

AB ENCADERNACOES  
RUA ESMERALDA, 550 PRADO  
BELO HORIZONTE MG  
TELEFAX - 334 80 75

**Paulo Lucas Cota**

**REDUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO MERCURIAL  
EM ÁREAS DE GARIMPO DE OURO**

**Desenvolvimento de uma alternativa tecnológica**

**Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado em  
Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da  
Escola de Engenharia da Universidade Federal de  
Minas Gerais, como parte dos requisitos necessários  
para a obtenção do título de Mestre em Ciências.**

**Área de concentração : Meio Ambiente** ©

**Orientador: Dr. Celso de Oliveira Loureiro, Ph. D.**

**Belo Horizonte  
Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais  
Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental**

**1997**



**ESCOLA DE ENGENHARIA**

**MESTRADO EM SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS**

**ATA DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE PAULO LUCAS COTA**

NÚMERO REGISTRO : 79ª

Às 14:00 horas do dia 24 do mês de novembro de 1997, reuniu-se na Escola de Engenharia da UFMG a Comissão Examinadora de DISSERTAÇÃO, indicada pelo Colegiado do Curso de Mestrado em SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS, para julgar, em exame final, o trabalho final intitulado:

**"REDUÇÃO DA CONTAMINAÇÃO MERCURIAL EM ÁREAS DE GARIMPO DE OURO"**  
(Desenvolvimento de uma alternativa tecnológica)

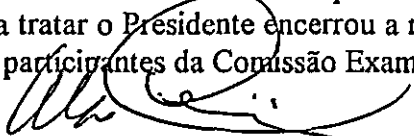
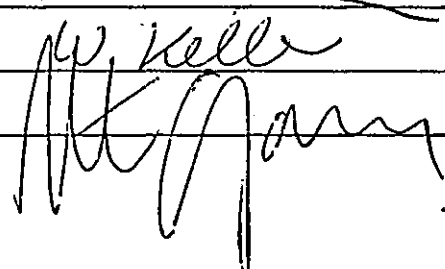
requisito parcial para a obtenção do Grau de MESTRE em SANEAMENTO, MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS. Área de Concentração: MEIO AMBIENTE

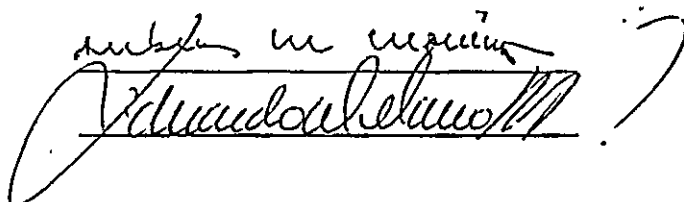
Abrindo a sessão, o Orientador, Prof. Celso de Oliveira Loureiro, após dar a conhecer aos presentes o teor das Normas Regulamentares do Trabalho Final, passou a palavra ao candidato, para apresentação de seu trabalho. Seguiu-se a arguição pelos examinadores, com a respectiva defesa pelo candidato. Logo após, a Comissão se reuniu, sem a presença do candidato e do público, para julgamento e expedição do resultado final. Foram atribuídas as seguintes indicações:

Prof. <u>Celso de Oliveira Loureiro</u>	Instituição <u>DESA/UFMG</u>	Indicação <u>aprovado</u>
Prof. <u>Wilfrid Keller Schwabe</u>	Instituição <u>DESA/UFMG</u>	Indicação <u>aprovado</u>
Prof. <u>Eduardo Delano Leite Ribeiro</u>	Instituição <u>DESA/UFMG</u>	Indicação <u>aprovado</u>
Prof. <u>Alarico Antônio Cristino Jácomo</u>	Instituição <u>UNB/IBAMA</u>	Indicação <u>aprovado</u>
Prof. <u>Rubens Martins Moreira</u>	Instituição <u>CDTN/CNEN</u>	Indicação <u>aprovado</u>

Pelas indicações, o candidato foi considerado APROVADO, devendo proceder a algumas alterações no trabalho, para a sua edição definitiva, a ser entregue no prazo de 01 meses.

O resultado final foi comunicado publicamente ao candidato pelo Presidente da Comissão. Nada mais havendo a tratar o Presidente encerrou a reunião e lavrou a presente ATA, que será assinada por todos os membros participantes da Comissão Examinadora. Belo Horizonte, 24 de novembro de 1997.



