

**TECNOLOGIA  
AMBIENTAL**

# **PROJETO ITAITUBA: PROGRAMA DE DESENVOLVIMENTO DE TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**18**

*Alexandre Pessoa da Silva*

STA 18

CE

MCT

CNPq

CETEM

**PRESIDENTE DA REPÚBLICA:** Fernando Henrique Cardoso  
**VICE-PRESIDENTE DA REPÚBLICA:** Marco Antonio Maciel  
**MINISTRO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA:** José Israel Vargas

**PRESIDENTE DO CNPq:** José Galizia Tundisi  
**DIRETOR DE DESENV. CIENT. E TECNOLÓGICO:** Marisa B. Cassim  
**DIRETOR DE PROGRAMAS:** Eduardo Moreira da Costa  
**DIRETOR DE UNIDADES DE PESQUISA:** José Ubyrajara Alves  
**DIRETOR DE ADMINISTRAÇÃO:** Derblay Galvão

#### **CETEM - CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

##### **CONSELHO TÉCNICO-CIENTÍFICO (CTC)**

**Presidente:** Roberto C. Villas Bôas

**Vice-presidente:** Juliano Peres Barbosa

**Membros Internos:** Fernando Freitas Lins; Paulo Sérgio M. Soares; Vicente Paulo de Souza

**Membros Externos:** Antonio Dias Leite Junior; Arthur Pinto Chaves; Antônio Eduardo Clark Peres; Celso Pinto Ferraz e Achilles Junqueira (suplente)

**DIRETOR:** Roberto C. Villas Bôas

**DIRETOR ADJUNTO:** Juliano Peres Barbosa

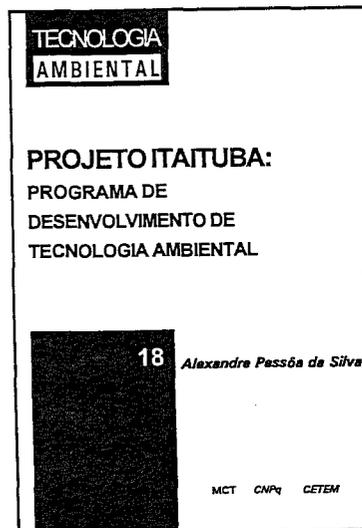
**DEPTº DE TRATAMENTO DE MINÉRIOS (DTM):** Fernando Freitas Lins

**DEPTº DE METALURGIA EXTRATIVA (DME):** Ronaldo Luiz C. dos Santos

**DEPTº DE QUÍMICA INSTRUMENTAL (DQI):** Luis Gonzaga S. Sobral

**DEPTº DE ESTUDOS E DESENVOLVIMENTO (DES):** Carlos César Peiter

**DEPTº DE ADMINISTRAÇÃO (DAD):** Antônio Gonçalves Dias



ISSN - 0103-7374

**Alexandre Pessoa da Silva**  
*Engenheiro Químico, com M.Sc. em Tecnologia Química pela Academia de Minas de Freiburg. Doutor em Geociências pelo Inst. de Geociências da USP. Coordenador de projetos de Estudos Ambientais na Amazônia e no Pantanal. Diretor de Tecnologia da Ambios Engenharia e Proc. Ltda., ex-bolsista RHAE do CETEM, consultor do Centro de Estudos de Ecologia Humana e Saúde da Organização Panamericana de Saúde e do Instituto Evandro Chagas - Ministério da Saúde.*

CT 0000 768 0 - 1

3006322

MCT - Ministério da Ciência e Tecnologia  
 **CNPq**  
CONSELHO NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO  
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO  
**CETEM - Centro de Tecnologia Mineral**

1997

## CONSELHO EDITORIAL

Editor

Roberto C. Villas Bôas

Conselheiros Internos

Antonio Carlos Augusto da Costa, Marisa B. de  
Mello Monte, Peter Rudolph Seidl

Conselheiros Externos

Armando Corrêa de Araújo (MBR), Artur Cezar Bastos Neto (IPAT),  
James Jackson Griffith (Univ. Federal de Viçosa), Luis Enrique Sánchez  
(EPUSP), Luiz Drude de Lacerda (UFF), Luiz Lourenço Fregadolli (RPM).

---

A **Série Tecnologia Ambiental** divulga trabalhos relacionados ao setor minero-metalúrgico, nas áreas de tratamento e recuperação ambiental, que tenham sido desenvolvidos, ao menos em parte, no CETEM.

---

**Celso de O. Santos** COORDENAÇÃO EDITORIAL

**Vera Lúcia Ribeiro** DIAGRAMAÇÃO

Silva, Alexandre Pessôa da

Projeto Itaituba: programa de desenvolvimento de tecnologia ambiental/Alexandre Pessoa da Silva. - Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1997.

66p.- (Série Tecnologia Ambiental, 18)

1. Impacto Ambiental 2. Meio ambiente. I. Centro de Tecnologia Mineral. II. Título. III. Série.

ISBN 85-7227-107-4

ISSN 0103-7374

CDD 622.4

## APRESENTAÇÃO

**N**a seqüência dos vários estudos desenvolvidos sobre o mercúrio como insumo da produção garimpeira, e seus efeitos ambientais, o CETEM caracterizou as suas várias formas de ocorrência, desde Poconé, passando por Alta Floresta, Peixoto de Azevedo, até Itaituba, rio do Rato, analisando, seu comportamento e buscando minimizar seu impacto, utilizando-o em circuito fechado.

Esta monografia sobre os trabalhos realizados em Itaituba, coordenados por mim, tendo a administração de Celso de Oliveira Santos e a responsabilidade técnica do Dr. Alexandre Pessôa, informa e ilustra ao leitor interessado sobre as formas de ocorrência e seus teores nos sedimentos, água e ar da área do rio do Rato.

Rio de Janeiro, agosto, 1997.

**Roberto C. Villas Bôas**  
Diretor

CETEM  
BIBLIOTECA

Reg. N.º 303 Data 26/11/97



**CETEM**

REIMBÓLIO

17-B - 7872

COL. DE VOL. VOL N.º

DATA 26/11/97

REG. N.º 7872

BMB

## SUMÁRIO

ABSTRACT/RESUMO .....	1
1. INTRODUÇÃO .....	3
2. O MERCÚRIO NOS GARIMPOS DE OURO .....	6
2.1 Formas de Emissão de Mercúrio pelo Garimpo de Ouro .....	7
2.2 Outras Fontes de Emissão de Mercúrio pela Atividade Garimpeira .....	12
3. PESQUISAS JÁ REALIZADAS NO BRASIL .....	13
4. ÁREA ESTUDADA - PROVÍNCIA GARIMPEIRA DO TAPAJÓS .....	18
4.1 Bacia do rio do Rato .....	19
5. MATERIAIS E MÉTODOS .....	22
6. RESULTADOS .....	27
6.1 Parâmetros Físico-Químicos .....	27
6.2 Sedimentos .....	29
6.3 Material Particulado em Suspensão .....	34
6.4 Solos e Ar .....	35
6.5 Dosagem de Mercúrio no Ar .....	40
6.6 Concentração de Mercúrio em Peixes .....	42
6.7 Potencial de Metilação nos Sedimentos .....	45
7. CONCLUSÕES .....	48
BIBLIOGRAFIA .....	53

## RESUMO

Durante os anos de 1992 e 1993, o CETEM desenvolveu, na bacia do rio do Rato, Médio Tapajós (Pa), o Projeto Itaituba de estudos de diagnóstico ambiental. Este projeto faz parte do Programa de Desenvolvimento de Tecnologia Ambiental - DTA, os resultados de  $Hg_{total}$  na fração argila dos sedimentos amostrados variaram entre não-detectável e 0,1 ppm (rio Tapajós); 0,48 e 0,80 ppm (rio do rato e 0,80 ppm (rio do Rato) e 0,95 e 10,59 ppm (nos igarapés da bacia do rio do Rato). O teor de  $Hg_{total}$  no material particulado em suspensão aumenta ao longo do curso rio do Rato, ao receber as emissões dos diversos garimpos, variando entre 49 ppb (próximo a sua nascente) e 234 (próximo da nascente do rio Tapajós). O  $Hg_{total}$  próximo aos pontos de queima atinge concentração de até  $9,89 \text{ mgHg/m}^3$  no ar, e de até 76,20 ppm nas amostras de solos. Da biota amostrada, 66% das amostras dos peixes carnívoros apresentaram teores acima de 0,5 ppm, valor máximo recomendado pela OMS consumo humano. Nos sedimentos e solos da bacia do rio do Rato, as taxas potenciais de metilação apresentaram variação entre 1,5 e  $10 \times 10^{-3} \text{ %/h/g}$  massa seca.

**Palavras-Chave:** mercúrio, diagnóstico, meio ambiente

## ABSTRACT

During 1992 and 1993, CETEM realized environmental studies about the impacts caused by the gold mining activities in the Rato river basin (Pará-State Brazil). The mercury total contents in sediments presents rates varying between : nd - 0,1 ppm (Tapajós river); 0,48 - 0,80 ppm (Rato river) and 0,95 - 10,59 ppm (in the influents creeks to the Rato river). The  $Hg_{total}$  contents in the particulate mater arises during the Rato river course, due by the garimpo emissions, varying from 49 ppb (near the nascence) to 234 ppb (in the affluencè to Tapajós river). The mercury contents near the amalgam burning locals reaches values of  $9,89 \text{ mg/m}^3$  (in the air) and 76,20 ppm (in the soils). 66% of the carnivorous fish samples shows mercury contents above the OMS limits for human consum. The soils and sediments shows potential methylation rates varying between 1,5 e  $10 \times 10^{-3} \text{ %/h/g}$  (dry masse).

**Keywords:** mercury, impacts, environment

## 1. INTRODUÇÃO

---

Os problemas oriundos da atividade garimpeira têm sido motivo de preocupação para o movimento ambientalista e têm levado os organismos governamentais a uma série de ações buscando o estudo, compreensão e diminuição dos impactos ambientais e dos agravos à saúde das populações direta e indiretamente envolvidas. Os dados até agora levantados indicam que a atividade garimpeira foi a responsável pela emissão de 100 a 120 toneladas de mercúrio por ano, levando a um perigoso processo de contaminação de nossos ambientes. Além da poluição química dos rios e atmosfera, o garimpo de balsas e de baixões tem criado um sério perigo de morte para os nossos rios, pela emissão de grande quantidade de particulado fino nas drenagens, o que impede os processos de fotossíntese, inibindo o desenvolvimento dos plânctons - base da cadeia alimentar - e pela diminuição do teor de oxigênio nas águas, consumido pelo material particulado. Por outro lado, o garimpo, principalmente na sua fase prospectiva, assume característica de acampamento móvel, causa impactos físicos pelo desmatamento, formação de lixões etc. Além disso, a falta absoluta de condições de higiene nos acampamentos tem transformado os garimpos em focos das mais diversas moléstias.

A atividade garimpeira, após sua intensificação no início dos anos 80, atingindo o seu pico no biênio 89-90, quando chegou a mobilizar até 1,2 milhão de pessoas, passa atualmente por um momento de declínio, com menos de 300 mil pessoas diretamente envolvidas. Este declínio, segundo lideranças garimpeiras, deve-se às dificuldades de ordem financeira e tecnológica.

Um outro aspecto, que tem sido apontado por várias fontes diretamente envolvidas com o garimpo para explicar essa diminuição, é o ouro aluvionar, que os garimpeiros estavam

tecnicamente aptos a explorar, não mais se encontrar facilmente.

As dificuldades de ordem financeira devem-se, principalmente, ao aumento vertiginoso, de três a cinco vezes, dos custos dos insumos básicos necessários à manutenção dos acampamentos garimpeiros, tendo por base a moeda convencional do garimpo, i.e., o ouro. Os custos para a manutenção da atividade garimpeira tornaram-se proibitivos para a grande maioria dos garimpos.

Para muitos que se posicionam de forma crítica quanto à própria existência do garimpo - pelas suas formas violentas de impactos ambientais, deformações sociais e agravos potenciais à saúde das populações envolvidas - essa diminuição da atividade garimpeira, independente de suas causas, é comemorada com grande satisfação.

Muitas vezes não se percebe que o encolhimento do garimpo, como um todo, levou em seu bojo uma série de transformações no interior da estrutura garimpeira de grande significado. Deduz-se, a partir das afirmações das lideranças ouvidas, que as condições adversas suprimiram os setores mais fracos e pobres do garimpo, que cedeu suas instalações e áreas para os setores mais ricos e organizados.

Ao invés de simplesmente comemorarmos a diminuição da atividade garimpeira, reduzindo os esforços de estudos sociológicos, de saúde e ambientais, acreditamos ser o momento propício para uma abordagem mais madura nos estudos sobre o garimpo, envolvendo - já na fase de estudos - todos os órgãos governamentais, instituições de pesquisas, comunidades atingidas e mesmo, e principalmente, o maior agente causador do problema: o garimpeiro.

Apesar de toda a polêmica levantada, nacional e internacionalmente - dando origem a vários simpósios e encontros de especialistas, do posicionamento de movimentos ambientalistas, da apresentação de numerosas e diversificadas teses acadêmicas e de muitos artigos e discursos, as questões

relevantes dos problemas originados pelo garimpo têm sido pouco estudadas e, talvez, de forma pouco pragmática. Além disso, os dados disponíveis são escassos e de qualidade muitas vezes discutível. Por outro lado, a falta de uma visão multidisciplinar diminui a expressão científica dos dados colhidos.

Outra grande dificuldade que se apresenta é quanto ao fluxo de informação dos dados colhidos e sua não transmissão aos órgãos governamentais envolvidos no problema. Muitos dos estudos realizados, pela sua essência acadêmica, não têm ultrapassado sequer a área onde foram desenvolvidos. Isto tem provocado incompreensões e posicionamentos errôneos de instâncias governamentais. O CETEM/CNPq, como instituição de pesquisa na área mineral, tem realizado enormes esforços para preencher essas lacunas, e, nos estudos já realizados em Poconé (no Pantanal Mato-grossense) e em Alta Floresta - duas regiões com atividade garimpeira no estado do Mato Grosso - executou trabalhos de pesquisa interdisciplinares, associando-se a várias instituições, buscando, além disso, a participação e debate das comunidades envolvidas.

## 2. O MERCÚRIO NOS GARIMPOS DE OURO

No Brasil, conforme levantamentos realizados por Pfeiffer e Lacerda (1988), as atividades garimpeiras, principalmente nas regiões norte e centro-oeste, têm sido responsáveis por emissões de mercúrio superiores a 100 toneladas anuais, das quais aproximadamente 55% atingem a atmosfera na forma de vapor, e o restante é lançado nos rios como mercúrio metálico. São dados concordantes com as projeções de consumo de mercúrio pelo garimpo e por outras atividades, estabelecidas a partir das importações (Ferreira e Appel, 1991). Estes pesquisadores mostraram que em 1991, para um total de 337 toneladas de mercúrio importadas, 168 toneladas foram utilizadas pelo garimpo. Os estudos assinalaram outro fato preocupante: a partir de 1985, o mercúrio necessário ao garimpo foi importado oficialmente e comercializado de um modo informal.

Sem dúvida alguma, o mercúrio se apresenta como um elemento indispensável para a extração do ouro fino. A amalgamação é geralmente aplicada a concentrados gravíticos provenientes de aluviões ou de minérios primários onde o ouro encontra-se livre. O problema é que, infelizmente, ainda é muito comum a utilização do mercúrio nas etapas de concentração gravítica, criando-se situações de grande potencial poluente.

O ouro em contato com o mercúrio metálico é capaz de formar amálgamas, apresentando as principais composições:  $AuHg_2$ ,  $Au_2Hg$  e  $Au_3Hg$ . O amálgama resultante do contato mercúrio-ouro não é uniforme. Na prática, o amálgama formado em processos minero-metalúrgicos contém de 20 a 40% de ouro, (Sevryukov *et alii*, 1950)

O ouro é capaz de solubilizar 16,7% do mercúrio, enquanto o mercúrio solubiliza 0,14% de ouro em temperatura ambiente, e 0,65% de Au a 100 °C. (Taggart, 1976)

A formação do amálgama está condicionada principalmente à limpeza da superfície do ouro, consistência das gotas de mercúrio e efetividade do contato ouro-mercúrio. Humble (1988) elaborou um detalhado manual para uma amalgamação precisa e segura.

### 2.1 Formas de Emissão de Mercúrio pelo Garimpo de Ouro

Os depósitos de ouro dividem-se em dois tipos principais: primários e secundários. As formas de garimpo estão diretamente relacionadas ao material aurífero a ser trabalhado.

Nos depósitos primários são lavrados a rocha sã e o colúvio. O ouro se apresenta incrustado na rocha, em veios de quartzo. Com o tempo, estas rochas são erodidas e o ouro pode ser retrabalhado e depositado ao longo dos cursos d'água, constituindo depósitos secundários também chamados depósitos aluviais, ou aluviões. Como os níveis de erosão/deposição variam com o tempo, novas feições geológicas emergem e o que foi ouro aluvial pode constituir-se em subsolo profundo, coberto por formações geológicas mais recentes.

#### 2.1.1 Garimpos de ouro em depósitos primários

Este tipo de garimpo visa a recuperação do ouro contido em rochas e solos, e apresenta teores de ouro variando entre 4 e 20 g por tonelada.

Neste caso são realizadas escavações de grandes quantidades de material rico em ouro, geralmente solos contendo veios de quartzo, que são cominuídos.

O mercúrio utilizado na amalgamação se concentra nas barragens de rejeito, podendo ser eventualmente mobilizado através da lixiviação e revolvimento do material particulado

durante as chuvas. Porém, a maior parte do mercúrio é lançada na atmosfera durante os procedimentos de queima do amálgama ou através da volatilização do mercúrio metálico dos solos, sedimentos e rios (Pffeifer e Lacerda, 1988). Esses diferentes processos resultarão em diferentes formas de dispersão e diferentes níveis de disponibilidade biológica.

Os processos de enriquecimento aurífero ocorrem habitualmente em zonas de fraturamento. O ouro contido nas rochas encaixantes é remobilizado e depositado por ação de fluidos hidrotermais nessas zonas.

