



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS
INSTITUTO DE NATUREZA E CULTURA
PROGRAMA DE BOLSAS DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA



PIBIC

TACIARA MATIAS BRAGA (BOLSISTA – FAPEAM)

**DINÂMICA DO TRANSPORTE DE ELEMENTOS – TRAÇO (Hg) NA
FASE SÓLIDA E FASE DISSOLVIDA NA REGIÃO DA TRÍPLICE
FRONTEIRA NO ALTO RIO SOLIMÕES, AMAZONAS**

ORIENTADOR: RONALDO DE ALMEIDA

**BENJAMIN CONSTANT, AM
2013**



DINÂMICA DO TRANSPORTE DE ELEMENTOS – TRAÇO (Hg) NA FASE SÓLIDA E FASE DISSOLVIDA NA REGIÃO DA TRÍPLICE FRONTEIRA NO ALTO RIO SOLIMÕES, AMAZONAS

Taciara Matias Braga¹, Ronaldo de Almeida²

Resumo

O presente estudo tem por objetivo avaliar a concentração de material particulado em suspensão e o transporte de Hg total via material particulado em suspensão nos rios Solimões e Javari. A coleta foi realizada em quatro pontos, nos meses de fevereiro (enchente) e maio (vazante). Os parâmetros físicos e químicos (oxigênio dissolvido, pH, condutividade elétrica, temperatura e transparência da água) foram determinados *in loco*. Para determinação da carga de material particulado em suspensão e Hg total foram coletados 2L de água em garrafas de polietileno tereftalato e posteriormente filtradas em filtro milipore 0,45 µm de Ø. A determinação de Hg total foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica acoplado ao gerador de vapor frio. A concentração de material particulado em suspensão variou entre 39,98 mg.l⁻¹ no rio Javari e 301,66 mg.l⁻¹ no rio Solimões, no período de enchente. Foi observado que o rio Solimões em Tabatinga (TBT) apresentou a maior concentração de Hg com 307,94 ng.g⁻¹ e a menor concentração foi encontrada no Rio Javari com 218,64 ng.g⁻¹, no período de enchente. Já no período de vazante a maior concentração foi observada no Rio Solimões próximo à Ilha do Aramaçá (PTBA) com 381,125 ng.g⁻¹ HgT e a menor concentração foi observada no rio Solimões logo a jusante de Tabatinga (TBT) com 186,05 ng.g⁻¹ de HgT. Estes dados indicam que a concentração de Hg no material particulado em suspensão é similar as outras regiões da Amazônia e, que o rio Solimões no seu curso superior tem importante papel no transporte de Hg para o sistema hidrológico da Amazônia Brasileira.

¹Universidade federal do Amazonas, Instituto de Natureza e Cultura (Discente Bolsista – FAPEAM)

²Universidade federal do Amazonas, Instituto de Natureza e Cultura (Orientador)

ronaldoufam@gmail.com



INTRODUÇÃO

Muitos pesquisadores têm se dedicado a entender os ecossistemas aquáticos na Amazônia (SIOLI, 1956; RAI & HILL, 1980; JUNK, 1982; JUNK et al, 1989; KÜCHLER et al, 2000; WITTMAN et al, 2004; JUNK et al, 2011). Pioneiro nos estudos Limnológicos da bacia Amazônica, Sioli, (1956) apud (JUNK et al, 2011) dividiu as águas da bacia amazônica em três categoriais principais: águas brancas, águas claras e águas pretas.

A classificação de Sioli (1956), considera que rios de águas brancas têm origem Andina (Amazonas/Solimões, Juruá, Japurá, Purus e Madeira). Estes rios possuem pH próximo do neutro, alta condutividade devido a alta carga de sólidos dissolvidos e particulados transportados. Os rios de águas pretas (rio Negro) drenam áreas platô Pré-Cambriano possuem pH variando entre 4 e 5 e condutividade $<20\mu\text{Scm}^{-1}$, baixa carga de sólidos em suspensão, alta carga de substâncias húmicas que confere a cor preta à água. Já os rios de águas claras (rio Tapajós, Xingu e Rio Tocantins) tem sua origem no planalto central e suas águas possuem características intermediárias aos rios de água branca e água preta. A coloração dos rios de águas claras são esverdeadas, possuem baixa carga de sólidos dissolvidos, pH varia ente 5-6, a condutividade varia entre 20-40 μScm^{-1} , mas pode apresentar valores menores que 5 μScm^{-1} em “igarapés” de baixa ordem.

