



SETAC – Brazil

Mercúrio no Plâncton de um Lago Natural Amazônico, Lago Puruzinho (Brasil)

E. L. NASCIMENTO,^{1*} J. P. O. GOMES,^{1,2} R. ALMEIDA,¹ W. R. BASTOS,¹ J. V. E. BERNARDI¹ & R. K. MIYAI³

¹Laboratório de Biogeoquímica Ambiental, Núcleo de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Rondônia, Rodovia BR-364, km 9,5, Sentido Acre, CEP 78900-500, Porto Velho, RO, Brasil

²Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis – IBAMA, Avenida Jorge Teixeira, 3559, Porto Velho, RO, Brasil

³Centrais Elétricas do Norte do Brasil S/A, Rua Major Amarantes, 513, Arigolândia, Porto Velho, RO, Brasil

(Received August 16, 2006; Accepted December 13, 2006)

RESUMO

O presente trabalho teve por objetivo avaliar as concentrações de mercúrio total (Hg) em amostras de plâncton do lago Puruzinho, localizado à margem esquerda do rio Madeira, a 20 km da cidade de Humaitá (Amazonas, Brasil). Foram realizadas três amostragens em um ponto central do lago (S07°22'19,2"; W063°02'32,2"), que correspondem aos períodos chuvoso (fevereiro de 2004 e maio de 2005) e seco (outubro de 2004). As amostras de plâncton foram coletadas com o uso de duas redes de náilon, sendo que uma alíquota do concentrado de plâncton de cada rede utilizada foi fixada para posterior identificação e contagem dos organismos e outra foi liofilizada para a análise de Hg. A determinação de Hg foi realizada por espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (FIMS-400). A maior concentração de Hg no plâncton foi observada na coleta de fevereiro de 2004 (337 µg kg⁻¹), período chuvoso. Os níveis encontrados no plâncton do lago Puruzinho são comparáveis aos encontrados em estudos de regiões consideradas impactadas por Hg. Com a inundação da vegetação marginal (igapó) durante os períodos de chuva, pode ter ocorrido no lago a entrada de mercúrio associado às partículas de solo por meio do processo de lixiviação, bem como a ressuspensão do mercúrio adsorvido no sedimento de fundo, disponibilizando este metal para a comunidade planctônica.

Palavras-chave: mercúrio, zooplâncton, fitoplâncton, lago Puruzinho, Amazônia.

ABSTRACT

Mercury in the plankton of an Amazon natural lake, Puruzinho Lake (Brazil)

This study has the objective of evaluating the total mercury concentrations (Hg) in plankton samples of Puruzinho Lake, which is located on the left margin of the Madeira River, 20 km downstream of the Humaitá city (Amazon state, Brazil). Three samples were taken at a central part of the lake (S07°22'19.2"; W063°02'32.2") during rainy (February 2004 and May 2005) and dry (October 2004) seasons. Plankton samples were collected using two nets of nylon. An aliquot of each plankton filtrate was preserved for posterior plankton identification, and another lyophilized for Hg analysis. The total mercury was determined by atomic absorption spectrophotometry and cold vapor generation (FIMS-400). The highest concentration of mercury in the plankton was observed in February of 2004 (337 µg kg⁻¹), the rainy period. Levels in the plankton were comparable to those from regions considered contaminated by Hg. Inputs of mercury are likely to happen due to run off after soil flooding during the rainy season, which also turn this metal available to the planktonic community.

Key words: mercury, zooplankton, fitoplankton, Puruzinho Lake, Amazon.

*Corresponding author: Elisabete Lourdes do Nascimento, e-mail: betalabmerc@yahoo.com.br.

INTRODUÇÃO

A contaminação por mercúrio (Hg) na região amazônica é associada ao uso deste metal em garimpos de ouro. Entretanto, alguns estudos sugerem que parte do mercúrio encontrado na região amazônica seria de origem natural (Fadini & Jardim, 2001; Wasserman *et al.*, 2003; Roulet & Lucotte, 1995).

