



# PROPOSTA PLANO DE TRABALHO

## PROGRAMA HIDROBIOGEOQUÍMICA DO MERCÚRIO NO RIO MADEIRA – UHE SANTO ANTÔNIO (AVALIAÇÃO AMBIENTAL)

<http://www.biof.ufrj.br/pesquisa/ambiental/radioisotopos/>

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

Olaf Malm (<http://lattes.cnpq.br/1685325495189156>)

Wanderley Bastos (<http://lattes.cnpq.br/4028993334703256>)

Setembro/2016



## APRESENTAÇÃO

O presente Plano de Trabalho apresenta as atividades a serem desenvolvidas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico (Avaliação Ambiental), objetivando complementar durante 2 meses o acompanhamento do alteamento do reservatório da UHE Santo Antônio em 0,80 metros para cota 71,3 atendendo as recomendações do Parecer Técnico nº 02001.001583/2014-15/COHID/CGNE/DILIC/IBAMA encaminhado via ofício nº 02001.009251/2014-89/DILIC/IBAMA e do Parecer 02001.002641/2016-90 COHID/IBAMA.

Esta proposta será implementada em adição ao monitoramento Hidrobiogeoquímico que vem ocorrendo desde 2008 (Pré e Pós-enchimento) com coletas trimestrais complementando, assim, o intervalo de 2 meses durante o período de elevação de cota, contemplando uma amostragem de 3 meses consecutivos. Far-se-á uso dos resultados do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico em andamento, de acordo com o Plano de Trabalho em vigor, seguindo as diretrizes do Projeto Básico Ambiental do empreendimento UHE Santo Antônio. Os resultados obtidos pelo monitoramento Hidrobiogeoquímico possibilitarão mensurar as possíveis alterações nas concentrações de mercúrio (Hg-T e MeHg) nas águas, assim como realizar a amostragem de solos da Área de Influência Direta (AID) da UHE Santo Antônio, subsidiando a adoção de ações e de medidas de controle, caso sejam identificados problemas de qualidade de água obedecendo assim, o ciclo amostral trimestral na AID da Usina Hidrelétrica de Santo Antônio. A área de abrangência do acompanhamento (coleta de água) do alteamento da cota compreende um trecho de 200 km ao longo do Rio Madeira e Tributários de montante, considerando jusante da UHE Jirau (MDCP) até a jusante da UHE Santo Antônio (Estação Rio Madeira – MD-04). A amostragem de solo ocorrerá somente na área de montante em regiões potenciais de alagamento no pós-alteamento de cota contemplando as recomendações do Parecer 2641/2016-90, realizando amostragem em áreas onde teria supressão de vegetação, de modo a complementar a avaliação do potencial de acumulação de Hg dos solos e a posterior remobilização do elemento nas fases de enchimento e pós-enchimento.



Em reservatórios de usinas hidrelétricas que utilizam turbinas com tecnologia convencional, que não tipo bulbo, a estabilidade dos níveis de mercúrio superam 15 anos (Malm et al, 2004; Kasper, 2008; Palermo, 2010; Kasper et al. 2012; Almeida, 2012). Esses estudos vêm demonstrando que o MeHg produzido em reservatórios hidrelétricos é exportado para jusante durante a descarga de água rica em MeHg resultando em concentrações de Hg mais elevadas na biota a jusante do reservatório (Hylander et al 2005; Tuomola 2005).

No entanto, para um reservatório a fio d'água, é possível que a estabilização da concentração de mercúrio seja atingida em um período inferior e/ou a produção de MeHg não seja tão eficiente como nos reservatórios tradicionais estudados. Para se obter essas informações é necessário estudos com acompanhamento de longo prazo no antes e no pós construção do empreendimento. O Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico com acompanhamento da dinâmica do mercúrio e outros metais pesados na área de influência direta do empreendimento da UHE Santo Antônio vem buscando responder essa questão, e para tal vem sendo realizado desde 2008.

## I. INTRODUÇÃO

### I.1. Mercúrio (Hg)

O processo de enchimento para a formação de reservatórios tende a ser acompanhado por aumento da concentração de metilmercúrio (MeHg) nos diversos compartimentos bióticos e abióticos, iniciado pela coluna d'água. São diversos os estudos que confirmam essa dinâmica (Kelly et al., 1997; Heyes et al., 1998; Porvari, 1998; Tremblay et al. 1998; Schetagne et al., 2000; Coquery et al, 2003; Tuomola, 2005; Drott et al, 2008; Muresan et al., 2008; Kasper, 2008).

Para compreender e avaliar esse possível aumento do MeHg durante e após a inundação e potencialmente a médio e longo prazo, tem sido levantados dois possíveis mecanismos biogeoquímicos:

- 1) lixiviação do MeHg já presente na matéria orgânica em decomposição durante o enchimento do reservatório;



2) aumento da taxa de metilação do mercúrio ao longo do tempo e rápida incorporação pela biota impulsionado pela decomposição da matéria orgânica inundada durante o enchimento do reservatório. Atualmente o mecanismo aceito na literatura como predominante é o de aumento da taxa de metilação (Hall et al., 2004; Aula et al, 2005).

