológicas estão equilibradas e não se produzem sobressaltos nem mudanças bruscas. Quando a emotividade é forte, os choques e as mudanças de ânimo são violentos e as emoções atuam sobre as funções orgânicas e psíquicas excitando ou deprimindo sua atividade. Entretanto se o grau de emotividade é muito baixo, produz um choque lento, retardado e grave, levando à apatia, indiferença e indolência afetiva. Uma pessoa muito emotiva apresenta sempre desproporção entre a causa da emoção e o efeito que ela produz. A emotividade no Palográfico é avaliada por diversas irregularidades no traçado, sendo verificada a presença de cada uma das irregularidades e a intensidade da emotividade será dada pelo número de características presentes, consultando a tabela própria referente aos dados normativos.

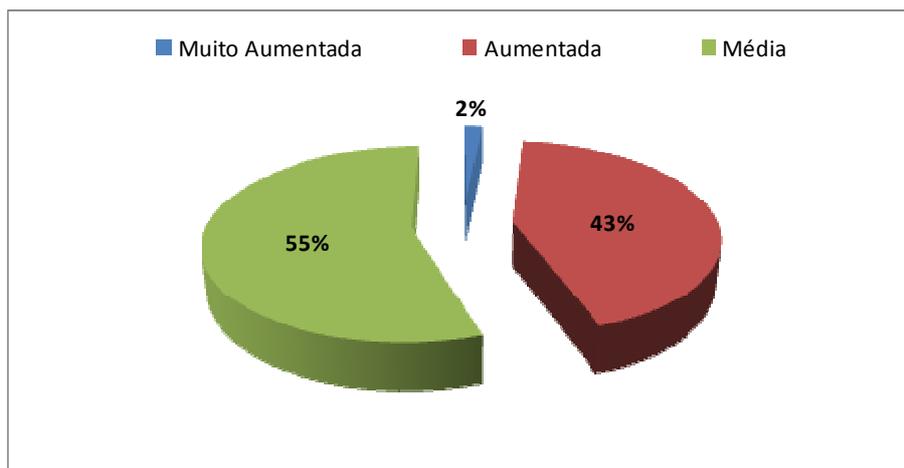
Os resultados das análises de emotividade na sub-amostra neuropsicológica do universo amostral da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) estão apresentados nas **Figuras 86e 87**.

Os resultados de emotividade mostram que o agrupamento das classificações muito aumentada e aumentada corresponde a 51% dos voluntários avaliados na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 45% dos voluntários na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), significando emotividade forte característica de reações exageradas diante dos choques e as mudanças de humor ou ânimo são bruscos e as emoções polarizadas, ora excitando ora deprimindo as atividades das funções orgânicas e psíquicas. Pode-se afirmar que este percentual dos participantes apresenta problemas no funcionamento cerebral, o que

impede que seu sistema nervoso mantenha íntegras as funções psicológicas e fisiológicas. Enquanto que o agrupamento das classificações de emotividade Média ou Normal corresponde a 47% dos voluntários avaliados na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 55% na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), significando reações aos acontecimentos não são exageradas, as funções orgânicas e psicológicas estão equilibradas e não se produzem sobressaltos nem mudanças bruscas. Apenas 1% da sub-amostra neuropsicológica da fase rio apresentou emotividade diminuída e 1% não realizou o teste.



**Figura 86**– Resultado da emotividade na sub-amostra neuropsicológica da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 87**– Resultado da emotividade na sub-amostra neuropsicológica da fase enchimento (8ª abordagem humana - 710 voluntários).

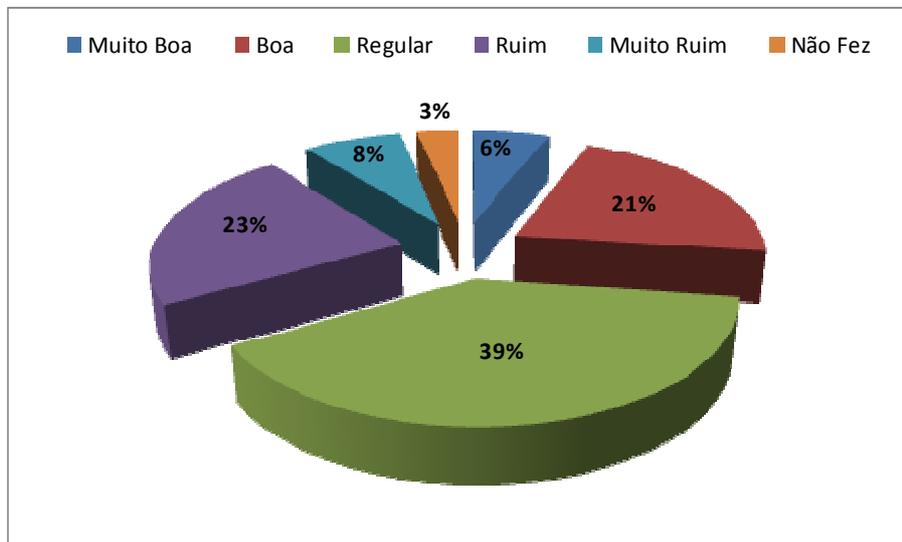
## V – Organização ou ordem

Organização é considerada como uma forma de pensar e de agir de acordo com um plano, método ou regra que avalie relacione os fatos e as coisas de uma maneira clara, coerente, precisa e ordenada. Organizar constitui também procurar uma harmonia no conjunto e uma disposição adequada para se obter o máximo de rendimento, com economia e com um mínimo de esforço. A organização é um sinal de inteligência e de moral e relaciona-se à educação, à cultura e á adaptação. (VELS, 1983)

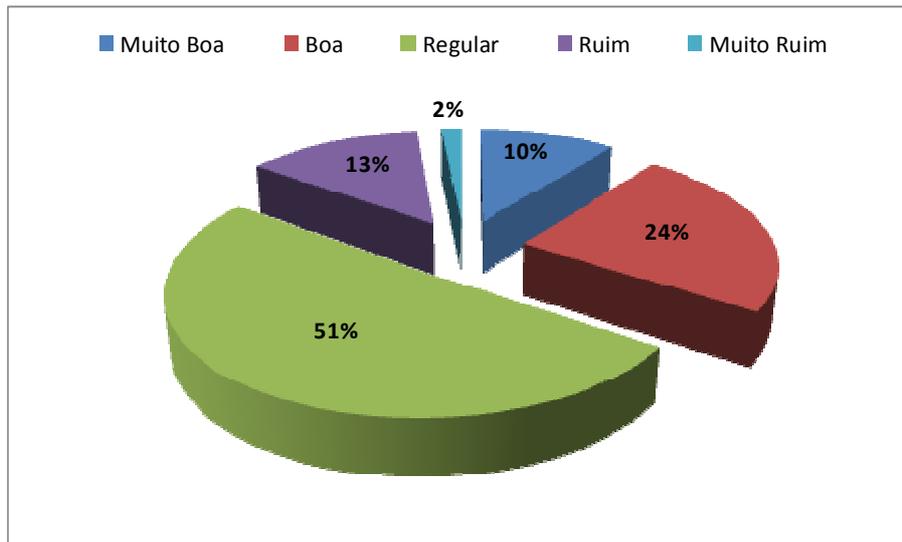
A maturidade psicológica tem como subproduto a harmonia. Há por parte do indivíduo uma separação clara entre fantasia e realidade, entre o possível e o impossível. A harmonia é retratada quando a pessoa mantém certo equilíbrio nas suas reações e/ou comportamento.

Segundo Camargo (1999) a ordem é sinal da capacidade de organização e adaptação às leis e exigências sociais, e categorizar as coisas utilizando a hierarquia dos valores predeterminados.

Os resultados das análises de organização na sub-amostra neuropsicológica do universo amostral da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) estão apresentados nas **Figuras 88e 89**.



**Figura 88**– Resultado de organização ou ordem na sub-amostra da fase rio (1ª a 7ª abordagem humana - 710 voluntários).



**Figura 89**– Resultado de organização ou ordem na sub-amostra da fase de enchimento (8ª abordagem humana - 710 voluntários).

Os resultados obtidos no teste palográfico de ordem indicam que 39% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) são classificados de regular, e 51% na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), que reflete qualidade regular na execução das atividades, sem muita preocupação com a ordem e a apresentação do trabalho. Entretanto, 23% da sub-amostra neuropsicológica, na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 13% na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), foram classificados como ruim, pois apresentam trabalho com baixa qualidade, descuidado e sem método, levando a certa desordem na execução das tarefas. Além disso, mostra falta de objetividade, inconstância e emotividade. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 21% da sub-amostra neuropsicológica e 24% dos voluntários da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) foram classificados como boa, evidenciando boa qualidade na realização das atividades, com esmero e cuidado. Esses voluntários possuem boa capacidade discriminativa, capacidade de realizar trabalho com ordem e método, sendo pessoas com idéias claras, capacidade de reflexão e pensamento lógico, que apresentam autocontrole dos sentimentos pela razão, e o estado de ânimo é geralmente estável. Nos resultados do teste de ordem apenas 8% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 2% dos voluntários da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) receberam a classificação muito ruim, inferindo falta de preocupação com a qualidade do trabalho, não possuindo ordem e método e necessitam de supervisão para executar atividades relativas a minúcias. Apresentam falta de objetividade, desordem moral, inconstância e emotividade alta. Portanto, são pessoas que usam mais a intuição para captar o ambiente e em sua personalidade predominam os componentes

sentimentais. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 6% dos voluntários avaliados foram classificados, quanto à sua organização, como muito boa, enquanto que na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) esse percentual foi maior, 10% da sub-amostra, esses indivíduos possivelmente possuem qualidade excelente na realização dos trabalhos, mostram ordem e método, estética, meticulosidade e boa apresentação. Esta classificação infere boa capacidade discriminativa, respeito em relação aos outros, mas pode mostrar rigidez em algumas atitudes e comportamentos. Revela capacidade de organizar bem as atividades, equilíbrio moral e social. Apenas 3% da sub-amostra neuropsicológica da fase rio não realizou o teste.

Sendo a Organização ou Ordem um quesito do teste que, de acordo com seus autores, revela capacidades e habilidades importantes para garantir um desempenho eficiente com harmonia nas relações humanas, economia de esforço e produção com qualidade e máximo rendimento. Esses autores afirmam que tal item é sinal de inteligência e de moral estando relacionada com a educação, a cultura e a adaptação dos seres humanos.

Segundo Strauss, Barton e Reilly (1995), a atenção pode ser considerada uma função mental complexa que se refere à capacidade do sujeito para focalizar sua mente em algum aspecto ou estímulo do meio ambiente ou do seu conteúdo interno. Nesse sentido, na fase rio 42,57% sub-amostra neuropsicológica e na fase de enchimento do reservatório 54,69% da sub-amostra neuropsicológica apresentam capacidade para utilizar adequadamente a função complexa da atenção concentrada. Revelando assim que as habilidades intelectuais necessárias para a execução da tarefa dada estão com bom funcionamento nesse percentual de sujeitos. Portanto, considerando os resultados obtidos, os baixos escores percentuais dos sujeitos participantes em atenção concentrada podem ter como causas os estados emocionais os quais são responsáveis por aumentar ou diminuir o grau de atenção que uma pessoa coloca sobre determinados estímulos. A seletividade e o direcionamento de nossa atividade mental são mediados também pela importância e interesse por uma determinada tarefa, sendo os complexos processos que formam a capacidade de atenção envolvem atividades e operações intelectuais necessárias para executar a tarefa. Portanto, os resultados numéricos apresentados se devem a problemas emocionais relacionados ao interesse e motivação, como também às dificuldades intelectivas dos voluntários avaliados.

Partindo do pressuposto de que em qualquer tarefa que precise ser realizada ou atividade em que esteja envolvido, é necessário que o indivíduo focalize sua atenção concentrada por um maior intervalo de tempo, a fim de facilitar o processo de aprendizagem, promovendo o bom aproveitamento e a qualidade de seu trabalho, os resultados inferem que um contingente

significativo de sujeitos, sendo 55,41% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 45,31% da sub-amostra neuropsicológica na fase de enchimento do reservatório podem ter prejuízo da qualidade de sua atividade laboral em função das dificuldades em atenção concentrada.

Neste caso é importante analisar as causas de tais problemas que se situam desde a tensão provocada pela realização de uma atividade nova, o estresse de ser avaliado, ou os problemas neurológicos que afetam as percepções, as dificuldades visuais e os problemas de instrução e/ou educação formal que podem impedir a compreensão da instrução do teste, entre outros.

Os resultados alcançados nos testes de atenção difusa e atenção difusa complexa (TEDIF 1, 2 e 3) na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) corroboram as dificuldades dos sujeitos em atenção concentrada, mostrando um percentual de 52,25%, 59,53% e 52,86% respectivamente, dos sujeitos obtiveram resultados abaixo da média ou muito abaixo da média, ou baixa e muito baixa. O mesmo se manifesta na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana), onde se apresentou um percentual 43,75%, 57,81% e 62,50% respectivamente, dos sujeitos obtiveram resultados abaixo da média ou muito abaixo da média, ou baixa e muito baixa na fase rio, deixando evidente que a função cognitiva da atenção está com problemas para a maioria dos sujeitos testados.