# **BANCA EXAMINADORA**

**Professor Dr. CELSO DE OLIVEIRA LOUREIRO**

DESA-UFMG - Orientador

**Professor Dr. ALARICO ANTÔNIO CRISTINO JÁCOMO**

UNB/IBAMA-DF

**Professor Dr. WILFRID KELLER SCHWABE**

DESA-UFMG

**Professor Dr. RUBENS MARTINS MOREIRA**

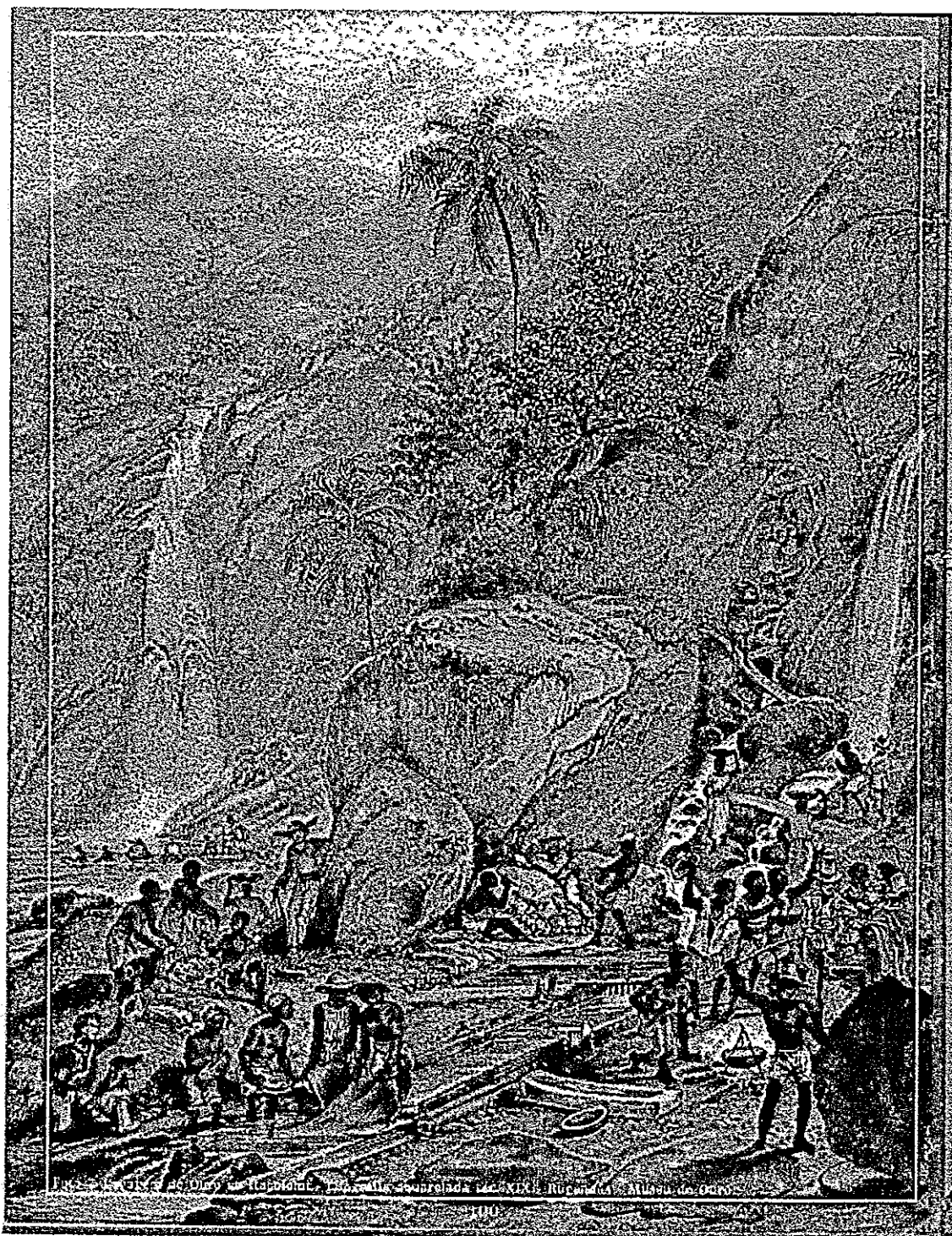
UFMG/CNEN-CDTN

**Professor M.Sc. EDUARDO DELANO LEITE RIBEIRO**

DESA-UFMG

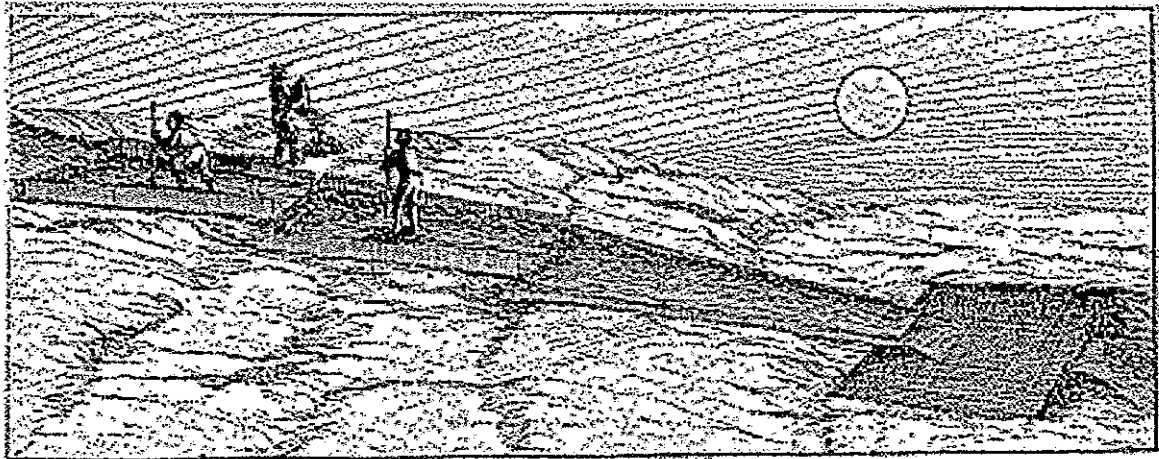
**Belo Horizonte, Minas Gerais, Brasil**

**Novembro de 1997**



*Exploração de ouro realizada no Século XIX (Rugendas, Museu do Ouro).*

*No detalhe, escravos retirando o "tecido" usado para reter o ouro, no plano inclinado. Este processo é similar ao que hoje se emprega na maioria dos garimpos do Brasil.*



*Exploração de ouro – Gravura do Século XIX*  
*Canoas superpostas (Reprodução de desenho de Von Eschwege)*



*“Mineradores”*  
*(Cândido Portinari, 1941)*

sono stato infermato  
per il mercurio e per  
l'ipertensione

*Caligrafia de um operário italiano que trabalhava em uma mina de mercúrio, apresentando fortes "tremores no corpo". Um dos sinais ou sintomas visíveis em pessoas com mercurialismo*

*(OBERHANSLI, R., 1995).*

*"Deus perdoa sempre!*

*O homem, de vez em quando.*

*A natureza, nunca!*

*Cedo ou tarde, esta se vingará do que fizemos contra ela!*

*Ditado popular*

*... em memória ao meu saudoso pai Rômulo, grande engenheiro e psicólogo, por natureza.*

*À minha querida mãe, Lourdes. Serena, dedicada e de muita fé.*

*À minha adorável família: Carla, Bianca e Pietro, sentido e maior motivação de minha vida!*



## ÍNDICE

AGRADECIMENTOS .....	vii
TRABALHOS TÉCNICOS GERADOS PELA DISSERTAÇÃO .....	viii
NOTAÇÃO .....	ix
LISTA DE FIGURAS .....	x
LISTA DE TABELAS .....	xi
RESUMO .....	xii
ABSTRACT .....	xiv
<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 Justificativas.....	1
1.2 Objetivos .....	1
1.3 Breve histórico do mercúrio .....	2
1.4 Garimpos de ouro no Brasil .....	3
1.5 Contaminação mercurial em áreas garimpeiras .....	14
1.6 Propriedades, fontes e usos do mercúrio .....	18
1.7 Aspectos toxicológicos do mercúrio .....	20
1.8 Área-teste do trabalho .....	25
<b>2. ESTADO DA ARTE .....</b>	<b>27</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS .....</b>	<b>33</b>
3.1 Descrição da metodologia aplicada .....	33
3.2 Descrição da retorta desenvolvida (OuroLimpo®) .....	35
3.3 Descrição dos ensaios realizados .....	37
3.4 Levantamento de custo de fabricação da retorta .....	38
<b>4. RESULTADOS OBTIDOS .....</b>	<b>42</b>
4.1 Monitoramento da temperatura no interior do cadinho .....	42
4.2 Monitoramento de Hg no ar, durante uma queima de amálgama .....	42
4.3 Avaliação de materiais para confecção da retorta .....	44
4.4 Análise comparativa entre retortas.....	45
4.5 Descrição dos testes e resultados obtidos .....	47
<b>5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>49</b>
<b>6. BIBLIOGRAFIA .....</b>	<b>53</b>
<b>7. ANEXOS .....</b>	<b>57</b>
. Resultado da avaliação da retorta realizada no CETEM/RJ .....	58
. Instruções de uso da retorta OuroLimpo® .....	63

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço inicialmente à engenheira Solange Vaz Coelho, companheira de trabalho, amiga, chefe e grande incentivadora, que sempre estimulou meu interesse e curiosidade pela área de tecnologia e que também sempre apoiou as minhas empreitadas nesta área do conhecimento.

Ao CDTN, pela oportunidade que me foi oferecida e pelo apoio, sem o qual seria impossível a realização deste trabalho.

Ao CETEM, pelas informações e bibliografias fornecidas e, principalmente, pela contribuição dada na realização dos testes de avaliação do equipamento desenvolvido.

Ao meu orientador, professor e ex-colega de trabalho, Dr. Celso de Oliveira Loureiro, pela clareza e importância das orientações e pelo estímulo dado em todas as fases do Mestrado.

Ao meu Chefe, o químico Valdívio D. Pêgo, pelo apoio e confiança nos trabalhos realizados.

Aos amigos e colegas de trabalho, engenheiro geólogo Cláudio Raposo, engenheiro Paulo Roberto R. Alves e geógrafo Marco A. Damasceno, pelos incentivos, revisões e valiosas sugestões.

À engenheira Maria Eleonora Deschamps P. Carneiro e equipe, da Feam, pela ajuda nos trabalhos de campo, pelo incentivo e informações preciosas.

Ao engenheiro Virgílio Bontempo, pelo importante apoio em revisões e traduções de textos científicos.

Aos colegas, engenheiro Alberto A. Barreto e técnico Pablo A. Grossi, pela valiosa ajuda computacional. ©

Aos colegas, química Sandra Maria Oberdá e técnico Antônio P. Santiago, por suas importantes contribuições referente às ilustrações e fotografias constantes neste trabalho.

A todos os colegas da oficina mecânica, em particular ao José Gomes S. Filho, Fernando P. Salazar, José da Limatéia Silva, Fernando L. Pugliese, Reinaldo Turbino da Silva e Clemente Figueiredo Messias, pela presteza e qualidade dos serviços realizados.

Em especial, ao ex-colega, o mecânico Antenor Alves de Resende (Nite), pela sua eficaz contribuição e seu pronto atendimento às solicitações de serviços de fabricação mecânica.

Enfim, agradeço de coração, a todos aqueles que, de forma direta ou indireta, tenham contribuído para a realização e o sucesso deste trabalho.

