

PLANO DE TRABALHO

PROGRAMA HIDROBIOGEOQUÍMICA DO MERCÚRIO E OUTROS METAIS PESADOS NO RIO MADEIRA – UHE SANTO ANTÔNIO PERÍODO DE PÓS-ENCHIMENTO (AVALIAÇÃO AMBIENTAL)

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

JULHO/2012

Coordenação:

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

Equipe Ambiental:

Prof. Dr. Angelo Gilberto Manzatto (UNIR)
Dr. Márcio Rodrigues de Miranda (UFRJ/UNIR)
MSc. Dario Pires de Carvalho (Doutorando-UNIR/UFRJ)
MSc. Cleber Calado Luz (Doutorando-UNIR/UFRJ)
MSc. Marília Higino Mussy (Doutoranda-UNIR/UFRJ)
MSc. Roberta Carolina Ferreira Galvão (UNIR)
Biol. Igor Bruno Barboza de Holanda (Mestrando/UNIR)
Quím. Leidiane Caroline Lauthartte (Mestranda/UNIR)
Quím. Maria Cristina Nery do Nascimento (Mestranda/UNIR/UFAM)
Biol. Maria Thereza Souza Bastos (UNIR)
Quim. Francisca Denilça dos Santos (UNIR)
Charlliene Lima da Silva (Pedagoga/UNIR)
Andressa de Jesus França (Iniciação Científica/UNIR)
Júlia Yuones Herrmann (Iniciação Científica/UNIR)
Bruna Daniely Brito Viana (Iniciação Científica/UNIR)
Melissa de Souza Barbosa (Iniciação Científica/UNIR)
Rafael de Jesus Holanda (Iniciação Científica/UNIR)
Antonio Gomes da Costa (Auxiliar de Serviços Gerais/UNIR)

Consultores Externos:

Dr. Olaf Malm (IBCCF/UFRJ)
MSc. Ronaldo de Almeida (Doutorando-UNIR/UFRJ/UFAM)

Sumário

I. INTRODUÇÃO	04
I.1. Mercúrio	04
I.2. Outros Metais Pesados	07
II. OBJETIVOS	10
II.1. Geral	10
II.2. Específico	10
III. MATERIAIS E MÉTODOS	11
III.1. Descrição da Área de Estudo	11
III.2. Desenho Amostral	12
III.3. Estações de Coleta	16
III.4. Amostragem da Coluna D'Água	16
III.5. Material Particulado em Suspensão	17
III.6. Solo	17
III.7. Sedimento de Fundo	18
III.8. Peixe	18
III.9. Crocodiliano	19
III.10. Quelônio	19
III.11. Macrófita Aquática	19
III.12. Plâncton	20
III.13. Macroinvertebrado	21
III.14. Canteiro de Obras	21
III.15. Técnicas de Quantificação de Metais Pesados e Controle de Qualidade	22
III.15.1. Análise de Hg-Total	22
III.15.2. Análise de Metil-Hg	22
III.15.3. Análises dos demais Metais Pesados	23
III.15.4. Controle de Qualidade	23
III.16. Banco de Dados e Georreferenciamento	23
III.17. Análise Estatística dos Dados	24
III.18. Autorizações Especiais	25
IV. METAIS/RESULTADOS ESPERADOS	25
V. REFERÊNCIAS	26

I. INTRODUÇÃO

O IBAMA, por meio da Licença de Operação n° 1044/2011 e Parecer n° 78/2011/COHID/CGENE/DILIC/IBAMA, recomendou a continuidade das atividades do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, de forma a assegurar sua manutenção, em conformidade com o proposto no Programa Básico Ambiental (PBA) – Volume II – Seção 7, item 4.2 durante as fases de pós-enchimento e operação.

Ainda de acordo com o PBA (MESA, 2009), nas fases de enchimento, estabilização e pós-enchimento, irá ocorrer alagamento de solos e áreas de vegetação, alterações nas condições físico-químicas da água, devido à transformação de um sistema lótico em lântico. Ainda que citado no PBA a existência de ambiente lântico, ressalta-se que reservatórios fio d'água (como é o caso da UHE Santo Antônio) não promovem redução acentuada da velocidade de corrente, de forma que o rio mantém suas características hidráulicas semelhantes às originais, com regiões de ambientes semi-lânticos.

As fases de enchimento (15/09/2011 a 23/01/2012) e de estabilização (24/01/2012 a 30/06/2012) são de fundamental importância para se acompanhar e compreender a evolução do comportamento do mercúrio (Hg) nas áreas críticas do reservatório, estabelecendo os parâmetros de comparação com a fase de pré-enchimento e verificando possíveis tendências para a fase de pós-estabilização do reservatório.

Esta etapa também é importante para avaliar o escopo do programa que deve ser direcionado à gestão, realizando seleção de onde, a matriz, frequência, e o que analisar (especialmente demais metais). Isso poderá ser feito por meio de análises estatísticas exploratórias dos dados observadas no pós-enchimento versus os dados do pré-enchimento do reservatório.

O presente Plano de Trabalho apresenta as atividades a serem desenvolvidas no âmbito do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, aspecto ambiental, durante o período de pós-enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio.

I.1. Mercúrio (Hg)

O processo de enchimento para a formação de reservatórios tende a ser acompanhado por aumento da concentração de metil-mercúrio (MeHg) nos diversos compartimentos bióticos e abióticos. 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; Tuomola, 2005; Muresan et al., 2008).

Para compreender e avaliar esse possível aumento do MeHg após a inundação, foram 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 e rápida incorporação à 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).

Foi proposto ao IBAMA ajuste na metodologia na quantificação da taxa de metilação descrita no PBA. Essa mudança foi aceita, por meio do Ofício nº 0137/2012/COHID/CGENE/DILIC/IBAMA de 15.06.2012. O ajuste visou evitar a importação, transporte e manuseio de material radioativo (^{203}Hg) necessário para a análise da taxa de metilação segundo metodologia inicial. Já a metodologia proposta segundo Drott et al (2008), atualmente adotada no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, dispensa a necessidade de material radioativo, uma vez que a determinação da concentração de MeHg é obtida por normalização para mercúrio total (Hg-T) nos diferentes ambientes ($\% \text{MeHg} = 100 \times [\text{MeHg}/\text{Hg-T}]$).