O minério (material aurífero) é transportado geralmente em caminhões (caçamba) com capacidade para 6 a 10 t e depositado de modo a formar pequenas rampas, tendo placas metálicas na sua base inclinada. O material é então desmontado com jatos de água (desmonte hidráulico) e escorre, sob forma de polpa, para um moinho de martelo. Após a cominuição, a polpa segue para uma centrífuga onde ocorre a retenção do material mais pesado, sendo o restante bombeado para a pilha de rejeitos. A cada 8 horas de funcionamento, a centrífuga é aberta e o concentrado gravítico levado para um tambor de amalgamação.

Ao concentrado (aproximadamente de 100 a 120 kg) são adicionados agentes tensoativos (sabões, detergentes, ou mesmo soda cáustica) para diminuir a tensão superficial e permitir melhor contato Hg:Au; mercúrio (cerca de 1 kg) e água. Após 2 horas de contato, o concentrado gravítico já amalgamado é levado para um tanque de bateamento.

Após a separação do amálgama e eliminação do excesso de mercúrio, o rejeito do concentrado gravítico é descartado ou reciclado com o material novo a ser beneficiado, gerando pontos de emissão de mercúrio para as drenagens próximas.

O retorno do rejeito contaminado para reprocessamento causa grande dispersão do mercúrio e seu arraste para as drenagens através do particulado fino em suspensão.

Esta forma de emissão resulta em pontos com altas concentrações do poluente nas barragens de rejeito, podendo alcançar até 30  $\mu\text{g/g}$  (CETEM/CNPq, 1989). Na maioria dos casos, entretanto, a concentração de mercúrio nas barragens de rejeito é bastante baixa, variando entre 0,04 a 0,2  $\mu\text{g/g}$ . (Andrade et al., 1988; 1991; Ramos e Costa, 1991)

A principal fonte de emissão de mercúrio nesse tipo de garimpo, no entanto, deve-se à queima de amálgamas sem a utilização de retortas. Os garimpeiros queimam o amálgama em frigideiras abertas, com tochas de gás butano/propano, a temperaturas entre 400 e 450 °C, o que provoca perda em mais de 70% do mercúrio utilizado no garimpo.

O emprego da retorta, apesar de razoavelmente conhecida pelos garimpeiros, encontra grande resistência. Alguns tentam explicar o fenômeno através da força mítica do ouro. Ou seja, o garimpeiro deseja ver o momento de transformação do amálgama e aparecimento do ouro, como se o ato de observar fizesse a quantidade de ouro crescer. Existem, entretanto, explicações bem mais práticas para a esta resistência. Uma delas seria a perda de ouro por incrustação no material da retorta; outra, a descoloração do ouro, após a destilação na retorta, provocada possivelmente pela formação de compostos de ferro e arsênio, o que faz diminuir a cotação do ouro assim obtido. (Priester e Hentschel, 1992)

Farid *et alii* (1990) apresentaram o balanço metalúrgico de dez garimpos de Poconé, onde verificaram a enorme oscilação em relação à perda de mercúrio introduzido na etapa de amalgamação de concentrados gravíticos. Os números variam entre 0,9 e 49% de mercúrio perdido. Destes, cerca de 70% são perdidos quando os garimpeiros não usam retortas para condensar o metal volatilizado, 20% são arrastados nos rejeitos de amalgamação e 10% são estimados para as perdas durante a fusão do ouro esponja (resultados da pirólise do amálgama) nas casas de compra de ouro.

Os garimpos que trabalham com depósitos de ouro primário são típicos no estado do Mato Grosso, principalmente nas

regiões de fronteira com o Pantanal Mato-grossense, tais como Poconé, Barão de Melgaco, Cangas e Nossa Senhora do Livramento, e no sul do estado do Pará.

### 2.1.2 Garimpos em depósitos secundários de ouro

Este tipo de garimpo ocorre onde os procedimentos de extração do material aurífero são realizados diretamente nos leitos ativos dos rios ou nos barrancos dos pequenos igarapés, e podem ser subdivididos em: garimpos de balsas e garimpos de baixões.

#### 2.1.2 Garimpos de balsas

Os aluviões ativos dos leitos dos rios constituem a alimentação das balsas. O material dragado recebe uma classificação de acordo com a cor que apresenta: branco, amarelo, creme, marrom-esverdeado e verde. Segundo os operadores das balsas, os materiais amarelo e creme são os mais ricos em ouro. Nas balsas trabalham geralmente 3 a 4 operadores, que se revezam entre si, em turnos, de modo que realizam não só a parte de lavra, como concentração e recuperação do ouro. O operador da draga comanda as operações de remoção da carapaça de revestimento dos leitos dos rios com uma ponta escarriante (abacaxi) que acionada com pressão variável por um cabo de aço permite movimentação da balsa ou maior intensidade de perfuração no leito do rio. A partir deste ponto, o material explotado é tratado de forma idêntica, tanto no garimpo de balsas quanto no garimpo de baixão.

#### 2.1.3 Garimpos de baixões

A denominação de *baixões*, aqui empregada, refere-se aos barrancos dos pequenos rios e igarapés, ou antigos leitos de rios, que são desmontados hidráulicamente através de jatos d'água. O material que compõe a alimentação das calhas concentradoras é lavrado desde o nível do solo até uma

profundidade de aproximadamente 5 a 8 metros. Sua composição é de um solo avermelhado até branco, que recobre a camada composta por cascalho. Segundo os garimpeiros, é na faixa de cascalho que estão as maiores concentrações de ouro. O minério, desmontado e empolpado, é manualmente classificado por um garfo de feno, escorrendo a polpa para um poço, de onde é recalçada para a calha de concentração gravítica. (CETEM/CNPq, 1992)

As calhas concentradoras, utilizadas nos garimpos de balsas e de baixões, são bastante similares. São equipamentos simples, de fácil construção, com baixos custos tanto de investimentos como de manutenção são fabricados geralmente em madeira e inclinados no sentido do seu comprimento, sendo que a polpa do minério é alimentada na sua parte mais alta e desce por gravidade. O assoalho da calha, no qual o ouro se concentra, é dotado de carpetes removíveis, presos através de ripas de madeira (*taliscas*), que servem também como *riffles* de concentração. Em alguns casos estas ripas apresentam-se associadas a telas de material plástico ou metal entrelaçado, dispostas sobre o carpete (CETEM/CNPq, 1992). Ainda é muito comum a utilização de mercúrio, já nesta etapa de concentração, o que provoca grande dispersão ambiental.

O material proveniente da concentração gravítica, realizada em calhas inclinadas (*cobra fumando* ou *caixa garimpeira*), é coletado em períodos de 1 a 12 dias, constituindo o chamado *concentrado* ou *resumo*. O processo de retomada deste material, denominado *despescagem*, consiste na retirada do concentrado retido na calha e nos carpetes, seguido da amalgamação.

Nos garimpos de baixão, o método de amalgamação é semelhante ao utilizado em balsas flutuantes, diferindo principalmente por ser totalmente manual.

O concentrado retido nos carpetes é misturado com o mercúrio metálico em tambores, onde se procede à amalgamação. Os rejeitos contaminados, com teores variando entre 5-134 ppm (CETEM/CNPq, 1992) são lançados diretamente nos rios.

O fator de emissão (relação de mercúrio utilizado por quantidade de ouro produzido) é de 1:1,35 (Pfeiffer e Lacerda, 1988). Desta forma, estes autores acreditam que, anualmente, mais de 100 toneladas de mercúrio são lançadas no meio ambiente pela atividade dos garimpos de ouro.

A filtragem do mercúrio adicionado em excesso é realizada sob pressão em pedaços de tecido de algodão, e o filtrado pode ser reutilizado nas futuras operações de amalgamação (Cleary, 1992). Os procedimentos de queima são realizados geralmente em frigideiras abertas, sem o uso de retortas. Aproximadamente 20-25% das emissões de mercúrio para o meio ambiente são provenientes da deposição final dos resíduos de amalgamação, e 70-75 % durante a queima a céu aberto. (CETEM/CNPq, 1992)

## 2.2 Outras Fontes de Emissão de Mercúrio pela Atividade Garimpeira

Além das emissões realizadas pelos garimpeiros, seja na deposição final dos rejeitos da amalgamação (*resumo*), ou pela volatilização do mercúrio durante os procedimentos de queima, existe ainda uma terceira fonte de emissão representada pelas casas de compra de ouro, nas vilas e cidades próximas às áreas garimpeiras. Na verdade, durante a queima no campo, o *bullion* obtido pelos garimpeiros ainda apresenta algumas impurezas que são removidas nas casas de compra de ouro. O ouro proveniente da primeira queima pode ainda conter até 5% de mercúrio (Farid et al., 1990). Além da utilização de escorificantes, a remoção de impurezas é realizada a altas temperaturas com chama de ar-acetileno. Por não disporem de instalações adequadas de capelas para a retenção dos vapores, essas casas de compra de ouro podem representar importantes fontes de emissão de mercúrio, conforme estudos já realizados. (Marins et al., 1991; Malm et alii, 1990)

## 3. PESQUISAS JÁ REALIZADAS NO BRASIL

No caso dos garimpos, como já foi visto, o mercúrio pode ser emitido durante os procedimentos de queima do amálgama fazendo parte do ciclo atmosférico, ou poderá ser lançado juntamente com os rejeitos de amalgamação. (Ramos e Costa, 1991)

Lançado aos rios na forma metálica, o mercúrio se acumula preferencialmente nos sedimentos de corrente, apresentando em geral baixa mobilidade (Jardin, 1988). No rio Madeira, um afluente do rio Amazonas, com uma vazão anual média de 36.000 m<sup>3</sup>/s, a concentração de mercúrio em sedimentos de fundo, próximo às dragas em operação, pode atingir valores de até 2,6 µg/g, diminuindo até valores de *background* (<0,2 µg/g) poucos quilômetros rio abaixo. (Pfeiffer et al., 1989)

Parte do mercúrio carregado pelo material particulado em suspensão é de origem natural, proveniente da alteração nas rochas. O processo de enriquecimento de metais pesados em coberturas ferruginosas (barro avermelhado, comum no Brasil) ou em solos orgânicos (cinzentos a pretos) é bastante conhecido na geoquímica de prospecção de minérios. Os solos, após milhares de anos de percolação de águas superficiais com metais em solução, comporta-se como uma esponja química, enriquecendo-se nesses elementos ao adsorvê-los. Por vezes os valores anômalos têm relação com a rocha em profundidade, outras vezes os metais são trazidos de áreas distantes. O grande problema na geoquímica ambiental é a distinção entre um processo de contaminação antropogênica por um certo metal, e o enriquecimento natural devido ao intemperismo dos minerais formadores das rochas que, embora na sua maioria apresentem baixos teores de metais pesados, podem contribuir para o aumento do teor desses metais no solo. (Silva e Veiga, 1992)

Nos ambientes aquáticos, a presença de óxidos hidratados de ferro e matéria orgânica atuam como eficientes reguladores naturais da concentração de Hg disponível. Esses componentes dos sedimentos, mesmo quando existam condições para a ionização, adsorvem o mercúrio iônico, não permitindo sua participação nos processos de metilação. (Silva *et alii*, 1991).

Devida sua forma química, o mercúrio metálico contido nos rejeitos de amalgamação, quando lançado nos rios, apresenta baixa mobilidade. Isto se deve a sua alta densidade (13,6) e baixa reatividade. Gotas de mercúrio têm sido freqüentemente encontradas em sedimentos de rios expostos durante a seca.

O mercúrio metálico dos rejeitos de amalgamação pode também se apresentar micropulverizado, sendo facilmente carregado no material particulado em suspensão e apresentar assim grande dispersão. Martinelli *et al.* (1988) constataram que, no rio Madeira, o material particulado pode atingir concentrações de mercúrio de até 1,0 µg/g. Esses autores encontraram, no mesmo rio, em macrófitas desenvolvidas em lagos distantes até 100 km da fonte de emissão mais próxima, teores de Hg de até 1,04 µg/g. Isto poderia sugerir um mecanismo de transporte de longo alcance associado ao particulado em suspensão. A dragagem, com a conseqüente ressuspensão de sedimentos, facilitaria esse processo. O transporte do mercúrio pelos materiais formadores do sedimento também tem sido apontado como a causa de contaminação de peixes no rio Madeira, coletados a aproximadamente 200 km abaixo da área de mineração no sentido da corrente. (Malm *et al.* 1990)

Existe também a possibilidade do mercúrio ser transportado associado ao carbono orgânico particulado (COP) oriundo da decomposição dos vegetais, durante os períodos chuvosos, em que até 2% de toda floresta permanecem submersos. A dispersão do mercúrio associado ao COP já foi demonstrado como um eficiente mecanismo de transporte de longo alcance em outras áreas estudadas. (Lindberg e Harris, 1974)

Outra questão relevante quanto aos mecanismos de dispersão do mercúrio em ambientes aquáticos, na região amazônica, refere-se aos diferentes tipos de rios da região. Os rios da Amazônia são classificados, segundo diversos autores, em três classes de acordo com suas principais propriedades hidroquímicas (Sioli, 1950; Junk e Furch, 1980; Furch *et alii*, 1982):

- "**Rios de águas brancas**" - ricos em material em suspensão (>200 mg/l), pH próximo do neutro, moderada condutividade elétrica (>40 µS/cm) e apresentam concentração média dos elementos dissolvidos similar aos rios de qualquer parte do mundo. O rio Amazonas e o rio Madeira são dois típicos representantes dessa classe de rio.
- "**Rios de águas escuras**" - drenam áreas de floresta, apresentando águas ricas em substâncias orgânicas dissolvidas, pH ácido (pH<5,0) e mostram-se bastante pobres em constituintes dissolvidos (condutividade elétrica < 10 µS/cm).
- "**Rios de águas claras**" - apresentam águas que oscilam entre levemente ácidas e neutras, baixo teor de constituintes orgânicos e inorgânicos dissolvidos, e são relativamente enriquecidas em óxidos de ferro provenientes da lixiviação de solos lateríticos.

A distribuição de mercúrio nos sedimentos de 10 rios componentes da bacia do rio Madeira, pertencentes às três diferentes classes, foi estudada por De Paula (1989). Nessa área da bacia do rio Madeira, os tributários apenas são atingidos pela emissão atmosférica de mercúrio e, durante o período das cheias, pelo material carregado pelas águas que inundam todo o sistema.

Os resultados mostraram que os "rios de águas escuras" apresentam teores de mercúrio superiores aos rios de outras classes. O enriquecimento de mercúrio nos rios de águas escuras pode ser relacionado ao alto teor de matéria orgânica e ao carácter ácido de suas águas. (Tabela 1)

**Tabela 1 - Principais características físico-químicas de rios amazônicos de diferentes classes na bacia do rio madeira**

Classe	Águas Brancas	Águas Claras	Águas Escuras
pH	6,7 ± 0,3	5,7 ± 0,6	5,7 ± 0,7
Cond. (µS/cm)	49 ± 14	13 ± 7	6 ± 1
Mat.Org.Sed.(%)	3,9 ± 1,2	5,2 ± 2,8	9,0 ± 4,4
Fe Sed. (%)	4,9 ± 0,8	6,6 ± 2,2	0,5 ± 0,7
Hg Sed. (µg/kg)	330 ± 81	130 ± 80	490 ± 69

Fonte: De Paula (1989)

O aspecto mais preocupante, relacionado às emissões de mercúrio pelos garimpos, é a possibilidade de transformação do metal em compostos metilados, muito mais tóxicos. Após sua formação e participação na cadeia trófica, o metilmercúrio pode ser ingerido pelos peixes, onde é rapidamente absorvido, passando então para os tecidos. O metilmercúrio é até 1000 vezes mais solúvel em gorduras do que em água, e se concentra nos músculos, cérebro e no sistema nervoso central. A possibilidade de contaminação das populações ribeirinhas através da ingestão de peixes com teores elevados de mercúrio tem sido alvo de grande preocupação das autoridades sanitárias.

A transformação do mercúrio em compostos metilados, mediada sobretudo por processos biológicos, resulta na dispersão do poluente, principalmente através de sua absorção pela biota, na volatilização para os compartimentos atmosféricos (na forma de dimetilmercúrio) ou mesmo na demetilação, para mercúrio elementar.

O metilmercúrio presente em águas e sedimentos é relativamente estável, e só é degradado por processos bioquímicos específicos. Assim como a metilação, a degradação de metilmercúrio é promovida por bactérias e fungos em águas e sedimentos, resultando na formação de Hg<sup>0</sup> e CH<sub>4</sub> (Ramial et alii, 1986), e sua ocorrência parece ser de caráter tão geral e frequente quanto a metilação. Portanto, a concentração de metilmercúrio é determinada pela taxa líquida de metilação,

resultado do balanço entre os processos opostos e simultâneos de metilação e demetilação de Hg. Desta forma, a ausência de metilmercúrio em um determinado sistema pode tanto significar que sua taxa de formação é nula, ou que a mesma é comparável à de degradação.

Visando determinar as taxas líquidas de produção de metilmercúrio em águas e sedimentos de lago, Furutani e Rudd (1980) desenvolveram uma técnica desde então amplamente utilizada: amostras são incubadas em presença de Hg radioativo e o metilmercúrio formado é extraído com solventes orgânicos e quantificado radiometricamente.

Utilizando versões simplificadas da técnica radioquímica de Furutani e Rudd, Guimarães (1992) determinou, através de incubações *in situ*, as taxas de metilação de mercúrio em águas e sedimentos de áreas garimpeiras de ouro na região do rio Madeira, assim como da represa de Samuel, no estado de Rondônia. Os resultados apresentaram taxas líquidas potenciais de metilação de Hg muito elevadas (até 1%/g/h) em sedimentos de superfície, especialmente em afluentes do rio Madeira e na represa de Samuel. As taxas líquidas potenciais de metilação de Hg em águas superficiais foram sempre inferiores a 7.10<sup>-6</sup> %/ml/h.

Padberg (1990) determinou em poucas amostras a concentração de metilmercúrio nos sedimentos, água e biota de rios amazônicos sob influência da atividade garimpeira. As análises de amostras coletadas na região de Itaituba, médio Tapajós, apresentaram teores de mercúrio total em águas entre 3,2 e 5,3 ng/l e de metilmercúrio entre 0,2 e 0,6 ng/l. Nos sedimentos foram encontrados teores de Hg total de 144 µg/kg e de 0,8 µg/kg de metilmercúrio. Nota-se que nas águas a participação do metilmercúrio chega perto dos 10%, enquanto que nos sedimentos mal chega a 1%.