O projeto de construção civil da UHE Santo Antônio e a tecnologia tipo bulbo, com eixo horizontal, utilizada nas turbinas, possibilitam a formação de um reservatório com área menor e tempo de residência também menor da água no reservatório, se comparado à tecnologia de turbinas com eixo vertical. Além disso, a barragem tipo fio d'água, como é o caso da UHE Santo Antônio, pressupõe vazões efluentes iguais às vazões afluentes, com consequente manutenção das características lóxicas do rio Madeira, e tempo de residência de 7 dias a menos que 1 dia no estirão do reservatório (HICON, 2011). Estas características podem ser favoráveis a uma menor produção de MeHg quando comparado com reservatórios tradicionais como é o caso dos reservatórios estudados pelos autores supracitados.

Entretanto, as concentrações de mercúrio total (Hg-T – preferencialmente encontrado na forma química inorgânica=  $Hg^{+2}$ ) encontradas em solos da região Amazônica indicam que este compartimento pode atuar como um depósito natural, agindo como fonte de ligação no ciclo biogeoquímico deste elemento através de processos de remobilização (Roulet et al, 1998; Lechler et al, 2000; Oliveira et al, 2001; Brabo et al, 2003; Wasserman et al, 2003; Almeida et al, 2005; Hermann, 2008).

Outro fato relevante em relação a área de influência do reservatório está relacionado a ocorrência da atividade de garimpo de ouro na bacia do rio Madeira desde a década de 70, onde o mercúrio (forma química inorgânica na fase líquida=  $Hg^0$ ) foi usado em larga escala no processo de amalgamação do ouro originando vários estudos sobre este elemento nesta bacia (e.g., Pfeiffer & Lacerda, 1988; Lacerda et al, 1989; Malm et al, 1990; Pfeiffer et al, 1991; Lacerda, 1995; Lacerda, 1998; Lacerda & Salomons, 1998; Maurice-Bourgoin et al, 2000; Bastos & Lacerda, 2004; Bastos et al, 2006; Bastos et al, 2008). Não menos importante é o  $Hg^{+2}$  de origem natural presente nos solos da região. O uso e ocupação desordenada desprotegendo as terras em Rondônia, utilizado principalmente pela agropecuária, vem contribuindo com gradativa



disponibilização de  $Hg^{++}$  para os ecossistemas aquáticos da região (Lacerda, 1995; Roulet et al, 1998; Roulet et al, 1999; Roulet et al, 2000; Almeida et al, 2005).

O reservatório da UHE Santo Antônio, no período de águas altas, propicia inundação dos solos de Floresta de Terra Firme (rizosfera e solo) este fato torna-se relevante visto que esses solos são potenciais sítios de formação de MeHg, como pode ser visto em algumas estações de monitoramento (MD01, MD02 e MD03) durante a execução Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico nos estudos de pré-enchimento. O resultado obtido confirma a hipótese de que o MeHg pode ser formado em ambiente terrestre, podendo alcançar o ecossistema aquático favorecido pelo pulso de inundação se tornando disponível para a biota (Relatórios Programa HBGQ).

A inundação dessas áreas também poderá estimular o aumento da taxa de metilação. Esse processo foi observado por Miranda (2010) em um experimento de inundação com solo de terra firme, classificado como latossolo, na área de mata e drenagem de igarapé ao lado do Campus de Porto Velho da Fundação Universidade Federal de Rondônia – UNIR. Nesse experimento, após 20 dias de inundação, a taxa de metilação aumentou cerca de 40 vezes em comparação com as matrizes não submetidas à inundação (Bisinoti & Jardim, 2004).

Os sedimentos enriquecidos com o mercúrio inorgânico remobilizado dos solos alagados ou interceptados por corpos d'água em condições anóxicas são potencialmente metiláveis.

O MeHg produzido nestas áreas sinaliza que está incorporando à teia trófica via fitoplâncton ou ainda sendo exportado destas áreas na forma dissolvida e particulada, uma vez que espécies de peixes filtradoras (planctônicas) vem apresentando concentrações elevadas.

## II. JUSTIFICATIVA

O modelo de reservatório (fio d'água) implementado pela UHE Santo Antônio no Rio Madeira, preconiza menores impactos ambientais devido à redução da área alagada, contudo, este modelo é inédito em uma área onde o mercúrio está presente proveniente de fontes naturais e das atividades de garimpo de ouro. Nesse contexto, há necessidade de monitoramento da potencial transformação química do Hg (à MeHg) em



estudos de longo prazo e em períodos de potenciais de maiores ou mais eficientes transformações química, a exemplo da proposta de ampliação de cota no reservatório.

O monitoramento hidrobiogeoquímico de Hg nas águas da AID da UHE Santo Antônio em funcionamento desde 2008, até o momento durante todo o estudo não se obteve concentração de Hg nas águas que tenha ultrapassado o valor ( $< 200\text{ng/L}$ ) preconizado pela legislação em vigor (Resolução CONAMA 357/2005). Foi observado diferença significativa com sensível aumento das concentrações de Hg nas águas do sistema Tributários de jusante em relação às de montante, entretanto não se observou diferença estatística no sistema Rio Madeira. Com relação às águas de superfície vs fundo não se observou diferença significativa entre os dois sistemas.