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, 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 defluentes iguais às vazões afluentes, com conseqüente manutenção das características lóxicas do rio Madeira, e tempo de residência de 7 a menor que 1 dia no estirão do reservatório. 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 *op. cit.*

Entretanto, as concentrações de Hg-T 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; Oliveira et al, 2001; Brabo et al, 2003; Wasserman et al, 2003; Lacerda et al, 2004; Almeida et al, 2005; Hermann, 2008).

Outro fato relevante em relação à área de influência do reservatório está relacionado à ocorrência da atividade de garimpo de ouro na bacia do rio Madeira desde

a década de 70, onde o mercúrio 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).

A construção do reservatório da UHE Santo Antônio propiciará 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 nas 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.

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 da 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).

Conforme previsto por meio da modelagem da qualidade da água (HICON, 2011), as maiores concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e as menores concentrações de Oxigênio Dissolvido (OD) ficaram restritas às camadas mais profundas no estirão do rio Madeira, em um período de tempo curto durante o enchimento do reservatório. Para os tributários, foi prognosticada a formação de bolsões laterais ao reservatório, principalmente, nos braços afogados do Igarapé Teotônio e Jatuarana I. O rio Jaci-Paraná é o afluente mais importante do rio Madeira no trecho do reservatório de Santo Antônio. Em condições naturais, o rio Madeira, alcança nível médio próximo à cota 70,5 nesta localidade, indicando que o rio Jaci-Paraná sofrerá pouca influência além das quais já ocorre naturalmente, em relação à cota do rio Madeira.

Os sedimentos enriquecidos com o mercúrio inorgânico remobilizado dos solos alagados ou interceptados por corpos d'água em condições anóxicas como as que poderão ocorrer nos “bolsões” do rio Jaci-Paraná e próximo aos igarapés Teotônio e

Jatuarana I, sendo áreas prováveis de aumento da concentração de Hg orgânico, principalmente MeHg que, posteriormente, poderá ser disponibilizado na coluna d'água e incorporado pela biota.

O MeHg produzido nestas áreas pode ser incorporado na teia trófica via fitoplâncton ou ainda ser exportado destas áreas na forma dissolvida e particulada. Portanto, estudos que incluam fatores dinâmicos como a taxa de deposição, taxa de remobilização, taxas de metilação e demetilação do Hg no sedimento são importantes critérios para entender como o reservatório pode atuar como sumidouro de Hg inorgânico ou como sítios de produção de Hg orgânico.

Outra questão importante é que estudos em reservatórios têm demonstrado que o MeHg produzido nos reservatórios 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). Essa possível ocorrência necessita também ser monitorada na região mais a montante da UHE Santo Antônio, principalmente durante o enchimento do UHE Jirau, assim como também a jusante da UHE Santo Antônio.

I.2. Outros Metais Pesados

No meio ambiente, os metais pesados podem estar presentes em vários compartimentos ambientais (abióticos e bióticos) tanto em concentrações naturais, dependendo da formação geológica da região, quanto pela atividade antropogênica.

Os processos naturais que contribuem para a ocorrência de metais pesados em águas são o intemperismo de rochas e o escoamento superficial da água das chuvas após lavagem e lixiviamento de elementos no perfil do solo da região. Sendo que a constituição do solo da região Amazônica é bem diversificada, predominando os latossolos, argissolos, neossolos, gleissolos e cambissolos. A classe que se impõe é a do latossolo, em torno de 58% do estado de Rondônia. Os latossolos (correspondentes à classe de Ferralsols pelo sistema FAO e Oxisols pelo sistema americano de classificação de solos) são subdivididos através da cor, que indiretamente informa o teor de ferro (óxido de ferro) presente no solo (SEDAM, 2002).

Nos últimos anos, especialmente a partir da década de 90, a poluição do solo tem merecido especial atenção, sendo, mundialmente reconhecida como um problema que pode representar sérios riscos à saúde humana e à qualidade do meio ambiente. Solos possuem características únicas quando comparados aos outros componentes da biosfera

(ar, água e biota), pois se apresentam não apenas como um dreno para contaminantes, mas também como um tampão natural que controla o transporte de elementos químicos e outras substâncias para a atmosfera, hidrosfera e biota (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

As principais fontes antropogênicas de contaminação dos rios e lagos com metais pesados são: atividade industrial através do lançamento de efluentes sólidos e deposição atmosférica de partículas ou gases (ex. Pb); atividades de mineração como a fundição de metais não-ferrosos (ex. Cd, Ni e Pb); fabricação de ferro e aço (ex. Cr, Mo, Sb e Zn); efluentes domésticos (especialmente As, Cr, Cu, Mn e Ni) e águas superficiais provenientes de áreas cultivadas com adubos químicos e defensivos agrícolas (estes contêm os mais variados metais como o Cd, Hg, Pb, Cu, dentre outros) (Kabata-Pendias & Pendias, 2001).

Fontes antropogênicas contribuem com cerca de 11% (no caso do Mn) a 96% (no caso do Pb) do total das emissões atmosféricas, além de serem responsáveis por adições de até 1,16 milhões de toneladas do metal (caso do Pb) por ano a ecossistemas terrestres e aquáticos (Nriagu & Pacyna, 1988).

Nos solos, as principais fontes antrópicas de contaminação em relação aos metais pesados são: extração mineral; descarte de produtos comerciais e as precipitações atmosféricas de cinzas ou pequenas partículas provenientes de queimadas e gases poluentes lançados por indústrias e incineradoras que provocam a volatilização e formação dessas cinzas ricas em metais adsorvidos (Torres, 1992). Insumos agrícolas ou subprodutos usados com finalidade corretiva ou nutricional na agricultura representam também uma possível fonte de contaminação.

Embora menos importantes do ponto de vista quantitativo, esses insumos (fertilizantes, calcários, esterco e lodos de esgoto) podem se constituir em importantes fontes não pontuais de poluição de solos e águas. McBride (1994) relata que a alteração do teor natural de metais pesados nos solos pela aplicação de taxas agrônomicas de fertilizantes tende a levar décadas. Esses autores enfatizam ainda que, quando comparado a fertilizantes e esterco bovinos, o lodo de esgoto municipal poderia resultar em adições muito maiores de elementos químicos ao solo.

As reações que controlam a disponibilidade de metais pesados em solos compreendem adsorção e dessorção, precipitação e dissolução, e complexação. Esses processos são influenciados por diferentes atributos, sendo o pH e o potencial redox os mais relevantes (Kabata-Pendias & Pendias, 2001), pois além de afetarem diretamente

as reações supracitadas, são também os principais fatores que controlam a especiação dos elementos químicos em solução.