A atenção difusa é uma função mental que focaliza simultaneamente diversos estímulos que estão dispersos espacialmente, realizando uma captação rápida de informações e fornecendo um conhecimento instantâneo para o indivíduo e a atenção concentrada um processo que consiste em focar certas porções de uma experiência de modo que elas se tornem mais evidentes e destacadas. Esta capacidade seletiva é fundamental para a manutenção da atividade mental, pois ela controla o processamento da grande quantidade de estímulos provenientes do meio ambiente e do mundo interior que uma pessoa recebe. O fato dos sujeitos apresentarem resultados similares em ambos as funções mentais é coerente, pois no caso do sujeito que não aprendeu ou desenvolveu a habilidade de selecionar estímulos ou porções de uma experiência também não irá conseguir focalizar simultaneamente diversos estímulos numa captação rápida, estando implícito a necessidade da habilidade de selecionar e focalizar.

A memória de curto termo refere-se à capacidade de memorizar ou fixar certas informações, de reter estes dados e em algum momento evocá-los por meio da linguagem escrita ou falada, em curto prazo de tempo estando diretamente relacionado com a aprendizagem. A análise dos resultados do teste de memória de reconhecimento visual de curto prazo mostra que a maioria atingiu as classificações superior, média superior e média (58,51% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 53,13 da sub-amostra neuropsicológica na fase de enchimento)

inferindo indicadores importantes de capacidade de aprendizagem. Considerando o contingente similar de sujeitos que obtiveram desempenho abaixo da média em atenção concentrada e atenção difusa é possível vislumbrar que esses voluntários podem utilizar seu potencial para aprender e melhorar seu desempenho na atenção, com exceção de lesões neurológicas que necessitam de tratamento específico.

No teste palográfico, que é um teste expressivo da personalidade, ao se analisar os resultados dos voluntários, em produtividade, observa-se que é alto o percentual de pessoas situadas na classificação superior, média superior e média (86% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 88% da sub-amostra neuropsicológica na fase de enchimento do reservatório), sendo possível inferir que o nível de produtividade do universo testado é bom com tendência a ser muito bom. Quando avaliado o nível de oscilação no ritmo de produção, no teste palográfico desses voluntários é observado um contingente significativo (64% da sub-amostra neuropsicológica fase rio e 68% dos voluntários na fase de enchimento do reservatório) que apresentaram estabilidade rítmica que permite o desenvolvimento de tarefas com uniformidade, em contrapartida 24% dos voluntários participantes na 1ª a 7ª abordagem humana e 32% dos indivíduos na 8ª abordagem humana, apresentam grandes oscilações no ritmo laboral.

No teste palográfico emotividade, a qual é observada no decorrer de toda a análise dos detalhes gráficos da produção do sujeito, sendo caracterizada pelas irregularidades cometidas pelo voluntário. Portanto, sua importância para a estrutura da personalidade é evidente, uma vez que ela é identificada por oscilações, conflitos ou abalos interiores das funções psicológicas e fisiológicas. No presente estudo a emotividade forte que é compatível com mudanças bruscas de humor e ânimo provocando desequilíbrio das emoções excitando ou deprimindo ou excitando a atividade do voluntário, compareceu em 51% dos voluntários avaliados na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 45% dos voluntários na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana). Por outro lado, 47% dos voluntários avaliados na fase rio e 55% na fase de enchimento do reservatório apresentaram emotividade média sendo normal quando os acontecimentos não repercutem de forma exagerada, as funções orgânicas e psicológicas estão equilibradas e não se produzem sobressaltos nem mudanças bruscas. Portanto, a análise detalhada deste percentual de voluntários indica que, de modo geral, a maior parte dos voluntários da sub-amostra neuropsicológica apresenta bom controle emocional. Outro aspecto de análise importante do teste palográfico é a organização ou ordem, pois, deve-se considerar a organização como uma forma de pensar e de agir de acordo com um plano, método ou regra que avalie e relacione os fatos e as coisas de uma maneira clara, coerente, precisa e ordenada. A

organização é um sinal de inteligência e de moral e relaciona-se à educação, à cultura e à adaptação (VELS, 1983).

Os resultados obtidos na testagem, deste item no teste palográfico pelos participantes da pesquisa, demonstraram que 39% da sub-amostra neuropsicológica na fase (1ª a 7ª abordagem humana) e 51% na fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) receberam a classificação regular que reflete qualidade regular na execução das atividades, sem muita preocupação com a ordem e a apresentação do trabalho, mostrando certa dificuldade em relação a limites. Enquanto que, 23% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 13% na fase enchimento do reservatório foram classificados como ruim, pois apresentaram trabalho com baixa qualidade, descuidado e sem método, levando a certa desordem na execução das tarefas, sendo também mostrada a falta de objetividade, inconstância e emotividade. Nesta sub-amostra neuropsicológica apenas 8% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) e 2% dos voluntários da fase de enchimento (8ª abordagem humana) receberam a classificação muito ruim que revela falta de preocupação com a qualidade do trabalho que não tem ordem, nem método, necessitando de supervisão para executar atividades relativas a minúcias, sendo apresentada a falta de objetividade, desordem moral, inconstância e emotividade. Portanto, são voluntários que usam mais a intuição para captar o ambiente e em sua personalidade predominam os componentes sentimentais. Na fase rio (1ª a 7ª abordagem humana) 21% da sub-amostra neuropsicológica e 24% dos voluntários da fase de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) obtiveram classificação boa, evidencia boa qualidade na realização das atividades, com esmero e cuidado. Possui boa capacidade discriminativa, capacidade de realizar trabalho com ordem e método. Portanto são voluntários com ideias claras, capacidade de reflexão e pensamento lógico, que apresentam autocontrole dos sentimentos pela razão, e o estado de ânimo é geralmente estável. Observa-se também que 6% dos voluntários avaliados na fase rio e 10% da sub-amostra na fase de enchimento do reservatório foram classificados com a classificação muito boa o que indica qualidade excelente na realização dos trabalhos, que mostram ordem, estética, meticulosidade e boa apresentação. Mostra boa capacidade discriminativa, respeito em relação aos outros, mas pode mostrar rigidez em algumas atitudes e comportamentos. Portanto, são voluntários com capacidade de organizar bem as atividades, equilíbrio moral e social.

Sendo a organização ou ordem um quesito do teste que de acordo com seus autores revela capacidades e habilidades importantes para garantir um desempenho eficiente com harmonia nas relações humanas, economia de esforço e produção com qualidade e máximo rendimento.

Afirmam que tal item é sinal de inteligência e de moral e se relaciona com a educação, a cultura e a adaptação dos seres humanos. Tendo como base estes pressupostos, os estudos mostram que 39% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 51% da sub-amostra neuropsicológica na fase de enchimento do reservatório foi na categoria de análise regular o que os posicionam na condição de um nível de organização e ordem nem bom e nem ruim, que indica uma inteligência nem acima e nem abaixo da média, que mostra uma qualidade de desempenho nem bom e nem ruim. Mas que de qualquer forma apresenta um funcionamento geral aceitável e que pode com maior esforço passar à categoria boa, ou descuidar-se e descer para a categoria ruim e em última instância pode acomodar-se e permanecer como regular.

O que se configura como preocupante é o número significativo dos voluntários que se posicionam nas categorias ruim e muito ruim da organização e ordem perfazendo um total de 31% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio e 15% na fase de enchimento do reservatório, pois indica que tais voluntários apresentam baixa qualidade no trabalho, muitas vezes necessitando de supervisão para executar as atividades. Mostram também falta de objetividade, desordem moral, inconstância e emotividade. Têm problemas com os pensamentos e ideias e dificuldade de reflexão e elaborações complexas.

Na personalidade há o predomínio dos componentes sentimentais. Nas categorias, muito boa e boa posicionam-se 27% da sub-amostra neuropsicológica na fase rio do empreendimento e 34% na fase enchimento do reservatório, o que sinaliza qualidade que oscila entre excelente e boa na realização da atividade laboral, ordem, estética, meticulosidade e boa apresentação dos trabalhos, sendo possível inferir boa capacidade discriminativa, respeito nas inter-relações, equilíbrio moral e social.

A avaliação neuropsicológica aplicada durante as fases rio (1ª a 7ª abordagem humana) e de enchimento do reservatório (8ª abordagem humana) possibilitou o mapeamento dos problemas, dificuldades e características de personalidade dos voluntários respondentes. Os aspectos analisados foram distribuídos da seguinte forma: função cognitiva, memória e aprendizagem, coordenação motora, personalidade nos aspectos de produtividade no trabalho, ritmo e oscilação rítmica na realização do trabalho, emotividade (inclusive transtorno de humor e afeto), organização ou ordem. As análises realizadas e descritas ao longo da conclusão evidenciam as disfunções cognitivas, as dificuldades de memória e aprendizagem, os problemas no ritmo de produção laboral e no rendimento no trabalho, os problemas de organização ou ordem que destacam as dificuldades na coordenação motora, na organização da atividade no trabalho e as irregularidades cometidas ao longo dos testes significativas de emotividade aumentada numa

parte significativa dos sujeitos. A bateria de teste neuropsicológica aplicada a sub-amostra neuropsicológica das fases rio e de enchimento do reservatório não evidenciou efeitos neurotóxicos do mercúrio na população avaliada.

## 6. INDICADORES DO PROGRAMA

Os indicadores do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico estão apresentados no **Quadro 02**.

**Quadro 02**– Metas e Indicadores do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Meta	Resumo das atividades	Indicadores
Mensurar variáveis físico-químicas do sistema aquático e hidrológica	Análises dos parâmetros físicos e químicos (ph, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura) trimestral, em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico.	Ph, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido e temperatura em conformidade com a legislação/norma incidente
Análise das espécies de mercúrio na matriz abiótica - água superficial	Análises das espécies de mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG), trimestral durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio reativo (HgR), mercúrio total (HgT) e mercúrio orgânico (HgORG) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análise de mercúrio na matriz abiótica - material suspensão	Análise de mercúrio total (HgT), trimestral durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio total (HgT) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análise de mercúrio nos perfis da matriz abiótica – solo	Análise de mercúrio total (HgT) no perfil de solo (profundidades: 5, 20, 40, 60 e 100 cm) e granulometria, semestral durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio total (HgT) no perfil de solo (profundidades: 5, 20, 40, 60 e 100 cm) e granulometria em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz abiótica – sedimento	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) no perfil (profundidades: 5, 10, 20 e 40 cm) trimestral durante todas as fases do empreendimento.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) no perfil (profundidades: 5, 10, 20 e 40 cm) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio nos perfis da matriz abiótica - sedimento	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) semestralmente durante todas as fases do empreendimento.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica - ictiofauna e mamíferos aquáticos e semiaquáticos	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em consonância com o Programa de Conservação da Ictiofauna e Subprograma da Mastofauna Aquática, do Programa de Conservação da Fauna.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) na matriz biótica aquática e semiaquática em conformidade com a legislação /norma incidente

**Quadro 02 – Metas e Indicadores do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico – Continuação**

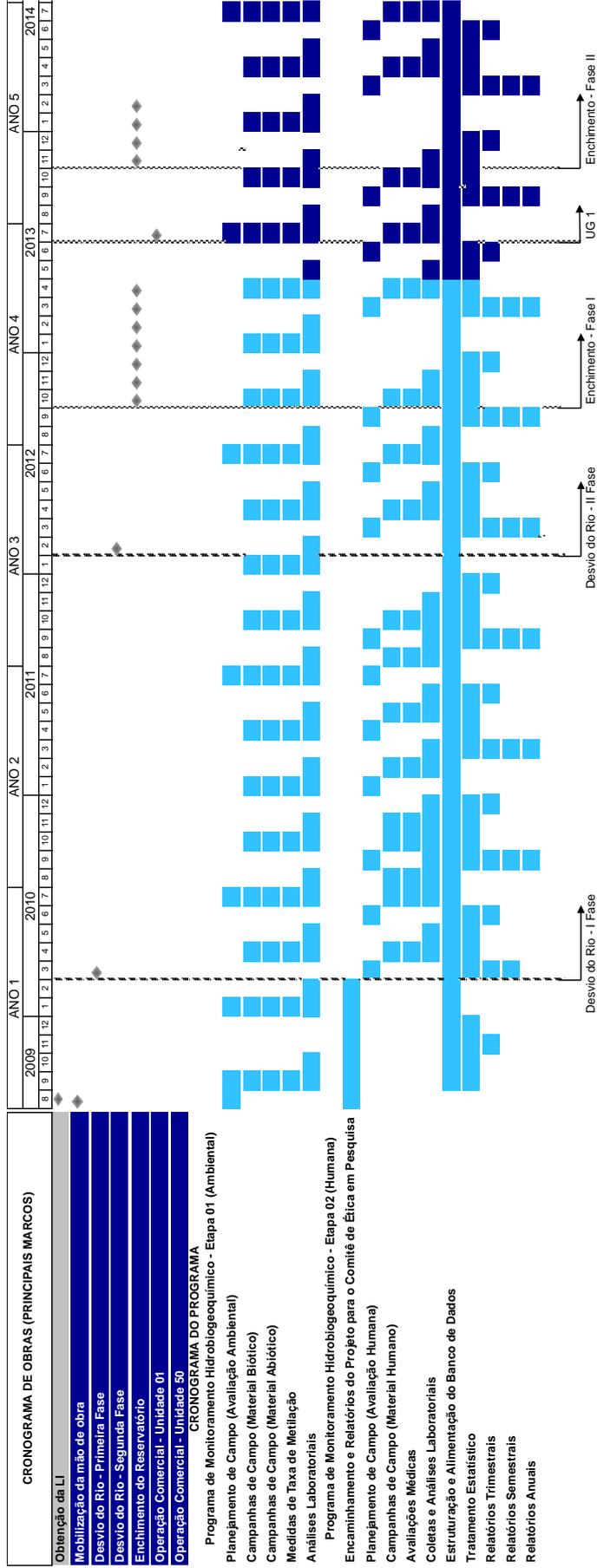
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica - macrófitas aquáticas	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg), trimestral durante todas as fases do empreendimento, em consonância com o Programa de Monitoramento e Controle de Macrófitas Aquáticas.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em macrófitas aquáticas em conformidade com a legislação/norma incidente
Análises das espécies de mercúrio na matriz biótica – fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos	Análises das espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg), trimestral durante todas as fases do empreendimento, em consonância com o Programa de Monitoramento Limnológico.	Espécies de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) na matriz biótica – fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados aquáticos em conformidade com a legislação/norma incidente
Avaliação da taxa de metilação	Avaliação da taxa de metilação no solo, água superficial, sedimento de fundo e nas raízes das macrófitas semestralmente durante todas as fases do empreendimento.	Taxa de metilação no solo, água superficial, sedimento de fundo e nas raízes das macrófitas em conformidade com a legislação/norma incidente
Estudo de saúde humana	Dosimetria de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em cabelo, avaliação clínica médica, avaliação neurológica e avaliação neuropsicológica, semestralmente durante todas as fases do empreendimento.	Mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (Metil-Hg) em cabelo, avaliação clínica médica, avaliação neurológica e avaliação neuropsicológica em conformidade com a legislação/norma incidente
Banco de dados, estatística e integração dos programas de monitoramento	Sistematizar as informações das campanhas de campo e análise de laboratório, análises estatísticas, geoestatística, construção de indicadores de saúde ambiental e ecotoxicologia.	Todos os indicadores analisados durante as campanhas de monitoramento

