

**CONTROLE E MONITORAMENTO DE MERCÚRIO NA  
AMAZÔNIA LEGAL E NO PANTANAL  
PROGRAMA MERCÚRIO (PROMER)**

*Antonio Carneiro Barbosa<sup>(1)</sup>, Wilson de Figueiredo  
Jardim<sup>(2)</sup> e Olaf Malm<sup>(3)</sup>*

- (1) IBAMA, Diretoria de licenciamento e Qualidade Ambiental,  
[bantonio@sede.ibama.gov.br](mailto:bantonio@sede.ibama.gov.br)  
<<mailto:bantonio@sede.ibama.gov.br>>
- (2) UNICAMP, Instituto de Química, [wfjardim@iqm.unicamp.br](mailto:wfjardim@iqm.unicamp.br)  
<<mailto:wfjardim@iqm.unicamp.br>>
- (3) UFRJ, Lab. Radioisótopos - Inst. Biofísica, [olaf@biof.ufrj.br](mailto:olaf@biof.ufrj.br)  
<<mailto:olaf@biof.ufrj.br>>

**EXPOSIÇÃO DE MOTIVOS**

Os problemas associados à contaminação por metais pesados têm recebido um destaque especial em vários países, independentemente do seu grau de desenvolvimento. O controle do mercúrio ressurgiu como uma preocupação atual devido à sua grande toxicidade e acumulação em sistemas aquáticos e biota, estando incluído no rol das Substâncias Tóxicas Persistentes (STP), sob monitoramento global pelo GEF/PNUMA. Tendo em vista a alta mobilidade e dispersão atmosférica deste metal nos reservatórios do nosso planeta, com um tempo de residência que pode chegar até 2 anos na atmosfera, vários países já implementaram programas de monitoramento. A Agência de Proteção Ambiental dos EUA (USEPA), através do relatório *Mercury study report to Congress* enfatizou a necessidade de se regular emissões de mercúrio frente aos riscos que o mesmo apresenta. O programa similar canadense, *Long range atmospheric transport of heavy metals*, avalia o transporte de mercúrio a longa distância e suas possíveis implicações na qualidade de vida. A comunidade científica internacional reconheceu que o metilmercúrio na cadeia alimentar aquática é um potencial de risco para o meio ambiente e saúde humana, gerando um programa de controle do mercúrio nos países que compõem o NAFTA: Estados Unidos, Canadá e México.<sup>(1)</sup>

No Brasil, o controle ambiental ficou sob a responsabilidade dos governos estaduais, mas falta uniformidade de objetivos e ações,

*Roberto C. Villas Bôas, Christian Beinhoff, Alberto Rogério da Silva,*  
Editors

sem articulação com a esfera federal e com os institutos de pesquisa. Como consequência, o país não dispõe de nenhum programa nacional de monitoramento de poluentes. O PROMER tem como meta preencher essa lacuna, criando um programa pioneiro de monitoramento de mercúrio, um metal de toxicidade comprovada, em duas regiões de importância estratégica para o futuro do Brasil, Amazônia e Pantanal Matogrossense.

A Amazônia Legal, com uma área de 5,8 milhões de km<sup>2</sup> e com a menor densidade demográfica do país, juntamente com o Pantanal, constituem reservas estratégicas para o Brasil. Para gerenciar adequadamente essa riqueza, é de extrema importância que se conheçam todos os agentes agressores, naturais ou antrópicos, presentes nos dois ecossistemas.

Dentre os agentes que poderiam ameaçar este estoque estratégico o mercúrio é o que merece maior atenção. Contaminações de fontes naturais<sup>(2,3)</sup> associadas àquelas de origem antrópica, como o garimpo<sup>(4-6)</sup>, têm mostrado que os teores de metilmercúrio nos peixes da Amazônia é elevado<sup>(7-9)</sup>, causando sua biomagnificação na biota aquática e nas populações ribeirinhas<sup>(10-21)</sup>. Os efeitos deste acúmulo a longo prazo não podem ser previstos com exatidão, sendo o conhecimento da sua ecotoxicologia peça fundamental para o manejo sustentável desta riqueza.