Segundo Mortatti & Probst (1998), o fluxo dos elementos químicos, medido junto à foz de uma bacia hidrográfica é o resultado conjunto dos mecanismos de erosão e sedimentação, além da ação antrópica que afetam essa bacia de drenagem. Desta forma, cerca de 90 a 99% dos metais pesados presentes na carga total dos rios são transportados adsorvidos as partículas ao material particulado em suspensão. Isso, dependendo do comportamento geoquímico do metal (especiação e complexação), parâmetros físico-químicos, tais como (pH e circunstâncias de redox), a natureza da interação entre os sólidos e as espécies químicas, que determinam o coeficiente de partição do metal entre a fase dissolvida e a adsorção com partículas finas, são processos chave neste transporte (Bonotto & Silveira, 2003). Assim os rios que recebem grandes cargas de rejeitos industriais apresentam, na maioria dos casos, grandes concentrações de elementos na fase dissolvida, enquanto que rios sem contribuição antrópica apresentam a maior parte da carga total associada ao material particulado em suspensão (Hatje et al., 2003).

Durante o transporte fluvial, o fluxo dos metais pesados pode ser modificado através das trocas com a planície aluvial, com os sedimentos de fundo em processos de adsorção e dessorção, com os organismos biológicos e através das diversas reações biogeoquímicas, envolvendo a precipitação e a dissolução de certos minerais, oxidação da matéria orgânica e desnitrificação (Mortatti & Probst, 1998).

Dentre as diversas reações biogeoquímicas, as mais importantes são as interações que ocorrem entre Fe e Mn e os demais metais e substâncias presentes na coluna d'água. Segundo Stumm & Morgan (1996), próximo à interface água-sedimento, pode ocorrer uma zona anóxica, de depleção de O₂, onde reações de redução e dissolução de óxidos de Fe (III) e Mn (IV) podem liberar metais catiônicos (Cu⁺², Pb⁺², Zn⁺²) ou aniônicos (AsO₃⁻³) que se encontravam adsorvidos a estes óxidos. A dissolução destes óxidos leva também à liberação de Fe⁺² e Mn⁺² que, uma vez atingindo a região óxica próxima à superfície, na presença de O₂, sofrem oxidação e reprecipitação, levando novamente à formação de óxidos de Fe (III) e Mn (IV), que podem adsorver metais pesados dissolvidos e, eventualmente, sofrerem sedimentação no fundo do lago, ficando sujeitos a novos ciclos de redução e dissolução, e assim por diante. Levando-se em consideração as altas concentrações na água de Fe ($\pm 5000\mu\text{g.L}^{-1}$) e Mn ($\pm 300\mu\text{g.L}^{-1}$) na bacia hidrográfica do Rio Madeira (Gomes et al., 2003a), e a alta

correlação entre a concentração destes elementos em lagos marginais à jusante deste (Gomes et al., 2003b), podemos considerar que a ciclagem de Fe e Mn é um importante contribuidor para a remoção de outros metais pesados por meio da mobilização e, posterior, sedimentação.

Devido à adsorção realizada pelo material particulado em suspensão e o sedimentos de fundo, estes também são importantes controladores das concentrações de metais pesados dissolvidos nos meios hídricos (Hatje et al., 2003). Nesse contexto, os fatores físico-químicos do meio aquático são de grande importância, pois podem disponibilizar os metais que estão adsorvidos ao material particulado em suspensão ou associados aos sedimentos de fundo, deixando-os disponíveis à biota, podendo bioacumular e biomagnificar (a exemplo do Hg) ao longo da cadeia alimentar (Malm, 1991). Não havendo grandes modificações físico-químicas no ambiente pode ocorrer a remoção destes metais dissolvidos para fases sólidas através de processos de: adsorção, floculação, precipitação e co-precipitação (Malm, 1991).

Desta forma, este estudo tem como o objetivo inicial acompanhar os processos de evolução do mercúrio, incluindo sua forma química MeHg para matrizes bióticas e abióticas, e outros metais pesados (Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) na área de influência direta da UHE Santo Antônio e trecho a jusante desta, comparando as fases de enchimento, estabilização/operação e pós-enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio com o estudo pretérito (dados do período pré-enchimento).

II. OBJETIVOS

II.1. Geral

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

II.2. Específicos

- Monitorar as concentrações de Hg-total nas matrizes bióticas e abióticas 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;

- Avaliar a contribuição de MeHg na água proveniente do reservatório da UHE Jirau na estação a jusante da barragem, para se obter dados comparativos da exportação de MeHg do reservatório da UHE Jirau para o reservatório da UHE Santo Antônio, assim como do reservatório da UHE Santo Antônio para a jusante;
- Monitorar as concentrações de MeHg nas matrizes que apresentarem destaque quanto aos teores de Hg-total;
- Monitorar a formação de MeHg nos potenciais bancos de macrófitas formados na área do reservatório da UHE Santo Antônio;
- Monitorar as concentrações de outros metais pesados (Co, Cu, Cr, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn) nas matrizes bióticas e abióticas 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;
- Oferecer subsídios acerca das concentrações de Hg-Total no pescado, jacarés e tartarugas para os estudos de exposição humana que avaliará a população estudada no pré-enchimento, observando potenciais novos grupos críticos a esta exposição;
- Utilizar a modelagem de qualidade da água como subsídio para seleção de locais potencialmente favoráveis à metilação de Hg na água;
- Subsidiar, sempre que necessário, os Programas de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, Conservação da Ictiologia e no aspecto humano do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico da UHE Santo Antônio, mais especificamente na Avaliação da Saúde Humana acerca dos dados produzidos nas diversas matrizes e área monitorada quando for necessário;
- Alimentar o SGI da UHE Santo Antônio, com Banco de Dados relacional georreferenciado das matrizes bióticas e abióticas.

III. MATERIAIS E MÉTODOS

III.1. Descrição da Área de Estudo

A área de estudo localiza-se a montante e a jusante da construção da barragem da UHE Santo Antônio (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 montante da

cidade de Porto Velho) e a jusante do eixo da própria barragem da UHE Santo Antônio na foz do igarapé Belmont. A Usina Hidrelétrica Santo Antônio situa-se na cachoeira homônima, no rio Madeira, cerca de 6 km medidos ao longo do rio, a montante de Porto Velho, capital do Estado de Rondônia, nas coordenadas 8°47'31'' S e 63°57'7'' W.