#### 4. ÁREA ESTUDADA - PROVÍNCIA GARIMPEIRA DO TAPAJÓS

A província garimpeira do Tapajós compreende uma área superior a 100.000 km<sup>2</sup> que, por ocasião do presente estudo, assinalava a existência de 460 pontos de garimpagem, 340 pistas de pouso e 140.000 garimpeiros. É a maior província aurífera aluvionar do mundo. Os depósitos são tipicamente de ouro aluvionar recente, com algumas ocorrências de ouro em veio de quartzo. O sistema de extração mais utilizado é o desmonte hidráulico (*bico-jato*), embora eventualmente também sejam utilizados moinhos. Nos rios Tapajós e Teles Pires podem ser encontradas algumas balsas e dragas lavrando ouro.



Figura 1 - Mapa de localização da Área de Píririma, PA

Segundo dados da FIBGE (1990), a geologia da área abrangida pelo rio Tapajós e seus afluentes é representada pelas unidades que compõem o embasamento, pelas unidades pertencentes à Bacia Sedimentar do Amazonas e por sedimentos inconsolidados. O embasamento é constituído, principalmente, por rochas ígneas, metamórficas de alto e baixo graus e por sedimentos da idade pre-cambriana. As unidades pertencentes à Bacia Sedimentar do Amazonas apresentam três grandes seqüências: a mais antiga, depositada entre o Ordoviciano e o Neo-carbonífero, apresenta características eminentemente clásticas; na intermédia, correspondendo a condições deposicionais e ambientais que possibilitaram a formação de uma extensa bacia restrita a semi-restrita, onde foram depositados sedimentos, predominantemente químicos, durante o Neo-carbonífero até o Permiano; a mais recente, Mesoceno-zóica, é constituída por sedimentos clásticos fluviais. O conjunto foi coberto por sedimentos inconsolidados, constituídos por cascalhos, areias, siltes e argilas. (FIBGE,1990)

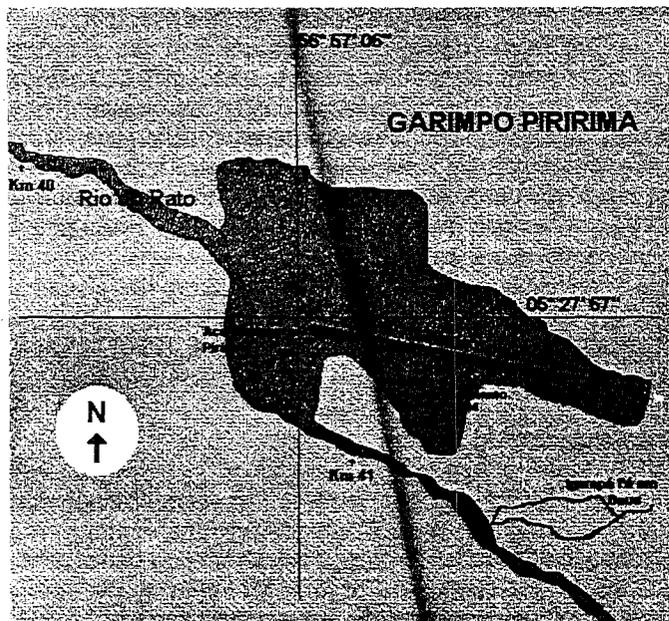
##### 4.1 Bacia do Rio do Rato

A bacia hidrográfica do rio do Rato, a exemplo de inúmeras outras que compõem a bacia amazônica, mantém-se praticamente desconhecida em virtude de ausência de cartografia em escala adequada que possa retratar as minúcias de seus acidentes naturais e as marcas da presença do homem.

Com a finalidade de prover os grupos de estudos com informações geográficas precisas e mostrar a localização dos garimpos no rio do Rato, ou rio do Rato, como também é chamada a região, foi executado um minucioso levantamento aerofotográfico que possibilitou a identificação dos principais garimpos ao longo do curso. (Anexo fotos 1 a 7)

Dessa forma, com esse levantamento, revelou-se também as várias feições características da ocupação, manejo e exploração dos recursos naturais pelo homem.

A área mapeada, com extensão de 85 km, abrange o leito do rio do Rato e sua área aluvionar e estende-se desde a confluência do rio Tapajós, a oeste, até o local conhecido como Cachoeira do Ratão, a sudoeste, abrangendo uma área de 90 km<sup>2</sup>. (Figura 2)



**Figura 2 - Garimpo Piririma - Base de operação dos grupos de estudos do CETEM**

No levantamento aerofotográfico foi utilizada câmara Hasselblad, modelo Swalm Super Wide, adaptada em aeronave Cesna tipo Sky Lane, de modo a permitir obtenção de fotos com eixo principal na vertical.

O filme utilizado foi do tipo Ektacolor Gold 160 GPF 120 da Kodak, em rolo de 12 exposições. Cada foto reproduzida, com 22 cm de lado, em escala 1:5000, abrange uma área correspondente a 1,2 km<sup>2</sup>.

Para a localização precisa dos pontos de amostragem, com base no levantamento aerofotográfico, foi elaborado um mapa detalhado, na escala de 1:10.000. O percurso do rio do Rato foi sinalizado quilômetro por quilômetro, tendo sua desembocadura no rio Tapajós como quilômetro zero.

## 5. MATERIAIS E MÉTODOS

Para a realização dos estudos de diagnóstico ambiental dos impactos causados pela atividade garimpeira, foram considerados os ambientes aquático, terrestre, atmosférico e alguma biota associada.

Instalou-se um acampamento no agrupamento garimpeiro Piririma, no rio do Rato, distante 40,3 km da sua afluência no rio Tapajós (Figura 2). O acampamento, além de abrigo e dormitório, serviu como base de operação para os procedimentos de coleta e pequenos ensaios de campo. O acesso à área de estudos, devido ao baixo nível das águas do rio do Rato, dificultando sua navegabilidade, era realizado através de vôos com pequenas aeronaves, a partir de Itaituba.

Na cidade de Itaituba foi implantado um laboratório, em instalações da CPRM (Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais), para os procedimentos analíticos, principalmente determinações de mercúrio total em sedimentos. Os procedimentos de preparação e digestão de amostras para a determinação de mercúrio total foram realizados segundo a metodologia proposta por Malm et al. (1989). No laboratório de Itaituba também eram realizados ensaios físicos de floculação para determinação de mercúrio no material particulado em suspensão, segundo metodologia proposta por Silva et al. (1993). As análises de mercúrio total no laboratório de Itaituba eram realizadas em um fotômetro de absorção atômica da firma Seefelder Meßtechnik. Algumas amostras para a determinação de mercúrio total foram também analisadas nos laboratórios do Instituto de Biofísica da UFRJ, apresentando grande conformidade com os resultados do laboratório de Itaituba.

Os procedimentos de amostragem seguiram as recomendações de Silva (1993). As incursões de amostragem, a partir da base no Piririma pelo rio do Rato, eram realizadas com botes voadeiras.

As medições dos parâmetros físico-químicos e a coleta de amostras (solos, sedimentos, água, material particulado em suspensão e biota) foram realizadas desde o ponto de amostragem localizado no km 0,0 (confluência com rio Tapajós) até o ponto de amostragem localizado no km 70 (Cachoeira do Ratão), bem como nos principais igarapés que formam o sistema de drenagem do rio do Rato. As medições dos parâmetros físico-químicos foram realizadas *in situ* utilizando-se da multi-sonda da firma Horiba, modelo U-10. As amostras ambientais foram acondicionadas em sacos de polietileno, mantidas sob refrigeração, durante os procedimentos de campo, e preservadas em *freezer* até o momento das análises.

As amostras de sedimentos foram coletadas manualmente, à superfície, até 10 cm de profundidade, em pontos de margem de menor velocidade de fluxo.

Os solos, constituídos de Terra Preta Arqueológica (TPA), foram amostrados nas proximidades do acampamento garimpeiro do Piririma e nos acampamentos da Mineração Ouro Branco no Igarapé Fé em Deus. Também foram realizadas amostragens em pontos distantes da queima, principalmente ao longo do rio do Rato, para caracterizar a dispersão.

A amostragem de mercúrio no ar foi realizada principalmente em locais próximos aos pontos de queima de amálgama nos acampamentos garimpeiros. Para tal foram utilizados dois procedimentos:

- a) convencional, digestão de ar succionado por bomba, de vazão constante e conhecida, através de solução ácida de permanganato, e
- b) pela biomonitoramento com utilização de epífitas (bromélias).

A utilização de vegetais como monitores da poluição atmosférica para metais pesados tem sido bastante comum, principal-

mente em países de clima temperado, sendo comum o emprego de líquens, briófitas, ou mesmo fungos como biomonitores.

Apoiando-se em metodologia desenvolvida nos países escandinavos, o Laboratório de Radioisótopos da UFRJ adaptou-a a climas tropicais, com a utilização da bromélia *Tillandsia usneoides*, de dimensões milimétricas. Foi escolhida pela sua alta resistência ao dessecamento e elevada superfície específica. A absorção das substâncias contidas no ar é realizada através de pêlos modificados, denominados tricomas. Alguns autores têm verificado que o  $Hg^0$ , uma vez absorvido, é oxidado no interior das células para sua forma iônica ( $Hg^{+2}$ ), não volátil e pouco móvel, não sendo eliminado.

A utilização de vegetais na avaliação e monitoramento de Hg no ar já foi alvo de estudos realizados pelo Laboratório de Radioisótopos da UFRJ em uma fábrica de cloro-soda.

O biomonitoramento de mercúrio no ar em áreas de garimpo foi realizado, de forma pioneira, utilizando-se esta nova metodologia adaptada pelos pesquisadores do Instituto de Biofísica da UFRJ. Cestas plásticas contendo bromélias foram penduradas a 2,5 - 3,0 m de altura. Após diferentes tempos de exposição, as cestas são coletadas e as bromélias são analisadas quanto ao seu teor de mercúrio. Para permitir a correlação entre os respectivos teores de mercúrio, em cada ponto de exposição das bromélias foram coletadas também amostras de solos.

O estudo da biota baseou-se apenas na amostragem de diversas espécies de peixes do rio do Rato e dos igarapés, dado que nossas incursões na área de estudos haviam indicado a ausência de espécies aquáticas representativas, de vegetais e de moluscos, que pudessem ser utilizados como biomonitores nos estudos de diagnóstico ambiental.

Como procedimento ainda pioneiro em estudos semelhantes no Brasil, foram determinados o potencial de metilação em sedimentos de diversos pontos da área de estudos. Segundo a metodologia proposta por Furutani & Rudd (1980) e adaptada por

Guimarães (1992), amostras de sedimentos são incubadas à temperatura da água ambiente, por três dias, com soluções isotópicas de mercúrio. Após o período de incubação, as amostras são acidificadas, interrompendo o processo de metilação. O metilmercúrio marcado ( $^{203}HgCl_2$ ), formado durante a incubação, é extraído por solventes orgânicos e quantificado por cintilação.

Este método permite determinar as condições ambientais que favorecem a metilação do mercúrio. O seu uso exige, porém, a adição de concentrações de mercúrio, normalmente muito superiores às já existentes na amostra. Conseqüentemente, as taxas de metilação assim estimadas são consideradas taxas máximas potenciais.

Nos estudos visando a determinação do teor de mercúrio no compartimento água, têm-se filtros de baixa porosidade (0,45  $\mu m$ ). O material retido é analisado quanto ao teor de mercúrio contido no material particulado em suspensão e a análise do filtrado indica o teor em mercúrio solúvel nas águas. Este procedimento, além de difícil manuseio no campo, requer muita habilidade nas ações de conservação e análise. A quantidade de material retido nos filtros é muito pequena (décimos de gramas) propiciando importante fonte de erros analíticos, caso não se proceda a demoradas repetições da operação, até a coleta de material suficiente.

Uma nova metodologia (Silva *et al.*, 1993) permite a amostragem, de forma simples, do material particulado em suspensão. De forma sucinta, a nova metodologia de amostragem consiste na floculação do material particulado com a ajuda de sais de alumínio.

Pelo procedimento proposto, e tomando em conta as características físico-químicas das águas da região, para cada 10 litros de amostra de água são adicionados, sob agitação, 2 ml de solução 1N NaOH (hidróxido de sódio) e 10 ml de uma solução a 10% de  $Al_2(SO_4)_3$  (sulfato de alumínio). Antes de usá-las, estas soluções precisam ser dosadas quanto ao seu teor de mercúrio (branco). Após o processo de floculação e decantação, separa-se

o máximo possível do sobrenadante, e o restante, geralmente em torno de 100 ml, leva-se à secura e procede-se à análise como se faz com os sedimentos.

Os parâmetros físico-químicos (condutividade, pH, turbidez, oxigênio dissolvido, temperatura e salinidade), importantes para a avaliação da mobilidade e transformação do mercúrio em ambientes aquáticos, foram medidos através da sonda múltipla HORIBA, modelo U-10.

## 6. RESULTADOS

---

### 6.1 Parâmetros Físico-Químicos

Como pode ser observado através dos dados da Tabela 2, o pH das águas do rio do Rato durante o período da seca (julho-dezembro) indica águas levemente ácidas a neutras (pH entre 6,60 e 7,10), enquanto que os principais igarapés desse sistema híbrido, com exceção do Igarapé do Edson (pH 7,20) apresentam águas ácidas com pH variando entre 5,45 e 6,30. A acidez nos igarapés se explica pela grande quantidade de matéria orgânica, principalmente ácidos húmicos, perceptível pela coloração da água. A salinidade medida foi sempre igual a zero para todos os pontos, o que é confirmado pelos baixos valores de condutividade, nunca superiores a 25  $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ . A temperatura das águas no rio do Rato, na época da seca, oscila entre 27-29 °C, enquanto que nos igarapés apresenta variação entre 26-27 °C. Durante o período da estiagem, o que realmente sobressai no rio Rato são os altos valores de turbidez, que variam entre 300 e quase 1.000 NTU. Sem dúvida, o material particulado proveniente dos garimpos, transportado para os rios e igarapés, tem uma participação expressiva, o que pode ser melhor avaliado comparando-o com os valores de turbidez no ponto de amostragem no km 80,3 na cabeceira desse rio.

**Tabela 2 - Parâmetros físico-químicos das águas na época de seca**

Localização	Data	pH	Prof.* (m)	Turb (NTU)	O.D. (mg/l)	TEMP (°C)	COND (µS/cm)
Rato com Tapajós	09/92	7,00	0,30	620	6,4	27,2	15
Rio Tapajós 500m jusante Rato	09/92	7,10	0,30	13	7,2	28,8	10
Ig. Edson, 100m da foz do Rato	09/92	7,20	0,20	75	6,3	27,0	25
Rio Rato, km 19,3	09/92	7,10	0,20	970	5,6	29,6	8
Rio Rato, km 20	09/92	6,90	0,20	310	6,6	28,1	21
Ig. Lontra, km 26 no Rio Rato	09/92	5,45	0,20	20	4,4	27,0	12
Rio Rato, km 28	09/92	6,80	0,20	370	5,7	28,0	26
Ig. Taxi, km 43 no Rio Rato	09/92	5,70	0,20	23	3,7	27,1	15
Rio Rato, km 50	10/92	7,10	0,20	490	6,2	28,5	22
Ig. no km 50 do Rio Rato	10/92	7,90	0,20	10	6,4	26,0	24
Ig. Paraí, km 63,3 no Rio Rato	09/92	6,30	0,20	25	5,7	26,6	17
Ig. no Rio Rato, km	10/92	6,60	0,20	15	5,0	27,1	13
Rio Rato, km 80,8	10/92	6,80	0,20	360	6,1	27,9	12
R. Rato, km 63,5 (foz ig. Paraí)	09/92	6,80	0,20	590	6,8	27,9	25
Rio Rato, km 47	10/92	6,60	0,20	410	6,1	28,5	22
Rio Rato, Piririma, km 40,7	09/92	6,70	0,20	810	6,1	29,2	22
Ig. no Rato, km 80,3	10/92	7,12	0,20	10	6,3	26,6	16

\* Profundidade da sonda de medição

A Tabela 3 mostra os parâmetros físico-químicos das águas na época das cheias (janeiro-maio). Devido à inundação de grandes áreas na época das chuvas, que, lixiviando os solos da floresta, provoca o carreamento de substâncias húmicas, as águas do rio do Rato se apresentam ácidas (pH 5,90-6,20), se aproximando bastante do grau de acidez das águas dos igarapés (pH 5,30-5,90). Também a temperatura das águas, mais baixa nos igarapés, tende a apresentar-se homogênea para toda o sistema hídrico composto pelo rio do Rato e seus igarapés, com valores relativamente estáveis, em torno de 25°C. A condutividade cai um pouco, refletindo a grande diluição provocada pelas águas das chuvas, apresentando valores abaixo de 15 µS/cm<sup>2</sup>. A grande mudança ocorre, indubitavelmente, na turbidez, que diminui para valores abaixo de 6 NTU, o que pode ser explicado como reflexo da redução da atividade garimpeira na estação chuvosa, bem como pela grande diluição.

**Tabela 3 - Parâmetros físico-químicos das águas na época das chuvas**

Localização	Data	pH	Prof* (m)	Turb. (NTU)	O.D. (mg/l)	Temp (°C)	Cond. (µS/cm)
<b>Rio do Rato</b>							
km 80,8	03/93	5,90	0,20	8	4,9	25,5	13
km 63,5 (prox. foz Paraí)	03/93	6,00	0,20	15	4,8	25,4	15
km 50	03/93	6,10	0,20	16	5,2	25,5	14
km 47	03/93	5,95	0,20	10	4,9	25,5	13
Piririma, km 40,7	03/93	6,00	0,20	38	4,7	25,4	13
km 28	03/93	5,90	0,20	35	4,9	25,6	13
km 20	03/93	6,10	0,20	20	4,9	25,8	12
km 19,3	03/93	6,10	0,20	21	4,9	25,6	13
300 m confluência Tapajós	03/93	6,20	0,30	25	5,1	25,6	13
Tapajós, 500 m a jusante c/Rato	03/93	7,00	0,30	10	7,5	30,8	9
Ig. no Rato, km 80,3	03/93	5,88	0,20	10	5,7	25,3	5
Ig. no Rato, km 76,7	03/93	5,60	0,20	12	5,0	25,4	3
Ig. Paraí, km 63,3 no rio Rato	03/93	5,55	0,20	7	5,7	25,0	6
Ig. no km 52,5, no rio Rato	03/93	5,30	0,20	4	5,5	25,2	9
Ig. Taxi, km 47,3 no rio Rato	03/93	5,40	0,20	6	5,1	25,1	5
Ig. Lontra, km 26 no rio Rato	03/93	5,85	0,20	10	5,7	25,0	6
Ig. Edson, 100 m da foz c/o Rato	03/93	5,70	0,20	13	5,3	25,4	8

\* Profundidade da sonda de medição

## 6.2 Sedimentos

As análises das amostras de sedimentos são um importante referencial para a avaliação de uma situação de poluição de ambientes aquáticos por metais pesados.