## 7. INTERFACES DO PROGRAMA

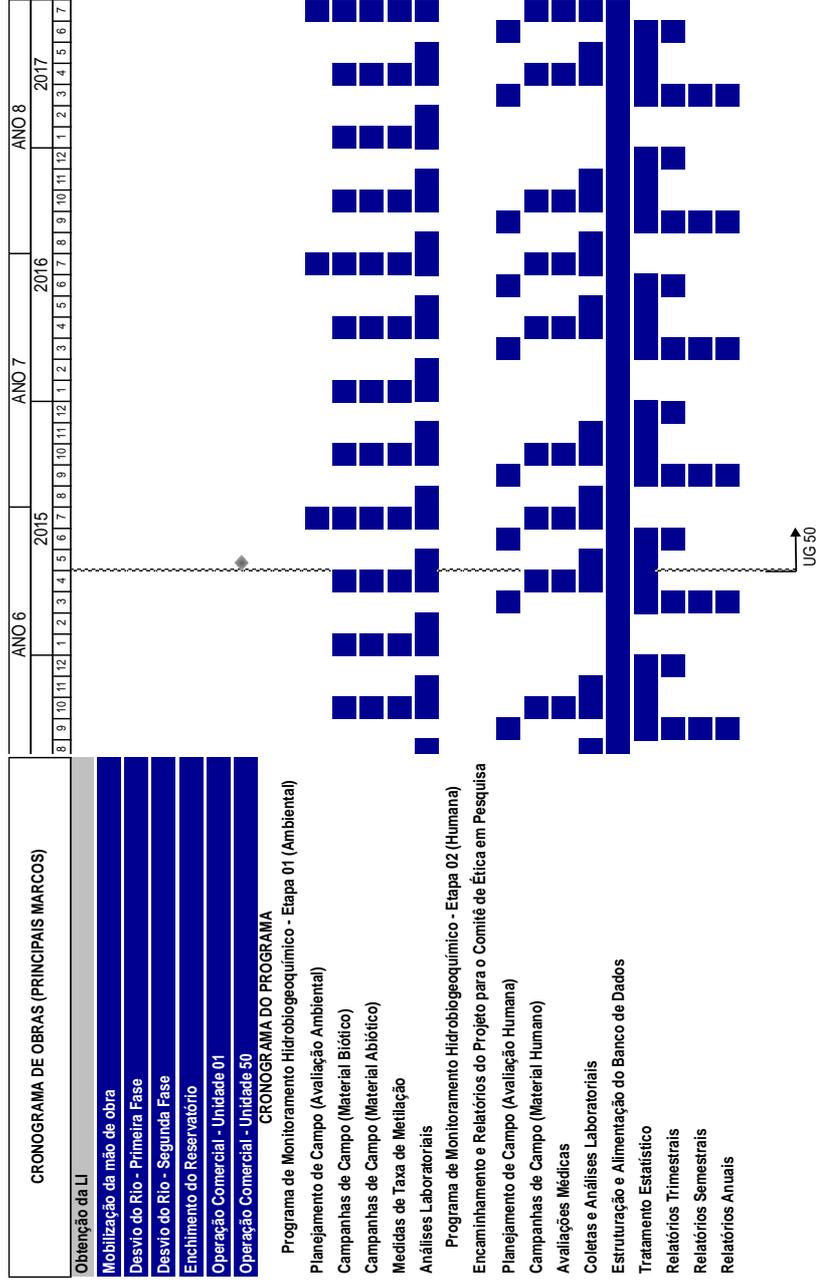
O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico possui interfaces com o Programa de Monitoramento Hidrossedimentológico, Programa de Monitoramento Limnológico, Programa de Monitoramento de Macrófitas Aquáticas, Programa de Conservação e Monitoramento da Ictiofauna, Programa de Conservação da Fauna: Sub-Programa de Etnomofauna, Sub-Programa de Mamíferos Aquáticos e Semiaquáticos, Programa de Controle do Desmatamento, Programa de Comunicação Social, Programa de Saúde Pública, além do Programa Ambiental para Construção (PAC).

## 8. ATENDIMENTO AO CRONOGRAMA DO PROGRAMA

As atividades propostas no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico estão de acordo com o cronograma proposto inicialmente (**Figuras 90 e 91**).



**Figura 90**– Cronograma de atividades do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico – Parte I



**Figura 91** – Cronograma de atividades do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico – Parte II

## 9. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os valores das concentrações de mercúrio total, mercúrio orgânico e mercúrio reativo nas amostras de água superficial na fase rio (setembro de 2009 a julho de 2012) e na fase de enchimento do reservatório (outubro de 2012 a janeiro de 2013) estão de acordo com a literatura para esta matriz na região Amazônica, sendo que o valor da concentração de mercúrio total observado é extremamente abaixo dos níveis preconizados pela legislação brasileira, não evidenciando contaminação pontual deste metal na bacia. As concentrações dos espécimes de mercúrio total e mercúrio reativo foram maiores na fase de enchimento do reservatório em relação à fase rio do empreendimento e nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira. Entretanto as concentrações de mercúrio orgânico foram maiores na fase rio quando comparado a fase enchimento do reservatório, sendo que as comparações múltipla pareadas não indicou a diferenciação entre tributários e calha do rio Madeira.

As concentrações de mercúrio total e metilmercúrio no sedimento no sedimento no rio Madeira e tributários nas fases rio e de enchimento do reservatório estão de acordo com a literatura para estas matrizes na região Amazônica, sendo que os teores de mercúrio total são menores que os valores preconizados pela Resolução CONAMA nº 344/2004. As comparações múltipla pareadas mostram que as concentrações dos espécimes de mercúrio total e metilmercúrio foram maiores na fase de enchimento do reservatório em relação à fase rio do empreendimento e nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira. As concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas áreas lânticas dos tributários apresentaram tendência de maiores valores quando comparados as áreas lólicas dos respectivo tributários.

As comparações múltipla pareadas das concentrações de mercúrio total e metilmercúrio nas matrizes fitoplâncton, zooplâncton e invertebrados mostram maiores valores na fase de enchimento do reservatório em relação à fase rio do empreendimento e nos tributários quando comparado a calha do rio Madeira.

As comparações múltiplas pareadas possibilitaram comparar as fases rio (12 campanhas) e enchimento do reservatório (2 campanhas), entretanto é importante ressaltar que apenas o estudo temporal das espécies de mercúrio nos tributários e calha do rio Madeira nas fases de enchimento do reservatório e operação da UHE Jirau possibilitará a compreensão das possíveis alterações das concentrações das espécies de mercúrio nas matrizes de interesse ambiental em relação as diferentes fases do empreendimento.

Os teores de mercúrio total encontrados nas amostras de peixe analisadas estão abaixo do valor preconizado pela Portaria ANVISA nº. 685 de 27 de agosto de 1998. Os valores observados são concordantes com os resultados das literatura científica para a região Amazônica.

Os estudos de saúde humana apresentaram níveis de mercúrio nos voluntários compatíveis aos relatados pela literatura para a população tradicional da região Amazônica. Com base na estratificação em diferentes faixas de exposição e considerando os limites de exposição publicados pela Organização Mundial de Saúde em 2003, nos 1.594 voluntários amostrados nas fase rio e de enchimento do reservatório (1ª a 8ª abordagem humana) aproximadamente 97% dos voluntários apresentaram níveis de exposição abaixo de  $14 \mu\text{g g}^{-1}$  de Hg no cabelo, ou seja, não apresenta níveis de exposição indicadores de possíveis riscos de neurotoxicidade mercurial. As avaliações clínica médica e neurológica associadas à interpretação da bateria de testes neuropsicológicos não evidenciaram possíveis danos neurotóxicos do mercúrio nos voluntários.

## 10. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AKAGI, H.; MALM, O.; KINJO, Y.; HARADA, M.; BRANCHES, F. J. P.; PFEIFFER, W. C.; KATO, H.;  
Methylmercury pollution in the Amazon, Brazil. *Sci. Total Environ.* 1995, 175, 85.
- AALTO, R.; DUNNE T., GUYOT J.L. Geomorphic controls on Andean denudation rates. *Journal of Geology*,  
114(1): 85-99, 2006.
- BABY P., ROCHAT P., MASCLE G., HÉRAIL G. Neogene shortening contribution to crustal thickening in the  
back arc of the Central Andes. *Geology* 25: 883-886, 1997.
- BARBIERI, FL., GARDON, J. (2009). Hair Mercury Levels in Amazonian Populations: spatial distributions  
and trends. *International Journal of Health Geographics* 8:71.
- BARBOSA, A. C.; DE SOUZA, J.; DOREA, J. G.; JARDIM, W. F.; FADINI, P. S.; *Arch Environ.*  
*Contam. Toxicol.* 2003, 45, 235.
- BARRETO, W.J; SCARMINIO, I.; SOLCI, M.C.; ISHIKAWA, D.N.; OGASAWARA, M.T.; NOMI, S.N; BARRETO,  
S.R.G. (2007) Analysis of physical and chemical parameters for discrimination of water origin in a  
hydroelectric reservoir. *Clean-Soil Air Water*, 35: 239-245.
- BARRETO, W.J; SCARMINIO, I.; SOLCI, M.C.; ISHIKAWA, D.N.; OGASAWARA, M.T.; NOMI, S.N; BARRETO,  
S.R.G. (2007) Analysis of physical and chemical parameters for discrimination of water origin in a  
hydroelectric reservoir. *Clean-Soil Air Water*, 35: 239-245
- BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; OLIVERIA, R.C.; NASCIMENTO, E.L.; BERNARDI, J.V.E.;  
LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G.; PFEIFFER, W.C. Mercury in the environment and riverside population  
in the Madeira River basin, Amazon, Brazil. *Science of the Total Environment* 2006, 368, 344.



- BERNARD, P.; ANTOINE, L.; BERNARD, L. Principal component analysis: an appropriate tool for water quality evaluation and management-application to a tropical lake system. *Ecological Modelling* 2004, 178, 295.
- BERNARDI, J.V.E.; FOWLER, H.G.; LANDIM, P.M.B. Um estudo de impacto ambiental utilizando análises estatísticas espacial e multivariada. *Holos Environmental* 2001, 1, 162.
- BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; MANZATOO, A.G.; BASTOS, W.R. Aplicação da análise das componentes Principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no Alto Rio Madeira e afluentes, Amazônia Ocidental. *Geochimica Brasiliensis* 2009, 23, 079.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W. F.; Production of organic mercury from Hg<sup>0</sup>: Experiments using microcosms *Braz. Chem. Soc.* 2004, 14, 242.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente *Química Nova* 2007, 27, 593.
- BISINOTI, M. C.; JARDIM, W.F. Production of organic mercury from Hg<sup>0</sup>: experiments using microcosms. *J. Braz. Chem. Soc.* 2003, 244
- BISINOTI, M. C.; SARGENTINI JUNIOR, E.; JARDIM, W.F. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil *J. Brazilian Chem. Soc.* 2007, 18, 544.
- BOISCHIO, A. A. P., BARBOSA, A. Exposure to Organic Mercury in Riparian Populations on the Upper Madeira River, Rondonia, Brazil, 1991: Preliminary Results. *Cad. Saúde Públ* 1993, 9, 155.
- BOUDOU, A., DOMINIQUE, Y., CORDIER, S., FRERY, N., (2006). Les chercheurs d'or et la pollution par le mercure en Guyane Française: conséquences environnementales et sanitaires. *Environnement, Risques, et Santé* 5(3): 167-179.
- BOURGOIN, L.M.; QUIROGA, I.; CHINCHEROS, J.; COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations *The Science of the Total Environment* 2000, 260, 73.
- BRABO, E. S.; SANTOS, E. D.; DE JESUS, I. M.; MASCARENHAS, A. F. S.; FAIAL, K. D.; *Environ. Res.* 2000, 84, 197.
- BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA RESOLUÇÃO CONAMA nº 357, Brasília, 2005
- BRASIL. Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004/Ministério da Saúde – Brasília, Editora do Ministério da Saúde, 2005.
- CASTILHOS, Z. C.; BIDONE, E. D.; HARTZ, S. M.; *BULL. ENVIRON. CONTAM. TOXICOL.* 2001, 66, 631.