O acompanhamento deste monitoramento nas 18 estações de coleta (Tabela 1) sendo 3 estações a montante do eixo da barragem e 3 estações a jusante, na calha central do rio Madeira e 10 estações nos tributários a montante do eixo da barragem durante os 2 meses na fase de ampliação de cota proposto por esse Plano de Trabalho, será fundamental para complementar as informações sobre a dinâmica biogeoquímica do Hg-T nas águas dos sistemas Tributários e Rio Madeira e, principalmente acompanhar mês a mês a potencial formação de MeHg na coluna d'água.

Embora no acompanhamento do monitoramento de solos não tenha ocorrido diferenças nas concentrações de Hg-T e MeHg entre 2008 e nos anos subsequentes ao pós-enchimento, decidiu-se incluir 10 estações para amostragem de solos na camada superficial (0-15cm de profundidade) distribuídas na área de montante da UHE Santo Antônio que sofrerá influência do alteamento de cota.

### III. OBJETIVOS

#### III.1. Geral

**O objetivo geral desse Plano de Trabalho é o monitoramento ambiental das águas e solos determinando as concentrações de Hg-T e MeHg durante os 2 meses de ampliação de cota da UHE Santo Antônio.**

#### III.2. Específico



- Monitorar as concentrações de Hg-T e MeHg nas águas (fração total) nos principais afluentes nos trechos do Rio Madeira a montante e jusante do reservatório da UHE Santo Antônio e no canal principal deste rio na área de influência direta e trecho a jusante (18 estações);
- Coletar e quantificar Hg-T e MeHg em amostras de solos distribuídos na área de influência do alteamento (10 estações);
- Gerar 2 relatórios mensais considerando/correlacionando com o Banco de Dados (BD) dos Programas Hidrobiogeoquímica e do Programa Limnológico em andamento;
- Alimentar o SGI da UHE Santo Antônio, com Banco de Dados relacional georreferenciado das amostragens de água realizada.

#### **IV. METAS/RESULTADOS ESPERADOS**

Nesta fase do estudo espera-se acompanhar durante os 2 meses, obedecendo a elevação de cota, a evolução do comportamento do Hg-T e a potencial formação de MeHg na coluna d'água e nos solos. Esses dados também subsidiarão outros Programas de Monitoramento da área, a exemplo da modelagem da qualidade da água.

#### **V. MATERIAIS E MÉTODOS**

##### **V.1. Descrição da Área de Estudo**

A área de estudo localiza-se a montante e a jusante do Reservatório da UHE Santo Antônio (Figura 1). O trecho envolve a área do reservatório da UHE Santo Antônio e tem como limite a montante o eixo da barragem da UHE Jirau (cerca de 120 km montantes da cidade de Porto Velho) e a jusante do eixo da própria barragem da UHE Santo Antônio na foz do igarapé Belmont. A Usina Hidrelétrica Santo Antônio situa-se na cachoeira homônima, no Rio Madeira, cerca de 6 km medidos ao longo do rio, a montante de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, nas coordenadas 8°47'31''S e 63°57'7''W.