## NOTAÇÃO

### Lista de acrônimos, unidades de medidas, prefixos e conversões

#### ACRÔNIMOS

<b>ACGIH</b> .....	American Conference of Governmental Industrial Hygienists
<b>AMDA</b> .....	Associação Mineira de Defesa do Ambiente - Minas Gerais
<b>CDTN</b> .....	Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear
<b>CNEN</b> .....	Comissão Nacional de Energia Nuclear
<b>CETEM</b> .....	Centro de Tecnologia Mineral
<b>CETESB</b> .....	Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
<b>CONAMA</b> .....	Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>COPAM</b> .....	Conselho de Proteção Ambiental - Minas Gerais
<b>DESA</b> .....	Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental
<b>DNPM</b> .....	Departamento Nacional da Produção Mineral
<b>EUA</b> .....	Estados Unidos da América
<b>FAPEMIG</b> .....	Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais
<b>FEAM</b> .....	Fundação Estadual do Meio Ambiente – Minas Gerais
<b>IBAMA</b> .....	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente, dos Recursos Naturais Renováveis Amazônia Legal
<b>IBGE</b> .....	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>IEF</b> .....	Instituto Estadual de Florestas - Minas Gerais
<b>IPCS</b> .....	International Programme on Chemical Safety
<b>MSA</b> .....	Mine Safety Appliances Company, USA
<b>MSHA</b> .....	Mine Safety and Health Administration – U. S. Department Labor
<b>OSHA</b> .....	Occupational Safety and Health Administration
<b>SEMA</b> .....	Secretaria de Estado do Meio Ambiente - Minas Gerais
<b>SES</b> .....	Secretaria Estadual de Saúde – Minas Gerais
<b>SSMT/MT</b> .....	Secretaria de Segurança e Medicina do Trabalho do Ministério do Trabalho
<b>WHO</b> ou <b>OMS</b> ..	Organização Mundial da Saúde
<b>UFMG</b> .....	Universidade Federal de Minas Gerais
<b>UNB</b> .....	Universidade de Brasília

#### UNIDADES DE MEDIDAS, PREFIXOS E CONVERSÕES

<b>GLP</b> gás liquefeito de petróleo	<b>k</b> quilo ( $10^3$ )
<b>ppm</b> partes por milhão	<b>m</b> mili ( $10^{-3}$ )
<b>ppb</b> partes por bilhão	<b>μ</b> micro ( $10^{-6}$ )
<b>R\$</b> Real (moeda brasileira)	<b>t</b> tonelada ( $10^3$ kg)
<b>US\$</b> Dólar (moeda dos EUA)	<b>°C</b> grau Celcius

## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1.1</b>	Distribuição, por região, da população garimpeira no Brasil.....	05
<b>Figura 1.2</b>	Utilização de mercúrio, por estado brasileiro .....	05
<b>Figura 1.3</b>	Desenho esquemático de um Garimpo de Baixão .....	07
<b>Figura 1.4</b>	Garimpo de Dragas ou Balsas .....	07
<b>Figura 1.5</b>	Garimpo de Filão: Lavra a céu aberto e subterrânea .....	08
<b>Figura 1.6</b>	Desenho esquemático do circuito de beneficiamento de Garimpo de Filão .....	09
<b>Figura 1.7</b>	Desmorte hidráulico de barrancos e sucção de material.....	10
<b>Figura 1.8</b>	Etapas do processo de concentração de ouro .....	11
<b>Figura 1.9</b>	Formas mais comuns de queima de amálgama nos garimpos .....	12
<b>Figura 1.10</b>	Requeima de ouro, realizada nas casas compradoras de ouro .....	12
<b>Figura 1.11</b>	Produção brasileira de ouro .....	13
<b>Figura 1.12</b>	Biomagnificação do mercúrio na cadeia alimentar .....	15
<b>Figura 1.13</b>	Modelo hipotético do ciclo do Hg na área de Ouro Preto e vizinhanças .....	16
<b>Figura 1.14</b>	Exposição ocupacional ao Hg. Concentração de Hg no ar x Prevalência de sintomas ....	22
<b>Figura 1.15</b>	Queima de amálgama realizada, sem retorta, em recinto fechado, em Mariana/MG.....	23
<b>Figura 1.16</b>	Localização do município de Mariana/MG .....	25
<b>Figura 1.17</b>	Garimpo típico da região de Monsenhor Horta, Mariana/MG .....	26
<b>Figura 2.1</b>	Utilização de retorta, por estado brasileiro .....	27
<b>Figura 2.2</b>	Desenho esquemático da retorta “RETORCET” .....	28
<b>Figura 2.3</b>	Retorta “sem nome” desenvolvida no CDTN .....	29
<b>Figura 2.4</b>	Retorta “OUROMIL <sup>®</sup> ” (detalhes e especificações técnicas) .....	30 ©
<b>Figura 2.5</b>	Retorta “RHYP” (detalhe do modelo montado e vista explodida) .....	31
<b>Figura 2.6</b>	Modelo de retorta observada em garimpo de Monsenhor Horta .....	32
<b>Figura 3.1</b>	Vista explodida da retorta “OUROLIMPO <sup>®</sup> ” .....	39
<b>Figura 3.2</b>	Vista e detalhamento de: cadinhos, tampa e tubo condensador .....	40
<b>Figura 3.3</b>	Vista da retorta “OUROLIMPO <sup>®</sup> ” completa e montada .....	40
<b>Figura 3.4</b>	Retorta de vidro desenvolvida, utilizada em eventos educativos.....	41
<b>Figura 3.5</b>	Evento educativo em Monsenhor Horta, Mariana/MG .....	41
<b>Figura 4.1</b>	Monitoramento de Hg no ar durante queima de amálgama Ag-Hg .....	43
<b>Figura 4.2</b>	Retortas: exposta às intempéries e usada adequadamente .....	44

## LISTA DE TABELAS

<b>Tabela 1.1</b>	Principais impactos ambientais devido à lavra e beneficiamento de ouro .....	04
<b>Tabela 1.2</b>	Principais efeitos à saúde humana devido à intoxicação por mercúrio .....	24
<b>Tabela 1.3</b>	Comparação dos Limites para Exposição Ocupacional ao Mercúrio .....	24
<b>Tabela 3.1</b>	Planilha de custo de fabricação da retorta OUROLIMPO® .....	38
<b>Tabela 4.1</b>	Monitoramento de temperatura no fundo do cadinho .....	42
<b>Tabela 4.2</b>	Monitoramento de temperatura abaixo da tampa do cadinho .....	42
<b>Tabela 4.3</b>	Quadro comparativo entre retortas .....	46
<b>Tabela 4.4</b>	Descrição dos testes realizados e resultados obtidos .....	47
<b>Tabela 4.5</b>	Quadro resumo da performance da retorta OUROLIMPO® .....	48

## RESUMO

A atividade garimpeira de ouro no Brasil, principalmente na região amazônica, envolve milhares de pessoas, utiliza técnicas rudimentares e emprega o mercúrio em larga escala. Da forma como vem sendo empregado, o mercúrio destaca-se entre os mais sérios e danosos problemas gerados por essa atividade. A contaminação mercurial nas áreas garimpeiras é uma herança injusta para as futuras gerações, além de, a curto prazo, apresentar riscos potenciais de intoxicação das pessoas envolvidas, direta ou indiretamente, nesta atividade.

Dependendo das condições específicas de cada garimpo, perde-se para o meio ambiente de 1,0 a 1,5 kg de Hg na produção de 1,0 kg de Au (PFEIFFER & LACERDA, 1988). Para se ter uma idéia da magnitude dessa perda, somente no ano de 1990, segundo o Departamento Nacional da Produção Mineral - DNPM, os garimpos brasileiros produziram cerca de 70 t de ouro, significando um descarte de cerca de 90 t de Hg no ambiente, principalmente da região amazônica.

A etapa do processo de extração de ouro no garimpo, considerada como a mais crítica sob o ponto de vista do descarte de mercúrio no ambiente é, sem dúvida, a queima do amálgama Au-Hg. Esta etapa é realizada, normalmente, em sistemas abertos ao ar livre, ocasionando a emissão de vapores tóxicos para a atmosfera, resultando assim, em uma forte agressão à saúde das pessoas e ao ambiente.

A forma adequada de realizar a “queima” de amálgama Au-Hg é através do uso de destiladores de Hg, denominados “retortas”. Uma retorta, em sua concepção mais simples, é composta por um cadinho/tampa (onde o amálgama é aquecido) e um tubo condensador (onde os vapores de Hg se condensam) acoplado à tampa.

Estes dispositivos são em geral de ferro ou aço e, apesar de sua aparente simplicidade, poucos são os equipamentos deste tipo usados nos garimpos. Além disso, raros são aqueles adequados e qualificados para realizarem esta operação.

Segundo o DNPM, 1993, nos Estados onde existem garimpos de ouro, praticamente não há utilização de retortas na realização da etapa de queima de amálgama Au-Hg. Este fato é devido, principalmente, à falta de equipamento adequado para esta finalidade e de conscientização dos garimpeiros quanto aos malefícios causado pelo mercúrio, quando empregado incorretamente.

A fim de suprir a premente demanda, foi desenvolvido um sistema de destilação de mercúrio denominado retorta “OUROLIMPO®”.

Os resultados obtidos de eficiência média de destilação de Hg (97,7%) e de eficiência média de retenção de Hg (99,5%), para um tempo médio de operação de 13 minutos, aliados a outros fatores tais como, facilidade de manuseio e transporte (pequena, leve e desmontável) e baixo custo de fabricação (cerca de R\$74,00 a unidade, se fabricada em série), conferem à retorta “OUROLIMPO®” a aplicabilidade técnica adequada para uso nos garimpos, como destilador de mercúrio contido em amálgamas.