- CETESB – COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, DECISÃO DE DIRETORIA Nº 195-2005- E, de 23 de novembro de 2005, São Paulo, 2005
- DEBELS, P.; FIGUEROA, R.; URRUTIA, R.; BARRA R.; NIELL, X. (2005) Evaluation of water quality in the Chilla River (central Chile) using physicochemical parameters and a modified water quality index. *Environmental Monitoring and Assessment* 2005,110, 301.
- DOREA, J. G.; MOREIRA, M. B.; BARBOSA, A. A. C.; *Biol. Trace Elem. Res.* 1998, 65, 211.
- DUNN O.J. Multiple Comparisons Using Rank Sums. *Technometrics*, 6(3): 241-252, 1964.
- ELDAW, A.K.; SALAS, J.D.; GARCIA, L.A. Long-range forecasting of the Nile River Flows Using Climatic Forcing. *Journal of Applied Meteorology* 2003, 27, 890.
- FADINI, P.S. & JARDIM, W.F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci. Tot. Environ.* 275:71-82, 2001.
- Garcia, E. and Carignan R. 1999. Impact of wildfire and clear-cutting in the boreal forest on methyl mercury in zooplankton. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 1999, 56, 339
- GRANDJEAN, P., CORDIER, S., KJELLSTRÖM, T., WEIHE, P., JØRGENSEN, E. (2005). Health Effects and Risk Assessment. *In: DYNAMICS OF MERCURY POLLUTION ON REGIONAL AND GLOBAL SCALES: Part-IV*, 511-538, DOI: 10.1007/0-387-24494-8\_22.
- GUIMARÃES, J. R. D.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; MELFI, J. Á.; KEHRIG, H.; MAURO, J. B. N.; MALM, O.; KRUG, J. F.; Mercury in human and environmental samples from two lakes in Amapá, Brazilian Amazon *Ambio* 1999, 28, 296.
- GUIMARÃES, J. R. D.; MEILI, M.; MALM, O.; BRITO, E. M. D. Hg methylation in sediments and floating meadows of a tropical lake of the Pantanal Wetland, Brazil *Sci. Total Environ.* 1998, 213, 165.
- GUIMARÃES, J. R. D.; ROULET, M.; LUCOTTE, M.; MERGLER, D. Mercury methylation along a lake–forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations *Sci. Total Environ.* 2000, 261, 91.
- GUIMARÃES, J.R.D.; Malm, O.; Pfeiffer, W.C. (1995). A simplified radiochemical technique for measurements of net mercury methylation rates in aquatic systems near goldmining areas, Amazon, Brazil. *Sci. Total Environ.*, 175, 151-162.
- GUYOT, J.L.; JOUANNEAU, J.M.; WASSON, J.G. (1999) Characterization of river bed and suspended sediments in the Madeira River drainage basin (Bolivian Amazonian), *Journal of South American Earth Sciences*, 1999, 12, 401.
- GUYOT J.L., CALLE H., CORTES J., PEREIRA M. Transport de matières dissoutes et particulaires des Andes vers le Rio de La Plata par les tributaires boliviens (rios Pilcomayo et Bermejo) du Rio Paraguay. *Hydrological Sciences Journal*, 35(6): 653-665, 1990.

- GUYOT J.L., FILIZOLA N., QUINTANILLA J., CORTEZ J. Dissolved solids and suspended sediment yields in the Rio Madeira basin, from the Bolivian Andes to the Amazon. *Erosion and Sediment yield : Global and Regional Perspectives*, IAHS Publ. 236: 55-63, 1996.
- GUYOT J.L., ROCHE M.A., NORIEGA L., CALLE H., QUINTANILLA J. Salinities and Sediment Transport in the Bolivian Highlands. *Journal of Hydrology*, 113: 147-162, 1990.
- HACON, S., BARROCAS, PRG., VASCONCELLOS, ACS., BARCELLOS, C., WASSERMAN, JC., CAMPOS, RC., RIBEIRO, C., AZEVEDO-CARLONI, FB. (2008). An overview of mercury contamination research in the Amazon Basin with an emphasis on Brazil. *Cadernos de Saúde Pública*, Rio de Janeiro 24(7): 1479-1492.
- HOLLANDER M.; WOLFE D. A. *Nonparametric Statistical Methods*, Second Edition. John Wiley and Sons, New York, 1999.
- JECFA (Joining FAO/WHO Expert Committee on Food Additives). Sixty-first Meeting, Rome 10-19 2003. Summary and Conclusions. Available from URL: <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>. Acessado em 22 de dezembro de 2011.
- Joint FAO/WHO Expert Committee on Food Additives. 2003. Sixty-first meeting. Summary and conclusions. <ftp://ftp.fao.org/es/esn/jecfa/jecfa61sc.pdf>.
- KELLY, H., RIDDELL, MA., GIDDING, HF., NOLAN, T., GILBERT, GL., (2002). A random cluster survey and a convenience sample give comparable estimates of immunity to vaccine preventable diseases in children of school age in Victoria, Australia. *Vaccine* 20: 3130-3136.
- LACERDA, L. D.; BIDONE, E. D.; GUIMARÃES, A. F.; PFEIFFER, W. C. Mercury concentrations in fish from the Itacaiunas-Parauapebas River system, Carajas region, Amazon. *An. Acad. Bras. Cienc.* 1994, 66, 373.
- LACERDA, L.D.; MALM, O. Contaminação por mercúrio em ecossistemas aquáticos: uma análise das áreas críticas *Estudos Avançados* 2008, 22, 173.
- LAWRENCE A.L.; MASON R.P. Factors controlling the bioaccumulation of mercury and methylmercury by the estuarine amphipod *Leptocheirus plumosus*. *Environ Pollut* 2001;111, 217.
- LECHLER, P.J.; MILLER, J.R.; LACERDA, L.D.; VINSON, D.; BONZONGO, J.C.; LYONS, W.B.; WARWICK, J.J. Elevated Mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? *The Science of the Total Environment* 2000, 260,87.
- LEHMANN E.L. *Nonparametrics: Statistical Methods Based on Ranks*. Holden-Day, San, 1975.
- M. D. Rennie, N. C. Collins, C. F. Purchase, and A. 2005. Tremblay Predictive models of benthic invertebrate methylmercury in Ontario and Quebec lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 62(12): 2770–2783.



- MAIDMENT D.R., REED S.M., AKMANOV S., MCKINNEY D.C., OLIVERA F., Ye Z. Digital atlas of the world water balance. Center for Research in water Resources, University of Texas at Austin, 1997.
- MALM, O. ; GUIMARÃES, J.R.D. ; CASTRO, M.B. ; BASTOS, W.R. ; VIANA, J.P. ; SILVEIRA, E.G.; PFEIFFER, W.C. Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajós basins, Amazon, Brasil..Water, Air and Soil Pollution 1997, 97,45.
- MALM, O. Gold Mining as a Source of Mercury Exposure in the Brazilian Amazon. Environmental Research.1998, 77, 73.
- MARTINELLI, L.A.; FERREIRA, L.R.; FORSBERG, B.R.; VICTORIA, R.L. Mercury contamination in the Amazon: a gold rush consequence *Ambio* 1988, 17, 252.
- MAURO, J.B.N.; GUIMARÃES, J.R.D. & MELAMED, R. Mercury methylation in macrophyte roots of a tropical lake. *Water Air Soil Pollut.*, 127:271-280, 2001
- MILES, J.T. A.; Eagles- Smith, A.C. Invertebrate mercury bioaccumulation in permanent, seasonal, and flooded rice wetlands within California's Central Valley. *Science of The Total Environment* 2010, 48, 666.
- NACIMENTO, E.L.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; BASTOS, W.R.; BERNARDI, J.V.E.; MIYAI, R.K. Mercúrio no plâncton de um lago natural amazônico, lafoPuruzinho (Brasil)*J. Braz. Soc. Ecotoxicol.* 2007, 2, 67.
- NEMENYI P. Distribution-Free Multiple Comparisons. Unpublished Ph.D Thesis, 1963.
- PAK, K. R.; BARTHA, R.; *Appl. Environ. Microbiol.*1998, 64, 1013.
- PASSOS, C.J.S., MERGLER, D., FILLION, M., LEMIRE, M., MERTENS, F., GUIMARÃES, J.R.D., PHILLIBERT, A. (2007). Epidemiologic confirmation that fruit consumption influences mercury exposure in the Brazilian Amazon. *Environmental Research* 105: 183-193.
- PASSOS, C J S ; MERGLER, D. Human mercury exposure and adverse health effects in the Amazon: a review. *Cad. Saúde Pública* 2008, 24, 503
- PFEIFFER, W.C.; LACERDA, L.D.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; SILVEIRA, E.G.; BASTOS, W.R. Mercury concentrations in inland waters of Rondonia Amazon, Brazil. *Sci. Tot. Environ.* 1989, 87, 233.
- RENNIE, M. D.; Collins ,N. C.; Purchase, C. F.; 2005. Tremblay Predictive models of benthic invertebrate methylmercury in Ontario and Quebec lakes. *Can. J. Fish. Aquat. Sci.* 2005, 62, 2770.
- ROCHA, J.C.; ROSA, A.H.; CARDOSO, A.A. (2004) *Introdução à Química Ambiental* Makron Books, São Paulo.
- ROCHA, J.C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; ZARA, L.F.; ROSA, A.H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - A possible process of the mercury cycle in Brazil *Talanta* 2000, 53, 551.

- ROCHA, J.C.; SARGENTINI JÚNIOR, É.; ZARA, L.F.; ROSA, A.H.; SANTOS, A.; BURBA, P. Reduction of mercury(II) by tropical river humic substances (Rio Negro) - Part II. Influence of structural features (molecular size, aromaticity, phenolic groups, organically bound sulfur) *Talanta* 2003, 61, 699.
- ROCHAT, P., HÉRAIL, G., BABY P, MASCLE, G. Bilan crustal et contrôle de la dynamique érosive et sédimentaire sur les mécanismes de formation de l'Altiplano. *C. R. Acad. Sci. Paris, Sciences de la terre et des planètes/ Earth and Planetary Sciences*, 328: 189-195, 1999.
- ROCHE M.A., FERNANDEZ C., ALIAGA A., PEÑA J., SALAS E., MONTAÑO J.L. Balance hídrico de Bolivia. Publ. UNESCO-PHICAB, 16 p. Second Edition. McGraw-Hill, New York, 1992.
- SANTOS, ECO., JESUS, IM., BRABO, ES., FAYAL, KF., FILHO, GCS., LIMA, MO., MIRANDA, AMM., MASCARENHAS, AS., SÁ, LLC., SILVA, AP., CÂMARA, VM., (2003). Exposição ao mercúrio e arsênio nos Estados da Amazônia: síntese dos estudos do Instituto Evandro Chagas/FUNASA. *Revista Brasileira de Epidemiologia* 6(2): 171-185.
- SIEGEL S.; CASTELLAN N. J. *Nonparametric Statistics for the Behavioral Sciences*, 1988.
- SIOLI, H. (1985) *Amazônia. Fundamentos da Ecologia da Maior Região de Florestas Tropicais*, Editora Vozes: Petrópolis.
- SOUZA, J. R.; BARBOSA, A. C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia Química Nova na Escola 2000, 12, 3
- STEFFAN, R. J.; KORTHALS, E. T.; WINFREY, M. R.; *Appl. Environ. Microbiol.* 1988, 54, 2003.
- STEIN, E. D.; COHEN, Y.; WINER, A. M.; *CRC Crit. Rev. Environ. Sci. Technol.* 1996, 26, 1996
- STORDAL, M. C.; GILL, G. A.; *Water, Air, Soil Pollut.* 2005, 80, 725
- SUCHANEK T. H.; RICHESON P. J.; HOLTS L. J.; LAMPHERE B. A.; WOODMANSEE C. E.; SLOTTON D. G.; HARNER E. J.; WOODWARD L. A. Impacts of mercury on benthic invertebrate populations and communities within the aquatic ecosystem of Clear Lake, California. *Journal Water, Air, & Soil Pollution* 1995, 80, 951.
- T. H. Suchanek, P. J. Richerson, L. J. Holts, B. A. Lamphere, C. E. Woodmansee, D. G. Slotton, E. J. Harner and L. A. Woodward. 1995. Impacts of mercury on benthic invertebrate populations and communities within the aquatic ecosystem of Clear Lake, California. *Journal Water, Air, & Soil Pollution*, Volume 80, Numbers 1-4, 951-960.
- WASSERMAN, J. C.; AMOUROUX, D.; WASSERMAN, M. A. V.; DONARD, O. F. X.; *Environ. Technol.* 2002, 23, 899
- WATRAS, C. J., BLOOM, N. S. Mercury and methylmercury in individual zooplankton: implications for bioaccumulations. *Limnol. Oceanogr.*, 1992, 6, 1313.

- Watras, C.J. Back, R.C. Halvorsen, S. Hudson, R.J.M. Morrison K.A. and Wentz, S.P. 1998. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. Science of The Total Environment Volume 219, Issues 2-3, 183-208.
- WATRAS, C.J. Back, R.C. Halvorsen, S. Hudson, R.J.M. Morrison K.A. and Wentz, S.P. 1998. Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. Science of The Total Environment 1998, 219, 183.
- ZELINSKI, EM., BURNIGHT, KP., LANE CJ., (2001). The Relationship Between Subjective and Objective Memory in the Oldest Old: Comparisons of Findings From a Representative and a Convenience Sample. J Aging Health 13(2): 248-266.
- ZIZEK, S.; HOVAT, M.; GIBICAR, D.; FAJON, V.; TOMAN, M.J. Bioaccumulation of Mercury in benthic communities of a river ecosystem affected by Mercury mining Science of the Total Environment 2007, 377, 407.