A seguir são relacionadas algumas características do empreendimento:

- N.A. Máximo Normal El. 70,50m (referência na 1ª correção da Revisão dos Marcos Altimétricos do IBGE – data 06/10/2009)
- Altura do barramento: 30 m
- Área do Reservatório 546 km², considerando o remanso em eventos de cheia Q ~38.000 m³/s
- Área Alagada: 350 km²
- Potência Instalada 3.150 MW
- Energia Firme: 2.218 MWh
- Tipo de Turbina: Bulbo, com rotor Kaplan
- Nº Unidades Geradoras: 44

O reservatório formado com a implantação da usina é de dimensões relativamente reduzidas. No N.A. máximo normal, El.70,50 m, o reservatório ocupa uma área de 350 km². Dessa área, cerca de 164 km² correspondem à inundação natural, resultando um acréscimo de área inundada de 186 km².

III.2. Desenho Amostral

A coleta objetiva amostrar de modo que seja possível a análise espacial e temporal e estudar os processos biogeoquímicos que afetam a dinâmica do Hg-total e MeHg, assim como outros metais pesados nas matrizes abióticas (solos hidromórficos e de terra firme, sedimento de fundo e no material particulado em suspensão) e avaliar a evolução do Hg-total e MeHg nas matrizes bióticas (comunidade fitoplantônica e zooplantônica, nas macrófitas e na ictiofauna de interesse, assim como nos répteis (jacarés e tartarugas)).

As estações de coletas em sua maioria são integradas com o programa de Limnologia, salvo as amostragens de peixes esta integrada com o programa de Ictiologia. As informações dos parâmetros limnológicos da água são fundamentais nos processos de transformação química do Hg. As estações serão 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 (Tabela 2). A tabela 1 apresenta o cronograma de atividades de campo e de laboratório no Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, aspecto ambiental, para os anos de 2012 e 2013.

Tabela 1. Cronograma de atividades de campo e laboratorial do Programa de Monitoramento Hidrobiogeoquímico, aspecto ambiental, para o período de pós-enchimento, anos de 2012 e 2013.

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

- --- Fim do período de estabilização do reservatório da UHE Santo Antônio

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

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

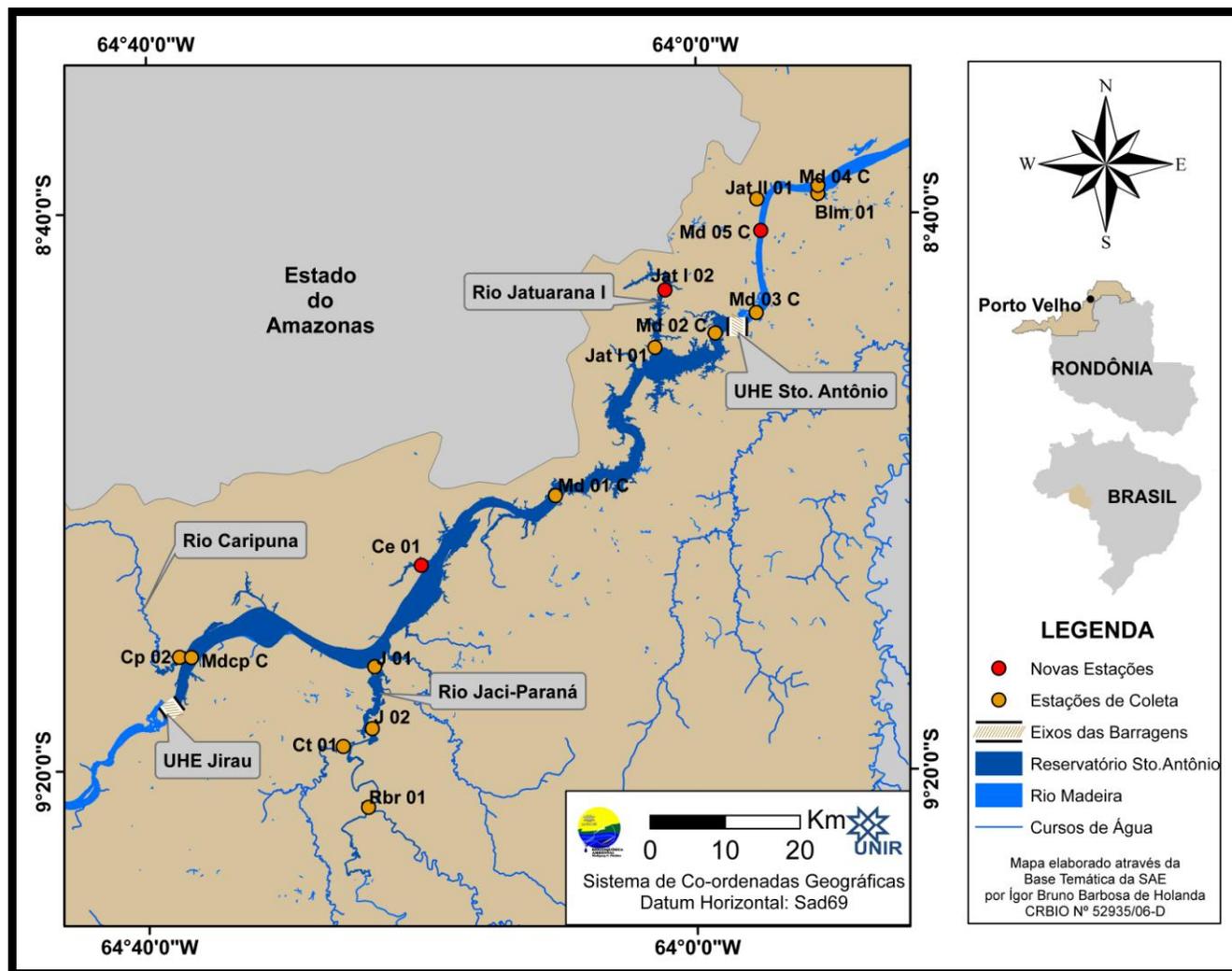


Figura 1. Área de estudo no rio Madeira evidenciando as estações de monitoramento a montante e a jusante da UHE Santo Antônio para coleta das matrizes abióticas (água, material particulado em suspensão e sedimento de fundo).

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

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

III.3. Estações de Coleta

A área em estudo compreende trechos a montante e a jusante da área considerada da UHE Santo Antônio (Figura 1 e Tabela 2).