Nos estudos ambientais é usual a determinação da concentração dos poluentes na fração argila dos sedimentos. Além de sua capacidade reconhecida de enriquecimento desses elementos, a fração argila apresenta composição bastante similar em todos os rios, de qualquer parte do planeta, permitindo a comparação direta entre os resultados dos estudos realizados em qualquer parte.

Como inconveniente, principalmente em estudos com grande quantidade de amostras, os procedimentos para separação da fração argila são bastante demorados.

No presente estudo, as análises de solos e sedimentos foram realizadas na fração granulométrica  $\leq 200$  mesh ( $\leq 0,074$  mm). Para se estabelecer a relação entre as concentrações de mercúrio total foram realizadas análises simultâneas, em algumas amostras, tanto nas frações argila como na fração  $\leq 200$  mesh. Os resultados são apresentados na Tabela 4.

Observa-se que, pelos resultados obtidos em amostras de sedimentos no sistema hídrico do rio do Rato, a concentração de mercúrio total na fração granulométrica argila ( $\leq 2 \mu\text{m}$ ) é da ordem de 2 a 3 vezes maior que na fração  $\leq$  mesh ( $\leq 74 \mu\text{m}$ ).

**Tabela 4 - Relação entre as concentrações de Hg<sub>total</sub> nas amostras de sedimentos na Bacia do rio Rato nas frações granulométricas argila e  $\leq 200$  mesh**

Amostra	[Hg] Fração $\leq 200$ # (ppm)	[Hg] Fração argila (ppm)	[Hg] Fração argila [Hg] Fração $\leq 200$ #
RASD-259	0,20	0,51	1 : 2,55
RASD-371	0,30	0,86	1 : 2,86
RASD-580	0,26	0,81	1 : 3,11
RASD-403	0,26	0,59	1 : 2,26
RASD-650	0,29	0,95	1 : 3,27
IFDSD-001	0,47	1,51	1 : 3,21
IFDSD-002	2,27	4,26	1 : 1,87
IGVSD-001	0,97	2,26	1 : 2,32
IGVSD-003	0,92	2,14	1 : 2,32
IGLSD-001	0,47	1,53	1 : 3,35
IGJSD-002	1,02	1,95	1 : 1,91
Média			1 : 2,63

Nota:

RASD = rio do Rato      IFDSD = Ig. Fé em Deus      IGTSD = Ig. Taxi  
IGVSD = Ig. Visagem      IGJSD = Ig. Jacundá      IGLSD = Ig. do Lontra

Tomando-se como base o fator médio de enriquecimento da concentração de Hg<sub>total</sub> na fração argila, os resultados analisados de Hg<sub>total</sub> na fração  $\leq 200$  mesh das amostras de sedimentos coletadas no rio do Rato e seus igarapés afluentes foram multiplicados por 2,63. Desta forma obtém-se a projeção da concentração de Hg<sub>total</sub> na fração argila. Os resultados são apresentados nas Tabelas 5 e 6.

**Tabela 5 - Mercúrio total nos sedimentos dos igarapés afluentes do rio do Rato**

Amostra	Localização	Composição	[Hg] Fração $\leq 200$ # (ppm)	[Hg] Fração argila (ppm) (projeção)
<b>Amostras de sedimentos no Igarapé Fé em Deus km 41,2 no rio Rato</b>				
IFDSD-001	a 800m da foz c/ o rio Rato	areno-argilosa	0,47	1,25
IFDSD-002	a 600m da foz c/ rio do Rato	areno-argilosa	2,27	6,06
IFDSD-003	a 500m da foz c/ rio do Rato	areno-argilosa	3,87	10,33
IFDSD-004	a 580m da foz c/ rio do Rato	areno-argilosa	3,30	8,81
IFDSD-005	a 150m da foz c/ rio do Rato	areno-argilosa	3,97	10,59
<b>Amostras de sedimentos no Igarapé Taxi km 47,3 no rio do Rato</b>				
IGTSD-001	a 300m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	0,68	1,81
IGTSD-002	a 50m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	1,12	2,99
<b>Amostras de sedimentos no Igarapé Visagem km 51,9 no rio do Rato</b>				
IGVSD-001	a 300m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	0,97	2,59
IGVSD-002	a 200m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	0,85	2,26
IGVSD-003	a 50m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	0,92	2,45
<b>Amostras de sedimentos no Igarapé Jacundá km 7,2 no rio do Rato</b>				
IGJSD-001	a 300m da foz c/ rio do Rato	argilosa	1,02	2,72
IGJSD-002	a 200m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	1,59	4,24
IGJSD-003	a 50m da foz c/ rio do Rato	argilosa	1,20	3,20
<b>Amostras de sedimentos no Igarapé Lontra km 26 no rio do Rato</b>				
IGLSD-001	a 300m da foz c/ rio do Rato	areno-argilosa	0,32	0,85
IGJSD-002	a 200m da foz c/ rio do Rato	argilo-arenosa	1,59	2,26

**Tabela 6 - Mercúrio total nos sedimentos do rio do Rato e na ilha Mangabal (rio Tapajós)**

Amostra	Localização	Descrição	[Hg] Fração	
			≤ 200 # (ppm)	argila (ppm) (projeção)
RASD-007	km 0,7 Boca do Rato	sedimento	0,21	0,56
RASD-210	km 21,0 (cach. Morro Grande)	sedimento	0,20	0,53
RASD-259	km 25,9 próxi. ao igar. Lontra	sedimento	0,20	0,53
RASD-287	km 28,7 no Rato	sedimento	0,23	0,61
RASD-371	km 37,1 no Rato	sedimento	0,30	0,80
RAPSD-385	rio Rato, km 38,5	perfil sed. (0-5 cm)	0,25	0,66
RAPSD-385	rio Rato, km 38,5	perfil sed. (5-10 cm)	0,12	0,32
RAPSD-385	rio Rato, km 38,5	perfil sed. (10-15 cm)	0,09	0,24
RAPSD-385	rio Rato, km 38,5	perfil sed. (15-20 cm)	0,05	0,13
RASD-403	km 40,3 no Rato	sedimento	0,26	0,69
RASD-45,1	km 45,1 no Rato	sedimento	0,21	0,56
RASD-503	km 50,3 próxi. ao igarapé Taxi	sedimento	0,18	0,48
RASD-550	km 55,0 no Rato	sedimento	0,23	0,61
RASD-580	km 58,0 no Rato	sedimento	0,26	0,69
RASD-600	km 60,0 no Rato	sedimento	0,25	0,66
RASD-638	km 63,8 próxi. ao igarapé Parai	sedimento	0,24	0,64
RASD-650	km 65,0 no Rato	sedimento	0,29	0,77
RAPSD-640A	km 64,0 próxi. ao igarapé Parai	perfil sed. (0-5 cm)	0,19	0,50
RAPSD-640B	km 64,0 próxi. ao igarapé Parai	perfil sed. (5-10 cm)	0,12	0,32
RAPSD-640C	km 64,0 próxi. ao igarapé Parai	perfil sed. (10-15 cm)	0,09	0,24
RAPSD-640D	km 64,0 próxi. ao igarapé Parai	perfil sed. (15-20 cm)	0,03	0,08
RASD-700	km 70,0 no Rato	sedimento	0,30	0,80
RASD-850	km 85,0 no Rato	sedimento	0,15	0,40
RAARB-265	rio do Rato, cachoeira Lontra	aroto de balsa	0,04	0,10
TAPSD-002A	rio Tapajós, ilha Mangabal	perfil sed. (0-5 cm)	0,00	0,00
TAPSD-002B	rio Tapajós, ilha Mangabal	perfil sed. (5-10 cm)	0,01	0,02
TAPSD-002C	rio Tapajós, ilha Mangabal	perfil sed. (10-15 cm)	0,01	0,02
TAPSD-002D	rio Tapajós, ilha Mangabal	perfil sed. (15-20 cm)	0,01	0,02
TAPSD-002E	rio Tapajós, ilha Mangabal	perfil sed. (20-30 cm)	0,01	0,02
TASD-000-1	Tapajós, na foz do rio do Rato	sedim.	0,16	0,42
TASD-000-2	Tapajós, Mangabal	sedim. de praia	0,00	0,00
TASD-000-3	Tapajós, foz com Rato	sedim. de fundo	0,01	0,02
TASD-000-4	Tapajós, 300 m a jusante da foz do rio do Rato	sedim. de fundo	nd	nd

Nota:

RA = Rato; SD = Sedimento; TA = Tapajós; ARB = aroto de balsa; dígitos = distância em km no rio do Rato em relação ao rio Tapajós.

Como referência para avaliação dos resultados obtidos, pode-se utilizar a média mundial do teor de mercúrio na fração argila, que é de 0,40 ppm. (Turekian & Wedepol, 1961)

Um outro critério de avaliação seria o estabelecido por Prater e Anderson (1977), que classifica os ambientes aquáticos de água doce como **não poluídos** (concentração de  $Hg_{total}$  nos sedimentos menores que 1,0  $\mu g/g$ ) e **poluídos** (concentração de  $Hg_{total}$  nos sedimentos maiores que 1,0  $\mu g/g$ ).

Uma outra forma de avaliação é a comparação dos resultados de  $Hg_{total}$  nos sedimentos do rio do Rato e seus afluentes com os valores de referência nos sedimentos de áreas não diretamente afetadas pelas atividades garimpeiras, como, por exemplo, na ilha Mangabal, no rio Tapajós.

A concentração de  $Hg_{total}$  em camadas dos perfis de sedimentos, coletados em profundidades acima de 10 cm, também caracteriza os ambientes da bacia do rio do Rato antes do início das atividades do garimpo.

Utilizando-se das referências acima assinaladas, observa-se que os sedimentos do rio do Rato, embora ainda **não-poluídos** (segundo os critérios estabelecidos por Prater e Andersen), se encontram **em processo de poluição**. Esta constatação se baseia nas concentrações de  $Hg_{total}$  analisadas, acima da média mundial estabelecida por Turekian & Wedepol, e, principalmente, pela expressiva elevação dos teores de  $Hg_{total}$  em relação aos valores de *background*, perceptíveis nas camadas inferiores dos perfis de sedimentos.

Os ambientes aquáticos constituídos pelos igarapés, sob qualquer critério acima assinalado, encontram-se **poluídos**. O destaque negativo, neste sentido, é para o igarapé Fé em Deus, um dos pontos de concentração das atividades garimpeiras por ocasião do presente estudo, e onde se projetam teores de  $Hg_{total}$  acima de 10 ppm na fração argila.

### 6.3 Material particulado em suspensão

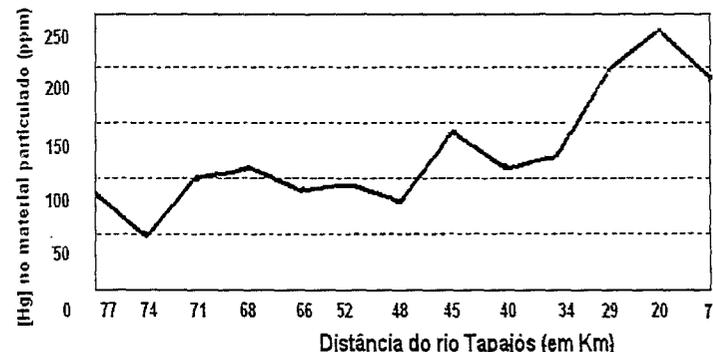
Na Tabela 7 encontram-se os resultados das análises das amostras do material particulado em suspensão, realizadas nos laboratórios do Instituto de Biofísica da UFRJ.

**Tabela 7 - Hg<sub>total</sub> carregado pelo material particulado em suspensão no rio do Rato**

Amostra	Sólido em Suspensão (g/L)	Matéria Orgânica (%)	Hg (ppb)
RASS-075	0,1228	31,7	190
RASS-203	0,1155	29,0	234
RASS-287	0,1294	29,4	198
RASS-340	0,0900	40,9	120
RASS-403	0,3750	30,7	108
RASS-449	0,1240	39,4	143
RASS-480	0,2528	24,6	79
RASS-520	0,1440	37,6	95
RASS-663	0,1190	36,2	89
RASS-686	0,1193	45,7	109
RASS-710	0,1211	36,0	101
RASS-721	0,1168	40,4	78
RASS-743	0,3260	14,6	49
RASS-768	0,1175	41,5	86

Nota: amostras coletadas em novembro de 1992

Mesmo considerando-se a participação do mercúrio litogênico, conforme assinalado por Silva e Veiga (1992), nota-se claramente que o teor de mercúrio total no material particulado em suspensão aumenta, ao longo do curso do rio do Rato, após receber as emissões poluente dos diversos garimpos. Isto pode ser melhor visualizado com a representação gráfica dos resultados (Gráfico 1).



**Gráfico 1 - Hg<sub>total</sub> no material particulado em suspensão ao longo do rio do Rato**

### 6.4 Solos e ar

Para avaliar a contaminação provocada pela queima do amálgama no garimpo, foram coletadas amostras de solos no Piririma e no Paraíba, em diferentes distâncias dos pontos de queima de amálgama nesses acampamentos garimpeiros.

Paralelamente, nos pontos de amostragem de solos, aproximadamente a dois metros de altura, foram colocadas bromélias, como biomonitores da contaminação do ar. As bromélias, coletadas no Rio de Janeiro, e com valores de branco conhecidos, foram colocadas em pequenas "gaiolas" de material plástico, e deixadas nos locais de amostragem durante 60 dias. A Figura 1 assinala a distribuição das amostras de solos e bromélias no Piririma.

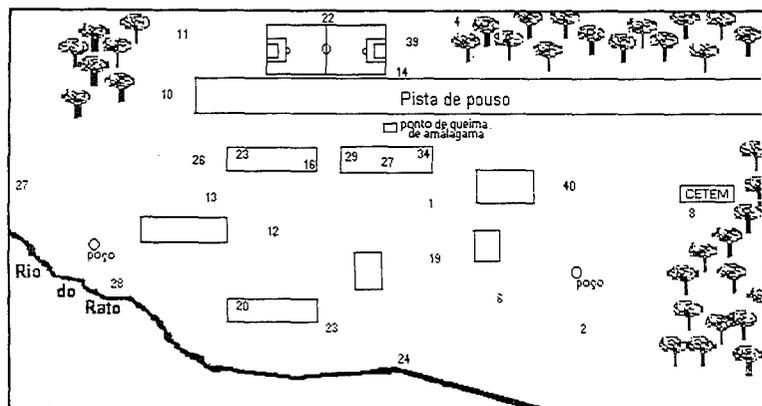


Figura 1 - Distribuição das amostras de solos e bromélias no acampamento garimpeiro Piririma

Os resultados das análises de  $Hg_{total}$  nos solos e nas bromélias são apresentados nas Tabelas 8 e 9.

Tabela 8 - Teores de mercúrio total em bromélias e solos

Amostra	Localização	Teor de Hg ( $\mu g/g$ )	
		Bromélia	Solo
PL-39; SL-39	ao lado da pista de pouso, distante 215m, em direção norte, do ponto de queima do Piririma	0,07	0,39
PL-4; SL-4	dentro da floresta, 85° Az, distante 240m em direção norte, do ponto de queima do Piririma	0,19	0,38
PL-33; SL-33	margem da floresta, em frente à cantina, 335° Az, distante 215m, em direção noroeste, do ponto de queima do Piririma	0,08	0,25
PL-9; SL-9	palmeira, atrás do campo de futebol, 325° Az, distante 122m, em direção oeste, do ponto de queima do Piririma	0,20	0,31
PL-11; SL-11	árvore atrás do depósito de óleo, 315° Az e distância de 60m, direção oeste, do ponto de queima do Piririma	0,50	1,06
PL-10; SL-10	árvore no final da pista de pouso, distante 80m, em direção oeste, do ponto de queima do Piririma	0,53	0,58
PL-31; SL-31	árvore atrás dos quartos da boate, à 130m, direção sudoeste, do ponto de queima do Piririma	0,17	0,54
PL-37; SL-37	39m atrás do poço, à beira do rio do Rato, distante 340m, direção sul, do ponto de queima do Piririma	0,17	0,34
PL-28; SL-28	próximo ao poço, 180° Az, a 310m, direção sul, do ponto de queima do Piririma	0,14	0,44
PL-30; SL-30	boate do Piririma, a 260m direção sul do ponto de queima	0,15	0,76
PL-23; SL-23	mangueira, situada 8m a direita da saída da boate, distante 290m, sentido sul, do ponto de queima do Piririma	0,40	1,70
PL-24; SL-24	à beira do rio do Rato, a 25m da área de desembarque e 330m, em direção sul, do ponto de queima do Piririma	0,20	0,32
PL-36; SL-36	à beira do rio do Rato, distante 20m da área de desembarque e 330m, em direção sul, do ponto de queima do Piririma		0,33
PL-19; SL-19	goiabeira à 0° Az, distante 21m em relação à oficina e a 150m, sentido sul, do ponto de queima do Piririma	0,79	10,08
PL-40; SL-40	mamoeiro atrás da casa do Marlúcio, a 120m, em direção sudeste, do ponto de queima do Piririma	0,32	5,12
PL-2; SL-2	goiabeira, 105° Az, a 29,5m distante da oficina e 190m, em direção sudeste, do ponto de queima do Piririma	0,43	2,57
PL-6; SL-6	abacateiro, 10m a frente da oficina, a 190m, em direção sul, do ponto de queima do Piririma	0,40	2,32
PL-1; SL-1	poste de iluminação, 0° Az, distante 140m, em direção sul, do ponto de queima do Piririma	0,76	
PL-13; SL-13	barracão dos quartos da boate, a 120m, em direção sudoeste, do ponto de queima do Piririma	0,24	
PL-12; SL-12	limoeiro, em frente a porta do restaurante da boate, distante 205m, em direção sul, do ponto de queima do Piririma	0,36	1,59
PL-26; SL-26	goiabeira, nos fundos da pensão da cantina, a 120m, em direção sudoeste, do ponto de queima do Piririma	0,88	4,99
PL-35; SL-35	dentro do refeitório da pensão da cantina, a 40m, em direção sudoeste, do ponto de queima do Piririma	0,38	11,35
PL-16; SL-16	interior do quarto n° 1 da pensão da cantina, a 65m, em direção sudoeste, do ponto de queima do Piririma	0,52	19,26