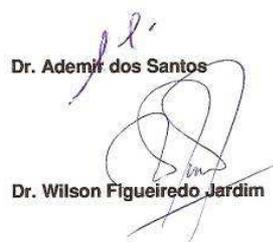
## 11 .EQUIPE TÉCNICA DE TRABALHO

<i>Profissional</i>	<i>CTF/IBAMA</i>	<i>Qualificação</i>	<i>Função no Contrato</i>	<i>Participação (%)</i>
Luiz Fabricio Zara	485251	Doutor/Químico	Coordenador geral	100
Ademir dos Santos	2132749	Doutor/Químico	Especialista em análise de campo	100
Julio Cesar Rocha	5185347	Doutor/Químico	Especialista em mercúrio na Amazônia	100
Wilson Figueiredo Jardim	5397904	Doutor/Químico	Especialista em mercúrio na Amazônia	100
José Vicente Elias Bernardi	5185340	Doutor/Ecologia	Especialista em Geoestatística e Banco de Dados	100
Carlos José de Souza Passos	5185323	Doutor/Ciências Ambientais	Especialista em estudos de saúde humana	100
Vanessa PesaFranzini	5185340	Doutora/Química	Especialista em análise de mercúrio	100
Livia Marcela Santos	5350517	Doutora/Médica	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Valeria Vasconcellos Serra	5183767	Mestre/Psicóloga	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Clarisse Vasconcellos Serra	5183831	Mestre/Psicóloga	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Vera Lucia Damasio Simões	5183830	Mestre/Psicóloga	Estudo de Saúde Humana - Neuropsicologia	100
Ednaldo R. Souza	5185380	Téc. em Química	Analista laboratorial	100
Wilyane Figueiredo	5185391	Gestão Ambiental	Analista em SIG	100
Tania Machado	4340910	Gestão Ambiental	Analista em SIG	100

Goiânia, 24 de janeiro de 2012



Dr. Luiz Fabricio Zara



Dr. Ademir dos Santos



Dr. Julio César Rocha



Dr. Wilson Figueiredo Jardim

# ANEXO I



**Título do Projeto:** Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Mercúrio(Hg) e de Riscos à Saúde Humana.

**Coordenadores :** Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara, Coordenador Geral  
Prof. Dr. Carlos J.S. Passos, Coordenador de Saúde Humana

**Endereço dos pesquisadores responsáveis**  
Faculdade UnB Planaltina  
Universidade de Brasília  
Área Universitária 1, Vila N. Sra. de Fátima  
73.300-0000, Planaltina - DF  
Fones: 0xx61.3308.5185 / 1390  
Fax: 0xx61.3389.2601 / 3466  
Email: [cjpassos@unb.br](mailto:cjpassos@unb.br)

**Centro de Informações de Mutum**  
Rua da Pista, 159  
Tel: (69) 3237-3067  
**Ligação Gratuita: 0800 647 7747**

**Voluntário N<sup>o</sup>:** \_\_\_\_\_

### **Termo de Consentimento Livre e Esclarecido**

Você está sendo convidado(a) a participar de um programa ambiental de monitoramento biológico, cujos detalhes são os seguintes:

A exposição (contato) de populações ribeirinhas ao mercúrio (Hg) na região amazônica, principalmente vinda do consumo de peixes, já é conhecida há muitos anos. Além do Hg utilizado nos garimpos de ouro e/ou presentes naturalmente nos solos da Amazônia, esta substância pode também se encontrar no meio ambiente de usinas hidrelétricas após o enchimento dos reservatórios. Assim, neste programa de monitoramento nós pretendemos avaliar a quantidade de Hg em diversas partes do ambiente da região da usina hidrelétrica, e também em amostras de cabelo da população local a fim de assegurarmos que não haverá problemas de saúde humana devido à exposição ao Hg.

Este programa envolve profissionais da empresa VENTURO CONSULTORIA AMBIENTAL, visando a condução do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau, sob coordenação geral do Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara, da Faculdade UnB Planaltina, Universidade de Brasília.

Sua participação no programa se dará da seguinte maneira:

Será coletada uma amostra de cabelo (uma pequena mecha) por enfermeiro(a) devidamente treinado(a) no procedimento, utilizando-se uma pinça e tesoura inoxidável devidamente esterilizada, não havendo portanto qualquer risco de contaminação para você. Este cabelo será utilizado para realizar o exame da quantidade de Hg no seu corpo.

Também pedimos que você responda um questionário que abrange questões sobre: perfil sócio-demográfico, história médica ambiental e ocupacional, morbidade referida, fatores de risco de adoecimento, além de hábitos sociais, culturais e alimentares.

Por fim, solicitamos que você se submeta a uma consulta com o profissional médico integrante de nossa equipe a fim de que este possa avaliar seu estado geral de saúde, particularmente em relação à exposição ao Hg.

As medidas dos níveis de concentração de elementos traço e mercúrio serão realizadas pela Venturo Consultoria Ambiental, em parceria com o Instituto de Química

de Araraquara, Universidade do Estado de São Paulo - UNESP, coordenado pelo Prof. Dr. Julio Cesar Rocha.

Os benefícios de sua participação neste programa serão a obtenção de informações sobre a quantidade de substâncias químicas(metais) presentes no seu corpo, o acesso a um profissional médico que lhe instruirá sobre os resultados dos exames e avaliará seu estado geral de saúde com os devidos encaminhamentos, além de orientações gerais de outros profissionais da equipe quanto à problemática geral da presença de Hg no meio ambiente.

Assumimos que você compreende que os dados obtidos neste programa podem ser publicados, à condição que seu nome ou identificação não sejam revelados. Para manter a confidencialidade de seus registros, nossa equipe manterá sua identidade em forma de número e seus dados serão guardados dentro de envelopes, aos quais somente membros da coordenação terão acesso.

Nossa equipe não provê qualquer remuneração por sua participação voluntária no programa. Quaisquer dúvidas que você tiver em relação ao programa ou à sua participação, antes ou depois do seu consentimento, serão respondidas pela empresa Venturo Consultoria Ambiental.

### **CONSENTIMENTO**

Eu li as informações acima, recebi as explicações sobre a natureza, demanda, riscos e benefícios do programa. Assumo conscientemente os riscos envolvidos e compreendo que posso retirar meu consentimento e interromper minha participação a qualquer momento, sem penalidade ou perda de benefício.

Eu, \_\_\_\_\_, ao assinar o presente termo, estarei consentindo à utilização da amostra de cabelo para a análise de elementos traço (metais) e em específico mercúrio, cujas informações sejam, confidencialmente, utilizadas para fins do programa de monitoramento biológico que me foi apresentado.

---

Assinatura do (a) voluntário (a)

Data: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_\_

Voluntário N°: \_\_\_\_\_

**Questionário Estruturado para Coleta de Dados Humanos na Região de  
Abrangência do AHE-Jirau, Bacia do Rio Madeira – Rondônia**

**Data de Nascimento:** \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_

**Idade:** \_\_\_\_\_

**1) Sexo:**

Masculino  Feminino

**2) Altura:** \_\_\_\_\_ **Peso:** \_\_\_\_\_

**3) Grau de instrução:**

**Até que série você estudou?** \_\_\_\_\_

Analfabeto  Fundamental incompleto  Fundamental completo  
 2° grau incompleto  2° grau completo  Superior incompleto  
 Superior completo

**4) Onde mora:** \_\_\_\_\_ **Coordenadas geográficas:** \_\_\_\_\_

**5) Tempo de residência** (marque apenas uma opção):

**Faz quantos anos que você mora nesse local?** \_\_\_\_\_

De 1 a 5 anos  De 5 a 10 anos  Mais de 10 anos

**6) Já morou em outro lugar nos últimos 10 anos? Onde? Por quanto tempo?**

**7) Já teve Malária?**

Sim  Não **Quantas?** \_\_\_\_\_

**8) Trabalha?**  Sim  Não

**Tipo de atividade realizada?** \_\_\_\_\_

**9) Tempo de serviço** (marque apenas uma opção):

Menos de 1 ano  De 1 a 5 anos  De 6 de 15 anos  Mais de 16 anos

**VoluntárioNº:**

**10) Trabalha no garimpo de ouro?**

Sim       Não

**11) Já trabalhou no garimpo de ouro?**

Sim       Não

**12) Tempo de serviço no garimpo de ouro**

Menos de 1 ano       De 1 a 5 anos       De 6 de 15 anos       Mais de 16 anos

**13) Tem algum tipo de problema de visão?**

Sim       Não       Nunca consultou o médico, mas não enxerga bem

**14) Tem dificuldades para dormir?**

Sim       Não

**15) Aspectos Cognitivos**

**Em relação à memória você observa se ocorrem esquecimentos frequentes no seu dia-a-dia?**

Sim       Não

**Apresenta dificuldade de se concentrar, por algum tempo, em conversas, TV, rádio, explicações de professores ou outras pessoas?**

Sim       Não

**Apresenta dificuldade em prestar atenção ao ler textos ou livros?**

Sim       Não

**Apresenta dificuldade em compreender o que lê?**

Sim       Não

**Apresenta dificuldade para escrever, copiar, redigir ou produzir textos?**

Sim       Não

**Apresenta dificuldade em realizar operações matemáticas envolvendo as quatro operações?**

Sim       Não

**Apresenta dificuldade para escutar?**

Sim       Não



**Voluntário N°:** \_\_\_\_\_

**16) Você fuma?**

Sim       Não

**Fuma há quanto tempo?** \_\_\_\_\_

**Quantos cigarros por dia?** \_\_\_\_\_

**17) Já fumou?**

Sim       Não

**Fumou desde que idade?** \_\_\_\_\_

**Parou com quantos anos?** \_\_\_\_\_

**18) Você consome bebida alcoólica?**

Sim       Não

**19) Com qual frequência consome bebida alcoólica?**

Diariamente       2 vezes/ semana       3 vezes/semana       final de semana

Datas comemorativas

**20) Você achou estas perguntas difíceis de serem respondidas?**

Sim       Não

**21) Alguma pergunta deixou você constrangido e deveria ser retirada?**

Sim       Não      **Qual o número da pergunta?** \_\_\_\_\_

**Dados da História de Vida**

---

---

---

---

---

---

---

---

---

---

## ANEXO II



Voluntário N<sup>o</sup>: \_\_\_\_\_

## Inquérito Alimentar Recordatório

### 1) Quais desses alimentos você come com mais frequência?

Carne                       Peixe                       Porco                       Frango

### 2) Costuma comer peixe?

Sempre                       Algumas vezes                       Raramente                       Não come

### 3) Quantas vezes durante a última semana você se alimentou de peixe?

De maneira geral, qual porção de peixe você consome? \_\_\_\_\_ g

Peixes	Número de refeições para cada dia							Total
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	
Aracu								
Barba chata								
Barbado								
Branquinha								
Caratinga								
Charuto / Flexeira								
Curimatá								
Curvina								
Dentudo / Cangoia								
Dourada								
Filhote								
Jaraqui								
Jatuarana								
Mapará								
Pacu								
Pescada								
Piau								
Piranha								
Pirarucu								
Sarda / Apapá								
Surubim								
Tambaqui								
Traira								
Tucunaré								
Ova de peixe Qual peixe?								
Outros								

**4) Quantas vezes você comeu carne durante a última semana?**

De maneira geral, qual porção de carne você consome? \_\_\_\_\_ g

<i>Carnes</i>	Número de refeições para cada dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
<b>Gado</b>								
Carne								
Charque (jabá)								
Miúdos, <i>Qual?</i>								
Fígado								
Coração								
Rim								
<i>Outros?</i>								
<b>Frango</b>								
<b>Ovos de galinha</b>								
Carne								
Miúdos, <i>Qual?</i>								
Fígado								
Coração								
Rim								
<i>Outros?</i>								
<b>Porco</b>								
Carne								
Miúdos, <i>Qual?</i>								
Fígado								
Coração								
Rim								
<i>Outros?</i>								
<b>Carne de caça</b>								
Jabuti								
Jacaré								
Paca								
Porco do mato								
Tatu								
Tracajá								
Veado								
Pato e outras avesQual (is)?								

