



## **Dinâmica do mercúrio em um lago Amazônico sob influência sazonal do Rio Solimões, Amazônia Brasileira<sup>1</sup>**

*Maria Cristina Nery do Nascimento Recktenvald<sup>2</sup>, Ronaldo de Almeida<sup>2,3</sup>, Igor Bruno Barbosa de Holanda<sup>2</sup>, Wanderley Rodrigues Bastos<sup>2\*</sup>, Genilson Pereira Santana<sup>4</sup>*

### **Resumo**

O transporte de grandes quantidades de sedimentos que ocorre nos rios e lagos Amazônicos é de grande importância para esse ecossistema aquático e que aumenta o desafio na compreensão da dinâmica do mercúrio (Hg) adsorvido a esses sedimentos, ocorrendo diversos processos físico-químico-microbiológicos. Neste estudo as concentrações de mercúrio total (HgT) e metilmercúrio (MeHg) presentes nos sedimentos de fundo do Lago do Parú foram determinadas a fim de investigar a influência do pulso de inundação do rio Solimões sobre um pequeno ecossistema aquático Amazônico. Para desenvolver o estudo, foram coletadas 20 amostras de sedimentos de fundo com auxílio de uma draga de Eckman nos meses de outubro e março de 2013, épocas da enchente e vazante do rio Solimões, respectivamente. As concentrações de HgT foram determinadas por espectrofotometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio e o MeHg por metilação aquosa, separada por cromatografia gasosa e detecção por espectrometria de fluorescência atômica. As concentrações de HgT variaram entre 56,34 a 130,07  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  e de MeHg de 0,23 a 2,69  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  e a distribuição dessas concentrações sugerem uma forte influência do rio Solimões sobre o lago do Parú. Os resultados indicaram também que na vazante predomina a deposição e na enchente a remobilização de HgT no sedimento de fundo do lago do Parú. Todavia, as concentrações de MeHg nas duas épocas de coleta conduzem a sugerir que na enchente este composto organo-metálico de mercúrio, forma química mais tóxica do metal, está mais disponível.

**Palavras-chaves:** HgT, MeHg, Lago dendrítico, sazonalidade, Amazônia Central.

**Dynamics of mercury in an Amazon lake under the seasonal influence of the Solimões River, Brazilian Amazon.** The transport of large amounts of sediment that occurs in the Amazonian rivers and lakes is of great importance for this aquatic ecosystem and increases

<sup>1</sup> Parte do trabalho de dissertação do primeiro autor na Pós-Graduação em Química UFAM. [mcnn.nery@yahoo.com.br](mailto:mcnn.nery@yahoo.com.br)

<sup>2</sup> Pesquisadores do Laboratório de Biogeoquímica Ambiental Wolfgang C. Pfeiffer, Fundação Universidade Federal de Rondônia, Porto Velho, RO, Brasil, \*Correspondências: [bastoswr@unir.br](mailto:bastoswr@unir.br)

<sup>3</sup> Prof. Depto Ciências Sociais e Ambientais do Campus de Guajará-Mirim da Fundação Universidade Federal de Rondônia. 76850-000, Guajará-Mirim, RO, Brasil, [ronaldoalmeida@unir.br](mailto:ronaldoalmeida@unir.br)

<sup>4</sup> Prof Depto Química/UFAM, Manaus, AM, Brasil, [gsantana2005@gmail.com](mailto:gsantana2005@gmail.com)



the challenge in understanding this dynamics of mercury (Hg) adsorbed to these sediments, with several physical-chemical-microbiological processes taking place. In this study the concentrations of total mercury (THg) and methylmercury (MeHg) present in the bottom sediments of Parú Lake were determined in order to investigate the influence of the flood pulse of the Solimões River on a small Amazonian aquatic ecosystem. In order to develop the study, 20 samples of bottom sediments with the aid of a Eckman dredge were collected in October and March of 2013, seasons of the flood and ebb of the Solimões River, respectively. THg concentrations were determined by atomic absorption spectrophotometry coupled to the cold vapor generator and MeHg by aqueous methylation separated by gas chromatography and detection by atomic fluorescence spectrometry. THg concentrations ranged from 56.34 to 130.07  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  and MeHg from 0.23 to 2.69  $\mu\text{g.kg}^{-1}$  and the distribution of these concentrations suggests a strong influence of the Solimões River on Parú Lake. The results also indicate that in the ebb, deposition predominates and in the flood the remobilization of THg in the bottom sediment of the lake of Parú. However, concentrations of MeHg in the two collection periods suggest that in the flood this mercury organo-metallic compound, the most toxic chemical form of the metal, is more available.

**Keywords:** THg, MeHg, dendritic lake, seasonality, Central Amazon.

## 1. Introdução

Estudos realizados entre 1980 e 1990 indicaram a atividade garimpeira de ouro como principal fonte de lançamentos de mercúrio (Hg) na região Amazônica (LACERDA, 1997; MALM, 1998; RIBEIRO et al., 2017). Essa afirmação é sustentada por resultados encontrados sobre a emissão, mecanismos de dispersão, acumulação em solos, sedimentos, água, biota aquática e, sobretudo, pescado (VALLE et al., 2005, VALLE et al., 2006; BASTOS et al., 2007; BISINOTI et al., 2007; SAMPAIO et al., 2009; BETTRAN et al., 2011; COELHO-SOUZA et al., 2011). Além disso, o desmatamento, as queimadas, o intemperismo das rochas e os solos lateríticos sendo lixiviados das florestas adjacentes para ecossistemas aquáticos são algumas das causas da mobilização e da deposição do Hg na Amazônia

(LACERDA et al., 2012, UNEP, 2013; ALMEIDA et al., 2014; BRITO et al., 2016; SAHOO et al., 2017). Como consequência, o Hg se dissipou por todo o ecossistema da região Amazônica, sendo detectados nos mais variados compartimentos ambientais. Estima-se que somente a população da Amazônia tenha uma exposição ao Hg aproximada de 1,0  $\mu\text{g.dia}^{-1}$  via ar; 2,0  $\mu\text{g.dia}^{-1}$  pela água e 20  $\mu\text{g.dia}^{-1}$  por ingestão de peixes. Em algumas regiões, a ingestão pode chegar a 75  $\mu\text{g.dia}^{-1}$  dependendo da quantidade de peixe consumida com risco à saúde humana e ambiental (BRABO et al., 2000; FADINI e JARDIM, 2001; ROACH et al., 2013).