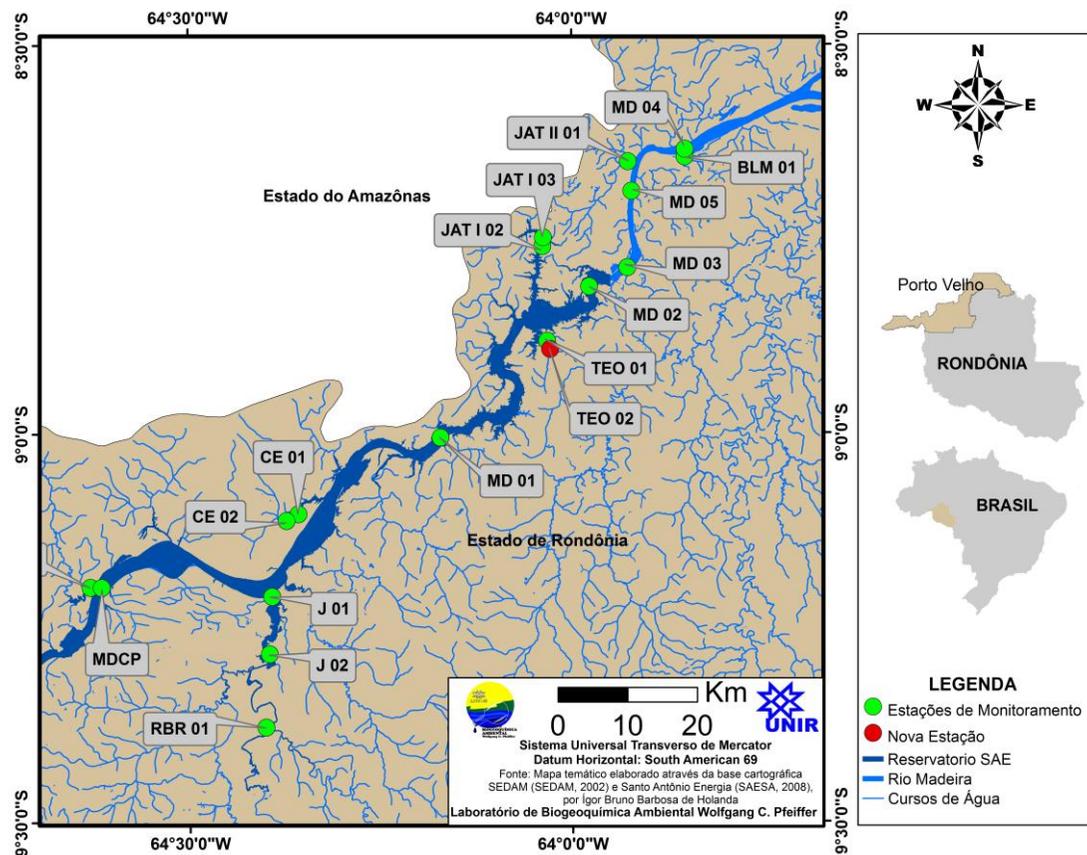
## V.2. Frêquencia e Desenho Amostral

A amostragem ambiental objetiva amostrar de modo que seja possível a análise espacial durante os 2 meses de ampliação de cota dando continuidade aos estudos dos processos biogeoquímicos que afetam a dinâmica do Hg-T e MeHg nas matrizes água e solo. Para a continuidade do monitoramento será considerado coletas de água nas 18 estações de coleta durante os 2 meses de ampliação de nível de cota e em 10 estações de coleta para amostragem de solo antes do alteamento da cota.

A área em estudo compreende trechos a montante e a jusante da barragem do reservatório da UHE Santo Antônio (Figura 1) totalizando 18 estações de coleta e as descrições e localização geográfica das estações amostrais estão elencadas na tabela 2. As estações de coleta de água foram definidas de acordo com as áreas monitoradas no período pré-enchimento do reservatório e nas áreas de maior relevância identificadas no prognóstico da qualidade da água do reservatório em formação da UHE Santo Antônio (HICON, 2011), que considerou os braços do Igarapé Jatuarana I e o rio Jaci-Paraná, assim como o trecho do Rio Madeira a montante e a jusante da barragem, além desses foram incluídos os pontos localizados no: Igarapé Ceará (CEA 01 e CEA 02); Igarapé Jatuarana I com um ponto mais a montante (JAT I 03) e Igarapé Teotônio (TEO 01) e para o período do alteamento de cota foi inserido de acordo com a recomendação do Parecer 2641/2016, uma estação aproximadamente 5 km a montante de TEO 01 (TEO 02).

As estações de coletas em sua maioria são integradas com o Programa de Limnologia. As estações foram georreferenciadas utilizando receptor de GPS (Sistema de Posicionamento Global por Satélite), a partir de um aparelho receptor para GPS (marca GARMIN's®, modelo GPS 12 XL Personal Navigator™), levando-se em conta a localização dos pontos estudados na fase do Pré-Enchimento.

Para a amostragem de solos serão selecionados em torno de 10 pontos em áreas de montante à UHE Santo Antônio que serão inundados com o alteamento de cota.



**Figura 1.** Área de Monitoramento Hidrobiogeoquímico no Rio Madeira evidenciando as 18 estações de coleta de água de montante e a jusante da UHE Santo Antônio.



**Tabela 1.** Descrição detalhada das estações de amostragens na área em monitoramento do Programa de Hidrobiogeoquímica (HBGQ).

Número de Estações de Monitoramento HBGQ	Estações de Monitoramento Hidrobiogeoquímica	Coordenadas: UTM/Datum: Sad 69/ Zona: 20L		Descrição das Estações de Monitoramento	Estações de Monitoramento Limnologia
		Longitude	Latitude		
01	<b>BLM 01</b>	406273,967	9044400,601	Igarapé Belmont, cerca de 1Km a montante de sua foz na margem direita do rio Madeira	<b>BEL</b>
02	<b>CP 02</b>	321048,621	8982950,455	Segunda Estação do rio Caripunas, a cerca de 1 km a montante de sua foz	<b>CAR</b>
03	<b>RBR 01</b>	346294,888	8963076,064	Rio Branco, cerca de 1Km a montante de sua foz na margem direita do rio Jaci Paraná	-
04	<b>J 01</b>	347109,686	8981698,192	Próximo a Foz do rio Jaci-Paraná	<b>JAC01</b>
05	<b>J 02</b>	346781,596	8973505,777	Meandro do Rio Jaci-Paraná (Lago Madalena)	<b>Próximo - JAC 02</b>
06	<b>JAT I 02</b>	385860,000	9031612,000	Rio Jatuarana I, a cerca de 10 km a montante da Foz no Rio Madeira	<b>JAT I 01</b>
07	<b>JAT I 03</b>	385966,168	9032853,925	Rio Jatuarana I, a cerca de 2km a montante da Estação JAT I 02	<b>JAT I-02</b>
08	<b>JAT II 01</b>	398124,206	9043686,424	Rio Jatuarana II, cerca de 1Km a montante de sua foz na margem esquerda do rio Madeira	<b>JAT II</b>
09	<b>MDCP</b>	322645,757	8982927,388	Rio Madeira, próximo ao rio Caripunas a Montante da UHE-Santo Antônio	<b>MON 05</b>
10	<b>MD 01</b>	371247,682	9004371,914	Rio Madeira, próximo as Corredeiras dos Morrinhos	<b>Próximo - MON03</b>
11	<b>MD 02</b>	392579,799	9025917,021	Rio Madeira a Montante UHE-Santo Antônio	<b>MON 01</b>
12	<b>MD 03</b>	398060,995	9028624,335	Rio Madeira a Jusante UHE-Santo Antônio	<b>JUS 01</b>
13	<b>MD 04</b>	406280,354	9045466,597	Rio Madeira a Jusante UHE-Santo Antônio em frente ao Igarapé Belmont	<b>JUS 02</b>
14	<b>MD 05</b>	398645,000	9039495,000	Rio Madeira a Jusante UHE-Santo Antônio entre as estações MD 03 e MD 04	-
15	<b>CE 01</b>	353334,000	8995132,000	Igarapé Ceará aproximadamente 7km a montante de sua foz	<b>CEA 01</b>
16	<b>CE 02</b>	349168,101	8992470,319	Igarapé Ceará aproximadamente 1,5 km a montante da estação CE 01	<b>CEA 02</b>
17	<b>TE 01</b>	386560,698	9018142,317	Igarapé Teotônio aproximadamente 10 km a montante de sua antiga foz	<b>TEO 01</b>
18	<b>TE 02</b>	386560,700	9018142,320	Igarapé Teotônio aproximadamente 5 km a montante de TEO.01	<b>TEO 02</b>