Os estudos Limnológicos na região do Alto Solimões são pontuais e descontinuados temporalmente. Santos & Ribeiro (1988) realizaram um estudo Hidrogeoquímico do rio Solimões compreendendo desde a tríplice fronteira até a foz do rio Amazonas. Trabalhos realizados nesta escala geográfica geralmente contribuem para a caracterização destes sistemas aquáticos, mas impossibilitam a avaliação sazonal do sistema aquático. Por exemplo, Junk et al, (2011) verificaram que o pulso de inundação varia amplamente na região Amazônica. E, as maiores amplitudes no pulso de inundação são encontradas nos rios de água branca (e.g. no rio Juruá chega a 16 metros), estes rios são importantes carreadores do material particulado em suspensão nesta região.

Estudos sobre o transporte de material particulado em suspensão foram desenvolvidos por Mortatti et al (1989), na bacia do rio Madeira onde esses autores verificaram que este rio transporta cerca de 2,8 milhões de toneladas de sedimento/dia.

O impacto causado por atividades antrópicas na bacia do rio Madeira como a poluição por Hg também é bem documentado pelos estudos de (MARTINELLI et al, 1988; MALM et al, 1990; MAURICE-BOURGOIN et al 2000; LECHLER et al, 2000; ALMEIDA et al, 2005; BASTOS et al 2006; BASTOS et al, 2007) estes estudos mostraram que Hg está presente na água, no sedimento e incorporado na cadeia trófica com expressiva concentração na população tradicional que vive às margens do rio Madeira. Embora a hipótese inicial de que o Hg na bacia do rio Madeira teve sua origem unicamente na atividade garimpeira. Foi observado posteriormente, que os solos da região são ricos em Hg a exemplo de outras bacias hidrográficas da Amazônia como Tapajós (ROULET et al 1998) e a do rio Negro (FADINI & JARDIM, 2001).

Quanto a região do alto Solimões este é o primeiro estudo que se propõe a estudar a presença e o transporte de Hg via material particulado em suspensão nesta porção da bacia amazônica. Neste sentido desenvolver estudos Limnológicos na confluência do Rio Javari próximo a cidade de Benjamin

Constant (Fronteira com o Peru) e no trecho do rio Solimões entre a confluência do Rio Javari e a cidade de Tabatinga (Fronteira com a Colômbia e Peru) torna se importante. Já que este é o primeiro estudo que relaciona o transporte de Hg via material particulado em suspensão na região do Alto Solimões, pois além de fornecer dados limnológicos de uma das principais vias de entradas de água na bacia Amazônica em território brasileiro e contribui para ampliar o conhecimento Hidrogeoquímico do Hg na região amazônica.

MATERIAIS E MÉTODOS

Área de estudo

A Mesorregião do Alto Solimões é uma área em região de tríplice fronteira com Peru e Colômbia composta por nove municípios: Atalaia do Norte, Benjamin Constant, Tabatinga, São Paulo de Olivença, Amaturá, Santo Antônio do Içá, Tonantins, Jutai (BRASIL/MIN,?). Este estudo compreende a região do Alto rio Solimões, onde forma se a tríplice fronteira entre Brasil, Peru e Colômbia (Figura 01). A precipitação pluviométrica na região varia entre 2.500 mm e 3.600 mm, com média anual de 2.562 mm, já a temperatura média anual é de 25,7°C (COELHO et al 2005)