As estações de coletas 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 considera os braços do Igarapé Jatuarana I e Teotônio e rio Jaci-Paraná, assim como o trecho do rio Madeira a montante e a jusante da barragem. Foram incluídas as estações JAT-I02 e MD-05C, localizados, respectivamente, no igarapé Jatuarana I e no rio Madeira a jusante da UHE Santo Antônio. A inclusão do ponto JAT-I02 se justifica pela necessidade de um local melhor representativo das condições hidrobiogeoquímicas do rio Jatuarana I, posto que, após o enchimento do reservatório, a influência das águas do rio Madeira no igarapé Jatuarana I são observadas até mais a montante no igarapé. No segundo, por conveniência estatística, optou-se por adicionar um ponto na calha do rio Madeira a jusante da UHE Santo Antônio, perfazendo 3 pontos a jusante e 3 a montante.

III.4. Amostragem na Coluna d'água (AG)

A amostragem na coluna d'água será realizada por um período inicialmente previsto de 5 anos contados a partir do fim do enchimento do reservatório da UHE Santo Antônio, isto é, a partir de janeiro de 2012. Após o segundo ano de monitoramento, a necessidade de continuidade será avaliada anualmente, tendo como indicador a tendência de estabilização da concentração de mercúrio. Em reservatórios de usinas hidrelétricas que utilizam turbinas com tecnologia convencional, que não tipo bulbo, a estabilidade dos níveis de mercúrio superam 15 anos. No entanto, para o reservatório fio d'água, é possível que a estabilização da concentração de mercúrio seja atingida em um período inferior, já que são preservadas as características lóticicas do rio Madeira.

A amostragem da matriz água deverá ser realizada na superfície e no fundo no centro de cada estação (rio ou igarapé), sendo a amostra armazenada em frascos de vidro âmbar, previamente descontaminados.

O monitoramento de Hg-total e MeHg na coluna d'água será realizado mensalmente durante o período de junho/2012 (fim da estabilização hidráulica) até

dezembro/2012 (Tabela 1), resultando em monitoramento mensal por 6 meses posterior à estabilização. Após dezembro/2012, a amostragem será realizada trimestralmente.

III.5. Material Particulado em Suspensão (MPS)

As amostras de material particulado em suspensão serão obtidas a partir da água coletada durante o período de pós-enchimento do reservatório e acondicionadas em garrafas tipo PET. Conforme a tabela 1, esta matriz será avaliada trimestralmente de março/2012 a fevereiro/2014. Após as coletas, as amostras serão mantidas resfriadas e, posteriormente, em laboratório, serão filtradas em filtros de acetato de celulose de 0,45 µm (Whatman).

Para a determinação de Hg-T e MeHg primeiramente os filtros serão pesados (P1) e mantidos em dessecador até o momento da filtração. Após a filtração os filtros com MPS serão secos em estufas e pesados (P2) e, em seguida digeridos para quantificação dos teores de Hg-T. Este procedimento possibilitará a análise de outros metais pesados e o quantitativo de MPS por estação (mg de MPS/L de água).

III.6. Solo (SL)

O objetivo inicial é coletar amostras de solo nos mesmos pontos avaliados antes do enchimento. No entanto, alguns desses pontos atualmente estão em áreas alagadas. Portanto, serão feitas amostras de solo de terra firme e solos de áreas alagadas que serão coletadas com intervalos de 12 meses e ocorrerá entre os meses de outubro/novembro de 2012 e, posteriormente em outubro/novembro de 2013 e comparadas com o monitoramento realizado em 2011 (Tabela 1).

A coleta será feita por meio de coletor pontual, trado Holandês. Este equipamento permite a coleta da camada superficial do solo no horizonte orgânico (0-15 cm) e na camada sub-superficial (15-30 cm). A amostragem será realizada em solos de terra firme, isto é, que não sofreram influência do pulso de inundação com a formação do reservatório, tendo como premissa a reavaliação dos pontos de solos de terra firme (9 latossolos e 2 cambissolos) da amostragem realizada no período de pré-enchimento (Figura 2) e os solos de terra firme situados no entorno das 16 estações de monitoramento, evidenciadas na figura 1, de acordo com a predominância pedológica da área, descrita no mapa pedológico da região. 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 74µm (200mesh). Em seguida, será retirada a umidade das amostras, sendo liofilizadas imediatamente após a coleta, para posterior quantificação dos teores de Hg-T, MeHg e demais metais pesados citados nos objetivos.

III.7. Sedimento de Fundo (SD)

As amostras de sedimento de fundo serão coletadas trimestralmente (Tabela 1) utilizando coletor pontual de sedimento, draga de Ekman. Este equipamento permite a coleta da camada mais reativa do sedimento de fundo – 5 cm de profundidade.

Após a coleta, as amostras de sedimento de fundo serão acondicionadas em sacos plásticos e mantidas resfriadas até a preparação da amostra no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR. No laboratório, as amostras sofrerão peneiramento granulométrico selecionando as partículas com diâmetro inferior a 74µm (200mesh). Em seguida, será retirada a umidade das amostras, sendo liofilizadas imediatamente após a coleta e, posterior quantificação dos teores de Hg-T, MeHg e demais metais pesados citados nos objetivos.

III.8. Peixe (PX)

As amostras de peixes (tecido muscular) serão obtidas junto ao Programa de Conservação da Ictiofauna da UHE Santo Antônio, portanto, se fará uso da malha amostral do referido Programa de monitoramento. A cada despesca do referido programa que ocorre mensalmente, serão retirados tecidos musculares de pelo menos 30 indivíduos coletados, priorizando os gêneros *Hoplias* ssp. e *Cichla* ssp. conforme orienta o PBA. No entanto, serão coletados também exemplares de diferentes hábitos alimentares, assim como, exemplares de espécies de valor comercial, a exemplo da dourada (*Brachyplatystoma flavicans*) e filhote (*Brachyplatystoma filamentosum*).

Esse procedimento permitirá avaliar a variabilidade de concentração de Hg em função do hábito alimentar das diversas espécies, o que poderá subsidiar orientação para consumo humano, em especial se forem identificados teores de Hg no tecido muscular em concentrações superiores à preconizada pela legislação brasileira (ANVISA/MS - Republicada no DOU. DE 24/09/98). Para todas as amostras coletadas serão

quantificados os níveis de Hg-T, no entanto a quantificação de MeHg será apenas nas amostras que ultrapassarem o valor recomendado pela Legislação para consumo humano (0,50mg/kg para espécies não carnívoras e 1,00mg/kg para espécies de hábitos carnívoras, ANVISA).