**5) Quantas vezes você comeu frutas durante a última semana?(conforme aos modelos de porções)**

<i>Frutas do quintal e colhidas no mato</i>	Número de frutas consumidas durante o dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Abacaba								
Abacate								
Açaí								

Acerola								
Água de coco								
Babaçu								
Banana								
Castanha-de-sapucaia								
Castanha-do-Pará								
Goiaba								
Ingá								
Jambo								
Laranja								
Leite de castanha-do-Pará								
Lima								
Limão								
Maçã								
Mamão								
Melancia								
Popa de coco								
Pupunha								
Suco de Cupuaçu								
Suco de Maracujá								
Tangerina								
Tucumã								
<i>Outras frutas</i>								

**6) Quantas vezes você comeu verduras e condimentos durante a última semana? (porções)**

	Número de refeições para cada dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Verduras e condimentos								

**7) Quantas vezes você comeu laticínios durante a última semana? (modelos de porções)**

<i>Laticínios</i>	Número de refeições para cada dia							
	Dia 1	Dia 2	Dia 3	Dia 4	Dia 5	Dia 6	Dia 7	Total
Leite								
Manteiga								
Queijo								

## ANEXO III

Voluntário N°: \_\_\_\_\_

### Avaliação Clínica e Neurológica

- 1) Possui hipertensão arterial?  
 Não                                       Sim                      Quanto tempo? \_\_\_\_\_
- 2) Possui Diabetes Mellitus?  
 Não                                       Sim                      Quanto tempo? \_\_\_\_\_
- 3) Teve um acidente cerebral isquêmico ou hemorrágico?  
 Não                                       Sim                      Quando? \_\_\_\_\_
- 4) Faz uso ou usou alguma droga ilícita?  
 Não                                       Sim                      Quanto tempo? \_\_\_\_\_
- 5) Faz uso de alguma medicação diariamente ou mais que 3 vezes por semana?  
 Não                                       Sim                      Quanto tempo? \_\_\_\_\_
- 6) Tem alguma queixa no momento?  
 Não                                       Sim                      Qual? \_\_\_\_\_

### Exame Físico

- 7) Aspecto  
 Normal (Hidratado, corado, anictérico, acianótico afebril)  
 Anormal \_\_\_\_\_
- 8) Exame Cardiovascular  
 Normal (cardiovascular 2 bulhas rítmicas normofonéticas sem sopro)  
 Anormal \_\_\_\_\_  
PA: \_\_\_\_\_
- 9) Exame Respiratório  
 Normal (murmúrio vesicular positivo sem ruídos adventícios, eupnéico)  
 Anormal \_\_\_\_\_
- 10) Palpação de tireóide \_\_\_\_\_

### Exame físico neurológico

- 11) Repita as palavras: Casa, Cachorro, Rua \_\_\_\_\_
- 12) Movimentos oculares \_\_\_\_\_
- 13) Repita, novamente, as palavras: Casa, Cachorro, Rua \_\_\_\_\_
- 14) Reflexo bicipital \_\_\_\_\_
- 15) Avaliação da marcha \_\_\_\_\_
- 16) Sensibilidade tátil dos membros superiores
- Não                       Sim                      Qual (esquerdo/direito)? \_\_\_\_\_
- 17) Sensibilidade tátil dos membros inferiores
- Não                       Sim                      Qual (esquerdo/direito)? \_\_\_\_\_
- 18) Sensibilidade dolorosa dos membros superiores?
- Não                       Sim                      Qual (esquerdo/direito)? \_\_\_\_\_
- 19) Sensibilidade dolorosa dos membros inferiores
- Não                       Sim                      Qual (esquerdo/direito)? \_\_\_\_\_
- 20) Equilíbrio – estático
- Normal                       Anormal \_\_\_\_\_
- 21) Index nariz
- Normal                       Anormal \_\_\_\_\_
- 22) Fala
- Normal                       Anormal \_\_\_\_\_
- 23) Campo visual
- Normal                       Anormal \_\_\_\_\_
- 24) Movimentos alternados \_\_\_\_\_
- 25) Tremor de extremidades
- Não                       Sim                      Qual? \_\_\_\_\_
- 26) Sente parestesias em membros?
- Não                       Sim                      Qual (s)? \_\_\_\_\_
- 27) Identificação de objetos simples \_\_\_\_\_
- 28) Localização de tempo (data) \_\_\_\_\_
- 29) Localização de espaço (cidade/ país)



## ANEXO IV

# SUBPROGRAMA DE DIVULGAÇÃO DAS ATIVIDADES E RESULTADOS DO PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

Ações de comunicação do Subprograma de Divulgação das Atividades e Resultados do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico possibilita a divulgação de materiais didáticos voltados a educação ambiental associado aos riscos do mercúrio para a saúde humana em atividades de campo nas escolas e comunidades da área de influência do UHE Jirau, além das instituições de ensino (**Quadro05**).

**Quadro05** – Descrição das atividades de comunicação social do subprograma de divulgação das atividades e resultados do programa de monitoramento Hidrobiogeoquímico.

<i>Descrição da atividade</i>	<i>Evento</i>	<i>Local</i>
1º ciclo de Palestras "O mercúrio no rio Madeira"	Escolas Marechal Rondon, Nossa Senhora de Nazaré, Maria de Nazaré dos Santos e Faculdade São Lucas	Abunã, Mutum-Paraná, Jaci-Paraná, Abunã e Porto Velho
2º ciclo de palestras "O mercúrio no rio Madeira"	Escolas Vicente Rondon, Marechal Rondon e Nossa Senhora de Nazaré	Jaci-Paraná, Abunã e Mutum-Paraná
Dia de campo – Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico	Escola Nossa Senhora de Nazaré	Mutum-Paraná
Palestra "Dinâmica do Mercúrio na bacia do rio Madeira e a Usina Jirau"	Faculdade São Lucas, União das Escolas Superiores (Uniron), nas 1ª e 2ª edições da Jornada de Biologia	Porto Velho
3º ciclo de palestras "O mercúrio no rio Madeira – Saúde Humana"	Escolas Marechal Rondon e Nossa Senhora de Nazaré	Abunã e Nova Mutum Paraná
Reunião GT Atividades Minerárias "Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico"	Auditório do escritório da Energia Sustentável do Brasil	Porto Velho– RO
Palestra "A biogeoquímica do mercúrio na área de influência da Usina Jirau"	III Encontro da Pós-Graduação do Instituto de Química da Universidade de São Paulo	São Paulo– SP
Trabalho científico "Estudo metaloproteômico do mercúrio em peixes coletados na área de influência do AHE JIRAU - Bacia do rio Madeira: Resultados preliminares"	34ª Reunião Anual da Sociedade Brasileira de Química	Poços de Caldas – SP
Trabalho científico "Biomonitoramento da exposição humana ao mercúrio (Hg) no Aproveitamento Hidrelétrico de Jirau, Amazônia, Brasil"	5ª Congresso Iberoamericano de Química Analítica	Monte Video– Uruguai
Trabalho científico "Monitoramento de mercúrio no solo na área de influência do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau (AHE Jirau), Amazônia, Brasil"	5ª Congresso Iberoamericano de Química Analítica	Monte Video– Uruguai
Dissertação de mestrado "Características e avaliação dos níveis basais de mercúrio do sedimento na área de influência do Aproveitamento Hidrelétrico Jirau – Rio Madeira – Rondônia – Brasil"	Defesa no Programa de Mestrado Ciência de Materiais da Universidade de Brasília - UnB	Brasília – DF
Capacitação dos profissionais da saúde "Hidrobiogeoquímica associada à exposição do mercúrio"	Posto Comunitário de Saúde	Fortaleza do Abuña, Abuña e Nova Mutum



**Foto 1.** 1º ciclo de Palestra em Abunã.



**Foto 2.** Palestra na Faculdade São Lucas (Porto Velho-RO).



**Foto 3.** 1º Ciclo de Palestras em Mutum Paraná.



**Foto 4.** 1º Ciclo de Palestras em Jaci Paraná.



**Foto 5.** Pesquisador apresenta resultados do monitoramento do mercúrio no 2º Ciclo de Palestras em Jaci Paraná.



**Foto 6.** Alunos recebem cartilha sobre mercúrio, no 2º Ciclo de Palestras em Abunã.



**Foto 7.** Dia de campo com alunos da Escola Municipal Nossa Senhora de Nazaré - Mutum Paraná.



**Foto 8.** Pesquisador mostra uma das formas de coleta.



**Foto 9.** Prof. Dr. Wilson Jardim explana sobre o mercúrio no rio Madeira, na 1ª Jornada de Biologia.



**Foto 10.** Prof. Dr. Luiz Fabrício Zara apresenta o Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Jirau aos acadêmicos na 2ª Jornada de Biologia e Gestão Ambiental da Faculdade Uniron.

O tema de monitoramento do mercúrio no rio madeira foi apresentado no 1º Centro de Informação Itinerante do AHE Jirau. Esta ação é realizada nas escolas da AID e AISE, onde são repassadas de forma lúdica, informações sobre a construção do empreendimento assim como os programas socioambientais. Nesta atividade, a equipe de comunicação apresentou o Programa, por meio de banner. Em abril de 2011, o assunto foi abordado de forma ampla na 3ª reunião do Grupo de Trabalho das Atividades Minerárias.



**Foto 11.** Prof.Dr. Luiz Fabrício Zara apresenta os estudos do mercúrio no rio Madeira aos participantes do GT das Atividades Minerárias área de influência do AHE Jirau.

Nas ações de comunicação foram distribuídos materiais socioeducativos voltados ao desenvolvimento sustentável e a divulgação das atividades e resultados do programa de monitoramento hidrobiogeoquímico conforme exemplificado no folder – “O mercúrio e o rio Madeira” (**Figuras de 01 a 02**), na cartilha – “O mercúrio no rio Madeira” (**Figuras de 03 a 13**) e na cartilha de bolso – “O que você precisa saber sobre o mercúrio” (**Figuras de 14 a 19**).

Na fase enchimento do reservatório foi elaborada e distribuída a cartilha “Cartilha Educativa do Mercúrio” (**Figuras 20 a 24**), com ênfase paraos hábitos alimentares associados a possíveis rotas de exposição ao mercúrio e sobre manejo e uso do solo, visto que este é um importante fator de liberação de mercúrio para o ambiente, ocasionando maior mobilidade deste metal para os demais compartimentos ambientais.

A Capacitação dos profissionais dos serviços de saúde de Fortaleza do Abuña, Abuña e Nova Mutum ocorreu em outubro/2012 com o tópico: “Hidrobiogeoquímica associada à exposição do mercúrio” pelo Prof. Dr. Carlos José de Souza Passo, Universidade de Brasília – UnB.

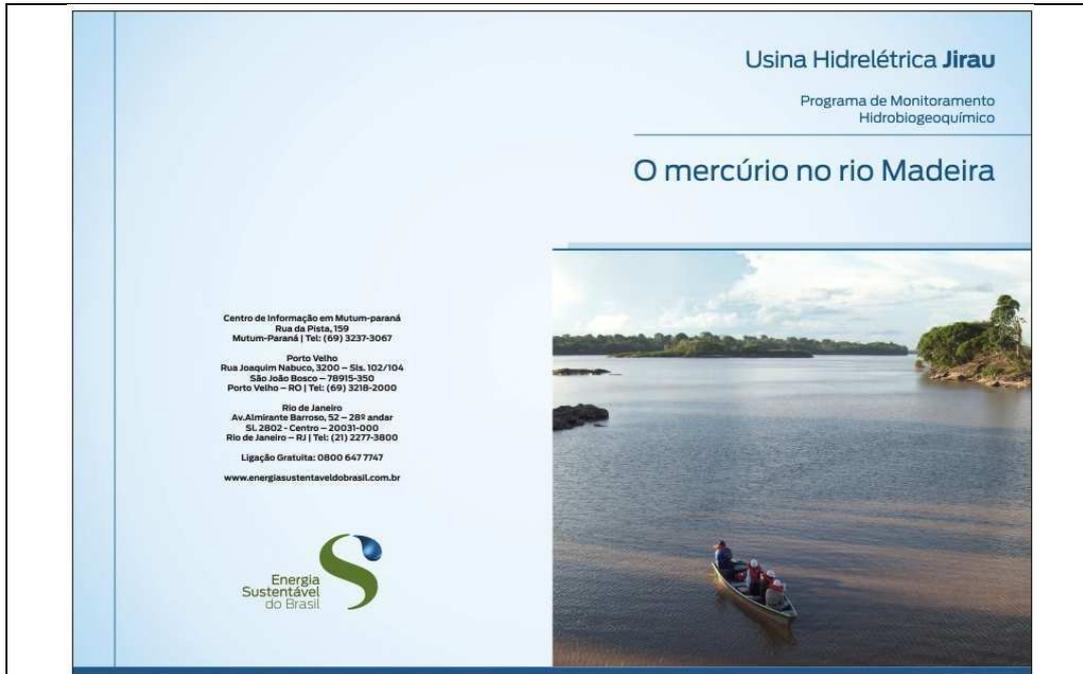


Figura 01 – Folder – O mercúrio e o rio Madeira – Parte I

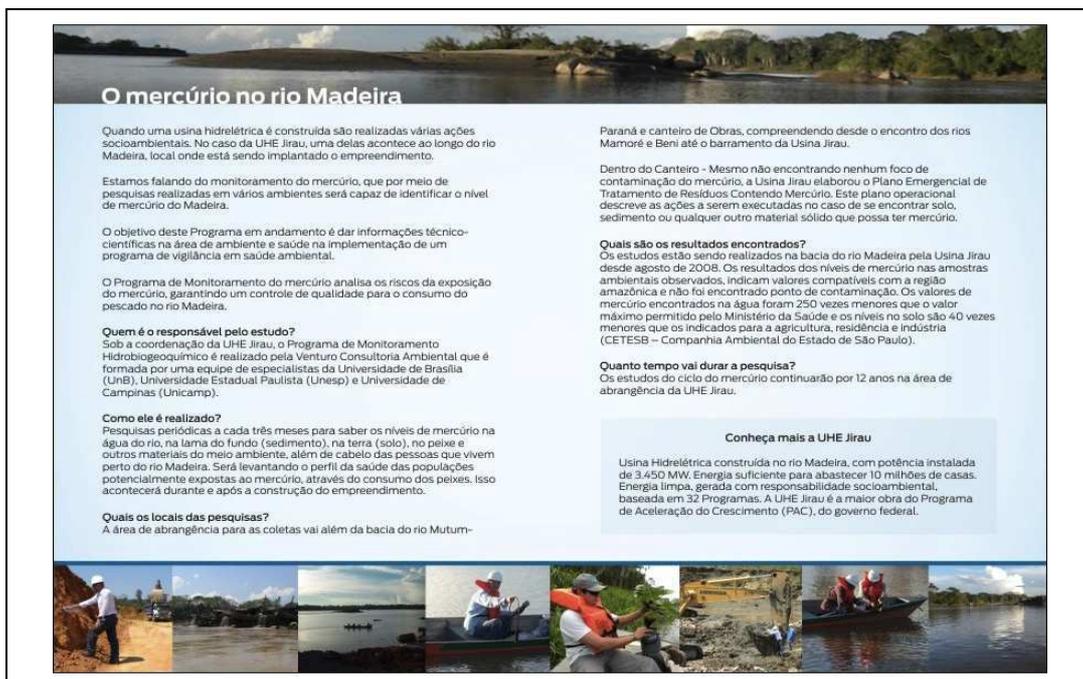


Figura 02 – Folder – O mercúrio e o rio Madeira – Parte II



Figura 03 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte I



Figura 04 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte II

S

## O mercúrio no rio Madeira

Quando uma usina hidrelétrica é construída, várias ações socioambientais são realizadas simultaneamente para garantir o equilíbrio do ecossistema. Na Usina Hidrelétrica Jirau essas ações são desenvolvidas ao longo do rio Madeira, local onde está sendo implantado o empreendimento.