Esta nova tecnologia foi introduzida na área garimpeira de Monsenhor Horta, Mariana/MG concomitantemente com a realização de trabalhos de educação e conscientização ambiental e sanitária dos membros desta comunidade. Esta área garimpeira, devido à sua proximidade de Belo Horizonte e aos seus garimpos peculiares localizados, em sua maioria, dentro do perímetro urbano, foi escolhida para a realização de um importante projeto de pesquisa. Este projeto, que tem como objetivo principal conhecer o real impacto do mercúrio na saúde e no meio ambiente, foi financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de Minas Gerais – FAPEMIG e é coordenado pela Fundação Estadual de Meio Ambiente - FEAM e tem como participantes: o Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN, a Secretaria de Estado da Saúde - SES e a Fundação Ezequiel Dias - FUNED.

A implantação de retortas junto com os trabalhos de educação da comunidade realizados na região, causaram de imediato dois impactos positivos: o primeiro, diz respeito à redução na quantidade total de mercúrio utilizada nas atividades de garimpo na região, devido à diminuição de sua compra pelos garimpeiros; e, o segundo, se refere à conscientização da comunidade quanto aos riscos e malefícios inerentes a esta atividade, devidos, principalmente, ao uso do mercúrio. Porém, somente a partir de novembro de 1997, com a realização de nova campanha de monitoração de pessoas, solo, sedimentos e água da região, prevista no projeto em questão, é que se poderá inferir sobre o verdadeiro impacto causado na região, em decorrência das ações realizadas na mesma.

## ABSTRACT

Thousands of people in Brazil, mainly in the Amazon region are involved with a special gold mining activity named *garimpos*. In the *garimpo* activities, primitive techniques are employed and mercury usage is widespread. As it is currently applied, mercury is a responsible for the most deleterious environmental impacts resulting from this activity. Contamination by mercury in the *garimpo* areas must be regarded as an unfair inheritance held forth to future generations.

Depending on the conditions prevailing at each *garimpo*, from 1,0 to 1,5 kg of mercury is lost to the environment for each kilogram of gold produced (PFEIFFER & LACERDA, 1988). In order to better realize the magnitude of this environmental impact it can be mentioned that, according to the National Department for Mineral Production - DNPM, only in 1990, Brazilian have produced about 70 tons of gold, which means that around 90 tons of mercury have been discharged to the environment, mainly in the Amazon region.

Regarding the mercury losses to the environment, the most critical stage in the gold extraction process in the *garimpos* is the heating of the Au-Hg amalgam, which is usually performed outdoors. Consequently, the Au-Hg amalgam heating procedure generates the emission of toxic vapors to the atmosphere, posing in serious threats to both the public and the environmental health.

Mercury distillation devices, called “retorts”, should be used for the safe heating of the Au-Hg amalgam. A retort consists basically of a crucible with a lid (inside which the amalgam is heated) and a mercury condenser tube coupled to the lid. These devices are usually made of iron or steel. Notwithstanding their apparent simplicity, very few of these devices are used in *garimpos* and even less of them are either adequate or qualified for the operation.

According to DNPM, 1993, in the Brazilian States where *garimpos* are active, there are practically no retorts in use in the Au-Hg amalgam heating stage. This is mainly due to the lack of the adequate equipment to perform this task and the *garimpeiros*'s lack of knowledge about the hazards connected with the inadequate use of mercury.

Aiming to supply the mentioned urgent demand, a mercury distillation system has been developed which has been denominated “OUROLIMPO<sup>®</sup>” (meaning “clean gold”).



Results obtained with the OUROLIMPO<sup>®</sup> distillation system show an average mercury recovering efficiency (97,7 %) and an average mercury retaining efficiency (99,5 %), after an average heating time of 13 minutes. Besides this, other features such as ease of handling and transport (the retort is small, light weight and easily dismantled) and the low fabrication cost (about US\$74,00 per unit, when serially produced), confer to the “OUROLIMPO<sup>®</sup>” retort the adequate technical applicability required for the use in *garimpos* as a tool for distilling the mercury contained in amalgams.

This new technology has been introduced in the surrounding area of the Monsenhor Horta village, City of Mariana/MG. An educational campaign on sanitation and environmental conservation among the community members has been jointly conducted with the inception of the retorts. This *garimpo* region has been chosen for the implementation of an important research project due to its proximity to Belo Horizonte and its characteristic *garimpos*, located on the most part inside urban areas. The main objectives of this project it to investigate the actual impact of mercury on health and the environment. The project is coordinated by State of Minas Gerais Foundation for Environmental Protection – FEAM, associated with the Center for the Development of Nuclear Energy – CDTN, the State Department of Health – SES, the Ezequiel Dias Foundation – FUNED, and financed by the Minas Gerais State Research Support Foundation - FAPEMIG.

The implementation of the OUROLIMPO<sup>®</sup> retort technology together with the community aimed educational activities that have been carried in this region, have resulted in two positive impacts. The first is the abatement of mercury releases to the environment following the reduction of its purchase by the *garimpeiros*. The second refers to the recognition by the community of the risks and hazards associated with this activity, which are mainly related to the use of mercury. However, a better assessment of the actual impact of the above mentioned actions on the region will only be possible after November 1997, when a campaign of soil, sediment, water and personal monitoring is expected to be realized, as foreseen in the project.

## CAPÍTULO I - INTRODUÇÃO

### 1.1 Justificativas

As maiores perdas de mercúrio verificadas na atividade garimpeira de ouro podem ser creditadas ao processo de volatilização do metal durante a queima do amálgama Au-Hg formado. Essas perdas para a atmosfera, superam, em muito, as perdas resultantes do lançamento de mercúrio para os rios e solos. Os dados disponíveis indicam uma faixa de valores para as perdas atmosféricas entre 55 e 90%, aproximadamente (GRANATO, 1989).

De acordo com o levantamento realizado pelo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM, 1993), nos Estados onde existem garimpos de ouro, praticamente não se utilizam retortas (destilador de mercúrio, em geral metálico, composto de um cadinho/tampa e um tubo condensador), na realização da etapa de queima ou pirólise de amálgama. Esta etapa é realizada normalmente ao ar livre, sendo o amálgama Au-Hg colocado em cuias ou chapas metálicas e submetido à chama de um maçarico. Dessa forma, o mercúrio rapidamente volatiliza-se e dispersa-se na atmosfera.

É de consenso entre os pesquisadores da contaminação mercurial nos garimpos, a necessidade premente do desenvolvimento de novos processos e tecnologias de extração de ouro, a fim de amenizar a situação ora existente. O uso de retortas, integrado a um amplo trabalho de conscientização e educação sanitária e ambiental, nestas áreas, é visto por todos como sendo a alternativa mais eficaz para a mitigação da contaminação ambiental e ocupacional devida ao mercúrio.

Sabe-se também, que a atividade garimpeira é de difícil solução devido às dificuldades de sua legalização e fiscalização por parte dos órgãos públicos e aos interesses de ordem social e jurídica envolvidos.

### 1.2 Objetivos

Baseando-se na situação atual da atividade garimpeira de ouro no país e analisando suas necessidades mais prementes e exequíveis a curto prazo, buscou-se como objetivo deste trabalho:

- desenvolver uma retorta de fácil uso e de baixo custo, capaz de realizar a queima de amálgama Au-Hg nos garimpos, com rapidez e com eficiência de recuperação de Hg, superior a 96%, a fim de atender aos garimpeiros e aos órgãos ambientais;
- criar meios de disponibilizar este equipamento para os garimpeiros;
- participar juntamente com os órgãos estaduais, de meio ambiente e de saúde, dos trabalhos de educação e conscientização, nas comunidades garimpeiras de Minas Gerais.

### 1.3 Breve histórico do mercúrio

O mercúrio é considerado como de uso quase milenar pelo homem. Ele era apreciado por unir à beleza da prata, sua fluidez única entre os metais em temperaturas ordinárias. Foi considerado pelos primeiros sábios e durante muitos séculos como um estágio intermediário na formação de metais nobres.

Acredita-se que o mercúrio já era conhecido a partir do século XV ou XVI a.C.. O filósofo grego Hipócrates, já em 400 a.C., utilizava o mercúrio na medicina, relatando também suas funções como veneno. Plínio, estudioso romano (23 - 79 a.C.), teria escrito a “secreta arte” de isolar o mercúrio. Porém, somente em 1540, uma publicação de Biringuccio intitulada “De la Pirotechnia” revelou o segredo de Plínio que consistia em isolar o Hg pressionando-o através da lã. Até hoje, no século XX, esta metodologia é ainda utilizada em grande escala, nas diferentes etapas do processo de exploração de ouro nos garimpos, no Brasil (MALM, 1991).