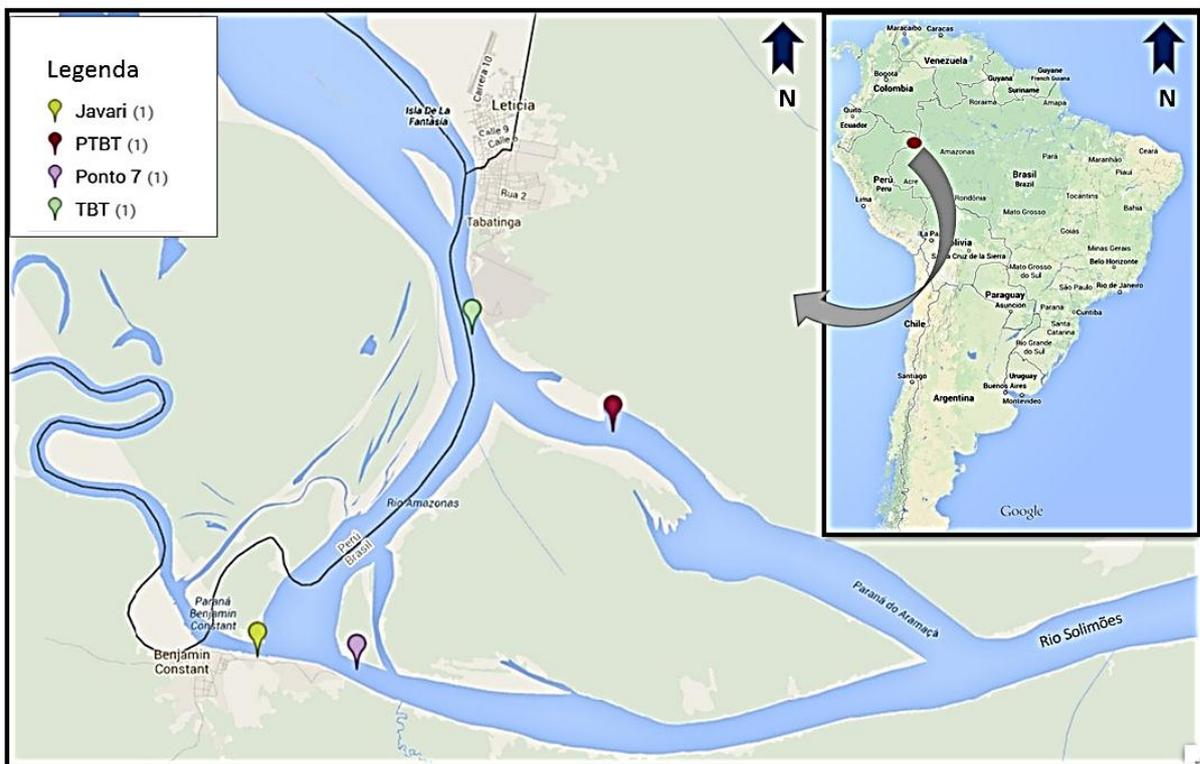


Figura 1. Área de estudo



Procedimentos de amostragem

O desenho amostral foi elaborado considerando o ciclo hidrológico (águas baixas, enchente, águas altas e vazante). No entanto, só foi possível a coleta referente ao período de enchente (fevereiro de 2013) e período de águas altas (maio de 2013) nos seguintes pontos de coleta: ponto – 1. TBT= aproximadamente 1000 m a jusante da cidade de Tabatinga, AM; ponto - 2. PTBT= Paraná Ilha do Aramaçá situado entre a margem esquerda do rio Solimões e a ilha do Aramaçá; ponto – 3. Sol= localizado no rio Solimões a jusante da foz do rio Javari; ponto – 4. Javari= localizado no rio Javari a jusante da cidade de Benjamin Constant, AM. Os pontos foram com receptores de GPS, (eTrex Vista HCx GARMIN).

Áreas de estudo

Coleta e preparo das amostras

A cada ponto de amostragem foram determinadas “*in loco*” as variáveis físicas e químicas tais como: temperatura da água, transparência da água, condutividade elétrica e concentração de oxigênio dissolvido.

As amostras de águas foram coletadas na superfície em frascos de garrafas PET (Polietileno Tereftalato) volume 2 litros previamente descontaminadas HNO₃ (5%)/24 horas. Após a coletas as amostras foram resfriadas ainda em campo e transportadas para o laboratório de Ciências agrárias e do Ambiente do Instituto de Natureza e Cultura/Universidade Federal do Amazonas (INC/UFAM) onde permaneceram resfriadas até o momento da filtragem.

As amostras de água foram filtradas em filtros de membrana em ésteres de celulose (nitrato 75-80% e acetato) 0,45 micra, 47 mm, branca, lisa (Millipore) e submetida a um processo de filtragem a vácuo. Sendo que, para cada amostra foram separadas duas alíquotas (2 filtros) para determinação da carga de material particulado em suspensão (mg.l⁻¹) e de Hg total no material particulado em suspensão (ng.g⁻¹). Após a filtração os filtros foram mantidos em estufa 38°C/24h para secagem do material particulado, em seguida os filtros foram mantidos dessecador com sílica gel até o momento da pesagem.

As amostras foram acondicionadas em tubo de ensaio e lacradas com filme estirável de PVC, e conservados em freezer. Após todo esse procedimento as amostra foram enviada a Universidade Federal de Rondônia, Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, onde foi determinado o Hg total por espectrometria de absorção atômica acoplada ao gerador de vapor frio (FIMS 400). Brevemente, às amostras foram adicionados 5 ml de água régia (HCl:HNO₃ (3:1)) e levadas ao bloco digestor a 70 °C/1h em seguida as amostras foram removidas do bloco digestor, então foram adicionados 5 ml de KMnO₄ (5%) e retornou se as amostras para o bloco digestor por mais 30 minutos. Após esta etapa as amostras permaneceram em “*overnight*” a temperatura ambiente. No dia seguinte fez a adição de 1 ml de Cloridrato de Hidroxilamina, redução com NaBH₄ (02%) e determinação de Hg total utilizando FIMS-400 (Perkin Elmer).