É importante destacar a hidrologia e a dinâmica de sedimentos do rio Amazonas e seus principais tributários (rios Solimões, Madeira e Negro) na troca do Hg que existe entre o rio Amazonas e



os lagos de várzea, onde essa troca é constatada devido ao transporte de Hg associado ao material particulado em suspensão. Evidência registrada na coluna da água, ocorrendo uma entrada significativa de mercúrio na fase particulada (T-PHg) proveniente dos sedimentos da parte inferior na coluna da água, observado principalmente durante os meses de outubro e novembro quando ocorre a ressuspensão dos sedimentos do fundo pelo vento (MAIA et al. 2009). Juntamente com o rio Negro, a planície do rio Solimões, composta basicamente por sedimentos arenosos, areno-siltosos e areno-argilosos transportam toneladas de sedimentos das montanhas em direção à planície central e os depositam nas extensas áreas alagadas, sendo considerado como um dos mais importantes no ecossistema Amazônico (SANTOS et al., 2001).

Dentre os vários ecossistemas que compõem o percurso do rio Solimões está o lago do Parú, localizado à margem esquerda, em uma região de várzea no estado do Amazonas (Figura 1). Esse lago está localizado a 68 km de Manaus, capital do estado do Amazonas. O lago tem uma extensão de 18 km<sup>2</sup> e recebe influência direta do pulso de inundação do rio Solimões (GUYOT et al. 2007). Quanto à geomorfologia, o lago do Parú é um lago dendrítico, como o lago Calado, seu vizinho (60°35' W, 3°16' S) (Behling et al., 2001) localizado numa área de interflúvios tabulares, com relevo de topo aplainado, separados geralmente por vales de fundo em "v" com intensidade de

aprofundamento da drenagem fraca (BRASIL, 1981).

Durante o período de enchente e águas altas (Cheia) entre os meses de janeiro a junho as águas brancas do rio Solimões entram no lago do Parú e este atinge sua profundidade máxima de 20 m. Já na vazante a água do lago sai do mesmo, retornando para o rio Solimões até atingir o nível mínimo de 7 m de profundidade. O lago do Parú recebe em sua cabeceira águas pretas provenientes das nascentes. Como já bem descrito na literatura científica, as águas brancas são ricas em cátions e as águas pretas são ricas em Hg na fase dissolvida (BISINOTI e JARDIM, 2004; GUINOISEAU et al., 2016; DE CARVALHO et al., 2018). Dessa forma, o lago do Parú possui, em princípio, dois aportes potenciais de Hg que são as águas brancas do rio Solimões e as águas pretas que drenam os terraços do terciário.

Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi investigar a influência do pulso de inundação do rio Solimões no transporte e acumulação de Hg total (HgT) e metil-mercúrio (MeHg) nos sedimentos de fundo do lago do Parú (AM).

## **2. Materiais e Métodos**

### **Área de estudo e Amostragem**

As amostras de sedimentos de fundo foram coletadas em 10 estações no lago Parú, afluente da margem esquerda do rio Solimões no Município de Manacapuru, estado do Amazonas em dois períodos do ano de 2013 (Enchente e Vazante). Seis (6) estações de coletas estão localizadas em áreas sob influência do rio Solimões (de P

01 à P 06) e 4 estações de coleta em um braço do lago do Parú que não sofrem influência direta do rio Solimões (de P 07 à P 10). Essas 4 estações estão sob influência direta das águas de características predominantemente pretas dos igarapés que deságuam no lago Parú (Figura 1). Os sedimentos de fundo foram coletados com uma draga de Eckman nos meses de abril de 2013 (período de enchente), numa profundidade média de 20 m, e em outubro de 2013 (período de vazante), na profundidade média de 7 m. As amostras

foram armazenadas em sacos de polipropileno, identificadas e mantidas resfriadas até o laboratório. As coordenadas geográficas de cada estação de coleta foram realizadas com GPS (modelo GARMIN's®, III Plus Personal Navigator). No laboratório as amostras foram granulometricamente separadas à uma fração  $<74 \mu\text{m}$  (200 mesh), secas a  $40^\circ\text{C}$  em estufa, posteriormente maceradas e armazenadas em potes de polipropileno com tampa até o momento da quantificação de mercúrio.