Durante a Idade Média, a fé nos poderes mágicos do elemento usado como anti-séptico, eficiente nos problemas de pele e de cicatrização, expandiu-se na medicina, como uma nova tentativa de cura para a sífilis. Até às primeiras décadas do século XX o mercúrio ainda era utilizado no tratamento da sífilis (MALM, 1991).

Mais recentemente, o calomelano ( $Hg_2Cl_2$ ) teve uso intensamente difundido como laxativo, enquanto um grande número de compostos orgânicos de mercúrio foi usado como diuréticos, anti-sépticos, bactericidas e fungicidas (LAWLESS, 1977, citado por MALM, 1991).

Nas grandes corridas ao ouro, como a dos Montes Urais, na Rússia, em 1744; na Califórnia, EUA, em 1849; na Austrália em 1851; em Klondike, no Canadá, em 1896; e em, Witwatersrand, na África do Sul, em 1896, todas citam a utilização do mercúrio na extração do ouro.

Talvez se possa dizer que o mercúrio seja o metal que mais tenha sido investigado desde épocas primitivas, quando intrigava por sua natureza “incompleta” e dúbia, até a atualidade quando recentes acidentes de imensas proporções chamaram a atenção de todo o mundo. Isto, aliado às características fugazes de vários de seus compostos, que na realidade devem apresentar uma enorme gama de comportamentos, fazem com que seja grande o número de citações contraditórias. Uma extensa listagem e organização bibliográfica com mais de 5.000 trabalhos publicados até 1975 foi feita na Inglaterra (TAYLOR, 1975, citado por MALM, 1991).

A contaminação do mercúrio e seus efeitos no ambiente e no homem só se tornaram uma preocupação real depois dos acidentes de Minamata e Niigata no Japão, durante os anos 50 e 60,

respectivamente. Os pescadores de Minamata, em 1953, juntamente com outros consumidores de peixes, começaram a padecer de encefalopatia aguda, cujos sintomas e sinais principais eram a restrição no campo visual, a surdez neurológica, a inibição motora, os tremores e a diminuição da sensibilidade. Porém, nenhum médico conseguia chegar a uma conclusão quanto à causa do aparecimento destes sintomas, embora estudiosos concordassem que era devido a um tipo de envenenamento. Somente em 1959 é que Takeuchi afirmou que tal envenenamento era devido ao metilmercúrio. Em 1964, nova epidemia desenvolveu-se em Niigata, com vários casos fatais (MALM, 1991).

Outros acidentes ocorreram. Na Suécia e Iraque, por exemplo, por grãos tratados com fungicidas mercuriais e no Canadá e Estados Unidos, por contaminação de água e peixes.

No Brasil, somente a partir de 1980, com a última grande corrida ao ouro, é que o mercúrio passou a ser utilizado, em grande escala, nos garimpos. Desde então, o seu emprego tem causado crescente contaminação ambiental e ocupacional, nestas áreas.

#### 1.4 Garimpos de ouro no Brasil

Existem duas formas bem distintas de produção de ouro: a industrial, realizada por empresas, e a de prospectores, realizada por garimpeiros. As empresas exploram a partir de jazidas pesquisadas, principalmente em depósitos geológicos primários. Já os garimpeiros desenvolvem sua atividade prioritariamente em depósitos geológicos secundários, com técnicas rudimentares, quase sempre com baixa produtividade, causada pela inexistência de pesquisas geológicas para avaliação das reservas e *carência de técnicas para melhor recuperação do metal*.

Nos últimos anos o garimpo tornou-se um assunto polêmico, dado à diversidade de interesses e dos respectivos problemas de ordem econômica, jurídica, social e ambiental. Do ponto de vista ambiental e de saúde pública, a intensa utilização do mercúrio no processo de extração do ouro nas regiões garimpeiras vem preocupando os diversos segmentos da sociedade.

Os impactos ambientais da atividade garimpeira podem ser divididos em dois grandes grupos: um se refere à mineração e beneficiamento propriamente ditos; o outro se refere à desorganização social reinante na atividade, cujas origens e efeitos são independentes, apesar de associados. Os principais impactos causados pela lavra e beneficiamento são descritos na Tabela 1.1.

De acordo com o DNPM, 1993, os principais garimpos de ouro de Minas Gerais, concentram-se nas cidades históricas de São João Del Rey, Ouro Preto, Mariana e Diamantina e envolvem cerca de 8700 garimpeiros. Estes, no entanto, em número e produção de ouro, são inexpressivos quando comparados aos garimpos da maioria dos Estados da região amazônica.

respectivamente. Os pescadores de Minamata, em 1953, juntamente com outros consumidores de peixes, começaram a padecer de encefalopatia aguda, cujos sintomas e sinais principais eram a restrição no campo visual, a surdez neurológica, a inibição motora, os tremores e a diminuição da sensibilidade. Porém, nenhum médico conseguia chegar a uma conclusão quanto à causa do aparecimento destes sintomas, embora estudiosos concordassem que era devido a um tipo de envenenamento. Somente em 1959 é que Takeuchi afirmou que tal envenenamento era devido ao metilmercúrio. Em 1964, nova epidemia desenvolveu-se em Niigata, com vários casos fatais (MALM, 1991).

Outros acidentes ocorreram. Na Suécia e Iraque, por exemplo, por grãos tratados com fungicidas mercuriais e no Canadá e Estados Unidos, por contaminação de água e peixes.

No Brasil, somente a partir de 1980, com a última grande corrida ao ouro, é que o mercúrio passou a ser utilizado, em grande escala, nos garimpos. Desde então, o seu emprego tem causado crescente contaminação ambiental e ocupacional, nestas áreas.

#### 1.4 Garimpos de ouro no Brasil

Existem duas formas bem distintas de produção de ouro: a industrial, realizada por empresas, e a de prospectores, realizada por garimpeiros. As empresas exploram a partir de jazidas pesquisadas, principalmente em depósitos geológicos primários. Já os garimpeiros desenvolvem sua atividade prioritariamente em depósitos geológicos secundários, com técnicas rudimentares, quase sempre com baixa produtividade, causada pela inexistência de pesquisas geológicas para avaliação das reservas e *carência de técnicas para melhor recuperação do metal*.

Nos últimos anos o garimpo tornou-se um assunto polêmico, dado à diversidade de interesses e dos respectivos problemas de ordem econômica, jurídica, social e ambiental. Do ponto de vista ambiental e de saúde pública, a intensa utilização do mercúrio no processo de extração do ouro nas regiões garimpeiras vem preocupando os diversos segmentos da sociedade.

Os impactos ambientais da atividade garimpeira podem ser divididos em dois grandes grupos: um se refere à mineração e beneficiamento propriamente ditos; o outro se refere à desorganização social reinante na atividade, cujas origens e efeitos são independentes, apesar de associados. Os principais impactos causados pela lavra e beneficiamento são descritos na Tabela 1.1.

De acordo com o DNPM, 1993, os principais garimpos de ouro de Minas Gerais, concentram-se nas cidades históricas de São João Del Rey, Ouro Preto, Mariana e Diamantina e envolvem cerca de 8700 garimpeiros. Estes, no entanto, em número e produção de ouro, são inexpressivos quando comparados aos garimpos da maioria dos Estados da região amazônica.

**Tabela 1.1 - Principais impactos ambientais devido à lavra e ao beneficiamento de ouro**

Atividade Meio/Causa	Físico-Química	Biológica	Antrópica
Limpeza da área	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Fornecimento de matéria orgânica às correntes fluviais</li> <li>• Facilita a organificação do Hg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Destruição de nichos ecológicos (inclui os solos orgânicos)</li> <li>• Facilita a intoxicação por Hg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda de biomassa como recurso econômico</li> <li>• Facilita a intoxicação por Hg</li> </ul>
Desmonte e Concentração	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erosão/aumento das cargas em suspensão</li> <li>• Mudança na cor, na turbidez e outras características organolépticas das águas</li> <li>• Modificação de sistemas de drenagem, sobretudo desvios e assoreamentos</li> <li>• Poluições das águas (óleos e graxas, detergentes)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Alterações das condições dos habitats ecológicos aquáticos e ribeirinhos</li> <li>• Assoreamento/recobrimento da várzea</li> <li>• Alteração nas condições dos habitats ecológicos, aquáticos e ribeirinhos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Perda na estratégia nutricional das populações ribeirinhas e de viveiros e pesqueiros (comprometimento da atividade pesqueira)</li> <li>• Aumento dos custos de tratamento d'água para uso da população (inclui irrigação, recreação, etc.)</li> <li>• Perdas de recursos sejam de uso atual ou futuro (agrossistemas de várzeas, transporte, turismo, etc.)</li> <li>• Geração de focos de doenças endêmicas</li> <li>• Perdas de recursos sejam de uso atual ou futuro (agrossistemas de várzeas, transporte, turismo, etc.)</li> </ul>
Amalgamação e Queima	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Poluição das águas por Hg</li> <li>• Poluição do ar por Hg</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Contaminação e intoxicação da biota</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exposição da população à contaminação por mercúrio</li> <li>• Comprometimento de atividades econômicas</li> <li>• Doenças ocupacionais (hidrargirismo)</li> </ul>