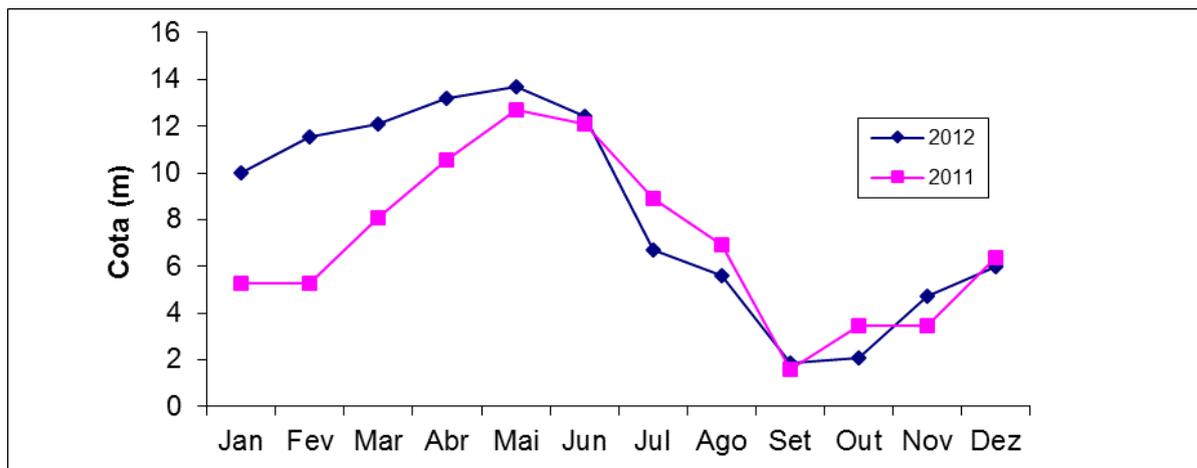
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Varição Fluviométrica do rio Solimões

Os dados de variação do nível do rio Solimões foram obtidos junto a CPRM-Tabatinga. A (Figura 2) mostra a variação mensal do nível do rio Solimões durante os meses do ano de 2011 e 2012. O período entre janeiro, fevereiro, março (JFM) é caracterizado por um período de enchente. O período de águas altas ocorre entre abril, maio, junho (AMJ) sendo que o pico máximo da cheia foi observado no mês de maio. O período de junho, julho, agosto (JJA) pode ser considerado como um período de vazante, já os meses de setembro, outubro (SO) apresentaram as menores cotas caracterizando o período de águas baixas.

O Ano de 2012 foi caracterizado como um período de águas altas atípico superando inclusive umas das maiores cheias já registradas para a região desde 1999. Foi observada que durante o ano de 2012 o período de águas altas foi mais prolongado com elevação do nível fluviométrico subitamente após o mês de dezembro.

De acordo com CPMR (2012) a bacia do Solimões em Tabatinga obteve o nível máximo 11,57 m nos meses de MAM registrado em 2012 e ficou 9 cm abaixo da cheia máxima de 1999. Na Bacia do Rio Negro em Manaus o nível máximo foi de 29,74 m nos meses entre abril a junho em 2012.



Fonte: CPRM, 2012.

Figura 2. Cota do nível do rio Solimões ano de 2011 e 2012, estação da CPRM/Tabatinga.

Na estação do Careiro da Várzea o nível elevou à 17,28 m nos meses de MJ e a estação de Itapeuá o nível do rio atingiu 17,57 m nos meses de MJ, nessas estações foram registradas como as maiores cotas, superando o ano de 2009. As Bacias do Javari, Purus e Madeira tiveram os níveis de d'água normal para o período (CPRM, 2012).

A figura 02 mostra os principais períodos hidrológicos como águas altas, vazante, águas baixas e enchente. O período de enchente (novembro, dezembro, janeiro, fevereiro) no rio Solimões é quando o nível do rio está se elevando devido precipitação na região.

O período de águas altas em geral é registrado entre os meses de maio e junho de cada ano atingindo 10 a 12 m, nível esperado para esse período. De acordo com Serrão et al (2013) o período

mais chuvoso na região de Benjamin Constant, AM compreende o período entre os meses de janeiro e junho com um acumulado de 1600mm de chuva.

A vazante é caracterizada pela decida lenta e gradual do nível do rio após a redução das chuvas o escoamento é lento dando a impressão que a vazante parou, mas está apenas fazendo o processo de infiltração e evaporação época em que todas as águas que encheram o rio desembocam no oceano atlântico nos meses de julho e agosto, dando espaço para o período das águas baixas que é o período onde ocorre a redução na precipitação, durante este período do ano o rio atinge a sua cota mínima. Na região do Alto solimões este período ocorre entre julho e outubro (Figura 02).