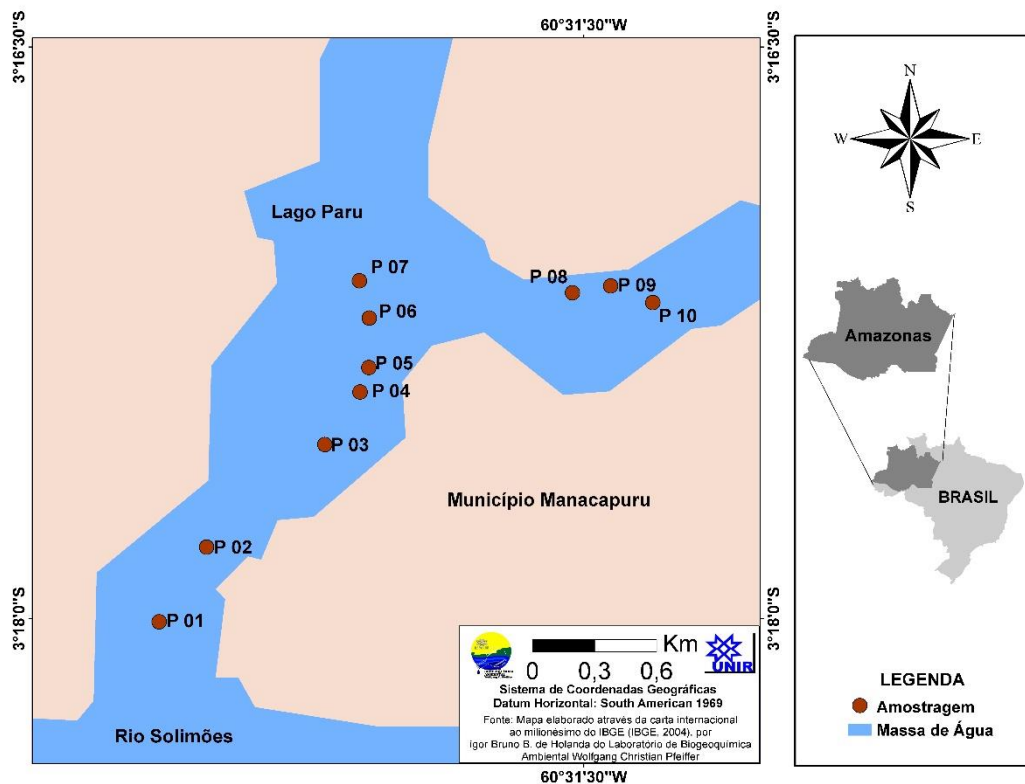


Figura 1 - Localização da área de estudo no lago do Parú (AM), afluente da margem esquerda do rio Solimões, evidenciando as 10 estações de coletas ( $3^\circ18'15.8''\text{S}$   $60^\circ32'28.4''\text{W}$ ).

### **Determinação do HgT**

A extração das amostras para a determinação de HgT seguiu a técnica proposta por Bastos et al. (1998), onde se

adicionou a cerca de 500 mg de peso seco (p.s) da amostra de sedimento 1,0 mL de água ultra-pura (Milli-Q, Millipore, USA), e logo após 5,0 mL da mistura química



(HCl:HNO<sub>3</sub>:3:1 v/v, Tédia Brazil) e levando-se ao bloco digestor por 30 minutos a 60°C. As amostras foram então mantidas à temperatura ambiente por 1 hora e, em seguida foi adicionado 5,0 mL de permanganato de potássio a 5% (m/v, KMnO<sub>4</sub>, Merck) levando-se novamente ao bloco digestor por 30 minutos a 60°C. Em seguida, as amostras foram filtradas por gravidade em filtro de celulose (Whatman 44, New Jersey, EUA). As determinações de HgT foram realizadas por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (FIMS-400, Perkin-Elmer, Alemanha).

### **Determinação do MeHg**

Alíquotas de aproximadamente 500 mg (peso seco) foram mantidas por 4 horas a 68°C na estufa com adição de 3,0 mL de uma solução de 25% de KOH/MeOH (m/v, Tédia, grau HPLC). Posteriormente, foi retirado 30 µL do extrato de cada amostra e transferido para um frasco âmbar de 40 mL onde se adicionou 200 µL de solução tampão para ajustar o pH 4,9. Em seguida, fez-se a etilação aquosa das amostras, com adição de 50 µL do agente derivatizante NaBEt<sub>4</sub> 1% (EPA, 2001; TAYLOR et al, 2011). A determinação do MeHg foi realizada por cromatografia gasosa acoplada ao espectrômetro de fluorescência atômica (MERX-M Automated Methyl Mercury Analytical System – Brooks Rand, Seattle, WA). As condições de operação do equipamento foram: fluxo de gás no MERX-M purge trap (Ar) 45 mL.min<sup>-1</sup>, fluxo do gás de secagem dos Traps (Ar) 30 mL.min<sup>-1</sup>, e fluxo do GC (Ar) 32 mL.min<sup>-1</sup>.

### **Controle de Qualidade Analítico**

Toda a vidraria e demais materiais utilizados foram previamente descontaminados com a solução de 5% de Extran (v/v, Sabão neutro, MERCK), em seguida com HNO<sub>3</sub> a 5% (v/v, Merck) e finalmente enxaguados com H<sub>2</sub>O ultra pura (MilliQ). Nas determinações de HgT e MeHg todas as amostras foram analisadas em duplicatas e com brancos controles. O coeficiente de variação analítico entre réplicas foi inferior a 10%. A exatidão foi monitorada com uso de material certificado de referência (IAEA-405, sedimento estuarino) em que se obteve recuperação média de 90% para HgT e 98% para MeHg. O limite de detecção do método foi de 0,0027 µg.kg<sup>-1</sup> para HgT e 0,0011 µg.kg<sup>-1</sup> para MeHg.

### **Tratamento dos dados**

Os dados obtidos foram submetidos a estatística descritiva e aos testes de Shapiro-Wilk e de correlação de Spearman para avaliar relações lineares entre as variáveis (HgT e MeHg). Os mapas de probabilidade para a distribuição espacial dos valores de HgT e de MeHg quantificados, comparando os dois períodos hidrológicos (enchente e vazante) foram realizados no Arcgis 9.1.

### **3. Resultados e Discussão**

Os resultados na tabela 1 sugerem que a influência do pulso de inundação do rio Solimões e das fontes de águas pretas causam uma distribuição aleatória nas concentrações de Hg nos sedimentos de fundo, tanto nas concentrações de HgT como de MeHg.



Notam-se alterações entre o mínimo e o máximo da ordem de 43,3% na enchente e de 50,4% na vazante para o HgT e de 8,5% na enchente e de 15,8% na vazante para MeHg (Tabela 1). Os resultados mostram também concentração mais elevada de HgT no período da vazante. Isso indica que durante a saída sazonal das águas do lago do Parú para o rio Solimões ocorre um processo de pré-concentração de HgT nos sedimentos de fundo. Esse comportamento sugere que na vazante predomina o processo de deposição de HgT no fundo do lago do Parú. Esse comportamento era esperado, dado ao

fato de que o fluxo de entrada de água no lago do Parú é maior que o de saída durante a vazante. Apesar de apresentar variações altas nos valores de concentrações de HgT, o teste de Shapiro-Wilk ( $W=0,981$ ;  $p=0,943$  e  $\alpha=0,05$ ) revelou que os dados possuem distribuição normal. Outra informação fornecida pelo teste foi que não existe diferença significativa para o HgT ( $W=0,981$ ;  $p=0,943$  e  $\alpha=0,05$ ) entre a enchente e a vazante. Esse resultado permite afirmar que a dinâmica do HgT no Lago do Parú é regular nos dois períodos estudados.