### V.3. Coleta e preparação das amostras

#### V.3.1 Controle de Qualidade Analítico

A qualidade das vidrarias, recipientes e reagentes usados no protocolo de análises é fundamental para obtenção de um resultado satisfatório. Para eliminação de possível contaminação são utilizados os procedimentos descritos por [Bastos et al., \(1998\)](#) onde todo o material de laboratório (vidrarias, frascos de coleta etc.) passa por um processo de descontaminação em ácido nítrico (5%) durante 48 horas e posterior enxágue com água deionizada.

Para controle do procedimento de análise utiliza-se de amostra “branco analítico”, que segue todos os passos do protocolo, contudo não contém o analito. Este procedimento permite identificar qualquer tipo de contaminação ao longo do processo de extração. Todas as amostras serão analisadas no mínimo em duplicata e, para certificar o resultado, são utilizadas amostras de referência certificadas e/ou realizados os *spikes* para as determinações de Hg-T e MeHg nas águas ([EPA, 2000](#); [EPA, 2001](#)). Paralelamente, o laboratório continuará participando de Programas de Exercícios de Intercalibração com laboratórios reconhecido nacional (Lab. de Radioisótopos EPF do Instituto de Biofísica CCF/UFRJ) e internacionalmente (Lab. da Brooks Rand, Seattle/USA) ([Bastos et al, 1998](#)).

#### V.4. Coleta e Determinação de Hg-T e MeHg na Coluna d'Água (AG)

Avanços em técnicas analíticas como, espectrometria de massa atômica, têm melhorado o conhecimento sobre a concentração de elementos-traço no ecossistema aquático. A quantificação de Hg-T e MeHg deverão ser avaliados de forma que seu protocolo analítico permita sua quantificação para compreensão de sua dinâmica mesmo a níveis traços (ppt= parte por trilhão). Recomenda-se a utilização de cromatografia gasosa acoplado a espectrometria de fluorescência atômica (GC-AFS).

Dessa forma, a amostragem de água na coluna d'água deverá ser realizada durante os 2 meses em que ocorrerá a ampliação de nível de cota no reservatório da



UHE Santo Antônio. A continuidade desse monitoramento Hidrobiogeoquímico do Hg (Hg-T e MeHg) será continuada de forma trimestral, conforme programa Hidrobiogeoquímico em funcionamento.

A amostragem da matriz água deverá ser realizada em cada estação de coleta (calha do rio Madeira e tributários – 19 estações), na sub-superfície sendo avaliada a sua fração total. A metodologia analítica empregada segue conforme Quadro V.1 (EPA, 2001). As amostras de água para quantificação de Hg-T e MeHg serão acondicionadas em frascos de 1L de vidros âmbar, previamente descontaminadas, e para minimizar a contaminação por poeira os frascos serão armazenados em sacos plásticos, tipo *ziplock* (Bisinoti & Jardim, 2004).

Os procedimentos laboratoriais para detecção de Hg-T e MeHg nas amostras de água (fração total) serão seguidos conforme Bloon & Fitzgerald (1998).

**Quadro V.1** - Métodos de análises na coluna d'água.

Variáveis	Frasco	Volume (mL)	Equipamento Analítico	Método
Hg-T (Total)	VA	500	CG-AFS (MERX-M)	EPA, 2001
MeHg (Total)	VA	500	CG-AFS (MERX-M)	EPA, 2001

VA = vidro âmbar - CG-AFS= espectrômetro de fluorescência atômica com cromatografia gasosa.

### V.5. Coleta e Determinação de Hg-T e MeHg no Solo (SL)

Será realizada amostragem de solo de terra firme por meio de coletor pontual, trado Holandês. Este equipamento permite a coleta da camada superficial do solo no horizonte orgânico (0-15 cm). A amostragem será realizada em solos de terra firme na área de montante do UHE Santo Antônio que potencialmente serão inundados com o alteamento de cota. Os pontos de coleta serão georreferenciados utilizando o Sistema de Posicionamento Global por Satélite – GPS.