Características físicas e químicas

As características físicas e químicas das águas dos rios Solimões e rio Javari estão apresentadas na tabela 01. A condutividade elétrica das águas do rio Solimões variou entre 66 e 183,7 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-2}$. O maior valor encontrado foi no ponto (PTBT) Rio Solimões (5 km abaixo de Tabatinga) no mês de fevereiro, já o menor valor encontrado ocorreu no rio Javari, pois o rio Javari neste período apresentou características de rio de águas pretas (Tabela 1).

O rio Solimões apresentou uma transparência variando entre 10 e 19 cm, enquanto que o rio Javari apresentou transparência entre 43 e 60 cm (Tabela 1). O rio Solimões apresenta uma menor transparência em relação ao rio Javari devido a maior carga de material particulado em suspensão transportado (Tabela 01).

Tabela 1 – Características físicas e químicas dos rios Solimões e Javari.

Localidade	Enchente (Fevereiro/2013)		Vazante (Maio/2013)			
	*Cond. $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-2}$	**Transp. cm	***Tem água °C	*Cond. $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-2}$	*Transp. cm	***Temp. água °C
Rio Solimões (TBT)	180	10	27,8	152	10	27,4
Rio Solimões (PTBT)	183,7	16	27,6	150,6	11	27,5
Rio Solimões (SOL)	66	14	27,1	111	19	27,2
Rio Javari	-	43	26,7	14	60	26,5

*Cond. = condutividade; **Transp. = Transparência da água; ***Temp.= temperatura da água.

Distribuição de material particulado em suspensão e mercúrio total no material particulado em suspensão.

A concentração de material particulado em suspensão variou entre 39,98 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ no rio Javari no período de enchente e 301,66 $\text{mg}\cdot\text{l}^{-1}$ no rio Solimões, no período de enchente. O ponto rio Solimões (SOL) a jusante do rio Javari apresentou uma concentração cerca de 2 vezes menor do que os demais pontos do rio Solimões e, também mostrou ser menos variável em relação aos períodos hidrológicos estudados. Este ponto é fortemente influenciado pelas águas do rio Javari a sua montante (Figura 03).

A figura 04 apresenta os dados de HgT referente aos meses de fevereiro/2013 (enchente) e maio/2013 vazante. Foi observado que o rio Solimões em Tabatinga (TBT) apresentou a maior concentração de Hg com 307,94 $\text{ng}\cdot\text{g}^{-1}$ e a menor concentração foi encontrada no Rio Javari Jusante

de Benjamin Constant (javari) com $218,64 \text{ ng.g}^{-1}$, no período de enchente. Já no período de vazante a maior concentração foi observada no Rio Solimões próximo à Ilha do Aramaçá (PTBA) com $381,125 \text{ ng.g}^{-1} \text{ HgT}$ e a menor concentração foi observada no rio Solimões logo a jusante de Tabatinga (TBT) com $186,05 \text{ ng.g}^{-1}$ de HgT.

A figura 04 mostra que a concentração de Hg permanece constante no rio Javari entre os meses de fevereiro e maio. Já a concentração do material particulado apresenta uma maior variação de acordo com a variação do nível fluviométrico do rio Solimões, indicando que a precipitação tem forte influência na variação do material particulado em suspensão, mas não altera o transporte de HgT.