O mercúrio entra na cadeia alimentar principalmente pela transformação do íon Hg^{2+} em metilmercúrio (MeHg ou CH_3Hg^+) por um processo de metilação, em que o Hg^{2+} recebe um grupamento metila, sendo a forma mais comum do mercúrio encontrada na biota, principalmente em organismos topo de cadeia alimentar. Cada forma química do Hg apresenta uma toxicidade, sendo o metilmercúrio considerado o composto de mercúrio mais tóxico, por ser substância neurotóxica e teratogênica, capaz de causar danos irreversíveis. Esse composto pode ser absorvido por uma gama de organismos aquáticos, sendo capaz de bioacumular e biomagnificar ao longo dos níveis tróficos devido ao fato de ligar-se fortemente às proteínas, o que facilita sua passagem através dos tecidos, além de baixa eliminação quando comparado às formas inorgânicas de mercúrio (Seewt & Zelikoff, 2001). Fatores ambientais (pH, o carbono orgânico dissolvido (COD) e a temperatura), ecológicos (produtividade e posição trófica) e fisiológicos (graus de assimilação de mercúrio) podem influenciar essa bioacumulação do Hg (Watras *et al.*, 1998).

A transferência energética dentro da cadeia alimentar aquática consiste em importante via de entrada e acumulação de Hg nos peixes, que pode começar ainda em seus estágios larvais. Entretanto, essa hipótese é incerta, devido às lacunas existentes em relação ao comportamento do Hg em ambientes aquáticos. Esta incerteza deve-se em parte à carência de informações quanto ao comportamento do Hg nos pequenos organismos, que são fontes de alimento para os peixes jovens, a exemplo do zooplâncton (Watras & Bloom, 1992). Determinar as concentrações de Hg e seus compostos em organismos de pequeno tamanho é um desafio em razão das baixas concentrações de Hg presente em águas naturais (Watras & Bloom, 1992).

O fitoplâncton pode incorporar mercúrio por processos passivos, enquanto o zooplâncton pode incorporar mercúrio por processos passivos e ativos por meio da ingestão de alimento contaminado (fitoplâncton, material particulado em suspensão). Nos organismos zooplanctônicos, o Hg incorporado da fase dissolvida tende a acumular-se principalmente no exoesqueleto (Fishe & Hook, 2002). Algumas pesquisas revelaram que a composição da carapaça do zooplâncton (cálcio ou polissacarídeo) é fundamental na bioacumulação de substâncias tóxicas (Hembray & Masson, 2003).

Os teores de Hg presentes nos organismos planctônicos podem causar efeitos negativos para os mesmos, como a redução nas taxas de reprodução. Isso foi observado em cladóceros

de água doce e copépodos marinhos que, após exposição ao Hg inorgânico via alimentação (fitoplâncton), apresentaram decréscimo de 50% a 75% na produção de ovos que, aparentemente, está relacionado ao acúmulo de Hg nos ovários (Fishe & Hook, 2002).

Os aportes de Hg para a região amazônica são oriundos de aportes naturais, atmosféricos e, principalmente, atividades antrópicas associadas ao garimpo do ouro (Hancox *et al.*, 1995). Os dados referentes às quantidades de Hg que foram lançadas em rios, solos e atmosfera no ambiente amazônico nas décadas de 1970 e 1980 diferem entre os autores, mas todos sugerem cargas da ordem de 1.000 a 4.000 toneladas (Lacerda & Solomons, 1992).

Desta forma, por meio da determinação das concentrações de Hg no plâncton do lago Puruzinho, o presente trabalho tem por objetivo contribuir com os escassos estudos do comportamento do mercúrio nos organismos pertencentes à base da cadeia alimentar aquática (fitoplâncton e zooplâncton) na região amazônica.

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O lago Puruzinho está localizado à margem esquerda do rio Madeira, a 20 km da cidade de Humaitá, no Estado do Amazonas (Figura 1). Foram realizadas três amostragens em um ponto central do lago (S07°22'19,2" e W063°02'32,2"), nos meses de fevereiro (período chuvoso) e outubro (período seco) de 2004 e maio (período chuvoso) de 2005.

Plâncton

Para a coleta de plâncton foram realizados arrastes na superfície da água com o barco em movimento (4,5 km/h) utilizando duas redes de náilon, uma com abertura de poro de 68 μm , apropriada para coleta de zooplâncton, e outra com 20 μm de abertura de poro, apropriada para coleta de fitoplâncton. O plâncton de ambas as redes foi acondicionado em frascos de polietileno até a obtenção de 4 L de concentrado de plâncton para cada rede utilizada.