## **OBJETIVOS**

O Programa pretende montar uma Rede Nacional e Permanente de Monitoramento dos níveis do mercúrio na Amazônia Legal e no Pantanal, em várias matrizes, que permita elucidar o ciclo biogeoquímico do mercúrio em ambientes aquáticos nestes biomas, identificando fontes de emissão regionais e globais, transporte, ciclagem e acúmulo na cadeia trófica, de tal modo que se tenha um diagnóstico preciso sobre o ciclo e, por conseguinte, a ecotoxicologia do mercúrio.

Como objetivos específicos podem ser citados:

- Diagnosticar o atual estágio de contaminação por mercúrio, identificando as fontes de emissão e o destino do metal nestes ecossistemas;

*Roberto C. Villas Bôas , Christian Beinhoff , Alberto Rogério da Silva,*  
Editores

- Determinar as bacias e reservatórios de maior risco a serem monitoradas;
- Normatizar procedimentos de coleta, amostragem e metodologia analítica;
- Treinar e capacitar o pessoal técnico local;
- Propor acompanhamento da população ribeirinha;
- Elaborar cartilha com recomendações úteis específicas para educação ambiental
- Propor medidas de recuperação de áreas degradadas pela atividade garimpeira;
- Sugerir medidas de prevenção e mitigação de danos, acionando os órgãos responsáveis
- Criar um banco de dados, com áreas pesquisadas, resultados e publicações, centralizado e acessível à comunidade científica e geral.
- Propor diretrizes e prioridades para pesquisas futuras.
- Fornecer subsídios para a implementação de políticas de controle e gestão.

#### **IMPLEMENTAÇÃO DO PROGRAMA**

No primeiro ano do programa, pretende-se identificar as potencialidades e necessidades dos laboratórios locais com experiência na determinação de mercúrio, bem como os grupos qualificados que atuem no monitoramento ambiental. Será feito um diagnóstico dos laboratórios, quanto à disponibilidade e adequação dos equipamentos, a possibilidade de contar com um técnico exclusivo, as metodologias analíticas disponíveis para as diversas matrizes a serem monitoradas e a experiência anterior com exercícios de intercálculo. À partir deste diagnóstico, que será feito por meio de visitas técnicas de especialistas, o IBAMA pretende, com apoio dos parceiros interessados no Programa, como CNPq, OPAS, FNMA, ANA, ELETROBRAS, ELETRONORTE, Universidades e Centros de Pesquisa, etc, suprir as lacunas detectadas, promovendo treinamento

*Roberto C. Villas Bôas , Christian Beinhoff , Alberto Rogério da Silva,*  
Editors

dos técnicos e cuidando da implantação do Controle de Qualidade Analítica, coordenando exercícios de intercalibração, de forma que todos os laboratórios da rede estejam aptos a iniciar os trabalhos de monitoramento.

O segundo ano será dedicado ao monitoramento propriamente dito, começando com as matrizes mais fáceis de serem analisadas por todos os laboratórios, como amostras de peixe, cabelo, solo e sedimento. Para um segundo momento ficarão as amostras de água e ar, que por conterem normalmente, concentrações muito baixas de mercúrio, exigem cuidados especiais, tanto na coleta quanto no tratamento analítico. As áreas prioritárias de monitoramento serão as bacias dos rios Tapajós, Madeira, Xingú e Negro, incluindo os reservatórios próximos, tais como Curuá-Una, Samuel, Tucuruí e Balbina.

### **LABORATÓRIOS COMPONENTES DA REDE DE CONTROLE E MONITORAMENTO**

A principal componente e a célula unitária deste programa são as Unidades Geradoras de Dados de Monitoramento ou simplesmente os Laboratórios Locais (LC), que compõem a Rede de Monitoramento. Para melhor funcionamento dos LC, estão previstos três laboratórios de suporte, chamados Laboratórios de Referência (LR). Esta classificação está baseada na capacitação técnica dos laboratórios participantes, sendo que o papel de cada um deles, respeitando-se suas vocações específicas, está definido dentro das atribuições previstas no Programa.