**Tabela 8 - Teores de mercúrio total em bromélias e solos (continuação)**

Amostra	Localização	Teor de Hg ( $\mu\text{g/g}$ )	
		Bromélia	Solo
PL-22; SL-22	dentro do ponto de queima do Piririma	60,27	68,53
SL-22b	do lado de fora do ponto de queima do Piririma		76,20
PL-29	varanda da cantina do Piririma, a 9 m do ponto de queima	0,97	
PL-27	interior da cantina do Piririma, a 13 m do ponto de queima	0,53	
PL-34	Dormitório do Ivo Preto na cantina, a 8 m do ponto de queima do Piririma	0,25	
PL-3; SL-3	barraco dos peões, à 220 m do ponto de queima do Paraíba	0,11	0,21
PL-32; SL-32	à 3 m do ponto de queima do Paraíba	0,21	8,80
PL-8; SL-8	barraco do acampamento do CETEM, à 620 m em direção leste, do ponto de queima do Piririma	0,04	
PL-7; SL-7	Fazenda do Oliveira, no alto do morro, localizada no km 36,2 do rio do Rato, a 350 m da Corrutela do João Leite	0,04	0,28
PL-5; SL-5	Cachoeira Morro Grande, margem direita no km 21,3 do rio do Rato	0,04	0,21
PL-18; SL-18	Cachoeira do Tijupá, km 22,4 do rio do Rato	0,01	

Nota: (PL= Bromélia; SL = amostra de solo)

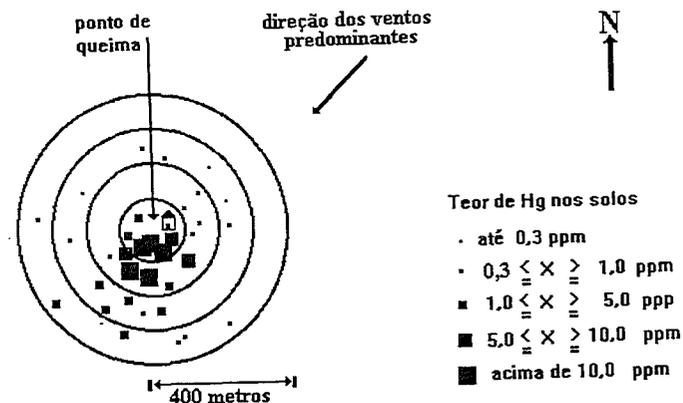
**Tabela 9 - Mercúrio nos solos próximos aos pontos de queima de amálgama**

Outras Amostras de Solo		
Amostra	Localização	Hg ( $\mu\text{g/g}$ )
SL-45	50 m atrás da casa do Marlúcio	0,71
SL-46	100 m oeste do 1º acampamento do CETEM	0,40
SL-47	30 m do Tucumã, atrás do campo	0,27
SL-48	a 50 m do final da pista de pouso	0,42
SL-49	Em frente ao barraco da queima	4,80
SL-50	15m atrás do gerador do Ivo	0,40
SL-51	Em frente ao quarto do Sr. Zequita	5,68
SL-53	Solo de floresta, depois do Paraíba	0,34
SL-54	Em frente à delegacia sindical do Ivo	10,78
SL-55	Em frente à oficina do Ivo	1,31
SL-56	A 40 m do Tucumã, a oeste do Ivo	0,28
SL-57	Solo de floresta, próximo ao igarapé Fé em Deus, a jusante do acampamento do Paraíba	0,24
SL-59	Solo de floresta no igarapé Bom Futuro	0,26

O Gráfico 2 mostra a distribuição relativa dos teores de mercúrio total em solos próximos ao local de queima de amálgama no acampamento Piririma. Como pode ser observado na representação gráfica, o mercúrio emitido pela queima se distribui preferencialmente na direção dominante dos ventos na região de estudo (sul/sudoeste), e apresenta rápida deposição, concentrando-se nos 300 metros imediatos ao ponto de queima.

Observa-se concentrações de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  bastante elevadas, de até 76,20 ppm, principalmente dentro e nas imediações da cabana utilizada para a queima de amálgama. Também no interior de dormitórios, localizados próximos ao ponto de queima, foram constatadas concentrações de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  nas amostras de solos de até 19,26 ppm.

Estes resultados, como aqueles já apresentados pelos estudos do CETEM/CNPq no Pantanal Mato-grossense, podem indicar um ciclo atmosférico curto para o mercúrio em ambientes de grande umidade relativa e altas taxas pluviométricas.



**Gráfico 2 - Distribuição relativa dos teores de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  em solos próximos ao local de queima de amálgama no acampamento garimpeiro Piririma**

Os resultados com as bromélias, apesar de indicadores da contaminação atmosférica, não apresentaram relação direta com os respectivos teores de mercúrio total nos solos. Os resultados das amostras de solos apresentam a integralização do impacto poluente nos últimos anos, enquanto que a absorção pelas bromélias seja indicativa das emissões para o período de sua amostragem, enquanto que a absorção pelas bromélias é um indicativo das emissões para o período de amostragem.

Tem-se ainda pouca informação de ambientes naturais (um número restrito de análises de mercúrio no ar, comparado aos períodos de tempo em que o monitor biológico ficou exposto) para se estabelecer uma correlação entre a concentração de Hg no ar e nas plantas.

Se compararmos os valores obtidos nas bromélias expostas nas áreas de garimpo com aqueles provenientes da indústria de cloro-soda, a primeira conclusão a que se chega são os baixos teores registrados nas áreas de garimpo. Aqui, os valores mais altos restringem-se às proximidades dos pontos de queima ou aos dos ambientes fechados próximos aos mesmos. Resultam de emissões pontuais que provocam contaminações ambientais restritas, confirmadas pelos altos valores nos solos, apenas nas proximidades dos pontos de queima.

### 6.5 Dosagem de Mercúrio no Ar

A Organização Mundial da Saúde recomenda  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  como teor máximo de mercúrio para as áreas urbanas e  $25 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$  como valor médio para exposição por 8 horas em ambientes de trabalho (WHO, 1978; WHO, 1991). Nas áreas urbanas é comum teores de 30 a  $50 \mu\text{gHg}/\text{m}^3$ , enquanto que em áreas de mineração de minérios ricos em mercúrio são encontrados teores de mercúrio da ordem de  $800 \mu\text{g}/\text{m}^3$  no ar (Galvão & Corey, 1987). A Tabela 10 assinala os teores de mercúrio dosados pelo método de sucção de volumes conhecidos do ar e borbulhamento em solução ácida de permanganato de potássio.

Tabela 10 - Dosagem do mercúrio no ar

Amostra	Localização	Tempo (min)	Fluxo (l/min)	Volume ( $\text{m}^3$ ) <sup>(*)</sup>	Resultado ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )	Média ( $\text{mg}/\text{m}^3$ )
<b>Piririma</b>						
RAAR-01A	Cantina do Ivo	326	1,05	0,343	7,20	6,65
RAAR-01B		326	3,21	1,046	6,11	
RAAR-02A	Varanda do barraco do Ivo	326	3,59	1,170	2,31	2,43
RAAR-02B		326	1,35	0,441	2,56	
RAAR-03A	1º quarto do dormitório do Ivo	851	1,05	0,894	0,64	0,69
RAAR-03B		851	3,21	2,727	0,74	
RAAR-04A	Refeitório da Vilma	851	1,35	1,149	0,59	0,54
RAAR-04B		851	3,59	3,051	0,50	
RAAR-05A	Boate chalé Drinks	246	1,05	0,259	0,02	0,04
RAAR-05B		246	3,21	0,790	0,07	
RAAR-06A	Quarto do Mariúcio	249	1,35	0,336	0,77	0,69
RAAR-06B		249	3,59	0,894	0,61	
RAAR-07A	Atrás do dormitório do Ivo	349	1,05	0,089	0,78	0,83
RAAR-07B		349	3,21	0,27	0,89	
RAAR-08A	Quartos das meninas	891	3,59	3,195	0,06	0,05
RAAR-08B		891	1,35	1,203	0,05	
RAAR-09A	Goiabeira em frente ao depósito	325	3,21	1,043	3,99	3,18
RAAR-09B		325	1,05	0,342	2,37	
RAAR-010A	Frente do refeitório das meninas	341	1,35	0,461	0,88	1,14
RAAR-010B		341	3,59	1,225	1,40	
RAAR-011A	Ao lado da casa de queima	320	3,21	1,027	3,19	3,36
RAAR-011B		320	1,05	0,336	3,57	
RAAR-012A	Fundo do restaurante	310	1,35	0,419	0,28	0,18
RAAR-012B		310	3,59	1,113	0,08	
<b>Paraíba</b>						
RAAR-013A	Refeitório do garimpo	246	3,21	0,788	0,05	0,12
RAAR-013B	Paraíba	246	1,05	0,258	0,19	
RAAR-014A	Dormitórios dos peões - Paraíba	241	1,35	0,326	0,04	0,03
RAAR-014B		241	3,59	0,866	0,02	
<b>Piririma</b>						
RAAR-015A	Ponto de queima do Ivo	208	3,21	0,667	8,87	9,89
RAAR-015B	(sem queima) - Pirir.	208	1,05	0,218	10,91	

(\*) Volume por analisado

Os teores de mercúrio encontrados nas amostragens de ar realizadas nos acampamentos dos garimpos Piririma e do Paraíba superam em até centenas de vezes os valores máximos recomendados pela OMS, tanto para ambientes urbanos como para exposições por 8 horas em ambientes de trabalho. Os valores mais elevados foram encontrados diretamente nos pontos de queima de amálgama. Concentrações elevadas foram encontradas, entre outras, na cantina do Piririma, apesar da queima de amálgama não mais ser processada naquele lo-

cal há mais de um ano. Mesmo não tendo sido realizada nenhuma amostragem durante os procedimentos de queima, supõe-se que as concentrações de mercúrio nessas ocasiões sejam ainda mais elevadas, suficientes para intoxicar os queimadores de amálgama.

### 6.6 Concentração de Mercúrio em Peixes

O Projeto Itaituba teve como um dos seus objetivos diagnosticar os impactos das emissões de mercúrio sobre a biota da área de estudos. Para isto, buscou-se identificar espécies animais e vegetais que, sendo homoganeamente distribuídas por toda área, pudessem servir como biomonitores dos processos poluentes. Infelizmente, observou-se que vegetais aquáticos e moluscos ocorriam de forma irregular não permitindo sua utilização como indicadores. Por esta razão, os estudos sobre a biota limitaram-se aos peixes.

Desde o acidente de Minamata, no Japão, é conhecida a capacidade de organismos aquáticos de acumular mercúrio, principalmente na sua forma de metilmercúrio, sendo sua ingestão a principal forma não-ocupacional de exposição do homem ao mercúrio. Devido às evidências de que peixes carnívoros apresentam maiores concentrações de mercúrio, acredita-se que haja um processo de biomagnificação ao longo das cadeias alimentares aquáticas.

A Tabela 11 apresenta os teores de mercúrio analisados nas diversas espécies de peixes capturados.

A determinação do que seria a concentração natural é uma tarefa difícil, que exige a quantificação das emissões naturais e antropogênicas em cada ambiente. No entanto, em rios da região amazônica não afetados por garimpos de ouro, a concentração de mercúrio em peixes é inferior a 0,2 ppm (Malm, Pfeiffer, Souza & Reuther, 1990), o mesmo ocorrendo em áreas do Hemisfério Norte consideradas não contaminadas. (Huckabee *et alii*, 1979)

Tabela 11 - Concentração de mercúrio em peixes

Amostra	Peixe	Peso (g)	Data	Procedência	Hábito Alimentar	Teor Hg (Mg/g)
RAP-001	Cachorro	100	08/92	Rato	Carnívoro	1,36
RAP-002	Mandube	150	08/92	Rato	Carnívoro	0,39
RAP-003	Mandube	290	08/92	Rato	Carnívoro	0,52
RAP-004	Mandube	590	08/92	Rato	Carnívoro	0,57
RAP-005	Jacaré	1150	08/92	Rato	Carnívoro	0,31
RAP-006	Traíra	6000	08/92	Rato	Carnívoro	1,01
RAP-007	Acari	170	08/92	Rato	Omnívoro	0,04
RAP-008	Charloque	270	08/92	Rato	Omnívoro	0,07
RAP-009	Aruanã	515	08/92	Rato	Carnívoro	0,26
RAP-010	Cachorro	517	11/92	Rato	Carnívoro	1,40
RAP-011	Cascudo	153	11/92	Rato	Micrófago	0,01
RAP-012	Sabão	207	11/92	Rato	Omnívoro	0,31
RAP-013	Pacu	54	11/92	Rato	Omnívoro	Nd
RAP-014	Acari	153	11/92	Rato	Omnívoro	0,06
RAP-015	Aruanã	1373	11/92	Rato	Carnívoro	0,95
RAP-015	Piranha	295	11/92	Rato	Carnívoro	0,45
RAP-016	Piranha	355	11/92	Rato	Carnívoro	0,59
RAP-017	Piranha	228	11/92	Rato	Carnívoro	0,54
RAP-018	Piranha	146	11/92	Rato	Carnívoro	0,57

Das espécies de peixes amostradas, os carnívoros apresentaram os maiores teores de mercúrio total, como já era de se esperar. Do universo estudado, 66% das amostras dos peixes carnívoros apresentaram teores acima de 0,5 ppm, valor máximo recomendado pela Organização Mundial da Saúde para consumo humano (OMS, 1991). Por outro lado, os resultados assinalam um processo de contaminação, que é mais perceptível quando se compara os teores de Hg<sub>total</sub> encontrados com os de peixes não contaminados (0,2 ppm) de rios sem poluição de outras áreas da Amazônia.

Tomando-se este valor como referência, verifica-se que 78% dos peixes amostrados e todos os espécimes carnívoros apresentam teores de mercúrio total acima desta referência. A continuidade e magnitude dos processos de contaminação da

biota, e suas decorrências para o homem da região, são de difícil previsão.

Além das análises de mercúrio total em peixes, efetuadas no Brasil, foram realizadas também análises de metilmercúrio em algumas amostras de peixes no *National Institute for Minamata Disease*, no Japão, sendo constatados os seguintes percentuais de metilmercúrio em amostras do rio do Rato:

**Tabela 12 - Percentual de metilmercúrio no teor de mercúrio total em peixes do rio do Rato**

Peixe (Nome Popular)	Peso (g)	Metilmercúrio (%)
Aruana	515	85,7
Jacaré	11.500	84,4
Mandubé	290	101,9
Mandubé	330	107,1
Peixe Cachorro	100	100,0
Traíra	6.000	84,4

Os percentuais de metilmercúrio superiores a 100% devem-se aos procedimentos analíticos diferentes utilizados para as determinações de mercúrio total e metilmercúrio.

Pelo que foi observado durante a permanência dos pesquisadores no campo, os garimpeiros no rio do Rato, talvez pela predominância de nordestinos (oriundos principalmente do Maranhão), não têm o hábito de alimentar-se com pescados, dando preferência ao consumo da carne bovina.

Deve ser considerado, como um dado importante, que atua sobre o mercúrio lançado nos rios, o predomínio de águas ácidas nos igarapés afluentes ao rio do Rato, que favorece a sua metilação e absorção pela biota.

## 6.7 Potencial de Metilação nos Sedimentos

A determinação do potencial de metilação é um procedimento de utilização ainda recente em estudos semelhantes no Brasil. Segundo os procedimentos desenvolvidos por Furatani e Rudd (1980) e modificados por Guimarães (1992), amostras de sedimentos são incubadas à temperatura da água ambiente, por três dias, com soluções isotópicas de mercúrio. Após esse período, as amostras são acidificadas, para se interromper o processo de metilação (geralmente microbiano), os componentes organo-mercuriais são extraídos com solventes orgânicos, e, finalmente, o teor do mercúrio "marcado" metilado é determinado por técnicas isotópicas. Utilizando-se desta metodologia foram realizados ensaios de metilação em agosto de 1992, na região do rio do Rato, em pontos do próprio rio do Rato, nos igarapés afluentes e no rio Tapajós (Tabela 14).

**Tabela 14 - Taxas líquidas potenciais de metilação de Hg<sup>203</sup> em sedimentos superficiais coletados na região do rio do Rato e afluentes**

Local	Taxa de Metilação (%/h/g massa seca)	Mat. Orgânica (%)
Rio do Rato	$0,62 \times 10^{-3}$	12,8
Igarapé Bom Futuro	$6,95 \times 10^{-3}$	41,5
Igarapé Taxi (superfície)	$3,27 \times 10^{-3}$	19,9
Igarapé Taxi (10 a 15 cm)	$1,36 \times 10^{-3}$	20,6
Rio Tapajós	$9,63 \times 10^{-3}$	15,2
Igarapé de Inverno	$7,00 \times 10^{-3}$	9,5

(Agosto de 1992)

Estes ensaios foram repetidos em novembro do mesmo ano, realizando-se, ainda, testes de metilação em amostras de sedimentos de baixões alagados e do igarapé Fé em Deus, logo a jusante dos baixões dos garimpos do *Paraíba*.