III.9. Crocodiliano (CR)

Amostras de tecido muscular e ovos de jacarés poderão/deverão ser obtidas na reserva de Cuniã em função do manejo liberado recentemente pelo IBAMA e/ou em eventuais casos de capturas nas comunidades ribeirinhas e, ainda por meio do Programa de Conservação da Fauna da UHE Santo Antônio, que poderá enviar as amostras de tecido para o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR. Não será seguido um desenho amostral específico para essa matriz.

As amostras do tecido muscular e ovos serão analisadas quanto aos teores de Hg-total. Para MeHg apenas serão analisadas as amostras que excederem os valores determinados pela legislação brasileira para consumo humano de 1,00mg/kg (para espécies predadoras, Portaria no.685/MS/ANVISA).

III.10. Quelônio (QL)

Amostras de tecido muscular e ovos de quelônios poderão/serão obtidas em eventuais capturas realizadas pelo Programa de Conservação da Fauna da UHE Santo Antônio e/ou também em eventuais casos nas comunidades ribeirinhas. Poderão também ser usadas carcaças (unhas e carapaças) desses animais para a quantificação dos teores de Hg-total e, posteriormente, MeHg.

III.11. Macrófita Aquática (MA)

De acordo com o relatório do programa de Limnologia e de Macrófitas aquáticas da fase de enchimento do reservatório (outubro/11 e dezembro/11) as alterações na comunidade de macrófitas sofre considerável variação interanual, não sendo possível atribuir a redução na riqueza exclusivamente ao enchimento do reservatório. Esse potencial aumento nos bancos de macrófitas será monitorado trimestralmente em conjunto com o Programa de Monitoramento Limnológico e de Macrófitas Aquáticas, quanto à concentrações de Hg, Co, Cr, Cu, Fe, Mn, Ni, Pb e Zn.

Para o período de pós-enchimento, serão avaliadas pelo Programa Hidrobiogeoquímica, preferencialmente, as espécies da família *Pontederiaceae* que

segundo o relatório de avaliação de macrófitas aquáticas apresentou, no período de enchimento, maior predominância no rio Madeira, fato que não era observado durante a fase de pré-enchimento do reservatório UHE Santo Antônio.

O monitoramento de mercúrio total e MeHg nos espécimes coletados será realizado nas folhas e talos (separadamente), sendo também avaliadas as raízes, uma vez que a rizosfera propicia ambiente favorável à formação de MeHg (Guimarães et al, 2000; Mauro et al, 2001; Miranda et al, 2004). Para os demais metais pesados avaliados neste programa as análises serão realizadas considerando apenas as folhas e talos em conjunto. A evolução das concentrações desses metais pesados será apresentada através de comparações entre os períodos de monitoramento (pré-enchimento, estabilização e pós-enchimento).

As amostras de raízes serão separadas das folhas e talos *in loco* e ambas armazenadas em sacos de polipropileno e mantidas refrigeradas até o laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR onde, posteriormente, serão submetidas aos protocolos analíticos.

As coletas se darão onde ocorrerem bancos de macrófitas na área de influência direta do reservatório UHE Santo Antônio a montante e a jusante do eixo da barragem, na margem do rio Madeira e nos tributários avaliados neste programa. A amostragem levará em conta a distribuição espacial, assim como, uma provável permanência do banco de macrófita no ecossistema. Neste caso, o banco de macrófitas será trimestralmente investigado quanto à evolução das concentrações dos metais pesados.

III.12. Plâncton (PL)

A amostragem de plâncton (zooplâncton e fitoplâncton) será realizada conforme cronograma na tabela 1, prioritariamente no rio Jaci-Paraná e nos igarapés Jatuarana I e Teotônio. No rio Madeira não será realizada essa amostragem por conta da contribuição do MPS nessas amostras, gerando um confundimento na interpretação dos dados. Para amostragem e análise de plâncton será utilizado como referência base estudos realizados (Tremblay et al 1998).

As amostras de plânctons serão coletadas com o auxílio de redes de arraste com abertura de malha entre 25 e 68µm. As amostras serão lavadas com água ultra-pura (Milli-Q, Millipore) e centrifugadas, com o objetivo de retirar os sólidos em suspensão que permanecerem aderidos às amostras. Estas amostras serão então liofilizadas para a posterior determinação Hg-T e MeHg.

III.13. Macroinvertebrado Aquático (MI)

As coletas dos invertebrados aquáticos serão realizadas sazonalmente, conforme cronograma tabela 1. Serão utilizadas duas metodologias de coleta: a primeira para coleta de macroinvertebrados suspensos na superfície da água (redes de arraste de 250 – 500 µm) e a segunda para coleta de animais junto ao substrato do sedimento de fundo (draga tipo Ekman). As amostras coletadas com draga de Ekman serão peneiradas para separar os animais do folhice. Moluscos, quando presentes, poderão ser coletados manualmente ou com auxílio de rapiche.

Após a identificação dos animais até o menor grupo taxionômico possível, estes serão acondicionados em sacos de polietileno e resfriados até o momento da análise. Este processo será repetido nos principais *habitats* nas estações de coletas (Figura 1). Nos espécimes coletados serão analisados Hg-T e os indivíduos que apresentarem concentrações acima de 0,50mg/kg serão analisados também MeHg.

III.14. Canteiro de Obras (CO)

Atividades desenvolvidas no ecossistema terrestre na área de influência direta do empreendimento, como exemplo, a remoção de sedimentos, de solo e de fragmentos de rochas durante a implantação das estruturas físicas da barragem, podem contribuir com a mobilização do Hg para o ecossistema aquático. Sendo assim, esse tipo de atividade realizada no canteiro de obras, atualmente de forma mais intensa na margem esquerda do rio Madeira, serão monitoradas quanto a sua eficiência em disponibilizar Hg para o ecossistema aquático, a fim de verificar sua contribuição no ciclo biogeoquímico do Hg no rio Madeira.

Essas amostras serão coletadas mensalmente, conforme cronograma na tabela 1, com trado e armazenadas em sacos de polietileno no Canteiro de Obras (CO), incluindo os Bota Foras (BF). No laboratório, as amostras serão peneiradas para separação granulométrica (fração <74µm), secas, maceradas e analisadas quanto aos teores de Hg-T. Os outros metais pesados citados nos objetivos também serão analisados nessas amostras.