Identificação das amostras de fitoplâncton e zooplâncton

Em campo, uma alíquota de cada filtrado de plâncton foi removida para posterior identificação do plâncton. O fitoplâncton foi fixado com solução *Transeaux* e o zooplâncton, com formol 8%. Para a identificação e contagem das amostras de fitoplâncton e zooplâncton foi utilizado o método proposto por Lund *et al.* (1958), com precisão de $\pm 20\%$ ($p < 0,05$). A identificação e a contagem das amostras foram realizadas em microscópio óptico (Leika, Alemanha), pela observação de caracteres morfológicos e com bibliografia específica para cada grupo (Edmondson, 1959; Bicudo & Bicudo, 1970).

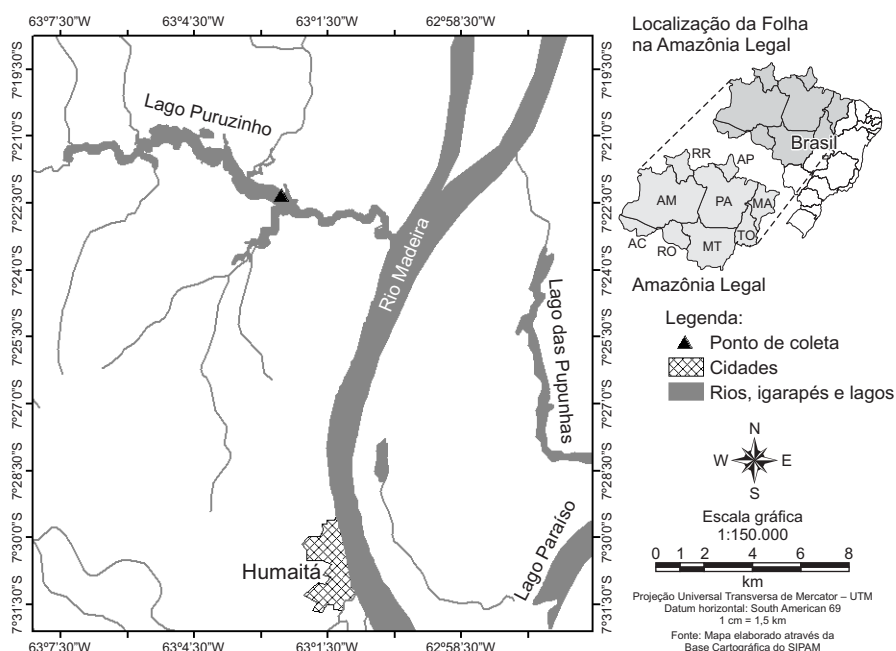


Figura 1 – Localização da área de estudo.

Determinação de mercúrio no plâncton

Para a determinação de mercúrio, as amostras de plâncton total (zooplâncton + fitoplâncton) foram liofilizadas e sofreram processo de digestão ácida em banho-maria, conforme metodologia de Bastos *et al.* (1998). As amostras foram pesadas em tubos de ensaio (50 mg), e a digestão ocorreu em presença de 2 mL de peróxido de hidrogênio (H_2O_2), 3,0 mL de ácido sulfúrico (H_2SO_4 P.A) e 3,0 mL de ácido nítrico (HNO_3 P.A) a 60°C por cerca de 8-10 horas. Em seguida, foram adicionados 5,0 mL de $KMnO_4$ 5% e, após o período de 12 h e resfriamento das amostras, 1 mL de cloridrato de hidroxilamina 12%. As determinações de Hg total foram realizadas pela técnica de espectrofotometria de absorção atômica por geração de vapor frio (FIMS-400, Perkin-Elmer, Alemanha).