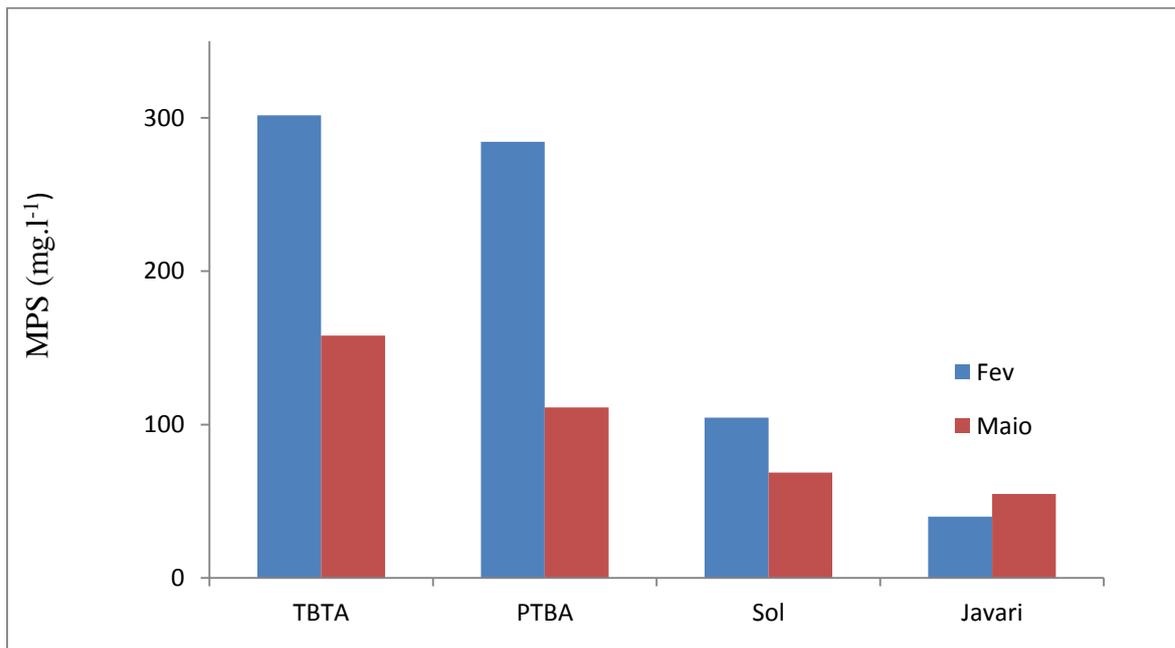


Figura 3. Concentração de material particulado em suspensão no rio Solimões e no rio Javari referente a fevereiro e maio de 2013. TBTA= rio Solimões Tabatinga; PTBA= Rio Solimões (5 km abaixo de Tabatinga); Sol= Rio Solimões (Jusante do rio Javari); JAVARI=Rio Javari Jusante de Benjamin Constant.

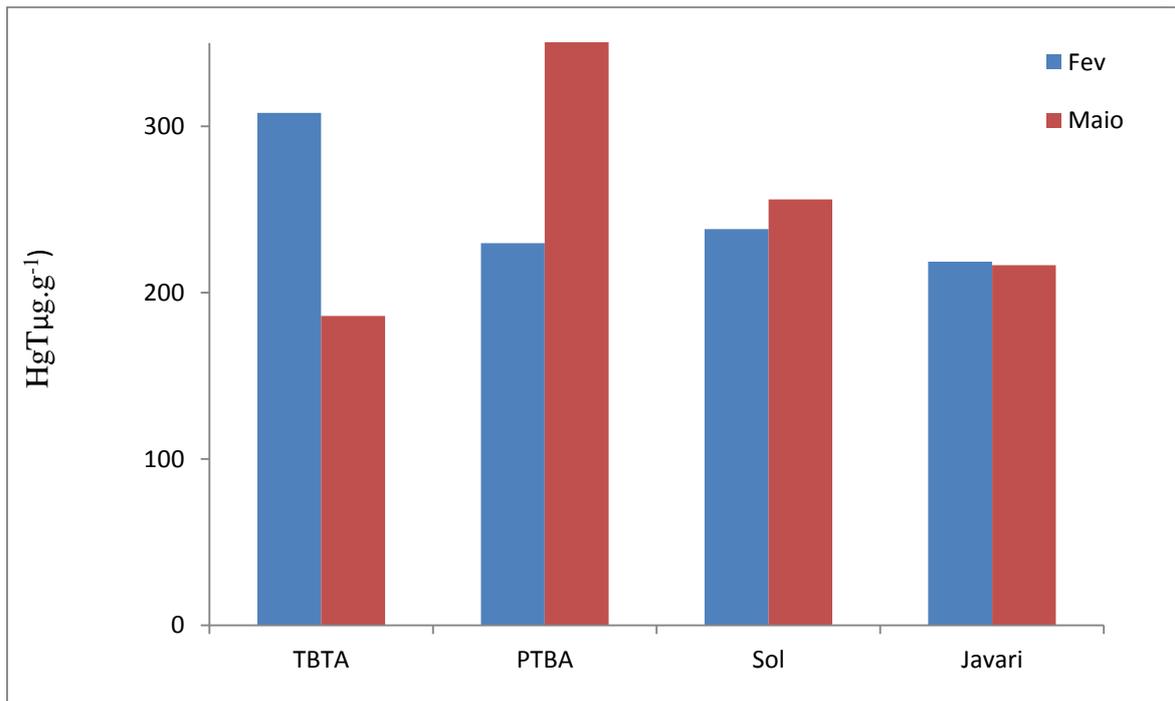


Figura 4. Concentração de HgT nos meses de fevereiro e maio de 2013. TBTA= rio Solimões Tabatinga; PTBA= Rio Solimões (5 km abaixo de Tabatinga); Sol= Rio Solimões (Jusante do rio Javari); JAVARI=Rio Javari Jusante de Benjamin Constant.

A tabela 2 apresenta dados de HgT e MPS de sistemas hidrológicos de águas brancas e águas pretas da região amazônica. Por exemplo, Bastos et al, 2006 verificaram que o rio Madeira, apresenta concentrações de MPS até 5 vezes maiores do que o encontrado no rio Solimões. As concentrações de MPS e mercúrio no MPS encontrado no rio Solimões (Tabela 02) são semelhantes aos dados obtidos por Mascarenhas et al (2004) no rio Acre.