**Tabela 1.** Variações das concentrações de HgT e MeHg obtidas em sedimentos de fundo do Lago Parú (AM).

| Período  | Variável | HgT                                  | MeHg            | MeHg |
|----------|----------|--------------------------------------|-----------------|------|
|          |          | -----( $\mu\text{g kg}^{-1}$ ) ----- |                 | %    |
| Enchente | Média*   | 89,20 $\pm$ 22,50                    | 0,78 $\pm$ 0,79 | 0,87 |
|          | Mínimo   | 56,34                                | 0,23            | 0,40 |
|          | Máximo   | 130,07                               | 2,69            | 2,07 |
| Vazante  | Média*   | 115,00 $\pm$ 22,00                   | 0,13 $\pm$ 0,09 | 0,11 |
|          | Mínimo   | 80,40                                | 0,06            | 0,07 |
|          | Máximo   | 159,46                               | 0,38            | 0,24 |

\*n=10, Média $\pm$ desvio-padrão

Por outro lado, as concentrações de MeHg nos sedimentos de fundo apresentam comportamento contrário, com concentrações mais elevadas na enchente e, conseqüentemente, apresenta percentuais de metilação mais elevados nesse período hidrológico (Tabela 1). Para Guimarães et al. (2000), o processo de metilação para a formação de MeHg em lagos da Amazônia é mais efetivo durante as águas baixas (seca), pois à medida que se aumenta a profundidade ocorre uma redução da metilação. Sendo assim,

encontrar valores maiores na enchente leva a supor que o MeHg produzido durante as águas baixas é redistribuído e transportado, potencialmente, pelo material particulado em suspensão. Essa afirmação é sustentada pelo trabalho de Koumorouyan e Santana (2008), cujos resultados mostram que metais no lago do Parú permanecem como constituinte do sedimento de fundo por um curto período de tempo, geralmente são remobilizados nas águas altas (cheia). Além disso, a maior parte do MeHg formada em lagos

está flocculado na superfície do sedimento (Guimarães et al. 2000). O processo de remobilização ocorre de forma aleatória e possivelmente pontual, afirmação que é embasada no fato dos valores de concentração de MeHg não seguirem a distribuição normal.

Por outro lado, o teste de Mann Whitney para dados considerados não paramétricos, mostrou que existe diferença significativa nas concentrações de HgT e de MeHg nos períodos da enchente e da vazante ( $U= 96,00$ ;  $p= 0,001$  e  $\alpha= 0,05$ ). A diferença entre enchente e vazante também ocorre na relação [MeHg:HgT] e na concentração de MeHg ( $U= 93,50$ ;  $p= 0,001$  e  $\alpha= 0,05$ ).

Comparando os dois períodos hidrológicos por cada estação de amostragem nas concentrações HgT, observa-se um gradiente crescente de concentrações do ponto 01 (mais próximo da entrada do lago em conexão com o rio Solimões) para o ponto 10 (próximo aos afluentes de água preta). Esse comportamento foi semelhante para os períodos de vazante e de enchente (Figura 2), cujas fontes de sedimentos são as águas pretas (Figura 2). Esse comportamento é observado nos dois períodos hidrológicos amostrados.

Enquanto o fornecimento de sedimentos com HgT realizado pelas águas do rio Solimões possuem quantidade menores, nota-se claramente que o maior acúmulo de HgT ocorre durante a vazante. Como nas águas altas a predominância de águas é proveniente do rio Solimões, nota-se que a maior concentração de HgT se aproxima da

fonte de águas pretas. Ao comparar os máximos da concentração de HgT nos dois períodos amostrados, é possível perceber um pulso que acompanha a quantidade de água que entra e sai do lago do Parú.

Os mapas de probabilidade demonstram que o HgT possuem dois comportamentos distintos nos dois períodos amostrados (Figura 3). Esse comportamento evidencia que as águas pretas são as principais responsáveis pelo fornecimento de HgT para o sedimento em relação às águas do rio Solimões. Para Roulet et al. (1998) e Shoo et al. (2017), a presença de HgT está fortemente ligada à partículas finamente erodidas de solos. Esses autores consideram também que a fisiografia do ecossistema aquático exerce papel importante na dinâmica do Hg.

Os mapas de interpolação mostram a influência da fisiografia do lago do Parú sobre a distribuição do HgT. Essa afirmação é representada no lago do Parú pelas concentrações interpoladas em que as maiores concentrações de HgT se encontram na região de águas pretas. Os igarapés de águas pretas exercem influência no carreamento de HgT para o lago do Parú durante a vazante. No período da enchente predomina o processo de entrada/remobilização/diluição de HgT pelo rio Solimões. Ao comparar os dois períodos estudados, nota-se redução do valor das concentrações das superfícies interpoladas da embocadura para o centro do lago do Parú. Esse comportamento indica claramente que as águas do rio Solimões, ricas em sólidos suspensos ao entrar no

lago do Parú, diluem a concentração de HgT nos sedimentos de fundo ao se depositarem.