Parâmetros físico-químicos da água

Os parâmetros físico-químicos da água analisados foram: oxigênio dissolvido, temperatura, pH e condutividade. As concentrações de oxigênio dissolvido foram determinadas pelo método titulométrico de Winkler, descrito em Golterman *et al.*, 1978. Os dados de temperatura foram obtidos *in loco* com o uso de um termistor (HORIBA, modelo U10, Japão). O pH e a condutividade foram medidos em laboratório com o uso de um pHmetro de bancada e um condutivímetro de banca (Digitimed, Brasil), respectivamente.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os parâmetros físico-químicos indicaram maior concentração de oxigênio nas coletas de outubro ($5,7 \text{ mg L}^{-1}$; 31,9°C) e fevereiro de 2004 ($5,9 \text{ mg L}^{-1}$; 27,5°C) e menor em maio de 2005 ($3,0 \text{ mg L}^{-1}$; 28,5°C). O valor encontrado em fevereiro de 2004 pode ser considerado alto, uma vez que no período de cheia grande parte da vegetação marginal do lago está submersa. Já em outubro de 2004, com a menor movimentação das águas, é gerado ambiente menos turbulento, propiciando assim o desenvolvimento do fitoplâncton. Em maio de 2005, o baixo valor de oxigênio dissolvido registrado provavelmente está relacionado com a decomposição da vegetação submersa. As águas estiveram mais quentes no período de seca (outubro 2004 – 31,9°C), com menores temperaturas no período chuvoso (fevereiro de 2004 – 27,5°C; maio de 2005 – 28,5°C), enquanto o pH da água foi ácido nos três períodos amostrados (5,4 – fevereiro de 2004; 5,6 – outubro de 2004; 5,2 – maio de 2005). Como o lago Puruzinho possui grande carga de matéria orgânica em decomposição, principalmente nos períodos de cheia, pode-se classificá-lo com um lago de água preta (Sioli & Klinge, 1964), caracterizado por baixos valores de pH. A condutividade foi maior na coleta de outubro de 2004 ($15,2 \mu\text{S cm}^{-1}$) e menor nas coletas de fevereiro de 2004 ($8,3 \mu\text{S cm}^{-1}$) e maio de 2005 ($9,2 \mu\text{S cm}^{-1}$). No período de seca, o lago Puruzinho passa a

receber influência da água branca do rio Madeira, e este, rico em sólidos em suspensão (Gomes *et al.*, 2006), tende a elevar os valores de condutividade do lago Puruzinho. Apesar de o presente estudo ter avaliado Hg total, é possível observar pelos parâmetros físicos e químicos da água que o lago Puruzinho apresenta características favoráveis à metilação do Hg (Lacerda & Solomons, 1992), como baixos valores de pH e oxigênio dissolvido e elevadas temperaturas.

A concentração mais elevada de mercúrio no plâncton foi registrada na coleta de fevereiro de 2004 ($337 \mu\text{g kg}^{-1}$), seguida pelas coletas de maio de 2005 ($136 \mu\text{g kg}^{-1}$) e outubro de 2004 ($34 \mu\text{g kg}^{-1}$). É provável que essa diminuição nas concentrações de mercúrio no plâncton esteja em parte relacionada à composição da comunidade, uma vez que a amostra de fevereiro era dominada por zooplâncton (~90% da amostra), enquanto nas coletas de maio de 2005 e outubro de 2004 houve redução na dominância do zooplâncton, predominando fitoplâncton (~85% e ~95%, respectivamente). A variabilidade na composição de grupo de organismos pertencentes ao fito e zooplâncton também pode ter influenciado os níveis de Hg observados. Foi possível observar alternância na dominância entre os três principais grupos de organismos pertencentes ao zooplâncton (Figura 2). Correlação inversa pode ser observada entre a concentração de Hg e a dominância de cladóceros, apesar da maior dominância dos cladóceros ter ocorrido em outubro de 2004, quando o fitoplâncton era mais abundante que o zooplâncton.

Alguns estudos indicam que há relação entre a concentração de mercúrio e a composição (tamanho) do plâncton. Kainz *et al.* (2005) avaliaram as concentrações de mercúrio total e metilmercúrio e suas possíveis correlações com os ácidos graxos em 4 diferentes frações do zooplâncton (10-64 μm , 100-200 μm , 200-500 μm e maior que 500 μm), verificando que as concentrações de mercúrio total aumentaram progressivamente nos organismos de maior tamanho. Entretanto, não foi encontrada nenhuma correlação

entre os níveis de metilmercúrio e lipídios. Por outro lado, em um estudo em lagos de planície inundada da região do rio Negro e rio Tapajós (Amazônia), Pacheco-Peleja (2002) verificou que os maiores valores de mercúrio (452 e 264 $\mu\text{g kg}^{-1}$, respectivamente) foram registrados em organismos planctônicos menores que 40 μm .

A importância do estudo do fito e do zooplâncton em relação às concentrações de mercúrio está na verificação de possível alteração em seu metabolismo, devido à presença deste metal e sua posição trófica, pois o zooplâncton incorpora mercúrio principalmente pela alimentação com fitoplâncton, transferindo este elemento para os níveis subsequentes (larvas de peixe, insetos, peixes planctívoros e outros).

Os níveis encontrados no plâncton do lago Puruzinho são comparáveis aos encontrados em estudos da região amazônica (lagos do rio Negro e rio Tapajós) e do Canadá (reservatório de Quebec), considerados impactados por Hg (Tabela 1), sendo mais elevados que níveis obtidos no plâncton de áreas pouco impactadas (reservatório de ribeirão das Lajes, RJ).