Também em novembro de 1992 foram realizadas as primeiras estimativas sobre a metilação de mercúrio em solos e

florestas e em solos descobertos próximos às áreas de queima de amálgama. (Tabelas 15 e 16)

**Tabela 15 - Taxas líquidas potenciais de metilação de Hg<sup>203</sup> em sedimentos superficiais da região do rio do Rato**

Local De Coleta	Taxa De Metilação (%/h/g massa seca)	
Rio do Rato km 49,5	7,26 (3,96 - 10,56) x 10 <sup>-2</sup>	N=2
Igarapé Bom Futuro (Paraí)	3,70 (3,10 - 4,30) x 10 <sup>-2</sup>	N=2
Rio Tapajós (ilha Mangabal)	1,25 (0,87 - 1,98) x 10 <sup>-2</sup>	N=3
Rio Tapajós (Usina)	1,57 (1,49-1,81) x 10 <sup>-2</sup>	N=2
Igarapé Fé em Deus	6,89 (3,60 - 10,180) x 10 <sup>-3</sup>	N=2
Baixo alagado (no Paraíba)	9,59 (8,76 - 10,45) x 10 <sup>-3</sup>	N=2

(Novembro de 1992)

**Tabela 16 - Taxas líquidas potenciais de metilação de Hg<sup>203</sup> em solos superficiais**

Local De Coleta	Taxa De Metilação (%/h/g massa seca)	
Floresta (próximo aos baixões Paraíba)	< 10 <sup>-5</sup>	N=2
Floresta (à margem do Igar. Fé em Deus)	2,15 (1,99 - 2,30) x 10 <sup>-3</sup>	N=2
Igarapé de inverno (baixões Paraíba)	5,79 (5,12 - 6,46) x 10 <sup>-3</sup>	N=2
Diante da oficina mecânica (Piririma)	< 10 <sup>-5</sup>	N=2
Próximo ao barracão de queima (Piririma)	8,58 x 10 <sup>-5</sup>	N=1

Assim como na região do rio Madeira, as taxas de metilação em amostras de água de superfície foram sempre inferiores ao limite de detecção (10<sup>-6</sup> %/ml/h), apesar da turbidez em alguns pontos de coleta.

As taxas de metilação em sedimentos observadas na região do rio do Rato e também no rio Tapajós foram compatíveis com aquelas anteriormente registradas na região do rio Madeira.

Observa-se nas Tabelas 13 e 14 que a metilação, embora apresente taxas variáveis, é detectável em todos os ambientes sedimentares amostrados ao longo das drenagens com ati-

dade garimpeira e no rio Tapajós. As taxas mais elevadas foram registradas nas camadas mais superficiais de sedimentos.

Os dados obtidos nas campanhas de amostragem não são suficientes para caracterizar variações sazonais da metilação, devido ao elevado dinamismo dos ambientes fluviais e à conseqüente dificuldade de amostrar sedimentos superficiais de forma reprodutível.

Os ensaios de metilação com diversos solos parecem confirmar que os sedimentos aquáticos são o ambiente preferencial da metilação de Hg, já que só foi detectada em solos inundáveis, como o de um igarapé de inverno, e em um solo de floresta adjacente ao igarapé Fé em Deus.

## 7. CONCLUSÕES

Como parte dos estudos desenvolvidos pelo CETEM/CNPq, durante os anos de 1992 e 1993, foram realizados no igarapé do Rato, região do médio Tapajós, com a participação de equipes de especialistas nas áreas de diagnóstico ambiental, estudos sociais e de saúde e ambiente. A presente publicação apresenta os resultados do grupo de estudos de diagnóstico ambiental.

Uma das observações imediatas do Grupo de Estudos de Diagnóstico Ambiental foi a forte impactação física do rio do Rato e dos seus principais igarapés afluentes, perceptível já nas primeiras incursões e que foi registrada pela documentação fotográfica. (Anexos)

Os parâmetros físico-químicos obtidos assinalam para o rio do Rato águas neutras ( $\text{pH} \approx 7,0$ ) e baixa salinidade (condutividade  $\approx 20 \mu\text{S}$ ). Na estiagem, quando a atividade garimpeira é mais intensa, a turbidez, provocada pelo material particulado suspenso gerado pelos garimpos através das mobilizações de solos e sedimentos, é elevada, atingindo valores de até 800 NTU. Os igarapés afluentes ao rio do Rato apresentam águas ácidas ( $\text{pH} \approx 5,5 - 6,5$ ), de coloração escura, denotando presença de matéria orgânica dissolvida, típica de drenagens na floresta.

Nos sedimentos amostrados, a concentração de mercúrio total na fração granulométrica argila ( $\leq 2\mu\text{m}$ ) apresentou valores médios 2,67 maiores que na fração argila-silte ( $\leq 742\mu\text{m}$ ). A concentração de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  na fração argila nos sedimentos do rio Tapajós é baixa (entre não-detectável até 0,1 ppm). As concentrações de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  nos sedimentos do rio do Rato também são baixas (variação entre 0,48 e 0,80 ppm), porém já apresentam concentrações alteradas em relação aos valores das amostras de perfis de sedimentos coletadas em profundidade de 15 - 20

cm ( $\approx 0,10$  ppm), assinalando ambiente em processo de poluição.

Nos igarapés, principalmente no igarapé Fé em Deus, onde a atividade garimpeira era mais intensa por ocasião dos estudos, a concentração de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  nos sedimentos é elevada, atingindo valores de até 10,59 ppm. Todos os valores encontrados são muito acima da média mundial de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  na crosta terrestre, de 0,4 ppm (Turekian & Wedepol, 1961) e maiores de 1,00 ppm, assinalando ambientes aquáticos poluídos, segundo a classificação de Prater e Anderson (1977).

A concentração de  $\text{Hg}_{\text{total}}$  nas amostras de material particulado em suspensão aumenta ao longo do curso do rio do Rato, ao receber as emissões dos diversos garimpos, variando entre 49 ppb (no km 75, próximo a sua nascente) e 234 (no km 20, próximo a sua afluência no rio Tapajós). Os dados assinalam a importância do material particulado suspenso, nos compartimentos aquáticos, como importante via de transporte do mercúrio emitido pelos garimpos.

As análises realizadas em amostras de ar, coletadas nas proximidades dos pontos de queima nos acampamentos garimpeiros Piririma e do Paraíba, superam em até centenas de vezes os valores máximos recomendados pela OMS, tanto para ambientes urbanos como para exposições por 8 horas em ambientes de trabalho.

Imediatamente no ponto de queima do Piririma, mesmo em momentos de não-operação da queima de amálgama, foi medida a concentração no ar de 9,89  $\text{mgHg}/\text{m}^3$ . Os vapores de mercúrio se propalam pelo ar e se acumulam nos barracos dos acampamentos, onde foram medidas concentrações de mercúrio no ar de até 1,14  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

Apesar da queima em pequenos barracos ao ar livre contribuir para minimizar a concentração do poluente no ar, não resolve os problemas de exposição profissional dos queimadores nem da poluição ambiental, como demonstram os resultados as-

sinalados. É necessário a intensificação dos esforços de divulgação do uso das retortas e dos seus benefícios para a preservação da saúde dos queimadores, diminuição das emissões ambientais, e, até mesmo, dos benefícios econômicos pela recuperação do mercúrio utilizado.

Através das análises de  $Hg_{total}$  em solos amostrados em diferentes distâncias dos pontos de queima de amálgama, observou-se que o mercúrio emitido pela queima se distribui preferencialmente na direção dominante dos ventos e apresenta deposição rápida, concentrando-se nos 300 metros imediatos ao ponto de queima.

Os dados obtidos assinalam concentrações de  $Hg_{total}$  nos solos de até 76,20 ppm, principalmente dentro e nas imediações da cabana utilizada para a queima de amálgama. Mas, também no interior de dormitórios, localizados próximos ao ponto de queima, foram constatadas concentrações de  $Hg_{total}$  nas amostras de solos de até 19,26 ppm.

Os resultados das análises de Hg total na biota amostrada assinalam que, das espécies de peixes amostradas, 66% das amostras dos peixes carnívoros apresentaram teores acima de 0,5 ppm, valor máximo recomendado pela Organização Mundial da Saúde para consumo humano (OMS, 1991). Os teores mais elevados foram encontrados nos peixes "cachorro" (1,40 ppm).

Os resultados assinalam um processo de contaminação, que é mais perceptível quando se compara os teores de  $Hg_{total}$  encontrados com os de peixes não-contaminados (0,2 ppm  $Hg_{total}$ ) de rios sem poluição de outras áreas da Amazônia.

Tomando-se esse valor como referência, verifica-se que 78% dos peixes amostrados, e, todos os espécimes carnívoros, apresentam teores de mercúrio total acima desta referência. A continuidade e magnitude dos processos de contaminação da biota, e suas decorrências para o homem da região, são de difícil previsão.

Além das análises de mercúrio total em peixes, efetuadas no Brasil, foram realizadas também análises de metilmercúrio em algumas amostras de peixes no *National Institute for Minamata Disease*, no Japão. Observou-se que o percentual de metilmercúrio na concentração de Hg total nas amostras é acima de 85%.

Os ensaios para a determinação do potencial de metilação indicaram taxas de metilação em amostras de água de superfície sempre inferiores ao limite de detecção ( $10^{-6}$  %/ml/h), apesar da turbidez em alguns pontos de coleta.

Nos sedimentos e solos da bacia do rio do Rato, as taxas potenciais de metilação apresentaram variação nos valores entre 1,5 e  $10 \times 10^{-3}$  %/h/g massa seca. Embora a metilação apresentasse taxas variáveis, é detectável em todos os ambientes sedimentares amostrados ao longo das drenagens com atividade garimpeira e no rio Tapajós. As taxas mais elevadas foram registradas nas camadas mais superficiais de sedimentos.

Os dados obtidos nas campanhas de amostragem não são suficientes para caracterizar variações sazonais da metilação, devido ao elevado dinamismo dos ambientes fluviais e à conseqüente dificuldade de amostrar sedimentos superficiais de forma reprodutível.

Os ensaios de metilação com diversos solos parecem confirmar que os sedimentos aquáticos são o ambiente preferencial da metilação de Hg, já que só foi detectada em solos inundáveis, como o de um igarapé de inverno, e em um solo de floresta adjacente ao igarapé Fé em Deus.

A metilação de Hg é um processo complexo e pouco conhecido, estudado principalmente em lagos de zonas temperadas.

Apesar de seu caráter preliminar, os dados aqui reportados reforçam indicações anteriores quanto à ocorrência de condi-

ções bastante favoráveis para a metilação de mercúrio nos sistemas aquáticos da região amazônica.

Finalmente, pode-se concluir, pelos dados apresentados, que as atividades garimpeiras têm causado forte impactação física nos ambientes aquáticos na bacia do rio do Rato.

A poluição ambiental com mercúrio é bastante acentuada nos sedimentos dos igarapés mais intensamente trabalhados pelos garimpos, mas também já se apresenta perceptível nos compartimentos aquáticos do rio do Rato.

A queima de amálgama apresenta pontos de alta poluição mercurial, com riscos imediatos de exposição tóxica para os trabalhadores envolvidos nos procedimentos de queima bem como para os ocupantes dos barracos nas imediações de até 100 metros de distância dos pontos de queima.

Existem ainda questões não totalmente respondidas, como, por exemplo, os níveis de transporte por via aquática e atmosférica pelas emissões pela queima de amálgama, bem como pelos rejeitos de amalgamação lançados nas drenagens.

## BIBLIOGRAFIA

- ANDRADE, J. C.; BUENO, M. I. M. S.; SOARES, P. V., & CHOUDHURI, A. 1988. The fate of mercury released from prospecting areas (Garimpos) near Guarinus and Pilar, Goiás (Brazil). *An. Acad. Brasil. Cienc.* 60, 293-303.
- CETEM/CNPq (1989). Desenvolvimento de Tecnologia Ambiental. Relatório anual. 210 p.
- CETEM/CNPq (1992). Diagnóstico preliminar dos impactos ambientais gerados por garimpos de ouro de Alta Floresta - Estudo de caso. 183 p.
- CLEARY, D. (1992). A Garimpagem de Ouro na Amazônia: Uma Abordagem Antropológica. EDURF, 237p.
- De PAULA, F.C., (1989). Geoquímica de sedimentos da bacia ocidental do rio Madeira, Rondônia. MSc. Th., Univ. Fed. Fluminense, Niterói, 71p.
- FARID, L.H.; MACHADO, J.E.B.; SILVA, A.O. (1990). Controle da emissão e recuperação de mercúrio em rejeitos de garimpo: uma experiência do Projeto Poconé. in: Simpósio Internacional de Estudos Ambientais em Floresta Tropical Úmida (Forest 90). Manaus. out. 1990. Anais.
- FERREIRA, R. H & APPEL, L. E. (1991) Fontes e usos de mercúrio no Brasil. Série Estudos e Documentos nº 13. CETEM/CNPq.
- FIBGE-Fundação Instituto Brasileiro De Geografia e Estatística (1990). Projeto Zoneamento das Potencialidades dos Recursos Naturais da Amazônia Legal. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais Rio de Janeiro, 212p.
- FURCH, K; JUNK, W. J. & KLINGE, H. (1982). Unusual chemistry of natural waters from the Amazon region. *Acta Cient. Venezuelana.* nº 33, p. 269-273.

- GALVÃO, L. A. C. & COREY, G. (1987). Mercúrio. Centro Panamericano de Ecologia Humana y Salud. OPS/OMS. Serie Vigilancia, nº 7.
- GUIMARÃES, J. R. D. (1992). Padronização de técnicas rádio-químicas visando estudo de metilação e volatilização do Hg em sistemas aquáticos de áreas de garimpo de ouro na região amazônica. Tese de Doutorado. Instituto de Biofísica Carlos Chagas da UFRJ. 109 pp. FINEP/CNPq/MS/IBAMA. Rio de Janeiro p: 70-79.
- HUMBLE, J. V. (1988). Modern Mercury Amalgamation Manual. Action Mining Services Co. Las Vegas.
- JUNK, W. J. & FURCH, K. 1980. Química da água e macrófitas aquáticas de rios e igarapés na Bacia Amazônica e nas áreas adjacentes. Parte 1. Acta Amazônica 10: 611-633.
- LINDBERG, S. E. & HARRIS, R. C. (1974). Mercury-organic matter associations in estuarine sediments and interstitial waters. Environm. Sci. Technol. nº 8, p. 459-462.
- MALM, O.; PFEIFFER, W. C.; BASTOS, W. R.; e SOUZA, C.M.M. (1989). Utilização do acessório de geração de vapor frio para análise de mercúrio em investigações ambientais por espectrofotometria de absorção atômica. Ciência e Cultura, v. 41 (1), p. 88-92.
- 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.
- MALM, O. (1990). Trace metals in fluvial sediments of the Madeira River watershed, Amazon, Brazil. *Acta Tot. Environm.* 97/98, p.525-530.
- MALM, O. (1991). Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do rio Madeira, Amazonas. Tese de Doutorado - UFRJ/Inst. Biofísica Carlos Chagas Filho. 4 p.
- MARINS, R. V.; IMBASSAY, J. A.; PFEIFFER, W. C. & BASTOS, W. R. (1991). Contaminação atmosférica de mercúrio em área produtora de ouro no distrito de Poconé, Mato Grosso. Proceedings. 1<sup>st</sup> Intern. Simp. Environm. Studies Tropical Forest. Manaus.
- MARTINELLI, L. A.; FERREIRA, J. R.; FORSBERG, B.R. (1988). Mercury contamination in the Amazon: A Gold rush consequence. *Ambio* nº 17, p. :252-254.
- PADBERG, S. (1990). Mercury determinations in samples from Tapajós (Itaituba): Relatório interno do Institut für Angewandte Physikalische Chemie. Jülich. Alemanha. 13p.
- PFEIFFER, W. C. & LACERDA, L. D. (1988). Mercury inputs into the Amazon region, Brazil. *Environmental Technology Letters*. Vol.9, pp 325-330.
- PRIESTER, M. e HENTSCHEL, T. (1992). Small-Scale Gold-Mining. Deutsches Zentrum für Entwicklungstechnologien -GATE. p. 56-66 .
- PFFEIFER, W. C.; LACERDA, L. D.; MALM, O; SOUZA, C. M. M; SILVEIRA, E. G & BASTOS, W.R. (1989). Mercury concentrations in inland waters of Rondonia. Amazon, Brazil. *Acta Tot. Environm.* 87/88, p. 233-240.
- RAMLAL, P. S.; RUDD, J. W. W. & HECKY, R. E. (1986). Methods for measuring specific rates of mercury methylation and degradation and their uses in determining factors controlling net rates of mercury methylation. *Appl. Environ. Microbiol.*, 110-114.
- RAMOS, J. F. F. & COSTA M. Q. (1991). Distribuição de mercúrio em dois garimpos do estado do Pará. In: Hacon, S.; Lacerda, L. D.; Pfeiffer, W. C. & Carvalho, D. (Eds). Riscos e conseqüências do uso do mercúrio.
- SALOMONS, W.; FORSTNER, U.(1984). Metals in the hydro-cycle. Berlin: Springer-Verlag. 349 p.
- SANTOS, J. F. (1984). O ouro laterítico do depósito de Jatobs-Mt. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE GEOLOGIA, 33. Anais. Rio de Janeiro. p. 4.012-4.023.
- SEVRYUKOV, K.; KUZMIN, B.; CHELISCHEV, Y. (1950). General metallurgy. Moscow: Peace Publishers. 545 p.

- SILVA, A. P.; SILVA, E. C.; FERREIRA, N. L. S.; SILVA, G. D.; PEDROSO, L. R. M.; PÁDUA, H. B.; VEIGA, M.M.; (1991). Estudos biogeoquímicos sobre o mercúrio em ambientes aquáticos de Poconé. in: Poconé: um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo. Série Tecnologia Ambiental, CETEM/CNPq, nº 1, p. 61-83.
- SILVA, A. P. & VEIGA, M. M. (1992). Mercúrio no garimpo de Poconé: mais um vilão tecnocrático. in: Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. CETEM-EDURF, P.43-48.
- SILVA, A.P. (1993). Coleta de amostras em solos, sedimentos e águas de ambientes impactados por mercúrio para monitoramento ambiental. in: Mercúrio em áreas de garimpo de ouro. Série Vigilância, n.12. OPAS (Organização Panamericana de Saúde), p. 99 - 105.
- SILVA, A. P.; RAMOS, A. J. L. A.; BASTOS, W. R. (1993). Mercury in particulate suspended sediments: a new sampling methodology. In: Perspectives for Environmental Geochemistry in Tropical Countries. Niterói. Proceedings, p. 449-451.
- SIOLI, H. (1950). Das Wasser in Amazongebiet. Forschung Fortschritt. nº 29, p.298-305.
- STUMM, W. & MORGAN, J. J. (1981). Aquatic Chemistry. 2ª ed. New York: John Wiley. 780 p.
- TAGGART, A. F. (1976). Handbook of mineral dressing, ores and industrial minerals. New York: John Wiley.
- TUREKIAN, K. K & WEDEPOL, K. H. (1961). Distribution of the elements in some major units of the earth's crust. Bull. Geol. Soc. Am., v. 72, p. 175-192.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1976. **Mercury**. Geneva. Environmental Health Criteria. nº1, 131 p.
- WHO - WORLD HEALTH ORGANIZATION, 1991. **Inorganic Mercury**. Geneva. Environmental Health Criteria 118.
- WOOD, J. M. (1971). Environmental pollution by mercury. Advances Environ. Aci. Technol. 2, 39-56.