Após a coleta, as amostras de solos serão acondicionadas em sacos plásticos e mantidas resfriadas até a preparação da amostra no laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR. Para análise, as amostras serão submetidas ao peneiramento



granulométrico, por meio do qual são selecionadas partículas de diâmetro inferior a  $74\mu\text{m}$  (200mesh) por apresentarem maiores sítios de ligações químicas. Em seguida, será retirada a umidade das amostras, sendo liofilizadas imediatamente após a coleta, para posterior quantificação dos teores de Hg-T e MeHg (Quadro V.2).

#### Quadro V.2 - Métodos de análises nos solos.

Variáveis	Frasco	Volume (g)	Equipamento Analítico	Método
Hg-T (Total)	SZL	500	CV-AAS (FIMS-400)	Bastos et al. (1998)
MeHg (Total)	SZL	500	CG-AFS (MERX-M)	EPA, 2001

SLZ = sacos zip-lock – CV-AAS= espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor frio. – CG-AFS= espectrômetro de fluorescência atômica com cromatografia gasosa.

#### V.6. Banco de Dados e Georreferenciamento

Todas as informações geradas no monitoramento Hidrobiogeoquímico das águas e solos deverão ter a continuidade de serem compiladas num Banco de Dados relacional por meio dos *softwares* Microsoft Access e a geração Arc. O Banco de Dados está idealizado para armazenar dados de modo a facilitar o acesso aos dados obtidos pelo monitoramento desde o início do empreendimento.

A base desse Banco de Dados constitui-se nos pontos amostrais georreferenciados, sobre uma base física, considerando as características planialtimétricas, edáficas, hidrológicas e climáticas.

#### V.7. Tratamento dos Dados

Inicialmente deverá ser realizada análise exploratória de dados constituindo basicamente em resumir e organizar os dados coletados através de tabelas, gráficos ou medidas numéricas e, a partir dos dados resumidos, prospectar possíveis regularidades ou padrões nas observações que permitam realizar interpretações iniciais nos dados coletados. A partir dessa interpretação inicial será possível identificar se os dados



seguem algum modelo conhecido, que permita estudar o fenômeno sob análise, ou se é necessário sugerir um novo modelo.

A análise dos resultados compreenderá a aplicação de testes estatísticos univariados e multivariados para comparações pareadas e estudos de correlação (McCunne & Mefford, 1999). A análise estatística será realizada, atentando-se para prerrogativas da análise como a normalidade dos dados. Considerando que o número de amostras inferiores ao número de variáveis analisadas ( $n - p < 30$ ), será necessário avaliar a normalidade multivariada dos dados.

O teste de *Shapiro-Wilk* poderá ser utilizado para verificar a normalidade dos dados seguidos e da aplicação do teste *t* e análise de variância para averiguar diferenças significativas em nível de 95% de confiança.

Análises multivariadas poderam ser empregadas para explorar as informações obtidas no Banco de Dados, a fim de reduzir o volume de informações a ser interpretadas, testar as hipóteses levantadas com base nos resultados evidenciados, e para obter as listagens de informações indicadoras de cada grupo.

## VI. RELATÓRIOS

### ➤ Relatórios Mensais (2)

Durante o período do monitoramento da elevação de cota, serão elaborados relatórios técnicos mensais durante os 2 meses apresentando descrição simples dos resultados obtidos nas campanhas mensais correlacionando-os com dados pretéritos, em cópia digital.

## VII. EQUIPE TÉCNICA

A realização dos trabalhos estará contando, além de alunos de graduação na iniciação científica, com profissionais de nível superior com conhecimento na dinâmica do elemento mercúrio no ambiente amazônico, experiência nos processos de biomagnificação e bioacumulação de contaminantes ao longo da teia trófica, qualidade em química analítica do mercúrio, ecotoxicologia do mercúrio, análise de água e possíveis efeitos decorrentes de barramentos.



### **Equipe Ambiental:**

Prof. Dr. Olaf Malm (Biólogo, UFRJ)

Prof. Dr. Wanderley Rodrigues Bastos (Biólogo, UNIR)

Prof. Dr. Angelo Gilberto Manzatto (Biólogo, UNIR)

MSc. Marília Higino Mussy (Bióloga, Doutoranda/UNIR/UFRJ)

MSc. Igor Bruno Barboza de Holanda (Biólogo, UNIR)

MSc. Maria Cristina Nery do Nascimento Recktenvald (Química, UNIR)

MSc. Eduardo Araújo de Sousa (Biólogo, UNIR)

Esp. Fernando Neves Pinto (Biólogo, UFRJ)

Esp. Izidro Ferreira de Souza (Biólogo, UFRJ)

Walkimar Aleixo da Costa Junior (Químico, Mestrando/UNIR)

Maria Thereza Souza Bastos (Bióloga, UNIR)

Charlliene Lima da Silva (Pedagoga/, UNIR)

José Ricardo Tomáz (Técnico de Laboratório, UFRJ)

Alana Adolfo Ferreira (Iniciação Científica, UNIR)

Bruna Luna dos Santos Barbosa Bastos (Iniciação Científica, UNIR)

Célia Ceolin Baía (Iniciação Científica, UNIR)

Iuri Aparecida da Silva Oliveira (Iniciação Científica, UNIR)

Laiana Karen Jacob da Silva (Iniciação Científica, UNIR)

Melissa de Souza Barbosa (Iniciação Científica, UNIR)

Gabriel Henrique Abrantes Holanda (Iniciação Científica, IFRO)

Victor Francisco Pires de Souza (Iniciação Científica, IFRO)

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

Glenda Pereira Eduardo (Auxiliar de Serviços Gerais, UFRJ)



## VIII. CRONOGRAMA

**Tabela 2.** Cronograma de atividades de campo e laboratorial do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, aspecto ambiental, para o período dos 2 meses de enchimento/ampliação de nível de cota do reservatório da UHE Santo Antônio.