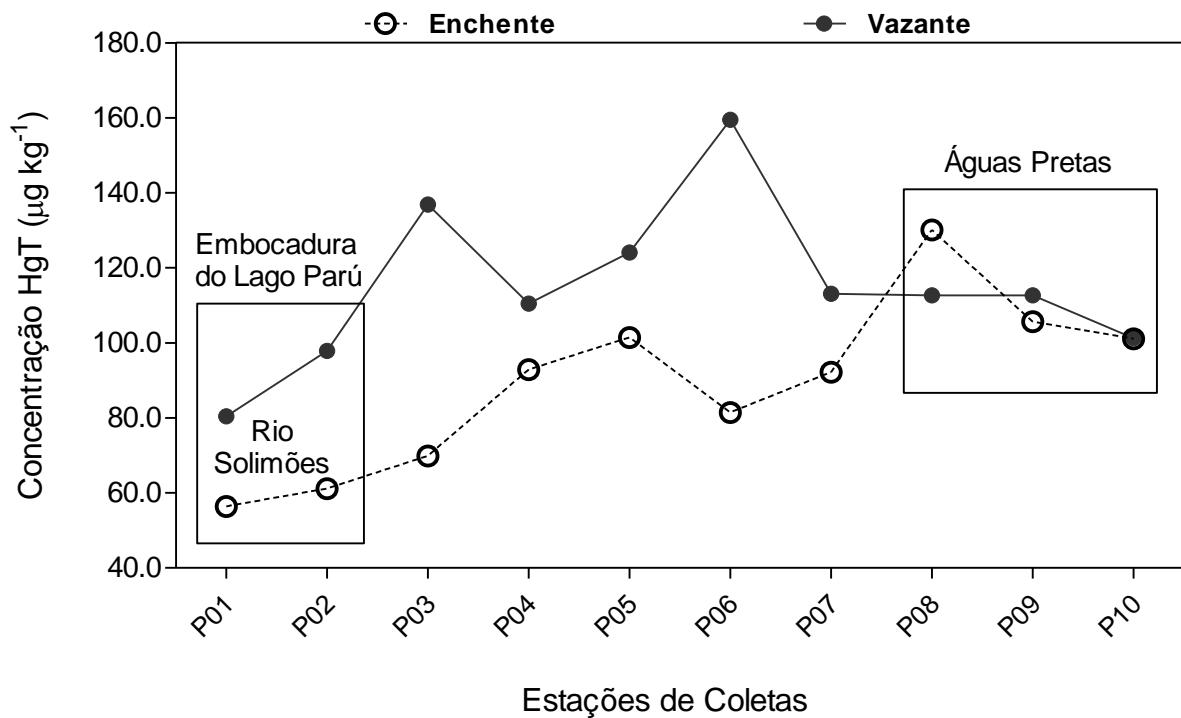


Figura 2 - Concentrações de HgT distribuídos nas 10 estações de coletas durante os dois períodos hidrológicos na enchente e vazante.

Os lagos de planície fluvial apresentam diferentes características geoquímicas que controlam a distribuição de mercúrio. Em lagos de água branca pela alta presença de totais de sólidos dissolvidos (até 2040 mg.L<sup>-1</sup>) o Hg está associado às partículas de matéria

orgânica principalmente durante o período da águas baixas. Em lagos de água preta esta relação se mantém para os baixos valores de pH e pela relação positiva das concentrações de Hg com o carbono orgânico dissolvido ( $r^2=0,461$ ) (MAIA et al., 2009; ALMEIDA et al., 2014).



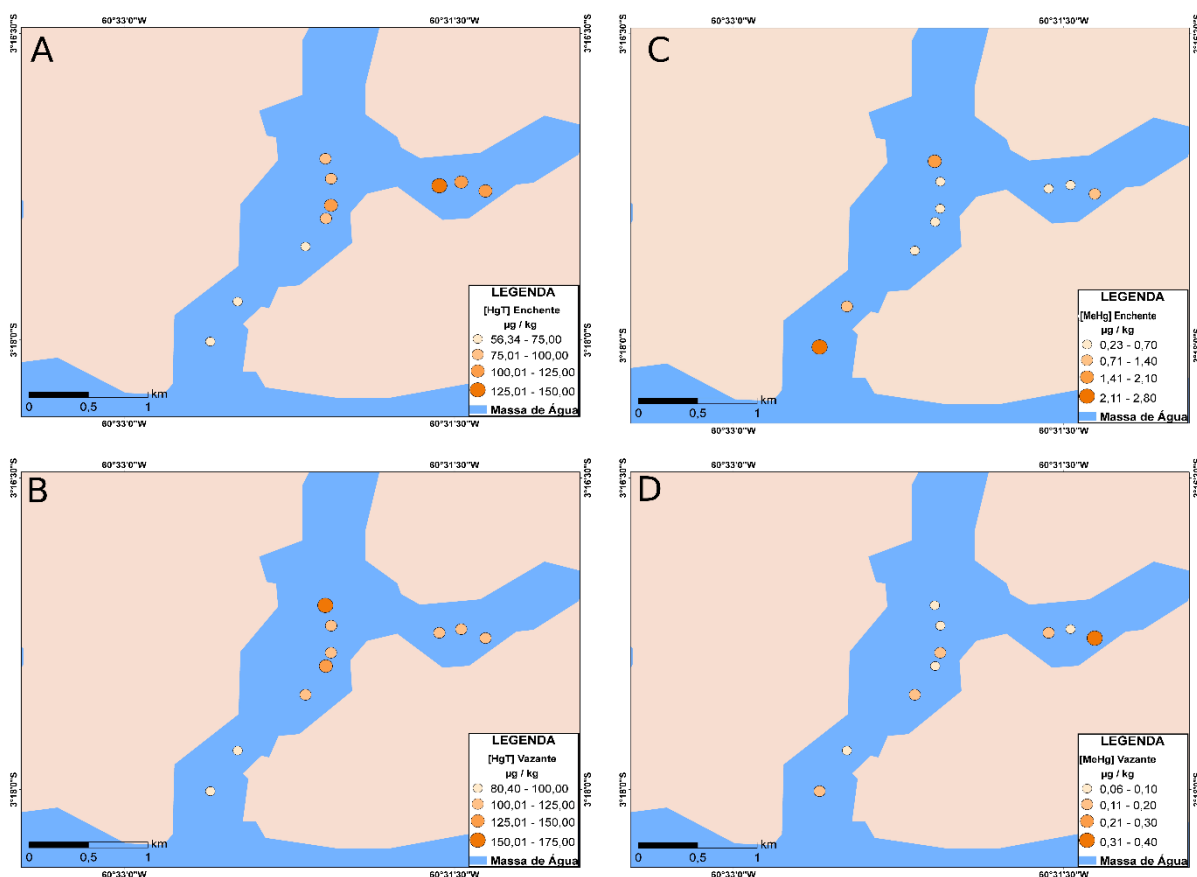


Figura 3 - Mapas de probabilidade e distribuição espacial das concentrações de HgT (A e B) e MeHg (C e D) nos períodos hidrológicos de enchente e vazante.

No caso do MeHg, na distribuição da concentração ao longo das estações de coleta observa-se que durante a enchente apresenta 2 picos: um na entrada e outro no centro do lago do Parú (Figura 4A). Esse comportamento permite inferir que o rio Solimões, ao comprimir/empurrar as águas do lago no período das águas altas, pode estar criando áreas de maior deposição dos sólidos em suspensão proveniente do lago. Por outro lado, na vazante observa-se uma redução drástica da concentração do MeHg nas águas pretas para a entrada do lago (Figura 4B).