**LEGENDA**  
● Porto Velho  
Área de Monitoramento do Mercúrio  
■ UHE Jirau

**LOCALIZAÇÃO**

**Hg**  
Mercúrio

Além da análise da água, solo e sedimentos, vai ser incluído o monitoramento do mercúrio nos peixes e no cabelo de voluntários, principalmente dos ribeirinhos.

Uma dessas ações é o monitoramento do mercúrio, uma atividade que por meio de pesquisas científicas aplicadas em vários ambientes, identifica o nível de mercúrio encontrado no rio Madeira, materiais orgânicos e em seres vivos que utilizam da água desse rio.

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico  
**USINA JIRAU** 3

**Figura 05 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte III**

S

## Porque monitorar o mercúrio no Madeira

O objetivo do programa de monitoramento hidrobiogeoquímico é dar informações técnicas e científicas acerca do nível de mercúrio existente na bacia do Madeira. Essas informações servem de suporte para as áreas de Meio Ambiente e Saúde, além de embasamento para futuras pesquisas científicas e o mais importante: informa toda a comunidade sobre a incidência real deste metal na água, solo, sedimento e em organismos vivos que habitam na caudalosa água do rio Madeira.

O Programa analisa os riscos da exposição do mercúrio, garantindo um controle de qualidade para o consumo do pescado no rio Madeira.

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico  
**USINA JIRAU** 4

**Figura 06 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte IV**

### Responsabilidade Técnica

O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico é realizado pela Venturo Consultoria Ambiental sob coordenação da Usina Hidrelétrica Jirau. A equipe de cientistas é formada por especialistas da Universidade de Brasília (UnB), Universidade Estadual Paulista (UNESP) e Universidade de Campinas (Unicamp).

Os estudos de mercúrio são realizados a cada três meses nas fases hidrológicas de seca, enchente, cheia e vazante do rio Madeira e são analisados os níveis de mercúrio na água, no sedimento (lama do fundo do rio), solo, peixes e outros materiais encontrados no meio ambiente.

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

USINA JIRAU 5

Figura 07 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte V

### Pesquisa

Os cientistas desenvolvem as pesquisas nas áreas de influência direta e indireta do empreendimento desde as confluências dos rios Mamoré e Beni até a barragem da Usina Hidrelétrica Jirau. O mapa mostra os locais das coletas periódicas de amostras ambientais.

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

USINA JIRAU 6

Figura 08 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte VI

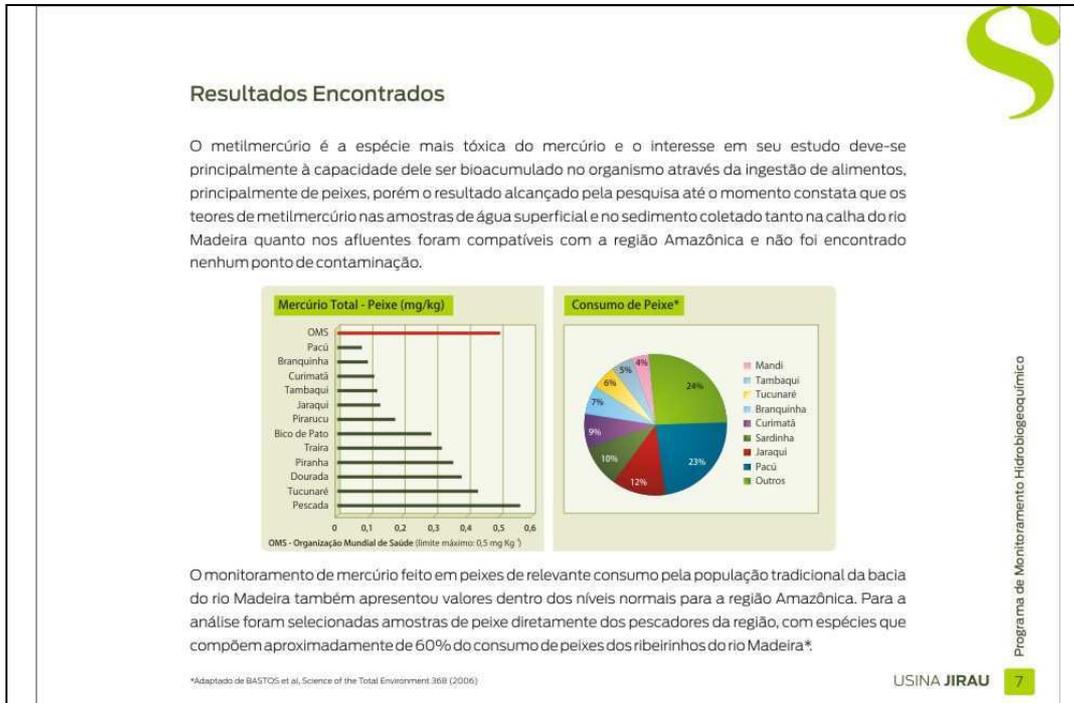


Figura 09 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte VII

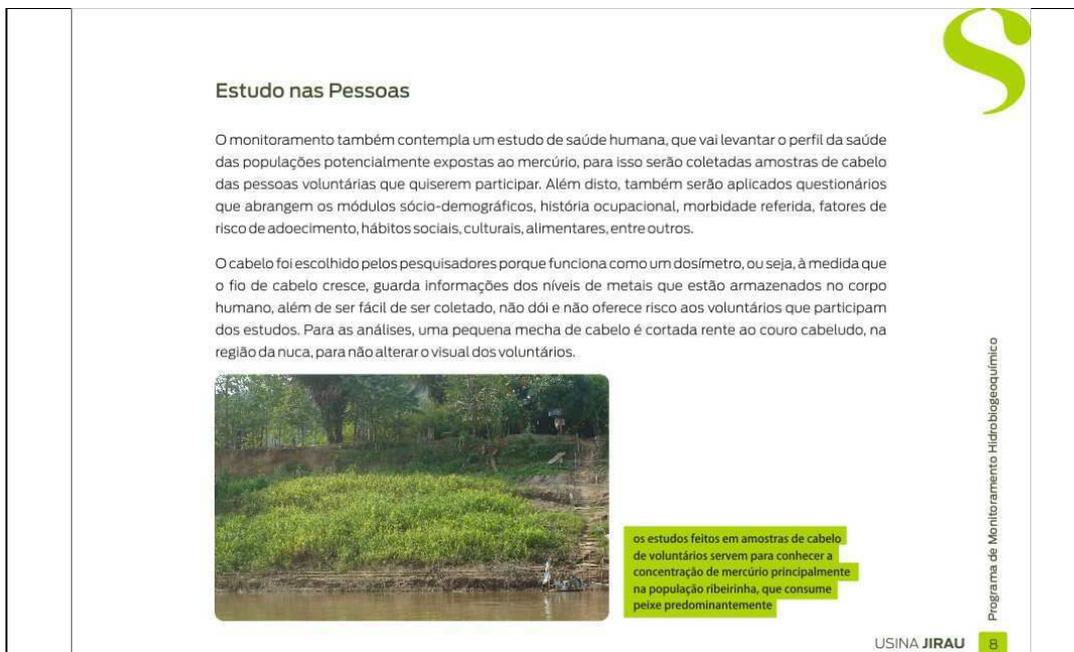


Figura 10 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte VIII

### Como será a Pesquisa

A pesquisa será feita durante e após a construção do empreendimento, sendo prevista a participação de mil voluntários divididos em quatro grupos de 250 pessoas. Eles serão acompanhados por profissionais da saúde e a cada dois anos será reavaliado o nível de mercúrio no corpo.

Todas as informações geradas serão reunidas num banco de dados, padronizado, para facilitar as análises estatísticas e estudos de correlações espacial e temporal das espécies de mercúrio, bem como a investigação dos mecanismos de organificação, bioacumulação e biomagnificação pela bacia do rio Madeira.



O objetivo é monitorar o metal na regiões. A base de dados que será formada vai ajudar a definir futuras políticas de gestão ambiental.

USINA JIRAU 9

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Figura 11 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte IX

### Conclusão

Os estudos promovidos pela UHE Jirau sobre os níveis de mercúrio no rio Madeira durante o ciclo hidrológico 2008 e 2009 mostram que os índices do metal tem se mantido dentro dos níveis naturais dos rios amazônicos e até mesmo em níveis inferiores aos do rio Negro.

A possível especulação sobre a Amazônia se transformar numa área contaminada de mercúrio com impactos socioambientais imprevisíveis – hipótese difundida nos anos 80 – foi aos poucos mostrando-se, e graças a muita pesquisa e discussão científica, sendo substituída por maior conhecimento da biogeoquímica deste metal em regiões tropicais, como no estado de Rondônia.

**Mercúrio Total - Água superficial (ng/L)**



Localização	Ano	Nível (ng/L)
Tapieté	2000	~1
Rio Amazonas	2002	~10
Bacia do Rio Negro (Jirau)	2007	~10
Bacia do Rio Negro (Siqua)	2007	~5
Rio Madeira	2008	~7
Rio Madeira	2009	~14
Estudo UHE JIRAU	2008	~4

**Mercúrio Total - Sedimento (µg/Kg)**



Localização	Ano	Nível (µg/Kg)
Rio Negro	2007	~100
Rio Madeira	1993	~500
Rio Madeira	1999	~400
Estudo UHE JIRAU	2008	~200

Atualmente são conhecidas as transformações que o mercúrio metálico sofre em ambientes aquáticos na região amazônica, o que permite estimar o risco de exposição humana às concentrações e espécies encontradas nestes ambientes. Muito embora o tom alarmista da contaminação por mercúrio na Amazônia tenha perdido a força, ainda se tem muito o que aprender sobre o ciclo deste metal no meio ambiente.

USINA JIRAU 10

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

Figura 12 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte X



### Usina Jirau

A Energia Sustentável do Brasil é responsável pela construção da Usina Hidrelétrica Jirau, que vai gerar 3450 MW (megawatts) de energia elétrica para abastecer casas, indústrias e fábricas. Energia suficiente para iluminar, por exemplo, toda a região Norte do país.

A energia limpa e mais econômica da Usina Jirau será integrada ao Sistema Interligado Nacional, e tanto poderá ser consumida em Rondônia como em qualquer estado brasileiro.

A construção da hidrelétrica Jirau prevê investimentos de mais de 10 bilhões de reais, durante 60 meses de trabalho e 40 mil empregos diretos e indiretos.

O empreendimento tem um papel relevante no desenvolvimento econômico do Brasil. A Usina Jirau é uma importante obra do Programa de Aceleração do Crescimento (PAC), do Governo Federal.





Programa de Monitoramento Hidrobiológico

USINA JIRAU 11

Figura 13 – Cartilha - O mercúrio e o rio Madeira – Parte XI

### Monitoramento feito por especialistas

O Programa é desenvolvido pela empresa Venturo Consultoria Ambiental e conta com uma equipe formada por especialistas da Universidade de Brasília (UnB), da Universidade Estadual Paulista (UNESP) e da Universidade de Campinas (Unicamp).

### O que você precisa saber sobre o mercúrio

■ O que é? Onde está? Como trabalhar com segurança?

**Escritório Nova Mutum Paraná**  
Rua Getúlio Vargas - Casa 6  
Nova Mutum Paraná | Tel: (69) 3533-4045 / 3533-4046

**Escritório Porto Velho**  
Rua Joaquim Nabuco, 3200 – salas 102/104 e 106  
Bairro São João Bosco – 76804-066  
Porto Velho – RO | Tel: (69) 3215 – 2000

Ligação Gratuita: **0800 647 7747**  
[www.energiasustentaveldobrasil.com.br](http://www.energiasustentaveldobrasil.com.br)









Figura 14 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte I



Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

**O mercúrio no dia a dia**

O mercúrio é um velho conhecido e está presente no nosso dia a dia. Dentro de casa, por exemplo, encontramos em termômetros, lâmpadas fluorescentes e alguns equipamentos eletrônicos. O metal líquido prateado é bastante usado também para separar o ouro em garimpos.



Crédito: Venturo

**A exposição ao vapor**



Crédito: Venturo

O trabalhador que lida com o mercúrio (azougue) é o mais exposto aos vapores invisíveis liberados do metal. Eles são aspirados sem que a pessoa perceba e entra no organismo através da respiração e é transportado pelo sangue, instalando-se nos órgãos.