Apesar de a exploração de ouro na bacia do rio Madeira ter registrado seu auge nas décadas de 1980 e 1990, ela ainda pode ser considerada importante fonte de Hg para o ambiente aquático. Portanto, o transporte atmosférico e a drenagem hídrica de Hg das áreas de garimpagem da região do rio Madeira podem representar a principal fonte de Hg para a região em estudo. Além disso, a presença de partículas orgânicas e inorgânicas de origem alóctone ou autóctone observadas nas amostras analisadas pode ter influenciado as concentrações de Hg encontradas no plâncton do lago Puruzinho, principalmente no período chuvoso (fevereiro de 2004 e maio de 2005). Com a inundação da vegetação marginal (igapó) durante os períodos de chuva, pode ter ocorrido a entrada de mercúrio associado às partículas de solo pelo processo de lixiviação, bem como a ressuspensão do mercúrio adsorvido ao sedimento de fundo, disponibilizando esse metal para a comunidade planctônica.

Tabela 1 – Concentração de mercúrio ($\mu\text{gHg kg}^{-1}$) no plâncton de diferentes regiões.

Localidades	Min-Max	Trabalhos
Lago rio Negro (AM/Brasil)	242-452	Pacheco-Peleja, 2002
Lago rio Tapajós (AM/Brasil)	150-264	Pacheco-Peleja, 2002
Reservatório de ribeirão das Lajes (RJ/Brasil)	30-100	Palermo, 2002
Reservatório de Quebec (Quebec/Canadá)	70-538	Tremblay <i>et al.</i> , 1998
Reservatório da U.H.E. Samuel (RO/Brasil)	4-309	Nascimento, 2006
Lago Puruzinho (AM/Brasil)	34-337	Presente trabalho

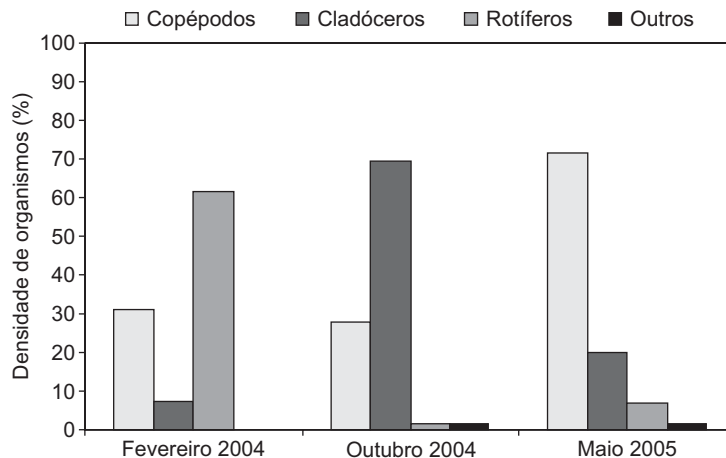


Figura 2 – Composição dos organismos zooplânctônicos estudados nos meses de coleta: fevereiro e outubro de 2004 e maio de 2005.

CONCLUSÕES

Os níveis encontrados no plâncton do lago Puruzinho indicam contaminação significativa por mercúrio total, sendo necessário estudo da especiação química desse metal na comunidade planctônica, uma vez que esse lago possui características físicas e químicas favoráveis à metilação do mercúrio.