Esse comportamento leva a supor que parte do MeHg que entrou no lago do Parú retorna para o rio Solimões com a saída das águas na vazante. Dessa forma, o pulso de inundação funciona criando retenções na velocidade das águas na enchente, aumentando a taxa de deposição dos sólidos em suspensão proveniente do lago, e com a vazante exportando o MeHg produzido dentro do lago para o rio Solimões, ou seja, entrada de MeHg na enchente e saída na vazante.

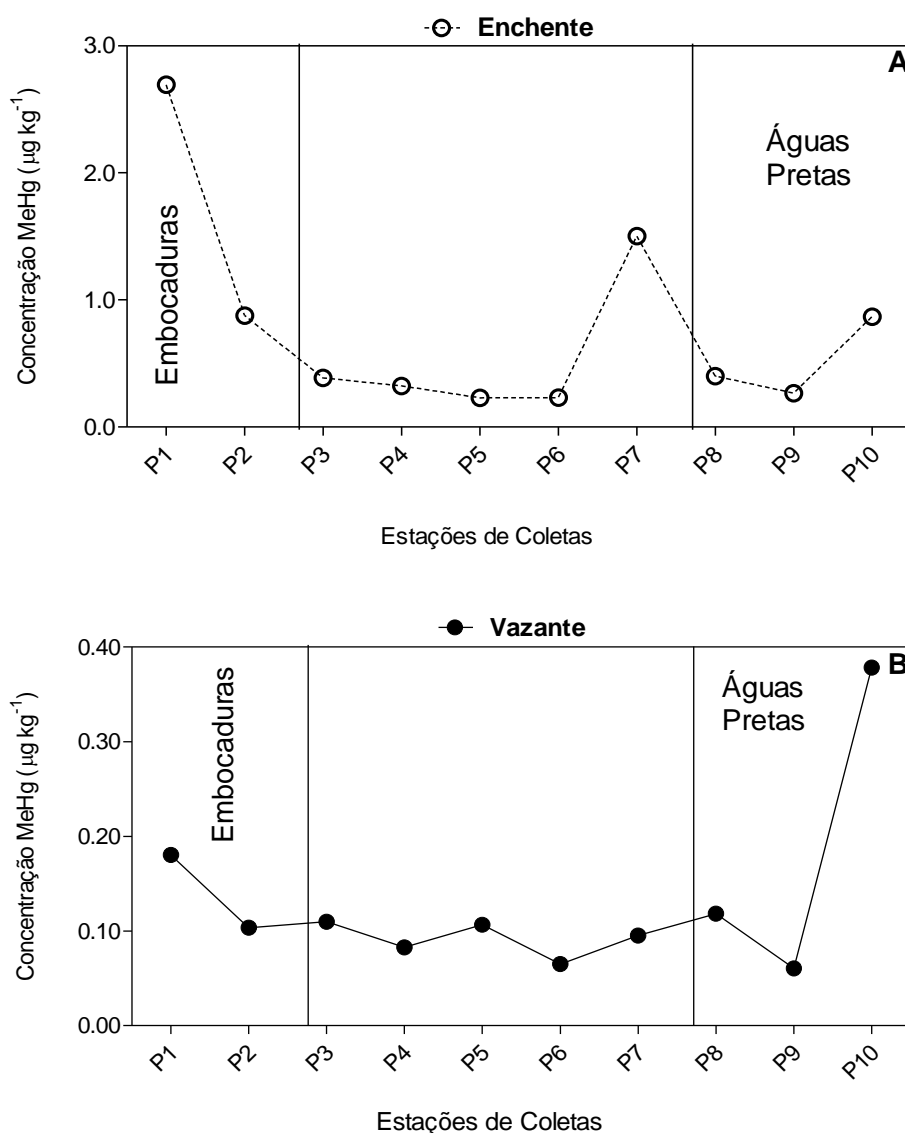


Figura 4 – Distribuição espacial da concentração de MeHg nos sedimentos de fundo do lago do Parú durante a enchente (A) e vazante (B) do rio Solimões.

O comportamento do percentual de MeHg [MeHg:HgT] formado é representado pelos mapas de distribuição em máximos de probabilidades diferentes de acordo com o período amostrado (Figura 5). O primeiro, que representa a enchente, apresenta dois máximos de probabilidades; um nas águas pretas e o segundo na entrada do lago do Parú. No segundo que representa a vazante, tem-se

apenas um máximo de probabilidade nas águas pretas. Indicando a influência do rio Solimões na acumulação de MeHg durante o período de enchente e remobilização do MeHg na vazante.

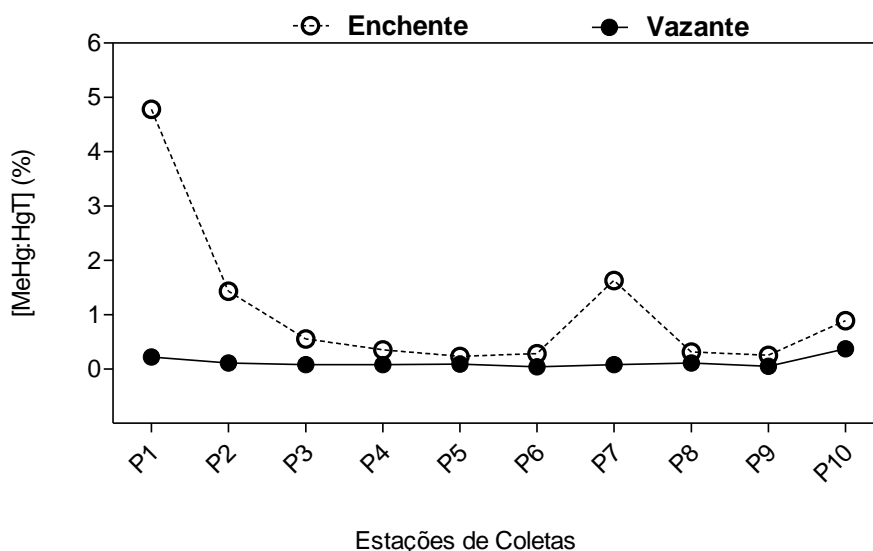
Observa-se também na figura 5 que a principal fonte de entrada de MeHg é pelo rio Solimões. Essa afirmação é corroborada com a comparação entre os períodos de vazante e enchente. Como na

vazante a razão  $[MeHg:HgT]$  é praticamente nula, esse comportamento leva a supor que todo MeHg que entra no lago do Parú é de alguma forma absorvido pelo sistema. Provavelmente o principal consumidor/acumulador desse MeHg são os plânctons (zoo) e, em seguida, acumulado nos peixes do lago do Parú.