Neste estudo as médias de material particulado em suspensão para o rio Solimões são maiores que as encontradas por Maia et al (2008), durante o período de enchente em seu estudo no rio Solimões (Tabela 02). Os valores mais elevados no rio Solimões estão relacionados ao possível enriquecimento das concentrações de particulados em suspensão nesta região devido erosão das margens e erosão provocada pela lixiviação do solo da região. Outro fator que pode contribuir para maiores concentrações de MPS é o fator de diluição que ocorre entre a região de Benjamin Constant e a região onde Maia et al (2008) realizaram seus estudos. McClain et al (2008) mostra que relativamente a região do alto Solimões contribui até a foz do rio Içá (margem direita do rio Solimões) mais com água do que material particulado em suspensão.

Tabela 2 - Concentração de material particulado em suspensão (MPS) em mg.l⁻¹ e Hg µg.g⁻¹ nos rios da região amazônica.

Localidade	Período Hidrológico		Hg (ng.Kg ⁻¹)	MPS (mg.l ⁻¹)	Referências
Rio Solimões (TBT)	en/vz		44 -129	158-302	Este trabalho
Rio Madeira	en			266 – 580	Maia et al (2008)
Rio Madeira	aa			41 -156	Maia et al (2008)
Rio Madeira	ab			63 -141	Maia et al (2008)
Rio Madeira	aa		20- 49	200 - 1115	Bastos et al 2006
Solimões próx. Manacapuru	en.			150 - 206	Maia et al (2008)
Solimões (Manacapuru)	aa			103 - 177	Maia et al (2008)
Solimões (Manacapuru)	ab			111	Maia et al (2008)
Rio Negro	en			2 - 4	Maia et al (2008)
Rio Negro	aa			4 - 13	Maia et al (2008)
Rio Negro	ab			4	Maia et al (2008)
Rio Madeira	en		120 -260	415,68	Gomes et al (2007)
Mamore	vz			30,63	Gomes et al (2007)
Rio Acre	vz		116	249,57	Mascarenhas <i>et al</i> (2004)

en= enchente; vz= vazante; aa= aguas altas; ab= aguas baixas.

CONCLUSÃO

Os dados mostraram que a concentração de Hg no MPS são similar as outras regiões da Amazônia e, que o rio Solimões no seu curso superior tem importante papel no transporte de Hg e MPS para o sistema hidrológico da amazônia brasileira.

Referências

ALMEIDA, M. D.; LACERDA, L.D.; BASTOS, W.R.; HERRMANN, J. C. 2005. Mercury loss from soils following conversion from forest to pasture in Rondônia, Western Amazon, *Brazil. Environmental Pollutant*, 137:179 – 186.

BALOGH, S.J.; Meyer, M.L; Johnson, D.K. 1997. Mercury and suspended sediment loadings in the Lower Minnesota River. *Environmental Science and Technology*, 32(4): 456-462.

BASTOS, W.R.; GOMES, J.P.; OLIVEIRA, R.C.; ALMEIDA, R.; NASCIMENTO, E.L.; BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; SILVEIRA, E.G.; PFEIFFER, W.C. 2006. Mercury in the environment and Riverside population in the Rio Madeira Basin, Amazon, Brazil. *Science of The Total Environment*, 368: 344 – 355.



BRASIL, MINISTERIO DA INTEGRACAO NACIONAL. Mesorregião do alto Solimões. Programa de Sustentabilidade de Espaços Sub-regionais – PROMESO. Disponível em: http://www.mi.gov.br/programas/programasregionais/index.asp?area=spr_mes_solimoes. Acesso: 13/02/2012.

COELHO, M.R. E.C.C. FIDALGO, F.O. ARAÚJO, H.G. SANTOS, M.L.M. SANTOS, D.V. PÉREZ & F.M.S. MOREIRA, 2005. Levantamento pedológico de uma área-piloto relacionada ao projeto BiosBrasil (Conservation and sustainable management of below-ground biodiversity: Phase I), município de Benjamin Constant (AM): Janela 6. Rio de Janeiro: Embrapa (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 68), 95p

ESTEVES, F.A. Fundamentos de Limnologia. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 574p.1988.

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

FÖRSTNER, U.; WITTMANN, G.T. W. *Metal pollution in the aquatic environment*. 2. ed. Berlin, Springer Verlag, 1983. 486 p.

GARGIONI, V. Partição do Cádmiio entre o sedimento e a água intersticial. Dissertação de mestrado, 99 p. UNICAMP, São Paulo. 1991.

GOMES, J.P.O.; NASCIMENTO, E.L.; ALMEIDA, R.; BASTOS, W.R.; BERNARDI, J.V.E.; BRUM, P.H. (2006) Distribuição Espacial das Concentrações de mercúrio em sólidos em suspensão no Alto Rio Madeira, Rondônia. *Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology*, 1: 131-137.