*Laboratórios Locais:* são laboratórios localizados na Amazônia e no Pantanal que já dispõem de um histórico de atuação na determinação de mercúrio. Os LC são laboratórios que necessitam de recursos para aprimorar seu parque instrumental para que possam analisar todas as matrizes de interesse identificadas na primeira fase do projeto, bem como para treinar pessoal apto a desenvolver trabalhos de rotina e de pesquisa. Estes laboratórios desempenham um papel importante pois já se encontram inseridos nas respectivas bacias. Foram detetadas as seguintes unidades que poderiam atuar como LC:

*Roberto C. Villas Bôas , Christian Beinhoff, Alberto Rogério da Silva,*  
Editors

1. *Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia (INPA)*, Manaus, Depto. de Ecologia Aquática, – Prof. Dr. Bruce R. Forsberg.
2. *Universidade Federal do Pará, Posto Avançado*, Santarém - Prof. Aldo Queiróz e Profa. Maria das Graças Pires.
3. *Universidade Federal do Pará, Núcleo de Medicina Tropical*, Belém - Dra. Maria Conceição Pinheiro.
4. *Instituto Evandro Chagas* - Belém – Sra. Elisabeth Santos
5. *Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM – Sra. Terezinha Cid.*
6. *Universidade Federal de Rondônia*, Porto Velho - Prof. Dr. Ene Glória da Silveira e Wanderley Bastos.
7. *Universidade Federal de Mato Grosso*, Porto Velho - Prof. Dr. Ednaldo Castro e Silva

*Laboratórios de Referência:* Os LR se caracterizam por possuir larga experiência na determinação de mercúrio em matrizes diversas. São laboratórios com um parque instrumental sofisticado, pessoal qualificado e bem treinado, com projeção internacional no tema mercúrio. Dentro do programa de monitoramento, os LR tem a função de Centros de Referência dentro do país, produzindo os protocolos necessários para as atividades previstas, cuidando do treinamento de pessoal necessitado, auditando a qualidade dos dados gerados experimentalmente, por meio de programas de intercalibração e de outras atividades que garantam a confiabilidade e rastreabilidade destes dados. Dentre os laboratórios existentes no Brasil que se enquadram nesta classificação, destacamos os três, indicados abaixo, mas outros podem ser posteriormente incluídos:

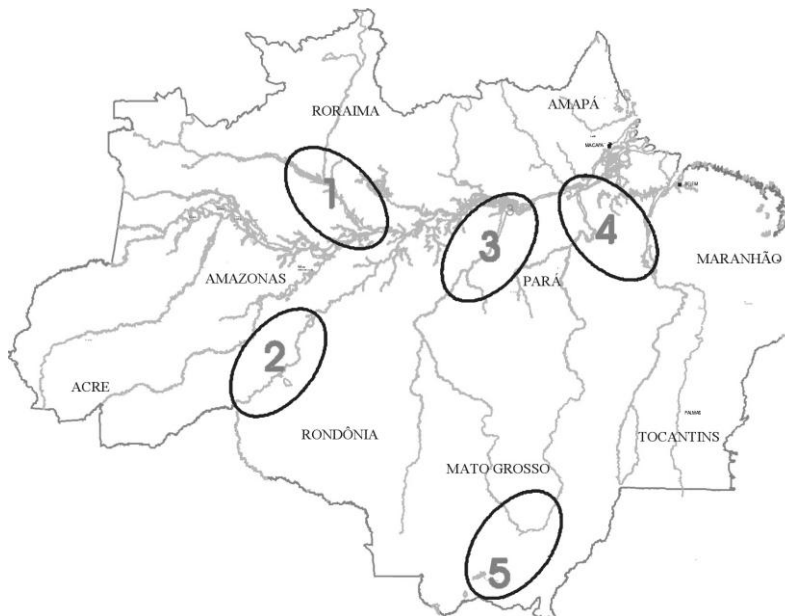
- Universidade de Brasília (UnB), Instituto de Química, Laboratório de Química Analítica - Prof. Dr. Jurandir R. de Sousa.
- Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Instituto de Química, Laboratório de Química Ambiental - Prof. Dr. Wilson de F. Jardim.
- Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), Instituto de Biofísica, Laboratório de Radioisótopos - Prof. Dr. Olaf Malm.