2

O que você precisa saber sobre o mercúrio 3

Figura 15 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte II

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

**O processo do ouro**

O garimpo artesanal de ouro é feito primeiro, lançando o mercúrio sobre a lama. O ouro se junta ao mercúrio e eles ficam separados da lama. Em seguida, o azougue é queimado, e o mercúrio evapora, restando apenas o ouro.



Crédito: Venturo

**O uso do Cadinho**



Crédito: Venturo

A queima do amalgama (azougue + ouro) expõe o garimpeiro e polui o meio ambiente se não for feita corretamente. A queima tem que ser feita usando sempre a retorta (Cadinho).

4

O que você precisa saber sobre o mercúrio 5

Figura 16 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte III



Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

### Trabalhar com segurança

Para não ter contato com o mercúrio mesmo fazendo a queima com a retorta lembre-se de:

- Trabalhar sempre em lugares abertos e ventilados;
- Mantenha qualquer comida e bebida longe do local da queima;
- Em qualquer queima do ouro não respire próximo do fogo;
- Nunca jogue as sobras de mercúrio no rio.



Crédito: Venturo

### Importante saber:



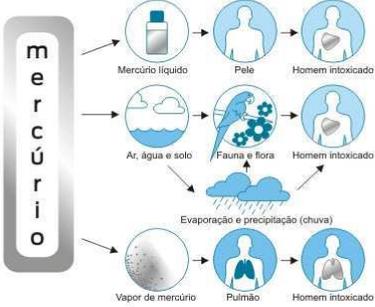
- Verifique sempre se o Cadinho está funcionando corretamente, evitando que o vapor escape para o ambiente;
- Nunca deixe o mercúrio entrar em contato com a pele;
- Guarde o mercúrio sempre em frasco de plástico, bem fechado e longe dos alimentos.

6
O que você precisa saber sobre o mercúrio
7

Figura 17 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte IV

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

### O que pode ocorrer com quem fica exposto ao mercúrio?



Tremores, sonolência, delírios, fraqueza muscular, náuseas, dor de cabeça, reflexos lentos, memória falha, mau funcionamento dos rins, fígado, pulmão e sistema nervoso.

### O estudo nas áreas da UHE Jirau

A Usina Hidrelétrica Jirau monitora, desde 2008, ao longo do rio Madeira, por meio do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico o nível de mercúrio no rio, nos peixes e analisando os riscos da exposição ao metal nas populações ribeirinhas. O monitoramento no Madeira acontece antes, durante e após a construção da UHE Jirau. As análises com a comunidade são repetidas a cada dois anos durante as etapas do empreendimento.



8
O que você precisa saber sobre o mercúrio
9

Figura 18 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte V

Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico

### O mercúrio na comunidade



Nos mais de 400 testes aplicados nas comunidades ribeirinhas da área envolvida pela Usina Jirau, apenas 3% dos voluntários apresentaram níveis de mercúrio que poderiam eventualmente prejudicar no futuro a saúde; porém, essas pessoas não apresentaram problemas neurológicos e neuropsicológicos por causa do mercúrio.

### Os testes para identificação

Durante a realização dos testes pela UHE Jirau são aplicados questionários para entender questões socioculturais, hábitos alimentares e estilo de vida das pessoas. Em seguida, são feitas as avaliações clínicas médicas e neurológica. Também é aplicada uma bateria de testes neuropsicológicos e coletados fios de cabelos dos voluntários para exame de dosimetria do mercúrio (análise do mercúrio no corpo). Após três meses, a



equipe multidisciplinar retorna à comunidade para a entrega das avaliações e para fazer esclarecimentos sobre os resultados.



10
USINA JIRAU Energia Sustentável do Brasil
O que você precisa saber sobre o mercúrio 11

Figura 19 – Cartilha de bolso – O que você precisa saber sobre o mercúrio – Parte VI

**Centro de Informação Porto Velho**  
Rua Joaquim Nabuco, 3200 – salas 102/104 e 106  
Bairro São João Bosco – 76904-066  
Porto Velho – RO | Tel: (69) 3218 – 2000

**Centro de Informação Nova Mutum Paraná**  
Rua Getúlio Vargas, casa 5  
Nova Mutum Paraná | Tel: (69) 9919 6408

**Ligação Gratuita: 0800 647 7747**  
[www.energiasustentavelobrasil.com.br](http://www.energiasustentavelobrasil.com.br)



USINA  
**JIRAU**



UHE JIRAU  
**CARTILHA EDUCATIVA DO MERCÚRIO**  
PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

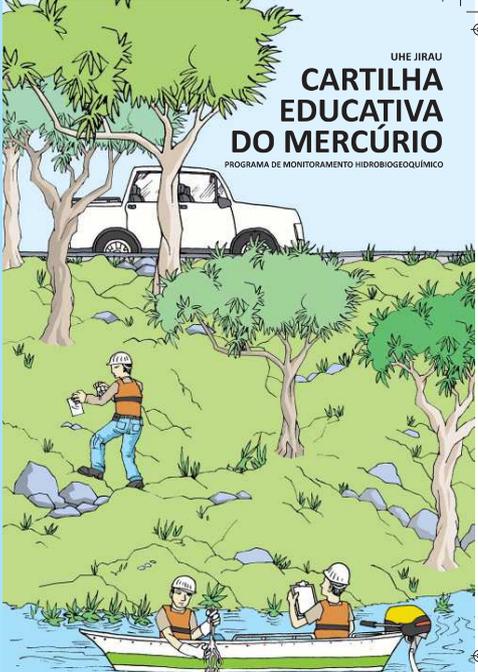


Figura 20 – Cartilha educativa do mercúrio – Parte I

CARTILHA EDUCATIVA DO MERCÚRIO

LHE JIRAU - PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARTAXO, P.; CAMPOS, R. C.; FERNANDES, E. T.; MARTINS, J. V.; XIÃO, Z.; LINDQVIST, O.; FERNANDEZ-JIMEHNEZ, M.; MAENHAUT, W. Large scale mercury and trace element measurements in the Amazon basin. *Atmospheric Environment*, 34: 4085-4096, 2000.

BRABO, E. S.; SANTOS, E. O.; JESUS, I. M.; MASCARENHAS, A. F.; FAIAL, K. F. Níveis de mercúrio em peixes consumidos pela comunidade indígena de Sai Cinza na Reserva Munduruku, Município de Jacareacanga, Estado do Pará, Brasil. *Caderno de Saúde Pública*, Rio de Janeiro, 15 (2): 325-331, 1999.

MICARONI, R. C. C. M.; BUENO, M. I. M. S.; JARDIM, W. F. Compostos de mercúrio. *Revisão de métodos de determinação, tratamento e descarte*. *Química Nova*, 23(4): 487-495, 2000.

LEE, R.; MIDDLETON, D.; CALDWELL, K.; DEARWENT, S.; JONES, S.; LEWIS, B.; MONTEILH, C.; MORTENSEN, M. E.; NICKLE, R.; ORLOFF, K.; REGER, M.; RISHER, J.; ROGERS, H. S.; WATTERS, M. A review of events that expose children to elemental mercury in the United States. *Ciência & Saúde Coletiva*, 15 (2): 585-598, 2010.

LI, P.; FENG, X.; QIU, G. Methylmercury Exposure and Health Effects from Rice and Fish Consumption: A Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 7: 2666-2691, 2010.

TAN, 2006. The impact of hypoxia on mercury methylation in bottom sediment of northern gulf of México. 2006 A Thesis Submitted to the Graduate Faculty of the Louisiana State University and Agricultural and Mechanical College in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science in The Department of Environmental Studies, Louisiana, 2006.

### 1. MERCÚRIO, O QUE É E ONDE É ENCONTRADO?

O mercúrio (ou azogue) é um metal encontrado naturalmente no ambiente em pequenas quantidades, e que pode ser liberado para a atmosfera através de fontes naturais ou atividades humanas.

A liberação natural pode ocorrer por meio de erupções vulcânicas, fraturas rochosas na crosta terrestre, evasões do solo mineralizado e minas de mercúrio.

O homem pode aumentar a liberação de mercúrio no ambiente de diversas formas, como na queima de combustíveis fósseis, descarte inadequado de lâmpadas fluorescentes e durante o processo de extração artesanal do ouro, entre outras formas.



Figura 21 – Cartilha educativa do mercúrio – Parte II

CARTILHA EDUCATIVA DO MERCÚRIO

LHE JIRAU - PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

### 2. CICLO DO MERCÚRIO

Os solos da região amazônica contêm naturalmente mercúrio. A maneira como se usa o solo, e em especial o desmatamento, podem favorecer a perda do mercúrio, que é levado pela chuva para os rios e lagos.

Quando o mercúrio chega à água, ele pode se acumular nos peixes e também ao longo da cadeia alimentar. Comendo peixe, as pessoas podem incorporar o mercúrio. Enquanto o mercúrio está no solo, ele não entra nas plantas nem nos animais. O mercúrio encontrado nos peixes está em outra forma química do que o mercúrio usado no garimpo, por exemplo, pois os animais se protegem dos efeitos tóxicos deste metal usando um processo chamado de metilação.

### 6. BOAS PRÁTICAS

- Coma diferentes espécies de peixes;
- Coma todos os tipos de frutas e verduras, se possível todos os dias;
- Evite queimar lixo;
- Não quebre as lâmpadas fluorescentes queimadas;
- Preserve a mata nas beiras dos rios e nas ladeiras;
- No garimpo, utilize o equipamento de segurança e sempre recupere o mercúrio usado na amalgamação;
- Não manuseie mercúrio sem conhecimento e sem proteção;
- Não deixe que crianças tenham contato com mercúrio ou produtos que contenham mercúrio;
- Quando observar algum sintoma que possa estar relacionado ao mercúrio, vá ao médico para ter o diagnóstico correto, e ser tratado, caso haja necessidade.



Figura 22 – Cartilha educativa do mercúrio – Parte III



**5. MERCÚRIO ACUMULA EM PEIXES E NAS PESSOAS**

Quando um garimpeiro deixa o mercúrio cair no rio, ele está aumentando a quantidade deste metal nos peixes. Comendo peixe com mais mercúrio, as pessoas também passam a ter mais azogue no seu corpo.

É importante saber que não importa o lugar e nem a época do ano em que se pesque, os peixes que comem outros peixes têm mais mercúrio quando comparados aos peixes que não comem outros peixes.

Entretanto, não se pode deixar de comer peixe, pois ele é uma importante fonte de nutrientes bons para a saúde. Há nesse alimento vitaminas, proteínas, sais minerais e boas gorduras (ômega 3), as quais ajudam no bom funcionamento do corpo. Dessa forma, é aconselhável comer diferentes espécies de peixes e ter preferência por peixes que não comem outros peixes.

Além disso, as frutas possuem muitas vitaminas, sais minerais e outros nutrientes também de grande importância para uma boa saúde.



**3. MERCÚRIO NA ÁGUA**

O mercúrio que os solos liberam para as águas é pouco tóxico, mas as bactérias naturais encontradas na água transformam este mercúrio em outro tipo bem mais tóxico, chamado de mercúrio orgânico. É justamente este mercúrio transformado que encontramos nos peixes. Esta transformação é mais rápida nas raízes dos capins que flutuam na água e também no solo inundado dos igapós, que são lugares onde os peixes gostam de ficar, porque ali encontram abrigo e alimento.

No capim que fica na água é o local onde os peixes se escondem, desovam, crescem e se alimentam. Nestes locais há mais insetos, sementes, caramujos e outros. As plantas aquáticas crescem mesmo em águas pobres em nutrientes. Elas conseguem isso através de uma sociedade com as bactérias que moram nas suas raízes: as bactérias aproveitam os nutrientes orgânicos das plantas, e produzem nutrientes inorgânicos que a planta aproveita. Todo mundo ganha, inclusive nós. É verdade que são essas mesmas bactérias que transformam o mercúrio inorgânico no orgânico, que é mais tóxico, mas tirar o capim só iria... acabar com o peixe! É importante saber, ainda, que o mercúrio do garimpo contamina mais a água e é mais perigoso para o ambiente.

Figura 23 – Cartilha educativa do mercúrio – Parte IV

CARTILHA EDUCATIVA DO MERCÚRIO

**4. O QUE PODE CAUSAR NAS PESSOAS**

As pessoas com muito mercúrio no corpo podem apresentar tremores, tontura, dor de cabeça, cãibra, fraqueza, dificuldade de realizar movimentos nos braços, pernas e dedos, depressão, problema de visão, falta de ar, tosse, inflamações no estômago ou intestinos, queda de cabelo, náusea e vômitos. Em grande quantidade o mercúrio pode levar à morte. Para diminuir a quantidade de mercúrio no corpo, a pessoa deve evitar comer os peixes que comem outros peixes.

LHE JBRAJ - PROGRAMA DE MONITORAMENTO HIDROBIOGEOQUÍMICO

- **O consumo de peixe na gravidez**  
O consumo de peixe com muito mercúrio quando a mulher está grávida é muito preocupante, porque o mercúrio passa da mãe para o feto por meio da placenta. Isto pode afetar o desenvolvimento do feto, causando problemas neurológicos e problemas na formação do cérebro.
- **O consumo de peixe e a visão**  
A exposição ao mercúrio pode causar problemas de visão. Entretanto, existem outros fatores que podem influenciar a visão da pessoa, por exemplo: idade, exposição ao sol, genética, alimentação, cigarro e consumo de álcool.
- **O consumo de peixe e o sistema motor**  
Comer peixe com muito mercúrio pode afetar a coordenação motora, diminuindo, além da coordenação, a agilidade, a força física e a precisão nos movimentos.



Figura 24 – Cartilha educativa do mercúrio – Parte V