Agradecimentos — À Comunidade do Lago Puruzinho. Ao CNPq, MCT-CNPq-CT-Amazônia Proc. Nº 553269-2005-4 e CNPq-PPG-7-Fase II Proc. Nº 556934-2005-9, pelo apoio financeiro. Equipes dos laboratórios de Biogeoquímica Ambiental (UNIR) e Radioisótopos Eduardo Penna Franca (UFRJ).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- BASTOS, W. R., MALM, O., PFEIFFER, W. & CLEARY, D., 1998, Establishment and analytical quality control of laboratories for Hg determination in biological and geological samples in the Amazon, Brazil. Technical Review. *An. Acad. Bras. Cienc.*, 8: 255-260.
- BICUDO, C. E. M. & BICUDO, R. M. T., 1970, *Algas de águas continentais brasileiras: chave ilustrada para identificação de gêneros*. Fundação Brasileira para o Desenvolvimento do Ensino de Ciências (FBDE), São Paulo, 228p.
- EDMONDSON, W. T., 1959, *Fresh-water biology*. Washington, 1248p.
- FADINI, P. S. & JARDIM, W. F., 2001, Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci. Total Environ.*, 275: 71-82.
- FISHE, N. S. & HOOK, S. E., 2002, Toxicology tests with aquatic animals need to consider the trophic transfer of metals. *Toxicology*, 181: 531-536.
- GOLTERMAN, H. L., CLYMO, R. S. & OHNSTAD, M. A. M., 1978, *Methods for physical and chemical analysis of freshwaters*. Blackwell Scientific Publications, Oxford, 213p.
- GOMES, J. P. O., NASCIMENTO, E. L., ALMEIDA, R., BASTOS, W. R., BERNARDI, J. V. E. & BARROS, P. R. H. B., 2006, Distribuição espacial das concentrações de mercúrio em sólidos em suspensão no Alto Rio Madeira – Rondônia. *J. Braz. Soc. Ecotoxicol.*, 1: 35-39.
- HANCON, S., ARTAXO, P., GERAB, F., YAMASOE, M. A., CAMPOS, R. C., CONTI, L. F. & LACERDA, L. D., 1995, Atmospheric mercury and trace elements in the region of Alta Floresta in the Amazon Basin. *Water Air Soil Poll.*, 80: 273-283.
- HEMBRAY, A. & MASSON, S., 2003, Effects of intensive fishing on the structure of zooplankton communities and mercury levels. *Sci. Total Environ.*, 304: 377-390.
- KAINZ, M., TELMER, K. & MAZUNDER, A., 2005, Bioaccumulation patterns of methyl mercury and essential fatty acids in lacustrine planktonic food webs and fish. *Sci. Total Environ.*, 368: 271-282.
- LACERDA, L. D. & SOLOMONS, W., 1992, *Mercúrio na Amazônia: uma bomba-relógio química?* Série Tecnologia Ambiental. Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 78p.
- LUND, J. W. G., KIPLING, C. & LE-KREN, D., 1958, The inverted microscope method of estimating algal numbers and statistical basis of estimation by counting. *Hydrobiology*, 58: 143-170.
- NASCIMENTO, R. L., 2006, *Concentração de mercúrio no plâncton e fatores ecológicos no reservatório da U.H.E.-Samuel-Amazônia Ocidental (Rondônia/Brasil)*. Dissertação de Mestrado, Fundação Universidade Federal de Rondônia-UNIR, Porto Velho-RO, Brasil, 122p.
- PACHECO-PELEJA, J. R., 2002, *Os fatores que influem no nível de mercúrio (Hg) na água e no plâncton de lagos associados aos rios Tapajós e Negro*. Dissertação de Mestrado, INPA/FUA, Manaus-AM, Brasil, 75p.
- PALERMO, E. F. A., 2002, *Avaliação dos níveis naturais de mercúrio e metilmercúrio no reservatório de Ribeirão das Lajes, RJ*. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio de Janeiro, UFRJ, Rio de Janeiro-RJ, Brasil, 46p.
- ROULET, M. & LUCOTTE, M., 1995, Geochemistry of mercury in pristine and flooded ferrallitic soils of a tropical rain forest in French Guiana, South America. *Water, Air, Soil Pollut.*, 80: 1079-1088.
- SEEWIT, L. & ZELIKOFF, J., 2001, Toxicology and immunotoxicology of mercury: a comparative review in fish and humans. *J. Toxicol. Environ. Health*, 4: 161-205.

- SIOLI, H. & KLINGE, H., 1964, Solos, tipos de vegetação e água na Amazônia. *Boletim geográfico: informações, notícias, bibliografia e legislação*, 179: 147-153.
- TREMBLAY, A., LUCOTTE, M. & SCHETAGNE, A., 1998, Total mercury and methylmercury accumulation in zooplankton of hydroelectric reservoirs in northern Québec (Canada). *Sci. Total Environ.*, 213: 307-315.
- WASSERMAN, J. C., HACON, S. & WASSERMAN, M. A., 2003, Biogeochemistry of mercury in the Amazonian. *Ambio*, 32: 336-342.
- WATRAS, C. J. & BLOOM, N. S., 1992, Mercury and methylmercury in individual zooplankton: implications for bioaccumulations. *Limnol. Oceanogr.*, 6: 1313-1318.
- WATRAS, C. J., BACK, R. C., HALVORSEN, S., HUDSON, R. J. M., MORRISON, K. A. & WENTE, S. P., 1998, Bioaccumulation of mercury in pelagic freshwater food webs. *Sci. Total Environ.*, 219: 183-208.