Outra suposição para o comportamento da razão  $[MeHg:HgT]$  é que a principal fonte de MeHg no lago do Parú seja os sólidos suspensos transportados pelo rio Solimões ou, os sólidos suspensos do lago que são

represados pelo rio Solimões na enchente e que se depositam, passando a ser o sedimentos de fundo.

Durante a subida do nível das águas, o mercúrio inorgânico presente nos solos das florestas marginais é potencialmente lixiviado para o ambiente aquático, onde pode ser metilado e incorporado à cadeia trófica aquática (ROULET et al, 1999). Neste momento, as florestas alagadas e os bancos de macrófitas aquáticas flutuantes, tornam-se ambientes favoráveis à metilação do mercúrio (ROULET et al,1998; ROULET et al. 1999a).



**Figura 5** – Distribuição espacial da razão  $[MeHg:HgT]$  (%) nas estações de coleta durante os períodos hidrológicos de vazante e enchente.

Nesse contexto, este estudo revelou que durante a enchente e as águas altas dos sistemas aquáticos amazônicos, há um grande potencial de produção de MeHg quando ocorre entrada do Hg inorgânico no sistema aquático. Isso pode explicar as concentrações mais elevadas observadas no presente estudo durante a enchente comparada com a vazante.

#### 4. Conclusão

Os resultados sugerem que tanto o HgT quanto o MeHg são influenciados diretamente pelo o pulso de inundação do rio Solimões. A entrada e a saída das águas do rio Solimões no lago do Parú diluem/remobilizam o HgT o que contribue no processo de formação do MeHg. Ficou evidente também que as águas pretas contribuem mais



significativamente para o aumento da concentração de MeHg nos sedimentos de fundo do lago do Parú. Portanto, a dinâmica do HgT e do MeHg são reguladas pela sazonalidade da região Amazônica, o que reforça o apelo na conservação/preservação da vegetação, principalmente as matas ciliares, pois evita que solos ricos em Hg<sup>+2</sup> venham a alcançar os ecossistemas aquáticos.

### Agradecimentos

Este trabalho foi financiado pelo CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) através dos projetos: CT-Casadinho/CNPq (Processo nº. 552331/2011-2); CT/PVE (Processo nº. 400576/2013-9) e CT-Universal (Processo no. 458977/2014-4).

### Divulgação

Este artigo é inédito e não está sendo considerado para qualquer outra publicação. Os autores e revisores não relataram qualquer conflito de interesse durante a sua avaliação. Logo, a revista *Scientia Amazonia* detém os direitos autorais, tem a aprovação e a permissão dos autores para divulgação, deste artigo, por meio eletrônico.

### Referências

- ALMEIDA, R.; BERNARDI, J. V. E.; OLIVEIRA, R. C.; CARVALHO, D. P.; MANZATTO, A. G.; LACERDA, L. D.; BASTOS, W. R. Flood pulse and spatial dynamics of mercury in sediments in Puruzinho lake, Brazilian Amazon. **Acta Amazonica**, v. 44, n. 1, p. 99-106, 2014.
- 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**, 50: 255-260, 1998. ISSN 2317-6660.
- BASTOS, W. R.; ALMEIDA, R.; DÓREA, J. G.; BARBOSA, A. C. Annual flooding and fish-mercury bioaccumulation in the environmentally impacted Rio Madeira (Amazon). **Ecotoxicology**, v. 16, n. 3, p. 341-346, 2007.
- BEHLING, H.; KEIM, G.; IRION, G.; JUNK, W.; MELLO, J. N. Holocene environmental changes in the Central Amazon Basin inferred from Lago Calado (Brazil). **Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology**. 173: 87-101. 2001. ISSN 0031-0182.
- BELTRAN, P. S., J. ZUANON, R. G. LEITE, J. R. P. PELEJA, A. B. MENDONÇA & B. R. FORSBERG. Mercury bioaccumulation in fish of commercial importance from different trophic categories in an Amazon floodplain lake. **Neotropical Ichthyology** 9: 901-908.2011.
- BISINOTI, M.C.; JARDIM, W.C. Behavior of methylmercury in the environment. **Química Nova**. v. 27(4), p. 593-600. 2004. ISSN 0100-4042.
- BISINOTI, M. C., W. F. JARDIM & E. J. SARGENTINI. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin. **Journal of the Brazilian Chemical Society** 18: 544-553. 2007
- BRABO, E.S.; SANTOS, E.C.O.; JESUS, I.M.; MASCARENHAS, A.F.S.; FAIAL, K.F. Mercury contamination of fish and exposures of an indigenous community in Pará State, Brazil. **Environmental Research**. v. 84, p. 197-203. 2000. ISSN 0013-9351.
- BRASIL, Ministério das Minas e Energia. Secretaria-Geral. **Projeto RADAMBRASIL**. Folha SD.22. Goiás; geologia, geomorfologia, pedologia e uso potencial da terra. Rio de Janeiro, 640 p. 1981.
- BRITO, B. C.; FORSBERG, B. R.; KASPER, D.; AMARAL, J. H. F.; VASCONCELOS, M. R. R.; SOUSA, O. P.; CUNHA, F. A. G.; BASTOS, W. R. The influence of inundation and lake morphometry on the dynamics of mercury in the water and plankton in an Amazon floodplain lake, Springer International Publishing Switzerland, **Hydrobiologia**, 790 p. 35-45, 2016.
- COELHO-SOUZA, S. A.; GUIMARÃES, J. R. D.; MIRANDA, M. R.; POIRIER, H.; MAURO, J. B. N.; LUCOTTE, M.; MERGLER, D. Mercury and flooding



cycles in the Tapajós River basin, Brazilian Amazon: the role of periphyton of a floating macrophyte (*Paspalum repens*). **The Science of the Total Environment**. 409: 2746–2753. 2011. ISSN 0048-9697.