Fonte: RODRIGUES et al, 1994

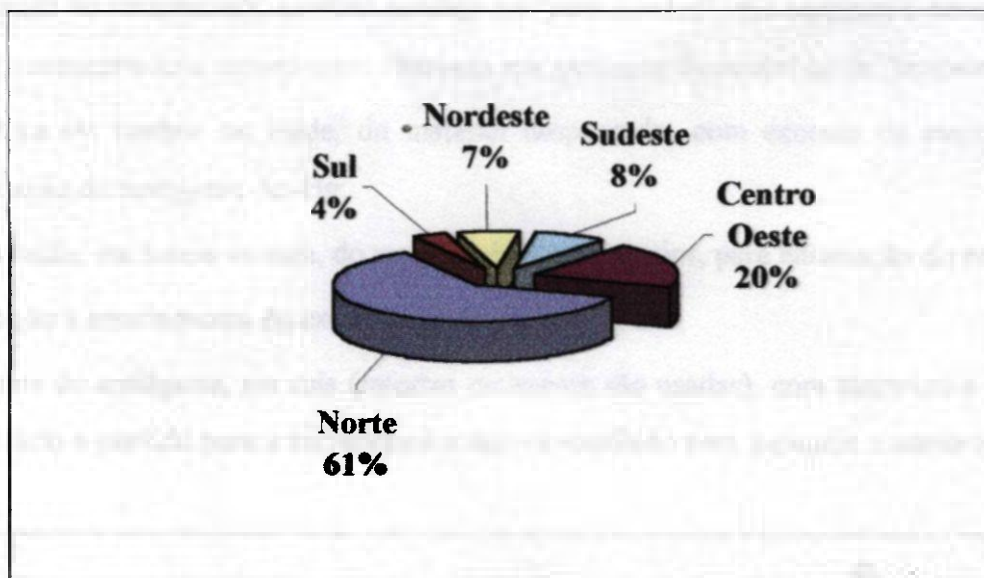
No Brasil, cerca de um milhão de garimpeiros atuam diretamente na produção de ouro de garimpo. Além disso, mais de 3,5 milhões de pessoas vivem indiretamente do garimpo, sendo chamadas de população de apoio. Trata-se de familiares e demais comerciantes que dão suporte aos garimpêiros e, tanto quanto eles, são diretamente afetados pela poluição por mercúrio.

As zonas garimpeiras de maior importância estão localizadas na região amazônica e compreendem a do Tapajós-Parauari, no Pará e no Amazonas; a de Alta Floresta, no Mato Grosso; a de Cumaru, no Pará; e, a de Peixoto Azevedo, no Mato Grosso, entre outras.

A maioria dessas áreas garimpeiras se desenvolveu entre 1980 e 1990, época em que os garimpos tiveram grande participação na produção total brasileira de ouro. Em 1983, essa participação chegou a 90% (cerca de 45 t) e em 1990, a produção de cerca de 70 t de ouro (máxima produção registrada oficialmente) correspondeu a 70% da produção total brasileira (DNPM, 1996).

A garimpagem, dependendo do local onde é realizada, assume diversas formas e emprega diferentes metodologias. Basicamente, consiste de um processo gravimétrico de separação do ouro e recuperação deste através da amalgamação com o mercúrio. A amalgamação, é um processo de concentração baseado na aderência preferencial do ouro ao mercúrio, quando as outras fases presentes são a água, partículas minerais e o ar. Esse processo é indicado para separar o ouro nativo de outros minerais.

Estima-se existir atualmente, cerca de dois mil focos de garimpos no Brasil, sendo que 75% destes, localizam-se na região amazônica (MALM, 1991), que é composta pelos Estados da região Norte mais os estados de Mato Grosso (onde se concentra grande parte dos garimpos) e Maranhão. A Figura 1.1, mostra a distribuição, por região, da população garimpeira brasileira (DNPM, 1993).



**Figura 1.1 – Distribuição, por região, da população garimpeira no Brasil**

Fonte: Levantamento Nacional dos Garimpeiros, DNPM, 1993.

A atividade garimpeira envolve, somente na região amazônica, cerca de 600.000 pessoas, cabendo ao Pará mais da metade desse total (SILVA, 1989). Esta atividade cresceu muito nas duas últimas décadas e emprega ainda tecnologias rudimentares, causando um grande impacto ambiental. A exploração de ouro na região foi mais intensa em meados da década de 80, quando era predominante a atividade relacionada aos depósitos geológicos formados por pequenas drenagens, ou localizados em antigos canais de drenagens de portes variados. A técnica utilizada neste tipo de lavra foi o desmonte hidráulico, configurando o chamado garimpo de baixão. Na segunda metade da década de oitenta foram introduzidas dragas de médio e grande porte, capazes de atingir os depósitos de aluvião em rios caudalosos. Vários rios da região têm sido intensamente explorados desde então (HACON, 1996).

Os principais tipos de garimpos de ouro encontrados no Brasil, serão descritos a seguir. São eles:

- **Baixão**

Quando a extração do ouro ocorre em áreas próximas às margens de pequenos rios ou igarapés (Figura 1.3). A sequência das principais etapas realizada neste tipo de garimpo é:

- a) desmonte hidráulico dos barrancos e utilização de bombas de sucção/recalque;
- b) recalque da polpa desmontada até a unidade de concentração (calha concentradora);
- c) classificação e concentração dos materiais da polpa a partir de um tambor localizado na cabeceira da calha, usado para reduzir a turbulência do fluxo da polpa, e também nos carpetes, taliscas e grades que revestem a calha;
- d) retirada do concentrado aurífero contido no “pára-queda”, nos carpetes e demais revestimentos da caixa concentradora (comumente chamada nos garimpos de operação de “despescagem”);
- e) mistura em tambor ou balde, do material despescado, com excesso de mercúrio metálico, para formação de amálgama Au-Hg;
- f) separação, em bateia ou cuia, do material da etapa anterior, para eliminação do material estéril;
- g) filtração e recolhimento do excesso de mercúrio em pano;
- h) queima do amálgama, em cuia (retortas raramente são usadas), com maçarico a gás GLP, quando o mercúrio é perdido para a atmosfera e o ouro é recolhido para pesagem e comercialização.