*Roberto C. Villas Bôas, Christian Beinhoff, Alberto Rogério da Silva,*  
Editors

## RESULTADOS ESPERADOS

Identificação e aprimoramento analítico de laboratórios locais, treinamento de técnicos na determinação de mercúrio, normatização de protocolos de amostragem, coleta e metodologia analítica e estabelecimento de exercício de intercalibração laboratorial. Após a montagem de uma estrutura adequada de laboratórios locais, com garantia de controle de qualidade analítica, realização do monitoramento de mercúrio na Amazônia e no Pantanal.

## LOCALIZAÇÃO DA REDE DE MONITORAMENTO



## EQUIPE

**Executores:** Antonio Carneiro Barbosa - IBAMA – Diretoria de Licenciamento e Qualidade Ambiental, Wilson de Figueiredo Jardim - UNICAMP - Instituto de Química, Olaf Malm - UFRJ - Laboratório de Biofísica.

**Participantes:** Jurandir Rodrigues de Souza - UnB - Instituto de Química, Bruce R. Forsberg - INPA - Manaus, Depto. de Ecologia

*Roberto C. Villas Bôas , Christian Beinhoff , Alberto Rogério da Silva,*  
Editors

Aquática, Ene Glória da Silveira/Wanderley Bastos - UNIR, Porto Velho - Departamento de Química, Aldo Queiróz/ Maria das Graças Pires, UFPA - Posto Avançado da UFPA, Santarém, Maria Conceição Pinheiro - UFPA, Belém, Núcleo de Medicina Tropical, Terezinha Cid DNPM, Belém, Elisabeth Santos - Instituto de Medicina Tropical, Belém, Ednaldo Castro e Silva - UFMT, Cuiabá, Departamento de Química.

**Colaboradores:** CNPq, OPAS, DNPM, ELETRONORTE, ELETROBRÁS, ANA - Agência Nacional de Águas, MMA/FNMA e PQA/SQA, UnB: Departamentos de Genética e de Nutrição, UFF, UFCe e PUC-RJ, FIOCRUZ – ENSP, GEOS- Recuperação de mercúrio, IBAMA – Representações de: Campo Grande – MS, Cuiabá – MT, Belém-PA, Porto Velho-RO, - Santarém-PA (CENAQUA), Manaus – AM.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Pilgrim, W., Schroeder, W. et al, *Developing consensus: mercury science and policy in the NAFTA countries (Canada, the United States and Mexico*, The science of the Total Environment 261: 185-193, 2000
2. Fadini, P. and Jardim, W., *Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury*, The Science of the Total Environment, 275:71-82, 2001
3. Roulet, M, Lucotte, et al, D, Amorim, M. *Spatio-temporal geochemistry of mercury in waters of the Tapajos and Amazon rivers, Brazil*, Limnol. Oceanogr.46: 1141-1157. 2001
4. MALM, O., CASTRO, M.B., BASTOS, W.R., et al, *An assessment of Mercury pollution in different goldmining areas, Amazon Brazil*, Science of Total Environment. 175(2): 127-140, 1995
5. Malm, O. *Gold mining as a source of mercury exposure in the Brazilian Amazon*, Environ.Res. 77:73-78, 1998
6. Roulet, M, Lucotte, et al, D, Amorim, M. *Spatio-temporal geochemistry of mercury in waters of the Tapajos and Amazon rivers, Brazil*. Limnol. Oceanogr. 46:1141-1157, 2001