DE CARVALHO, D. P.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A. G.; FREITAS, O. B.; BASTOS, W. R. Dynamics of metals in lacustrine sediments: case study of the Madeira River, Amazon region, **Brazilian Journal of Water Resources**, RBRH, Porto Alegre, v. 23, e21, 2018.

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.

FADINI, P.S.; JARDIM, W.F. Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? **The Science of the Total Environment**. v. 275, p. 71-82. 2001. ISSN 0048-9697.

GUIMARÃES, J. R. D.; ROULET, M.; LUCOTTE, M.; MERGLER, D. Mercury methylation along a lake-forest transect in the Tapajós river floodplain, Brazilian Amazon: seasonal and vertical variations. **The Science of the Total Environment**. v. 261(1-3), p. 91-98. 2000. ISSN 0048-9697.

GUINOISEAU, D.; BOUCHEZ, J.; GÉLABERT, A.; LOUVAT, P.; FILIZOLA, N.; BENEDETTI, M. F. The geochemical filter of large river confluences. **Chemical Geology**, v. 441, p. 191-203, 2016.

GUYOT, J. L.; JOUANNEAU, J. M.; SOARES, L.; BOAVENTURA, G. R.; MAILLET, N.; LAGANE, C. Clay mineral composition of river sediments in the Amazon Basin. **Catena**. v. 71 (2), p. 340-356. 2007. ISSN 0341-8162.

KOUMROUYAN, A.; SANTANA, G. P. Química de elementos traço nos sedimentos do Lago do Parú (Manacapuru – Amazonas), sob influência do pulso de inundação do baixo rio Solimões. **Acta Amazonica**, v.38, p.491-502. 2008. ISSN 1809-4392.

LACERDA, L. D. Contaminação por mercúrio no Brasil: Fontes industriais vs Garimpo de ouro. **Química Nova**, v.20, p. 196-199. 1997. ISSN 0100-4042.

LACERDA L.D.; BASTOS W.R.; ALMEIDA M.D. The impacts of land use changes in the mercury flux in the Madeira River, Western Amazon. **Annals of the Brazilian Academy of Sciences**, 84: 73-82. 2012.

MAIA, P. D.; MAURICE, L.; TESSIER, E.; AMOUROUX, D.; COSSA, D. PEREZ, M.; MOREIRA-TURCQ, P.; RHÉAULT, I. Mercury distribution and exchanges between the Amazon River and connected floodplain lakes. **The Science of the Total Environment**, v. 407, p.6073–6084, 2009. ISSN 0048-9697.

MALM, O. Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon. **Environmental Research**. v. 77(2), p. 73-78. 1998. ISSN 0013-9351.

RIBEIRO, D. R. G.; FACCIN, H.; MOLIN, T. R. D.; CARVALHO, L. M.; AMADO, L. L. Metal and metalloid distribution in different environmental compartments of the middle Xingu River in the Amazon, Brazil. **The Science of the Total Environment**, v. 605-606, p. 66-74, 2017.

ROACH, K. A., F. N. JACOBSEN, V. C. FIORELLO, A. STRONZA & K. O. WINEMILLER. Gold Mining and mercury bioaccumulation in a floodplain lake and main channel of the Tambopata River, Peru. **Journal of Environmental Protection** 4: 51–60.2013.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; CANUEL, R.; RHEAULT, I.; TRAN, S.; DE FREITOS GOG, Y. G.; FARELLA, N.; SOUZA DO VALE, C. J.; SOUZA PASSOS, R.; DE JESUS DA SILVA, E.; MERGLER, R.; AMORIM, M. Distribution and partition of total mercury in waters of the Tapajós River Basin, Brazilian Amazon. **The Science of the Total Environment** v. 213(1-2), p. 203-211. 1998. ISSN 0048-9697.

SANTOS, L.S.; MULLER, R.C.; SARKIS, J.E.; ALVES, C.N.; BRABO, E.S.; SANTOS, E.O.; BENTES, M.H. Evaluation of total mercury concentrations in fish consumed in the municipality of Itaituba, Tapajós River Basin, Para, Brazil. **The Science of the Total Environment**. 261, 1–8. 2000. ISSN 0048-9697.

SAHOO, P. K.; GUIMARÃES, J. T. F.; SOUZA-FILHO, P. W. M.; SILVA, M. S.; NASCIMENTO, W.; POWELL, M. A.; REIS, L. S.; PESSEDA, L. C. R.; RODRIGUES, T. M.; SILVA, D. F.; COSTA, V. E. Geochemical characterization of the largest upland lake of the Brazilian Amazonia: Impact of provenance and processes. **Journal of South American Earth Sciences**, v. 80, p. 541-558, 2017.

SAMPAIO, S. D., M. LUCOTTE, S. PAQUET & R. DAVIDSON. Influence of ecological factors and of land use on mercury levels in fish in the Tapajós River basin, Amazon. **Environmental Research** 109: 432–446. 2009.



Ciências Exatas

TAYLOR, V. F.; CARTER, A.; DAVIES, C.; JACKSON, B. P. Trace-level automated mercury speciation analysis. **Analytical Methods**, v. 3, n.5, p.1143-1148, 2011. ISSN 1759-9660.

VALLE, C. M. SANTANA, G. P., EGREJA FILHO, F. B., AUCUSTI, R. WINDMOLLER, C. C. Speciation and quantification of mercury in Oxisol, Ultisol, and Spodosol from Amazon (Manaus, Brazil). **Chemosphere**. v. 58, p. 779-792. 2005. ISSN 0045-6535.

VALLE, C. M.; SANTANA, G. P.; WINDMOLLER, C.C. Mercury conversion processes in Amazon soils evaluated by thermo desorption analysis. **Chemosphere**. v. 65(11), p. 1966-1975. 2006. ISSN 0045-6535.

UNEP. Global Mercury Assessment : Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. **UNEP Chemicals Branch**, Geneva, Switzerland: 32, 2013.