JUNK, W.J.; BAYLEY, P. B.; SPARKS, R.E. 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. Pages 110-127 in D. P. Dodge, ed. Proceedings of the International Large River Symposium, *Canadian Special Publication of Fisheries and Aquatic Sciences*.

JUNK, W.J.; FURCH, K. 1980. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. Parte I. *Acta Amazonica*, 10: 611-633

JUNK, W. J.; PIEDADE, M.T.F.; SCHÖNGART, J.; COHN-HAFT, M.; ADENEY, M.; WITTMANN, F.A. Classification of Major Naturally - Occurring Amazonian Lowland Wetlands. *Wetlands*. v. 31, p. 623–640, 2011.

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

KÜCHLER, I.L.; MIEKELEY, M.; FORSBERG, B.R. 2000. Contribution to the Chemical Characterization of Rivers in the Rio Negro Basin, *Brazilian Journal Brazilian Chemical Society*, 11: 286-292.

LECHLER, P.J.; MILLER, J.R.; LACERDA, L.D.; VINSON, D.; BONZONGO, J. C.; LYONS, W.B.; WARWICK, J. J. 2000. Elevated mercury concentrations in soils, sediments, water, and fish of the Madeira River Basin, Brazilian Amazon: a function of natural enrichment? *Science of The Total Environment*, 260: 87–96.

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

MCCLAIN, M.E., NAIMAN, R.J. 2008. Andean influences on the biogeochemistry and ecology of the Amazon river. *BioScience*, 58: 325-338.

MACKERETH, F. J.H.; HERON, J.; TALLING, J.F. Water analysis: Some revised methods for limnologists. Freshwater Biological Association. Science Publication n. 36, 1978



MALM, O.; PFEIFFER, W.C.; SOUZA, C.M.M.; REUTHER, R. 1990. Mercury pollution due to gold mining in the Madeira River basin, Brazil. *Ambio*, 19: 11-15.

MASCARENHAS, A. F.S.; BRABO, E.S.; SANTOS, E.C., JESUS, I.M.; FAIAL, K. F. 1998. Níveis de mercúrio em peixes na bacia hidrográfica do Tapajós, Jacareacanga – Itaituba Pará: resultados preliminares. In: Anais do XXXIV Congresso Brasileiro de Medicina Tropical. Sociedade Brasileira de Medicina Tropical. Manaus, AM, p.41.

MORTATTI, J.; FERREIRA, J.R.; MARTINELLI, L.A.; VICTORIA, R.L.; TANCREDI, A. C. F. 1989. Biogeochemistry of the Madeira River Basin. *GeoJournal*, 19: 391-397.

MOZETO, A.A.O. *Manejo de qualidade da água e da dinâmica do sedimento e do particulado da Represa do Guarapiranga e do Rio Grande, RMSP*, São Carlos, Universidade Federal de São Carlos, projeto RHAE, 1996.

RAI, H.; HILL, G. 1980. Classification of Central Amazon lakes on the basis of their microbiological and physico-chemical characteristics. *Hydrobiologia*, 72:85-99.

ROULET, M.; LUCOTTE, M.; SAINT-AUBIN, A.; RHEAULT, I.; FARELLA, N.; DE JESUS DA.; SILVA, E.; DEZENCOURT, J.C.; SOUSA PASSOS, J.; SANTOS SOARES, G. The geochemistry of mercury in central Amazonian soils developed on the Alter-do-Chão formation of the lower Tapajós River Valley, Pará State, Brazil. *The Science of The Total Environment*, 223:1-24.

SEKHAR, K.C.; CHARY, N. S.; KAMALA, C. T.; RAJ, D. S. S.; RAO, A. S. 2003. Fractionation studies and bioaccumulation of sediment-bound heavy metals in Kolleru Lake by edible fish. *Environment International*, 29: 001-1008.

SILVA, R.C.S. *Estudos de sedimentos da Bacia Hidrográfica do Moji-Guaçu, com ênfase na determinação de metais*. Dissertação, Instituto de Química de São Carlos, USP, 2002.

SERRÃO, E.A.O.; SANTOS, C.A.; LIMA, A.M.M.; ROCHA, E.J.R. Susceptibilidade a ocorrência de cheias no rio Solimões a partir do modelo de distribuição das chuvas. XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. 17 a 22 de novembro de 2013. Bento Gonçalves, RS.

WITTMANN, F.; JUNK, W.J.; PIEDADE, M.T.F. The várzea forests in Amazonia: flooding and the highly dynamic geomorphology interact with natural forest succession. *Forest Ecology and Management*, 196: 199–212.