- WREN, C.D.; MacCRIMMON, H.R.(1983). Mercury levels in sunfish, *lepomis gibbosus*, relativ to pH on the environment variables of Precambrian Shield lakes. Can.J. Fish. Aquat. Aci., v. 40, p. 1737-1744.
- ZÜLLIG, H. (1965). Sedimente als Ausdruck des Zustandes eines Gewassers. Schweiz. Z. Hydrologie. 11, 7-143 pp.

## 9. ANEXOS



Foto 1 - Vista aérea do garimpo Piririma e a impactação causada pelas atividades garimpeiras no leito do rio do Rato

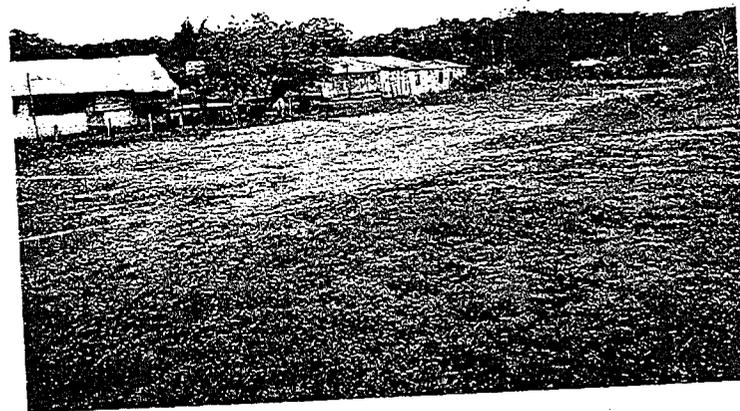


Foto 2 - Acampamento do garimpo Piririma

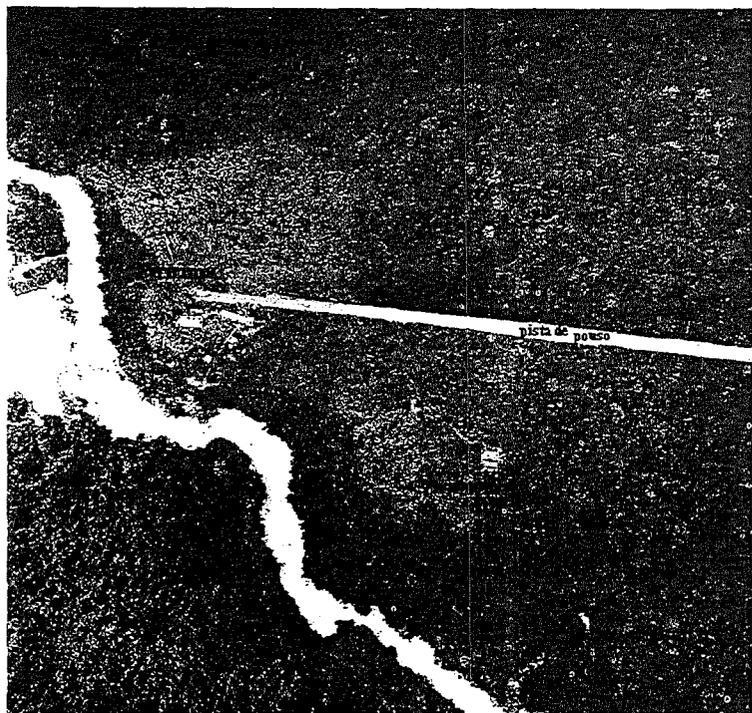


Foto 3 - Foto aérea do acampamento do garimpo Piririma, com visão da pista de pouso e da base de estudos instalada pelo CETEM

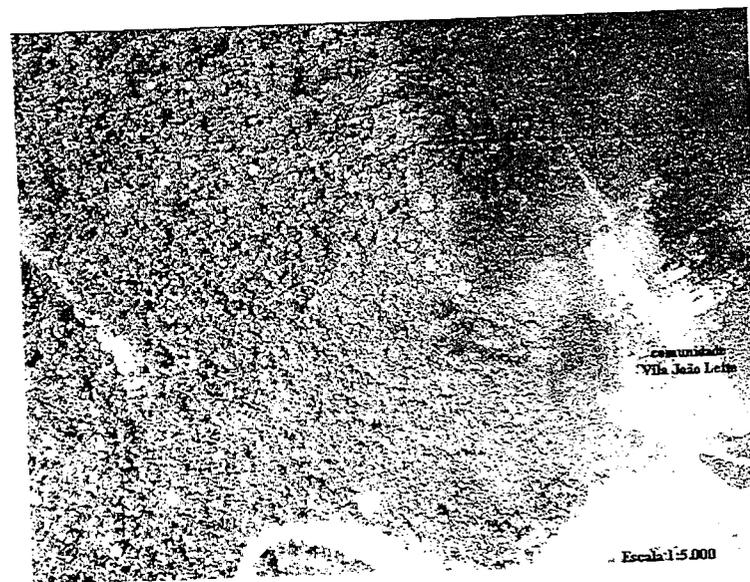


Foto 4 - Comunidade garimpeira Vila João Leite



Foto 5 - Leito trabalhado pelo garimpo no igarapé Fé em Deus

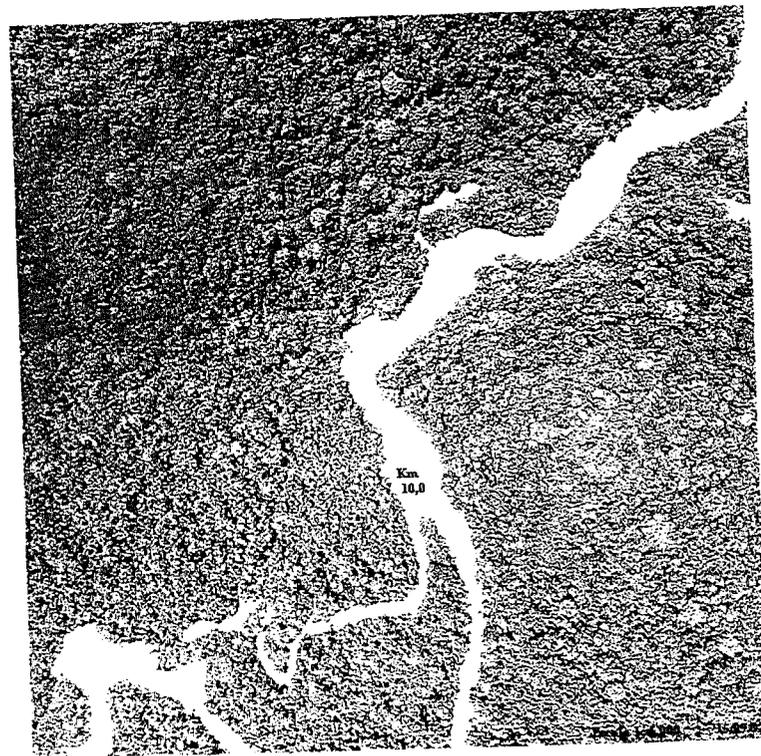


Foto 6 - Rio do Rato. A 10 km do rio Tapajós, próximo ao garimpo do Paraíba



Foto 7 - Afluência do rio do Rato no rio Tapajós com visão da ilha Mangabal

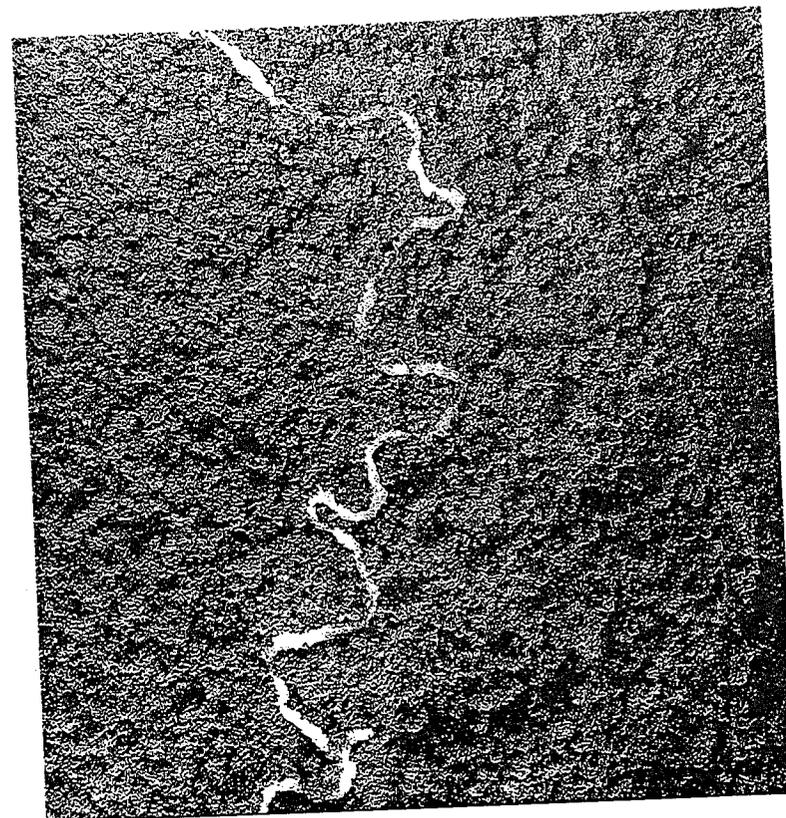


Foto 8 - Rio do Rato próximo às suas nascentes, sem grande impactação física visível



Foto 9 - Avião Cessna utilizado no levantamento aerofotográfico

**TECNOLOGIA  
MINERAL**

**CONCENTRAÇÃO DE  
MINÉRIOS DE TERRAS-  
RARAS: UMA REVISÃO**

73

Elbert Valdiviezo Vieira  
Fernando Freitas Lins

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE  
TECNOLOGIA MINERAL**

1. Flotação de Carvão: Estudos em Escala de Bancada - Antonio R. de Campos, Salvador L. M. de Almeida e Amílcar T. dos Santos, 1979. (esgotado)
2. Beneficiamento de Talco: Estudos em Escala de Bancada - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
3. Beneficiamento de Talco: Estudos em Usina Piloto - Nelson T. Shimabukuro, Carlos Adolpho M. Baltar e Francisco W. Hollanda Vidal, 1979. (esgotado)
4. Flotação de Cianita da Localidade de Boa Esperança (MG) - Ivan O. de Carvalho Masson e Tulio Herman A. Luco, 1979. (esgotado)
5. Beneficiamento de Diatomito do Ceará - José A. C. Sobrinho e Adão B. da Luz, 1979. (esgotado)
6. Eletrorecuperação de Zinco: uma Revisão das Variáveis Influentes - Roberto C. Villas Bôas, 1979. (esgotado)
7. Redução da Gipsita com Carvão Vegetal - Ivan O. de Carvalho Masson, 1980. (esgotado)
8. Beneficiamento do Diatomito de Canaveira do Estado do Ceará - Franz Xavier H. Filho e Marcello M. da Veiga, 1980. (esgotado)
9. Moagem Autógena de Itabirito em Escala Piloto - Hedda Vargas Figueira e João Alves Sampaio, 1980. (esgotado)
10. Flotação de Minério Oxidado de Zinco de Baixo Teor - Carlos Adolpho M. Baltar e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
11. Estudo dos Efeitos de Corrente de Pulso Sobre o Eletrorefino de Prata - Luiz Gonzaga dos S. Sobral, Ronaldo Luiz C. dos Santos e Delfin da Costa Laureano, 1980. (esgotado)
12. Lixiviação Bacteriana do Sulfeto de Cobre de Baixo Teor Caraíba - Vicente Paulo de Souza, 1980. (esgotado)
13. Flotação de Minérios Oxidados de Zinco: uma Revisão de Literatura - Carlos Adolpho M. Baltar, 1980. (esgotado)
14. Efeito de Alguns Parâmetros Operacionais no Eletrorefino do Ouro - Marcus Granato e Roberto C. Villas Bôas, 1980. (esgotado)
15. Flotação de Carvão de Santa Catarina em Escala de Bancada e Piloto - Antonio R. de Campos e Salvador L. M. de Almeida, 1981. (esgotado)
16. Aglomeração Seletiva de Finos de Carvão de Santa Catarina: Estudos Preliminares - Lauro Santos N. da Costa, 1981. (esgotado)
17. Briquetagem e a sua Importância para a Indústria - Walter Shinzel e Regina Célia M. da Silva, 1981. (esgotado)
18. Aplicação de Petrografia no Beneficiamento de Carvão por Flotação - Ney Hamilton Porphírio, 1981. (esgotado)
19. Recuperação do Cobre do Minério Oxidado de Caraíba por Extração por Solventes em Escala Semipiloto - Ivan O. C. Masson e Paulo Sérgio M. Soares, 1981. (esgotado)
20. Dynawhirlpool (DWP) e sua Aplicação na Indústria Mineral - Hedda Vargas Figueira e José Aury de Aquino, 1981. (esgotado)

21. Flotação de Rejeitos Finos de Scheelita em Planta Piloto - José Farias de Oliveira, Ronaldo Moreira Horta e João Alves Sampaio, 1981. (esgotado)
22. Coque de Turfa e suas Aplicações - Regina Célia M. da Silva e Walter Schinzel, 1982.
23. Refino Eletrolítico de Ouro, Processo Wohlwill - Juliano Peres Barbosa e Roberto C. Villas Bôas, 1982. (esgotado)
24. Flotação de Oxidados de Zinco: Estudos em Escala Piloto - Adão Benvindo da Luz e Carlos Adolpho M. Baltar, 1982.
25. Dosagem de Ouro - Luiz Gonzaga S. Sobral e Marcus Granato, 1983.
26. Beneficiamento e Extração de Ouro e Prata de Minério Sulfetado - Márcio Torres M. Penna e Marcus Granato, 1983.
27. Extrações por Solventes de Cobre do Minério Oxidado de Caraíba - Paulo Sérgio M. Soares e Ivan O. de Carvalho Masson, 1983.
28. Preparo Eletrolítico de Solução de Ouro - Marcus Granato, Luiz Gonzaga S. Sobral, Ronaldo Luiz C. Santos e Delfin da Costa Laureano, 1983. (esgotado)
29. Recuperação de Prata de Fixadores Fotográficos - Luiz Gonzaga dos Santos Sobral e Marcus Granato, 1984. (esgotado)
30. Amostragem para Processamento Mineral - Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1984. (esgotado)
31. Indicador de Bibliotecas e Centros de Documentação em Tecnologia Mineral e Geociências do Rio de Janeiro - Subcomissão Brasileira de Documentação em Geociências - SBDG, 1984.
32. Alternativa para o Beneficiamento do Minério de Manganês de Urucum, Corumbá-MS - Lúcia Maria Cabral de Góes e Silva e Lélío Fellows Filho, 1984.
33. Lixiviação Bacteriana de Cobre de Baixo Teor em Escala de Bancada - Teresinha R. de Andrade e Francisca Pessoa de França, 1984.
34. Beneficiamento do Calcário da Região de Cantagalo-RJ. - Vanilda Rocha Barros, Hedda Vargas Figueira e Rupen Adamian, 1984.
35. Aplicação da Simulação de Hidrociclones em Circuitos de Moagem - José Ignácio de Andrade Gomes e Regina C. C. Carriso, 1985. (esgotado)
36. Estudo de um Método Simplificado para Determinação do "Índice de Trabalho" e sua Aplicação à Remoagem - Hedda Vargas Figueira, Luiz Antonio Pretti e Luiz Roberto Moura Valle, 1985. (esgotado)
37. Metalurgia Extrativa do Ouro - Marcus Granato, 1986. (esgotado)
38. Estudos de Flotação do Minério Oxidado de Zinco de Minas Gerais - Francisco W. Hollanda Vidal, Carlos Adolpho M. Baltar, José Ignácio de A. Gomes, Leonardo A. da Silva, Hedda Vargas Figueira, Adão B. da Luz e Roberto C. Villas Bôas, 1987.
39. Lista de Termos para Indexação em Tecnologia Mineral - Vera Lúcia Vianna de Carvalho, 1987.
40. Distribuição de Germânio em Frações Densimétricas de Carvões - Luiz Fernando de Carvalho e Valéria Conde Alves Moraes, 1986.
41. Aspectos do Beneficiamento de Ouro Aluvionar - Fernando A. Freitas Lins e Leonardo A. da Silva, 1987. (esgotado)
42. Estudos Tecnológicos para Aproveitamento da Atapulgita de Guadalupe-PI - Adão B. da Luz, Salvador L. M. de Almeida e Luciano Tadeu Silva Ramos, 1988.
43. Tratamento de Efluentes de Carvão Através de Espessador de Lamelas - Francisco W. Hollanda Vidal e Franz Xaver Horn Filho, 1988.
44. Recuperação do Ouro por Amalgamação e Cianetação: Problemas Ambientais e Possíveis Alternativas - Vicente Paulo de Souza e Fernando A. Freitas Lins, 1989. (esgotado)