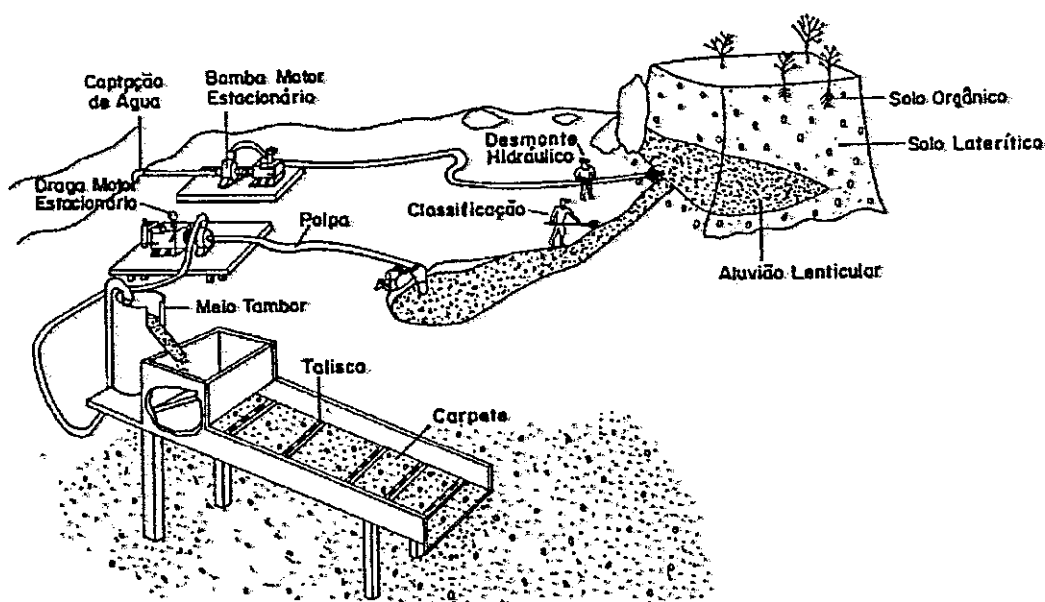
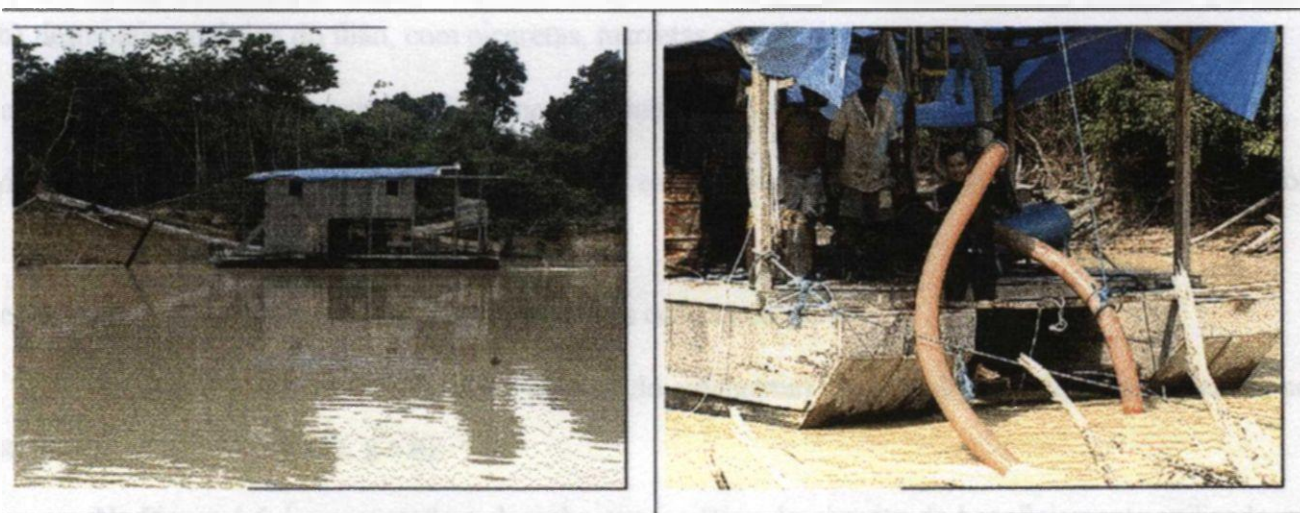


Figura 1.3 - Desenho esquemático de um Garimpo de Baixão (Cortesia CETEM)



- **Dragas ou balsas**

Este método é empregado quando o ouro encontra-se no sedimento dos rios. As dragas ou balsas compõem-se de dois botes de madeira ou ferro, onde são acopladas pranchas de madeira que sustentam os equipamentos de sucção e concentração do sedimento coletado. O material sugado do fundo dos rios é previamente peneirado, passando em seguida por etapas similares às empregadas no garimpo de baixão (baixão, c a h). Nas balsas trabalham, em média, cinco pessoas, inclusive o gerente (Figura 1.4).



**Figura 1.4 – Garimpo de Dragas ou Balsas**  
 Fonte: CD-ROM/Amazônia - Terra das Águas

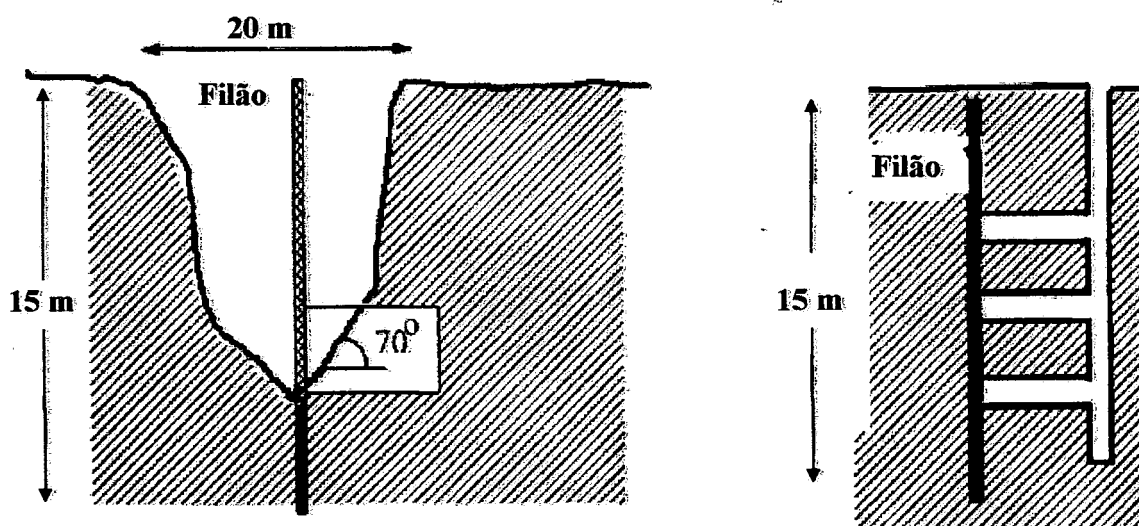
• **Veio ou filão**

O termo filão refere-se a um veio de quartzo mineralizado com ouro, apresentando pequenas quantidades de prata, platina, cobre e outros metais. O veio de quartzo é muito irregular, tendo uma espessura bastante variável, entre 10 e 50 cm (Figura 1.5). A seqüência das principais etapas realizadas neste tipo de exploração é a seguinte:

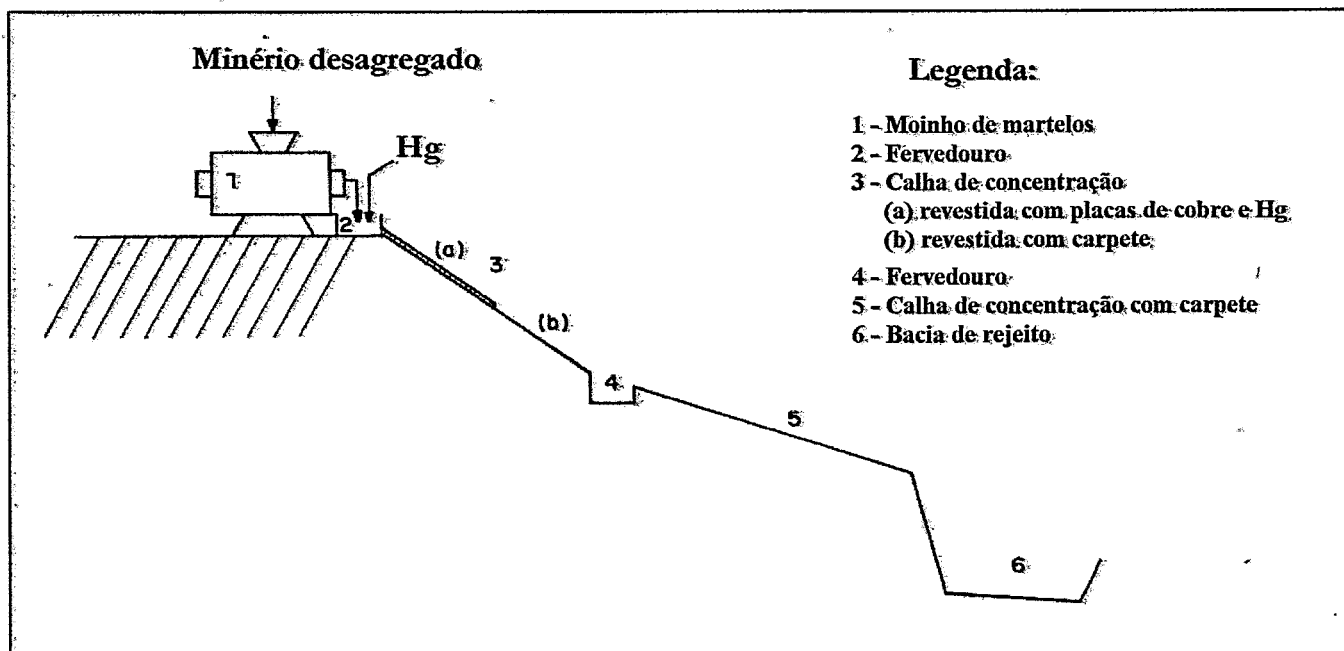
- a) desmonte hidráulico da camada superficial;
- b) desmonte mecânico do filão, com picaretas, marretas e explosivos;
- c) moagem via úmida, do minério filoniano, em moinhos de martelos;
- d) concentração/amalgamação do minério moído, em calhas de madeira, contendo placas de cobre com filme de mercúrio metálico e carpetes; e,
- e) despescagem da calha concentradora, placas de cobre e carpetes.