III.15. Técnicas de Quantificação dos Metais Pesados e Controle de Qualidade

III.15.1. Análise de Hg Total (Hg-T)

As amostras de sedimentos de fundo, solos, material particulado em suspensão, macrofitas, macroinvertebrados e peixes serão analisadas segundo metodologia proposta por Bastos et al. (1998) e EPA (1996, 2000 e 2001) no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer da UNIR. Estas técnicas utilizam a extração/digestão ácida das matrizes bióticas e abióticas e quantificam os teores de Hg-T via a espectrofotometria de absorção atômica com geração de vapor frio, equipamento específico para determinação de mercúrio (Perkin Elmer, modelo FIMS-400 - *Flow Injection Mercury System*), com amostrador automático (AS-90) e micro-computador com programa próprio acoplado (Software Winlab-Perkin Elmer).

As matrizes que apresentam níveis na faixa de ppt (partes por trilhão) de Hg-T, a exemplo de água e plânctons, serão analisadas por cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de fluorescência atômica (CG-AFS, Brooks Rands).

III.15.2. Análises de MeHg

Para as análises de MeHg serão empregados métodos mais complexos com alta sensibilidade que se baseiam em uma combinação de extrações com solventes e compostos orgânicos, seguidas pela dosagem do MeHg via a cromatografia gasosa acoplada a espectrofotômetro de fluorescência atômica (CG-AFS, Brooks Rands) (Bloon e Fitzgerald, 1998).

As amostras de H₂O e plânctons na determinação das concentrações de Hg-T e Me-Hg serão analisadas por espectrofotometria de fluorescência atômica (AFS) com geração de vapor frio, técnica já devidamente implementada no Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP-UNIR. Diversos trabalhos tem utilizado a concentração de Me-Hg normalizada para o Hg-T como forma de mensurar o potencial de metilação em reservatórios (e.g, Coquery et al., 2003; Muresan et al, 2008). Em recente avaliação do potencial de metilação na Bacia do Rio Negro realizado pelo Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP-UNIR em parceria com o Laboratório de Traçadores WCP – IBCCF/UFRJ verificou-se uma excelente correspondência entre os valores obtidos com as duas técnicas.

III.15.3. Análises dos demais Metais Pesados

Os demais metais pesados: cobalto (Co); cobre (Cu); cromo (Cr); ferro (Fe); manganês (Mn); níquel (Ni); chumbo (Pb) e zinco (Zn), após solubilização/digestão ácida (HNO₃; HCl; H₂O₂) das matrizes bióticas e abióticas serão quantificados pela

técnica de espectrofotometria de absorção atômica por chama (AA-400 Perkin-Elmer e GBC-Avanta) (EPA, 2000).

III.15.4. Controle de Qualidade

O controle de qualidade analítico das análises previstas no monitoramento, conforme supracitado seguirão a rotina analítica do laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR que é balizada pela utilização de amostras de referência certificadas para cada tipo de matriz, além de todas as matrizes sofrerem análises em duplicatas com “amostras brancos” controles.

Paralelamente, o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental WCP/UNIR participará do Programa de Exercício de Intercalibração com o laboratório de Radioisótopos Eduardo Penna Franca do Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho da Universidade Federal do Rio de Janeiro (IBCCF/UFRJ); com o Departamento de Química da Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro (DQ-PCU/RJ) e; com o *Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo do Ministério de Trabajo y Seguridad Social do Governo da Cantabria-Espanha* nas determinações de Hg em matrizes humanas.

III.16. Banco de Dados e Georeferenciamento

Todas as informações geradas no monitoramento do meio abiótico e biótico serão compiladas num Banco de Dados relacional por meio dos *softwares* Microsoft Access e a geração Arc. O Banco de Dados será 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.

III.17. Análise Estatística dos Dados

Inicialmente será 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. 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 será 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 serão empregadas para explorar as informações obtidas no Banco de Dados, a fim de reduzir o volume de informações a serem interpretadas, testar as hipóteses levantadas com base nas matrizes bióticas e abióticas evidenciados, e para obter as listagens de informações indicadoras de cada grupo.

Serão utilizados métodos de classificação e ordenação, presentes no programa PC-ORD (McCune & Mefford, 1999). O uso das duas técnicas é recomendado porque um método complementa o outro, pois se há formação dos mesmos grupos nos dois métodos, é porque estes são realmente consistentes.

A análise univariada não inclui as correlações entre as múltiplas variáveis avaliadas, entretanto a análise fatorial por técnica de Monte Carlo (considera as incertezas nos cálculos das cargas fatoriais), por componentes principais e por método da máxima verossimilhança será aplicada de acordo com as características do conjunto de dados a ser analisado.

As cargas fatoriais serão importantes na determinação de grupos com características semelhantes e na redução do número de variáveis a serem aplicadas, assim como na identificação de possíveis fontes ambientais. Os valores dos fatores obtidos a partir das cargas fatoriais calculadas serão utilizados na confecção de mapas e testes estatísticos aplicados a esses resultados na tentativa de facilitar a discussão.

III.18. Autorizações Especiais

Para a amostragem/análises dos peixes o Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer tem autorização do SISBIO/IBAMA/RO de coleta sazonal da variedade de espécies de peixes na bacia do rio Madeira. O Laboratório

também está autorizado no uso de reagentes químicos (solventes e ácidos) controlados pela Polícia Federal e Ministério do Exército. O Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer está autorizado ao funcionamento através de Licenciamento Ambiental expedido pela Secretaria de Meio Ambiente do Estado de Rondônia (SEDAM).

IV. METAS/RESULTADOS ESPERADOS

De acordo com cada fase do projeto espera-se obter informações sobre o comportamento espacial e temporal do mercúrio, bem como a investigação dos (Hg-T e MeHg) mecanismos de organificação, bioacumulação e biomagnificação do Hg pela biota na área de abrangência do empreendimento.

Nesta fase do estudo espera-se acompanhar, obedecendo a sazonalidade regional, a evolução do comportamento do mercúrio (Hg-T e MeHg) e os outros metais pesados supracitados nas áreas potencialmente críticas durante a fase de pós-enchimento, usando como comparação os dados de pré-enchimento, além de observar possíveis tendências do período de enchimento e estabilização. Espera-se obter dados que permitam avaliar a alteração do comportamento do Hg e dos demais metais pesados, tanto na coluna d'água como nos sedimentos límnicos e na biota.

Esses dados também subsidiarão outros Programas de Monitoramento da área, a exemplo, da modelagem da qualidade da água e do Sub-programa Hidrobigeoquímica na Avaliação humana à exposição ao MeHg.