Atividades	Mês 01	Mês 02	Mês 03
Atividades de campo*			
Atividades de Laboratório			
Confecção de Boletins			
Inserção no Banco de Dados			
Tratamento Estatístico			
Relatórios			

\* Logística de campo será fornecida pela Santo Antônio Energia.



## IX. REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M.D.; LACERDA, L.D.; BASTOS, W.R. & HERRMANN, J.C. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, western Amazon, Brazil. **Environmental Pollution**, v. 137, p. 179-186, 2005.

ALMEIDA, R. **Estudo da origem, mobilização e organificação do mercúrio do mercúrio e sua incorporação pelo pescado no reservatório de Samuel, RO**. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas (Biofísica)) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

AULA, I.; BRAUNSWEILLER, H.; LEINO, T.; MALIN, I.; PORVARI, P.; HATANAKA, T.; LODENIUS, M. & JURAS, A. Levels of mercury in the Tucuruí reservoir and its surrounding area in Pará, Brazil. *In*: Watras, C.J. & Huckabee, J.W. (Eds.) **Mercury Pollution: Integration and Synthesis**. Lewis Publ., p. 21-40.1995.

BASTOS, W. R., MALM, O. PFEIFER, W. C. & CLEARY, D. Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon Brazil. **Ciência e Cultura Journal of the Brazilian Association for the Advancement of Science**, Rio de Janeiro. v. 50, p. 255-260. 1998.

BASTOS, W. & LACERDA, L.D. A contaminação por Mercúrio na bacia do Rio Madeira: Uma breve revisão. **Geochimica Brasiliensis**, v. 18, n. 2, p. 99-114, 2004.

BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.O; OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E.L.; LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G. & PFEIFFER, W.C. Mercury in the environment and riverside population in the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Sci. Tot. Environm.** v.368, p.344 – 351. 2006.

BASTOS, W. R.; REBELO, M. de F.; FONSECA, M. de F. ALMEIDA, R. & MALM, O. A description of mercury in fishes from the Madeira River Basin, Amazon, Brazil. **Acta Amazonica**. vol. 38(3): 431 – 438. Rondônia. 2008.

BISINOTI, M.C. & JARDIM, W.F. Behavior of methylmercury in the environment. **Quím. Nova**, July/Aug., vol.27, no.4, p.593-600. ISSN 0100-4042. 2004.

BLOON, N. & FITZGERALD, W. Determination of volatile mercury at the pictogram level by low-temperature gas chromatography with cold vapour atomic fluorescence detection. **Analytica Chimica Acta**. V.208, p. 151-161. 1998.

BRABO, E.S.; ANGÉLICA, R.S.; SILVA, A.P.; FAIAL, K.R.F.; MASCARENHAS, A.F.S.; SANTOS, E.C.O.; JESUS, I.M. & LOUREIRO, E.C.B. Assessment of mercury levels in soils, waters, bottom sediments and fishes of Acre state in Brazilian Amazon. **Water, Air and Soil Pollution** 147: 61–77, 2003.

COQUERY, M., COSSA, D., AZEMARD, S., PERETYAZHKO & T., CHARLET, L., 2003. Methylmercury formation in the anoxic waters of the Petit-Saut reservoir (French Guiana) and its spreading in the adjacent Sinnamary River. **J. Phys.** IV (107), 327–331.

DROTT, A., LAMBERTSSON, L., BJORN, E. & SKYLLBERG. 2008. Do Potential Methylation Rates Reflect Accumulated Methyl Mercury in Contaminated Sediments? **Environ. Sci. Technol.** 42, 153–158.



EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method 1669. Sampling Ambient Water for Trace Metals at EPA Water Quality Criteria Levels. U.S.226. Environmental Protection Agency Office of Water Engineering and Analysis Division (4303) 401. M Street S.W. Washington, D.C. 20460. 2000.

EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method 1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and CVAFS, EPA 821-R-01-020, January - 1630. 2001.

HALL, B.D.; ST. LOUIS, V.L. & BODALY, R.A. The stimulation of methylmercury production by decomposition of flooded birch leaves and jack pine needles. **Biogeochemistry**, 68:107-129. 2004.

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

HEYES, A.; MOORE, T.R. & RUDD, J.W.M. Mercury and methylmercury in decomposing vegetation of a pristine and impounded wetland. **Journal of Environmental Quality**, 27:591-599. 1998.

HICON ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. “**Prognóstico da Qualidade da Água do Futuro Reservatório da UHE Santo Antônio no Rio Madeira através de Modelagem Matemática**”. Abril de 2011.