Roberto C. Villas Bôas , Christian Beinhoff , Alberto Rogério da Silva,  
Editors

7. Malm, O.; Guimarães, JRD; et al, *Follow-up of mercury levels in fish, human hair and urine in the Madeira and Tapajós basin, Amazon, Brazil*. *Water, Air and Soil Pollution*, 97:45-51, 1997
8. Barbosa, A.C., et al, *Mercury Contamination in the Brazilian Amazon. Environmental and Occupational Aspects*, *Water, Air and Soil Pollution*, 80: 109-121, 1995
9. Lodenius M and Malm O. *Mercury in the Amazon*, *Rev Environ Contam Toxicol* 157:25-52, 1998
10. Santos EC, Jesus IM, Brabo ES et al, *Mercury exposures in riverside Amazon communities in Para, Brazil*, *Environ Res*. 84(2):100-7. 2000
11. Barbosa, A.C., Jardim, W., Dórea, J.G., Fosberg, B., Souza, J.R., *Hair Mercury Speciation as a Function of Gender, Age and Body Mass Index in Inhabitants of the Negro River Basin, Amazon, Brazil*, *Arch. Environ. Contam. Toxicol*. 40, 439-444, 2001.
12. Barbosa, A.C., Silva, S.R.L., Dórea, J.G., *Concentration of mercury in hair of indigenous mothers and infants from the Amazon Basin*, *Archives of Environ. Contamin. and Toxicol*. 34, 100-105, 1998.
13. Grandjean, P.; White, R.F.; Nielsen, A.; Cleary, D. and Oliveira Santos, E., *Methylmercury neurotoxicity in Amazonian children downstream from gold mining*, *Environ. Health Perspect*. 107:587-591, 1999.
14. Silva-Fosberg, MC; Fosberg BR; Zeidemann, VK. *Mercury contamination in humans linked to river chemistry in the Amazon Basin*, *Ambio*, 28:519-521, 1999.
15. Bidone ED, Castilhos ZC, Cid de Souza TM, Lacerda LD., *Fish contamination and human exposure to mercury in the Tapajos River Basin, Para State, Amazon, Brazil: a screening approach*, *Bull Environ Contam Toxicol*. 59(2):194-201, 1997
16. Malm, O, Branches, FJP, Akagi, H, et al, H. *Mercury and methylmercury in fish and human hair from the Tapajos river basin, Brazil*, *Sci. Total Environ*. 175:141-150. 1995

*Roberto C. Villas Bôas, Christian Beinhoff, Alberto Rogério da Silva,*  
Editors



17. Hacon, S.S; Yoko E; Valente, J; *Exposure to mercury in pregnant women from Alta Floresta - Amazon Basin, Brazil*. Environmental Research, 84:204-210, 2000
18. Hacon, S. S., Rochedo, E., Campos, R. C., Lacerda, L. D. *Mercury exposure through fish consumption in the urban area of Alta Floresta in the Amazon Basin*, Journal of Geochemical Exploration. Netherlands, 58: 209-216, 1997
19. Guimarães, JRD. *Origins and effects of mercury on riparian populations of the Brazilian Amazon*, International Journal of Occupational and Environmental Health, 7(2, suppl):23-25, 2001
20. Kehrig, H., Malm, O., Akagi, H., Guimarães, J.R.D. & Torres, J.P.M. *Methylmercury in fish and hair samples from the Balbina Reservoir, Brazilian Amazon*. Environmental Research, Section A 77:84-90, 1998.
21. Akagi, H; Malm, O; et al, *Human exposure to mercury due to goldmining in the Tapajós river basin, Amazon, Brazil: speciation of mercury in human hair, blood and urine*, Water, Air & Soil Poll, 80: 85-94, 1995.

Roberto C. Villas Bôas , Christian Beinhoff , Alberto Rogério da Silva,  
Editors