V. 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.

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.

ESTUDO DE IMPACTO AMBIENTAL –. Relatório Final - Leme 2004 Disponível em:< www.ibama.licenciamentos.gov.br> Acesso em 16de out. de 2008.

EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY USEPA SW-846 Method 6010B, Revision 2, December 1996.

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

EPA. UNITED STATES, ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (U.S.EPA). Method1630: Methyl Mercury in Water by Distillation, Aqueous Ethylation, Purge and Trap, and CVAFS, EPA 821-R-01-020, January - 1630. 2001.

GOMES, J.P.O., SILVEIRA, E.G. & BASTOS, W.R. Levantamento da presença de poluentes metálicos no rio Madeira e seus afluentes. In: XII Seminário de Iniciação Científica da Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho. Cd de resumos expandidos do **XII Seminário de Iniciação Científica da Universidade Federal de Rondônia.** 2003a.

GOMES, J.P.O., LINHARES, D.P., BASTOS, W.R. & SILVEIRA, E.G. Hidrobiogeoquímica de elementos-traço em lagos de várzea no Baixo rio Madeira - Amazônia. In: **IX Congresso Brasileiro de Geoquímica**, Belém - PA. Livro de Resumos do IX Congresso Brasileiro de Geoquímica. 2003b.

GUIMARÃES, J.R.D., MEIL, I. M., HYLANDER, L.D. SILVA, E.C., ROULET, M., MAURO, J.B.N. & LEMOS, R.A. Mercury net methylation in five tropical floodplain

regions of Brazil: high in the root zone of floating macrophyte mats but low in surface sediments and flooded soils. **Sci. Tot. Environ.** 261:99-107. 2000.

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

HATJE, V.; PAYNE, T. E.; HILL, D. M.; McORIST, G.; BIRCH, G. F. & SZYMCAK, R. Kinetics of trace element uptake and release by particles in estuarine waters: effects of pH, salinity and particles loading. **Environment International**. 29: p.619-629. 2003.

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.

IBAMA. Instrução normativa nº 65, de 13 de abril de 2005. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 abr. 2005. Seção 1, p.144-145. 2005.

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

KABATA-PENDIAS, A. & PENDIAS, H. **Trace elements in soils and plants**, 3rd ed, Boca Raton, CRC Press, 413p. 2001.

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

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

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

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

- LACERDA, L.D. & SALOMONS, W. **Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb**. Springer Verlag, 146 p. 1998.
- MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M. & REUTHER, R. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. **Ambio**. Stockholm. Vol. 19, no. 1, pp. 11-15. 1990.
- MALM, O. **Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do rio Madeira, Amazônia**. Tese (Doutor em Ciências) - Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 1991.
- MAURICE-BOURGOIN, L.M.; QUIROGA, I; CHINCHEROS, J. & COURAU, P. Mercury distribution in waters and fishes of the upper Madeira Rivers and mercury exposure in riparian Amazonian populations. **Sci. Tot. Environm.**, 260:73-86, 2000.
- MAURO, J.B.N.; GUIMARÃES, J.R.D. & MELAMED, R. Mercury methylation in macrophyte roots of a tropical lake. **Water Air Soil Pollut.**, 127:271-280, 2001.
- McBRIDE, M.B. **Environmental chemistry of soils**. New York, Oxford University Press, Inc, 406p. 1994.
- McCUNNE, B. & MEFFORD, M.J. **Multivariety analysis of ecological data**, version 4.0. Mjm.software designs. Oregon, 1999.
- MIRANDA, R.M., GUIMARÃES, J.R.D., ROULET, M.; ACHA, D., COELHO-SOUZA, S., MAURO, J.B.N. & INIGUEZ, V. Mercury methylation and bacterial activity in macrophyte-associated periphyton in floodplain lakes of the Amazon basin. **RMZ Materials and Geoenvironment** 51:1218-1220. 2004.
- MIRANDA, M. R. **Formação de metil-mercúrio na bacia do rio Madeira, Rondônia**. UFRJ/IBCCFo.. Tese de Doutorado – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Instituto de Biofísica Carlos Chagas Filho 138 ff., 2010.
- MORTATTI, J. & PROBST, J.L. **Hidrogeoquímica de bacias de drenagem**. Piracicaba: CPG/CENA, Série didática, v.1, 239 p., 1998.
- MURESAN, B.; COSSA, D.; RICHARD, S.; DOMINIQUE, Y. Monomethylmercury sources in a tropical artificial reservoir. **Applied Geochemistry**, v. 23, p. 1101–1126, 2008.
- NRIAGU, J.O., PACYNA, J.M. Quantitative assessment of worldwide contamination of air, water and soils with trace metals. **Nature**, 333: 134-139. 1988.
- 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.
- PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D. Mercury inputs to the Amazon region, Brazil. **Environ. Technol. Lett.**, 9:325-350, 1988.
- PFEIFFER, W.C.; MALM, O.; SOUZA, C.M.M.; LACERDA, L.D. & SILVEIRA, E.G. Mercury in the Madeira River Ecosystem, Rondonia, Brazil. **Forest Ecology and Management**, Vol. 38, No. 3/4, p 239-245, 1991.
- PORVARI, P. Mercury levels in fish in Tucuruí hydroelectric reservoir and in River Moju in Amazônia, in the state of Pará, Brazil. **Sci. Tot. Environ**. 175: 109-117, 1995.
- ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAIT ALBAN, A.; TRAN, S.; RHEAULT, I.; FARELA, N.; SILVA, E.D.; DESENCOURT, J.; PASSOS, E.D.; SOARES, G.S.;

GUIMARÃES, J.R.D.; MERGLER, D. & AMORIM, M. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. **Sci. Tot. Environ.**, 223:1-24, 1998.

SEDAM, Secretaria Estadual de Desenvolvimento Ambiental. **Atlas Geoambiental de Rondônia**, Porto Velho-RO, 146 pg. 2002.

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

STUMM, W. & MORGAN, J.J. **Aquatic Chemistry, Chemical Equilibria and Rates in Natural Waters**, 3rd ed. John Wiley & Sons, Inc., New York, 1022p.1996.

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

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

VERDON, R.; BROUARD, D.; DEMERS, C.; LALUMIERE, R. & LAPERLE, M. Mercury Evolution (1978-1988) in Fishes of the La Grande Hydroelectric Complex, Quebec, Canada. **Water, Air and Soil Pollution**, Vol. 56, p 405-417, 1991.

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

Wanderley Bastos.