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

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

KASPER, D. **Efeito da Barragem nas concentrações de mercúrio na biota aquática à jusante de um reservatório amazônico (Usina Hidroelétrica de Samuel, RO)**. Dissertação de Mestrado. (Mestre em Ciências) - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008

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

KEHRIG, H.A.; HOWARD, BM; MALM, O. Methylmercury in a predatory fish (*Cichla* spp.) inhabiting the Brazilian Amazon. **Environ Pollut** 2008;154:68–76.

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



- LACERDA, L. D. Amazon mercury emission. **Nature**. n. 374 p. 20 – 21, 1995.
- LACERDA, L.D. **Mercury from gold and silver mining**. Springer New York. 1998.
- LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. **Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb**. Springer Verlag, 146 p. 1998.
- LECHER, P.J.; MILLER, J.R.; LACERDA, L.D.; VINSON, D.; BONZONGO, J.C.; LYONS, WB; et al. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichments? **Sci Total Environ**. 2000;260:87–96
- MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M. & REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. **Ambio**. Stockholm. Vol. 19, no. 1, pp. 11-15. 1990.
- MALM, O. **Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do Rio Madeira, Amazônia**. Tese (Doutor em Ciências) - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1991.
- MALM, O.; PALERMO, E.F.A.; SANTOS, H.S.B.; REBELO, M.F.; HEHRIG, H.A.; OLIVEIRA, R.B.; et al. Transport and cycling of mercury in Tucuruí reservoir, amazon, Brazil: 20 years after fulfillment. **RMZ - Mater Geoenviron** 2004;51:1195–8.
- MAURICE-BOURGOIN, L.M.; QUIROGA, I; CHINCHEROS, J. & COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira Rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **Sci. Tot. Environm.**, 260:73-86, 2000.
- McCUNNE, B. & MEFFORD, M.J. **Multivariety analysis of ecological data**, version 4.0. Mjm.software designs. Oregon, 1999.
- MIRANDA, M. R. **Formação de metil-mercúrio na bacia do Rio Madeira, Rondônia**. UFRJ/IBCCFo.. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho 138 ff., 2010.
- MURESAN, B.; COSSA, D.; RICHARD, S.; DOMINIQUE, Y. Monomethylmercury sources in a tropical artificial reservoir. **Applied Geochemistry**, v. 23, p. 1101–1126, 2008.
- OLIVEIRA, S. M. B.; MELFIA, J.; FOSTIER, A. H.; FORTI, M. C.; FAVARO, D. I. T.; BOULET, R. Soils as an important sink for mercury in the amazon. **Water, Air and Soil Pollution**, v. 126, n. 3-4, p. 321 – 337, 2001.
- PALERMO, E. F. A. **Acumulo e transporte de Mercúrio em reservatórios tropicais**. Tese (Doutor em Ciências) - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2008
- PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. **Environ. Technol. Lett.**, 9:325-350, 1988.
- PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D. & SILVEIRA, E.G. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Vol. 38, No. 3/4, p 239-245, 1991.
- PORVARI, P. Mercury levels in fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and in River



Moju in Amazônia, in the state of Pará, Brazil. **Sci. Tot. Environ.** 175: 109-117, 1995.

RABITTO, I.S.; BASTOS, W.R.; ALMEIRA, R.; ANJOS, A.; HOLANDA, I.B.B; GALVÃO, R.C.F.; NETO, F.F.; MENEZES, M.L.; SANTOS, C.A.M.; RIBEIRO, C.A.O. Mercury and DDT exposure risk to fish-eating human populations in Amazon. **Environment International** 37 (2011) 56–65.

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

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; FARELLA, N.; SERIQUE, G.; COELHO, H.; PASSOS, C.J.S.; da SILVA, E.D.; de ANDRADE, P.S.; MERGLER, D.; GUIMARÃES, J.R.D.; AMORIM, M. 1999. Effects of recent human colonization on the presence of mercury in Amazonian ecosystems. **Water, Air, and Soil Pollution** 112, 297-313.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; FARELLA, N.; COURCELLES, M.; GUIMARÃES, J.R.D.; MERGLER, D.; AMORIM, M. 2000. Increase in mercury contamination recorded in lacustrine sediments following deforestation in the central Amazon. **Chemical Geology** 165, 243-266.

SHETAGNE, R., DOYON, J. F. & FOURNIER, J. J. Export of mercury downstream from reservoirs. **Science of Total Environment**, 2000. (260): 135-145.

TREMBLAY, A., LUCOTTE, M. & SHETAGNE. Total mercury and methylmercury accumulation in zooplankton of hydroelectric reservoirs in northern Québec (Canada). **Science of Total Environment**, (213): 307-315. 1998.

TUOMOLA, L. **Mercury Levels in Fish Five Years after Construction of Lago Manso Reservoir, Brazil**. Degree project in Biology. Examensarbete i biologi, 20 p, Biological Education Centre and Department of Limnology. Uppsala University. Supervisors: Lars Hylander and Edinaldo de Castro e Silva. 2005.

WASSERMAN, J. C.; HACON, S.; WASSERMAN, M. A. Biogeochemistry of mercury in the Amazonian environment. **AMBIO**, Suécia, v. 32, n. 5, 2003.

**Olaf Malm (olaf@biof.ufrj.br)**

**Wanderley Bastos (bastoswr@unir.br)**