45. Geopolítica dos Novos Materiais - Roberto C. Villas Bôas, 1989. (esgotado)
46. Beneficiamento de Calcário para as Indústrias de Tintas e Plásticos - Vanilda da Rocha Barros e Antonio R. de Campos, 1990. (esgotado)
47. Influência de Algumas Variáveis Físicas na Flotação de Partículas de Ouro - Fernando A. Freitas Lins e Rupen Adamian, 1991.
48. Caracterização Tecnológica de Caulim para a Indústria de Papel - Rosa Malena Fernandes Lima e Adão B. da Luz, 1991.
49. Amostragem de Minérios - Maria Alice C. de Goes, Mário V. Possa e Adão B. da Luz, 1991.
50. Design of Experiments in Planning Metallurgical Tests - Roberto C. Villas Bôas, 1991. (esgotado)
51. Eletrorecuperação de Ouro a partir de Soluções Diluídas de seu Cianeto - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
52. Talco do Paraná - Flotação em Usina Piloto - Salvador Luiz M. de Almeida, Adão B. da Luz e Ivan F. Pontes, 1991.
53. Os Novos Materiais e a Corrosão - Roberto C. Villas Bôas, 1991.
54. Aspectos Diversos da Garimpagem de Ouro - Fernando Freitas Lins (coord.), José Cunha Cotta, Adão B. da Luz, Marcello M. da Veiga, Fernando Freitas Lins, Luiz Henrique Farid, Márcia Machado Gonçalves, Ronaldo Luiz C. dos Santos, Maria Laura Barreto e Irene C. M. H. Medeiros Portela, 1992. (esgotado)
55. Concentrador Centrífugo - Revisão e Aplicações Potenciais - Fernando Freitas Lins, Lauro S. Norbert Costa, Oscar Cuéllar Delgado, Jorge M. Alvares Gutierrez, 1992. (esgotado)
56. Minerais Estratégicos: Perspectivas - Roberto C. Villas Bôas, 1992. (esgotado)
57. O Problema do Germânio no Brasil - Roberto C. Villas Bôas, Maria Dionísia C. dos Santos e Vicente Paulo de Souza, 1992.
58. Caracterização Tecnológica do Minério Aurífero da Mineração Casa de Pedra-Mato Grosso - Ney Hamilton Porfírio e Fernando Freitas Lins, 1992.
59. Geopolitics of the New Materials: The Case of the Small Scale Mining and New Materials Developments - Roberto C. Villas Bôas, 1992. (esgotado)
60. Degradação de Cianetos por Hipoclorito de Sódio - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1992.
61. Paládio: Extração e Refino, uma Experiência Industrial - Luís Gonzaga S. Sobral, Marcus Granato e Roberto B. Ogando, 1992.
62. Desempenho de Ciclones e Hidrociclones - Giulio Massarani, 1992.
63. Simulação de Moagem de Talco Utilizando Seixos - Regina Coeli C. Carriso e Mário Valente Possa, 1993.
64. Atapulgita do Piauí para a Indústria Farmacêutica - José Pereira Neto, Salvador L. M. de Almeida e Ronaldo de Miranda Carvalho, 1993.
65. Caulim: um mineral industrial importante - Adão B. da Luz e Eduardo C. Damasceno, 1993.
66. Química e Tecnologia das Terras-Raras - Alcídio Abrão, 1994.
67. Tiouréia e Bromo como Lixiviantes Alternativos à Cianetação do Ouro. Roberto de Barros E. Trindade, 1994.
68. Zeólitas: Propriedades e Usos Industriais - Adão Benvindo da Luz, 1994.
69. Caracterização Tecnológica de Lascas de Quartzo - Marília Inês Mendes Barbosa e Ney Hamilton Porfírio, 1994.
70. Froth Flotation: Relevant Facts and the Brazilian Case - Armando Corrêa de Araújo e Antônio Eduardo Clarck Peres, 1995.
71. Uma revisão da Síntese de Pós Cerâmicos Via Alcóxidos - Estudo de Caso: alcóxidos de Terras-Raras - Plínio Eduardo Praes e Maurício Moutinho da Silva, 1995.
72. Bleaching of Brazilian Kaolins by using Organic Acids and Fermented Medium - Luciana Maria S. de Mesquita, Terezinha Rodrigues e Sandro de S. Gomes, 1996.

**PROJETO ITAITUBA:  
PROGRAMA DE  
DESENVOLVIMENTO DE  
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

**18** *Alexandre Pessoa da Silva*

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE  
TECNOLOGIA AMBIENTAL**

1. Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo - Marcello M. da Veiga, Francisco R. C. Fernandes, Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Antônio Odilon da Silva, Luís Drude de Lacerda, Alexandre Pessoa da Silva, Edinaldo de Castro e Silva, Evaldo F. de Oliveira, Gercino D. da Silva, Hélcias B. de Pádua, Luiz Roberto M. Pedroso, Néelson Luiz S. Ferreira, Salette Kiyoka Ozaki, Rosane V. Marins, João A. Imbassahy, Wolfgang C. Pfeiffer, Wanderley R. Bastos e Vicente Paulo de Souza (2ª edição), 1991. (esgotado)

2. Diagnóstico Preliminar dos Impactos Ambientais Gerados por Garimpos de Ouro em Alta Floresta/MT: Estudo de Caso (versão Português/Inglês) - Luiz Henrique Farid, José Eduardo B. Machado, Marcos P. Gonzaga, Saulo R. Pereira Filho, André Eugênio F. Campos, Néelson S. Ferreira, Gersino D. Silva, Carlos R. Tobar, Volney Câmara, Sandra S. Hacon, Diana de Lima, Vangil Silva, Luiz Roberto M. Pedroso, Edinaldo de Castro e Silva, Laís A. Menezes, 1992.

3. Mercúrio na Amazônia: Uma Bomba Relógio Química? - Luis Drude Lacerda e Win Salomons, 1992. (esgotado)

4. Estudo dos Impactos Ambientais Decorrentes do Extrativismo Mineral e Poluição Mercurial no Tapajós - Pré-Diagnóstico - Rita Maria Rodrigues et al., 1994.

5. Utilização do Aguapé no Tratamento de Efluentes com Cianetos - Marcus Granato, 1995.

6. Are Tropical Estuaries Environmental Sinks or Sources? - Egbert K. Duursma, 1995.

7. Assessment of the Heavy Metal Pollution in a Gold "Garimpo" - Saulo Rodrigues Filho and John Edmund L. Maddock, 1995.

8. Instrumental Multielement Analysis in Plant Materials - A Modern Method in Environmental Chemistry and Tropical Systems Research - Bernd Market, 1995.

9. Heavy Metals in Estuarine Sediments: Mangrove Swamps of the Subaé and Paraguaçu Tributary Rivers of Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil - J. F. Paredes, A. F. S. Queiroz, I. G. Carvalho, M. A. S. B. Ramos, A. L. F. Santos e C. Mosser, 1995.

10. Metais Pesados nas Sub-bacias Hidrográficas de Poconé e Alta Floresta - Saulo Rodrigues Pereira Filho, 1995.

11. Diagnóstico Ambiental das Áreas Submetidas à Garimpagem de Ouro em Rio Preto - MG - Antonio José L. de A. Ramos e Saulo Rodrigues Pereira Filho, 1996.

12. Batch and Continuous Heavy Metals Biosorption by a Brown Seaweed - Antonio Carlos A. da Costa, Luciana Maria S. de Mesquita e João Tomovsky, 1996.

13. Emissões de Mercúrio na Queima de Amálgama: estudo da contaminação de ar, solos e poeira em Poconé, MT - Alexandre Pessoa da Silva, Volney Câmara, Osmar da Cruz N. Nascimento, Lázaro J. Oliveira, Edinaldo C. Silva, Fátima Piveta e Paulo R. G. e Barrocas, 1996.

14. Desativação de Minas - Adão Benvindo da Luz e Eduardo Camilher Damasceno, 1996.

15. Determinação Potenciométrica de Cianetos em Efluentes de Mineração - Rozane Valente Marins, 1997

16. Transport of Toxic Chemicals Through Soils: an environmental challenge for the mining industry - Ricardo Melamed, 1997.

17. An Emerging Biotechnology for Metal Containing Waste Water Treatment - Antonio Carlos Augusto da Costa, 1997.

**COMPETITIVIDADE  
INDUSTRIAL:  
O CASO DO SETOR  
METALÚRGICO**

**12** *Heloisa V. de Medeiros*

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE  
QUALIDADE E PRODUTIVIDADE**

1. Qualidade na Formulação de Misturas - Roberto C. Villas Bôas, 1992. (esgotado)

2. La Importância del Método em la Investigación Tecnológica - Roberto C. Villas Bôas, 1992.

3. Normalización Minerometalúrgica e Integración Latinoamericana - Rômulo Genuíno de Oliveira, 1993.

4. A Competitividade da Indústria Brasileira de Alumínio: Avaliação e Perspectivas - James M. G. Weiss, 1993. (esgotado)

5. O Gerenciamento Ambiental: Estudo de Caso de C. de C. Empresas de Mineração no Brasil - José Antônio Parizotto, 1995.

6. Situação Atual e Perspectivas da Indústria Mineral no Brasil - Ulysses Rodrigues de Freitas, 1995.

7. The Profile of the Brazilian Mining Professionals - Arthur Pinto Chaves, 1995.

8. Certification and Use of Reference Materials - Maria Alice C. de Goes, 1995.

9. Arranjos Ortogonais de Taguchi: os  $L_n(2^k)$  - Roberto C. Villas Bôas, 1996.

10. Notas Sobre o Laboratório da Produção Mineral: LPM/DNPM - Hedda Vargas de O. Figueira, 1996.

11. O Setor Mineral-Metalúrgico Brasileiro e a Tecnologia Industrial Básica: resultados de uma pesquisa de campo - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1996.

**ATIVIDADES GARIMPEIRAS NO BRASIL:**  
ASPECTOS TÉCNICOS, ECONÔMICOS E SOCIAIS

Jocy Gonçalo de Miranda  
Moacir Cipriani  
Raimundo Augusto C. Mártins  
Wagner José Gleasoni

MCT CNPq CETEM

**NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE ESTUDOS E DOCUMENTOS**

1. Quem é Quem no Subsolo Brasileiro - Francisco R. C. Fernandes, Ana Maria B. M. da Cunha, Maria de Fátima Faria dos Santos, José Raimundo Coutinho de Carvalho e Maurício Lins Arcoverde, (2ª edição) 1987. (esgotado)

2. A Política Mineral na Constituição de 1967 - Ariadne da Silva Rocha Nodari, Alberto da Silva Rocha, Marcos Fábio Freire Montysuma e Luis Paulo Schance Heler Giannini, (2ª edição) 1987.

3. Mineração no Nordeste - Depoimentos e Experiências - Manuel Correia de Andrade, 1987. (esgotado)

4. Política Mineral do Brasil - Dois Ensaio Críticos - Osny Duarte Pereira, Paulo César Ramos de Oliveira Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

5. A Questão Mineral da Amazônia - Seis Ensaio Críticos - Francisco R. C. Fernandes, Roberto Gama e Silva, Wanderlino Teixeira de Carvalho, Manuela Carneiro da Cunha, Breno

Augusto dos Santos, Armando Álvares de Campos Cordeiro, Arthur Luiz Bernardelli, Paulo César de Sá e Maria Isabel Marques, 1987. (esgotado)

6. Setor Mineral e Dívida Externa - Maria Clara Couto Soares, 1987.

7. Constituinte: A Nova Política Mineral - Gabriel Guerreiro, Octávio Elísio Alves de Brito, Luciano Galvão Coutinho, Roberto Gama e Silva, Alfredo Ruy Barbosa, Hildebrando Hermann e Osny Duarte Pereira, 1988. (esgotado)

8. A Questão Mineral na Constituição de 1988 - Fábio S. Sá Earp, Carlos Alberto K. de Sá Earp e Ana Lúcia Villas-Bôas, 1988. (esgotado)

9. Estratégia dos Grandes Grupos no Domínio dos Novos Materiais - Paulo Sá, 1989. (esgotado)

10. Política Científica e Tecnológica no Japão, Coreia do Sul e Israel. - Abraham Benzaquen Sicsú, 1989. (esgotado)

11. Legislação Mineral em Debate - Maria Laura Barreto e Gildo Sá Albuquerque (organizadores), 1990. (esgotado)

12. Ensaio Sobre a Pequena e Média Empresa de Mineração - Ana Maria B. M. da Cunha (organizadora) 1991. (esgotado)

13. Fontes e Usos de Mercúrio no Brasil - Rui C. Hasse Ferreira e Luiz Edmundo Appel, (2ª edição) 1991.

14. Recursos Minerais da Amazônia - Alguns Dados Sobre Situação e Perspectivas - Francisco R. C. Fernandes e Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, 1991. (esgotado)

15. Repercussões Ambientais em Garimpo Estável de Ouro - Um Estudo de Caso - Irene C. de M. H. de Medeiros Portela, (2ª edição) 1991.

16. Panorama do Setor de Materiais e suas Relações com a Mineração: Uma Contribuição para Implementação de Linhas de P & D - Marcello M. Veiga e José Octávio Armani Pascoal, 1991.

17. Potencial de Pesquisa Química nas Universidades Brasileiras - Peter Rudolf Seidl, 1991.

18. Política de Aproveitamento de Areia no Estado de São Paulo: Dos Conflitos Existentes às Compatibilizações Possíveis - Hildebrando Hermann, 1991.

19. Uma Abordagem Crítica da Legislação Garimpeira: 1967-1989 - Maria Laura Barreto, 1993. (esgotado)

20. Some Reflections on Science in the Low-Income Economies - Roald Hoffmann, 1993. (esgotado)

21. Terras-raras no Brasil: depósitos, recursos identificados e reservas - Francisco Eduardo de V. Lápido Loureiro, 1994.

22. Aspectos Tecnológicos e Econômicos da Indústria de Alumínio, Marisa B. de Mello Monte e Rupen Adamian, 1994

23. Indústria Carbonífera Brasileira: conveniência e viabilidade - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1995.

24. Carvão Mineral: Aspectos Gerais e Econômicos - Regina Coeli C. Carrisso e Mário Valente Possa, 1995.

25. "Sustainable Development: materials technology and industrial development in Brazil" - Roberto C. Villas Bôas, 1995.

26. Minerais e Materiais Avançados - Heloísa Vasconcellos de Medina e Luis Alberto Almeida Reis, 1995.

27. Poluição Mercurial: parâmetros técnico-jurídicos - Maria Laura Barreto e Anna Christiana Marinho, 1995.

28. Aspectos Técnicos e Econômicos do Setor de Rochas Ornamentais - Cid Chiodi Filho, 1995.

29. Mineração e Desenvolvimento Econômico: a questão nacional nas estratégias de desenvolvimento do setor mineral (1930-1964), Vol. I - Ana Lucia Villas-Bôas, 1995.

29. Mineração e Desenvolvimento Econômico: o projeto nacional no contexto da globalização (1964-1994), Vol. II - Ana Lúcia Villas-Bôas, 1995.

30. Elementos Estratégicos e Geopolíticos da Evolução Recente dos Materiais - Sarita Albagli, 1996.

31. A Produção de Fosfato no Brasil: uma apreciação histórica das condicionantes envolvidas - Gildo de A. Sá C. de Albuquerque, 1996.

32. Pequena Empresa: a base para o desenvolvimento da mineração nacional - Gilson Ezequiel Ferreira, 1996.

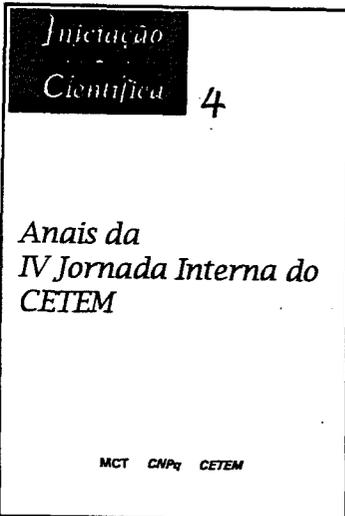
33. Gestão Ambiental: uma avaliação das negociações para a implantação da ISO 14.000 - Gisela A. Pires, do Rio, 1996.

34. Guias Prospectivos para Mineralizações em Rochas Granitoides - Cid Chiodi Filho, 1997.

35. Política e Administração da Exploração e Produção de Petróleo - Luiz Augusto Milani Martins, 1997.

36. Quartzo: efeitos da tecnologia sob sua demanda - Adão Benvindo da Luz e Eliezer Bras, 1997.

37. Magnesita: aspectos tecnológicos e econômicos - Mario Valente Possa e Eduardo Camilher Damasceno, 1997.



NÚMEROS PUBLICADOS NA SÉRIE  
INICIAÇÃO CIENTÍFICA

1. Anais da I Jornada Interna do CETEM, 1994.
2. Anais da II Jornada Interna do CETEM, 1995.
3. Anais da III Jornada Interna do CETEM, 1996

PUBLICAÇÕES AVULSAS EDITADAS PELO CETEM OU EM CO-EDIÇÃO

1. Programação Trienal: 1989/1991. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989.
2. Manual de Usinas e Beneficiamento. Editor: Adão Benvindo da Luz, Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1989. (esgotado)
3. Garimpo, Meio Ambiente e Sociedades Indígenas. Organizadores: Lívia Barbosa, Ana Lúcia Lobato, José Augusto Drummond (CETEM/CNPq/EDUFF), 1992. (esgotado)
4. Programação Trienal: 1992/1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq).
5. Impactos Ambientais. Editores: H. Rattner (SPRU/USP/CNPq), 1993.
6. Relatório de Atividades de 1993. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1994.
7. Programação Trienal: 1995/1997. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.
8. Relatório Anual de Atividades 1994. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995. (esgotado)
9. 2<sup>nd</sup> Swedish-Brazilian Workshop on Mineral Technology. Editores: Eric Forssberg and Roberto C. Villas Bôas, (CETEM/CNPq/LULEÅ/EPUSP), 1995. (esgotado)
10. Tratamento de Minério. Editores: Adão B. da Luz, Lauro N. Costa, Mário Valente Possa e Salvador Luiz M. de Almeida, (CETEM/CNPq), 1995. (esgotado)
11. Sustainable Development and the Advanced Materials: The Brazilian Case. Editor: Roberto C. Villas Bôas (IDRC/CRDI - CETEM/CNPq), 1995.
12. The Future of Extractive Metallurgy. Editor: Roberto C. Villas Bôas, (Laval/CETEM), 1996.
13. Relatório Anual de Atividades. Centro de Tecnologia Mineral (CETEM/CNPq), 1995.

---

Pedidos ao

CETEM / CNPq - Centro de Tecnologia Mineral

Biblioteca

Rua 4 - Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão

21949-590 - Rio de Janeiro - RJ - Brasil

Solicita-se permuta

We ask for interchange

---