As etapas posteriores (filtração e queima do amálgama) são semelhantes àsquelas realizadas nos garimpos de baixão (baixão, g e h);

Na Figura 1.6 é apresentado o desenho esquemático do circuito de beneficiamento utilizado nos garimpos de filão, para a recuperação do ouro primário.



**Figura 1.5 - Garimpo de filão: (A) Lavra a céu aberto; (B) Lavra subterrânea (Cortesia CETEM)**



**Figura 1.6 - Desenho esquemático do circuito de beneficiamento de um Garimpo de Filão**  
(Cortesia CETEM)

A seguir apresenta-se uma descrição resumida do processo de trabalho de dois garimpos do tipo baixão que foram observados em Cumaru, Estado do Pará e em Alta Floresta, Estado de Mato Grosso. Além de ser o tipo de garimpo mais representativo, suas etapas de concentração e de queima são semelhantes à dos outros tipos e, por isso, pelo menos no que se refere ao uso do mercúrio, pode-se inferir grande parte dessas avaliações aos garimpos de dragas e de veio.

Pode-se dividir o processo de trabalho em quatro grandes etapas, descritas a seguir:

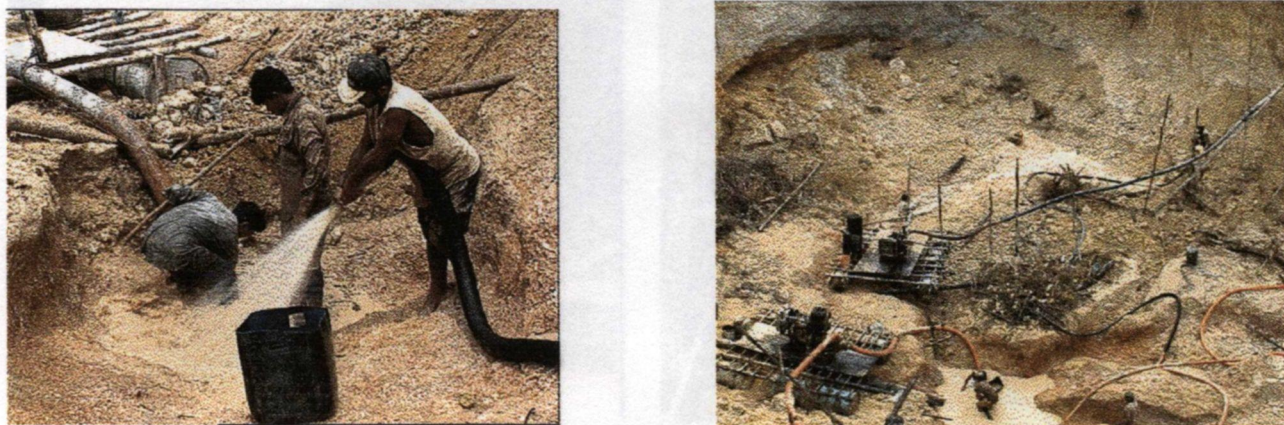
◆ **Preparo da Infra-estrutura**

Esta etapa consiste no preparo da infra-estrutura tanto dos locais de extração como dos locais de moradia. Inicialmente, é feito o desmatamento com o auxílio de moto-serras e em seguida a limpeza da área a ser explorada, através da retirada de, por exemplo, pedras, galhos e gravetos que possam provocar posteriormente a interrupção do fluxo de materiais que será succionado das aluviões, através de uma mangueira.

◆ **Desmorte Hidráulico**

Um trabalhador (jateiro) segura com bastante esforço físico o “bico de jato” acoplado a uma mangueira por onde sai um forte fluxo d’água que tem por finalidade desmoronar os barrancos (Figura 1.7). Um segundo trabalhador (maraqueiro) controla a moto-bomba de sucção ou “maraca”, que suga o material (terra, argila, água) que foi desmoronado do barranco. Esse material sugado é levado através de uma mangueira longa e de grosso calibre até a caixa concentradora, também chamada de “cobra fumando”.





**Figura 1.7 - Desmorte hidráulico de barrancos e sucção de material**

Fonte: CD-ROM/Amazônia - Terra das Águas

#### ◆ Concentração do Ouro

A caixa concentradora apresenta na parte anterior uma caixa rudimentar de madeira, sendo acoplada, inclinadamente, na parte posterior, a uma segunda caixa de madeira, removível, que é retangular e apresenta ripas de madeira no fundo, onde é fixado um carpete. Este, tem como função reter o ouro, existente no fluxo de materiais, que sedimenta-se sobre o mesmo, devido à sua alta densidade.

Através da mangueira conectada na moto-bomba de sucção, o material succionado é lançado na parte anterior da caixa concentradora, onde é constantemente lavado, passando para o nível posterior. Todo material concentrado na parte anterior da caixa passa para a parte posterior por ação da lâmina d'água e da gravidade.

Um garimpeiro (raleiro) controla a inclinação da caixa para que o fluxo do material não saia muito rápido e as partículas finas e ultrafinas de ouro sejam retidas no carpete. Depois de um determinado tempo, o raleiro remove o fundo da parte inclinada da caixa, retira o carpete com partículas de ouro aderidas e lava-o num balde. Obtém-se assim, o concentrado de ouro, que é amalgamado posteriormente em bateladas (Figura 1.8).

Com a finalidade de aumentar a recuperação de ouro, em alguns garimpos, o mercúrio é colocado diretamente sobre o carpete. Do ponto de vista ambiental esta prática é a mais indesejável pois acarreta grande descarte de Hg para os cursos d'água.





**Figura 1.8 – Etapas do processo de concentração de ouro**

Fonte: CD-ROM/Amazônia-Terra das Águas

©

#### ◆ Queima do ouro

Nesta etapa, coloca-se o amálgama em um recipiente e sob a ação de uma fonte térmica, provoca-se a sublimação do mercúrio, obtendo-se o ouro, na forma de esponja, como produto final (Figura 1.9). Esta esponja de ouro obtida (“bullion”), contém ainda um residual de Hg que, em média, varia de 1 a 3%, chegando, em alguns casos, até 10% (GRANATO, 1989). Nos garimpos, a fonte térmica costuma ser um maçarico ou o fogão onde são preparadas as refeições e o recipiente normalmente usado para realizar a queima é um cadinho aberto de porcelana ou ferro (Figura 1.9). Retortas recuperadoras de mercúrio raramente são utilizadas.

A queima do amálgama é realizada freqüentemente pelo dono do garimpo, gerente, ou por um garimpeiro de confiança. Esta etapa repete-se no momento da comercialização nas lojas de compra de ouro, quando o “bullion” passa por mais uma etapa de purificação (Figura 1.10).



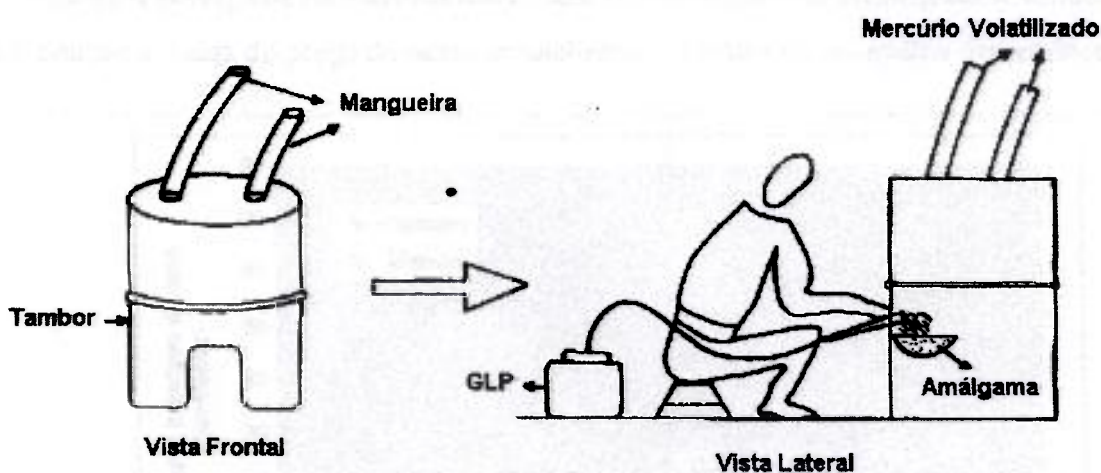
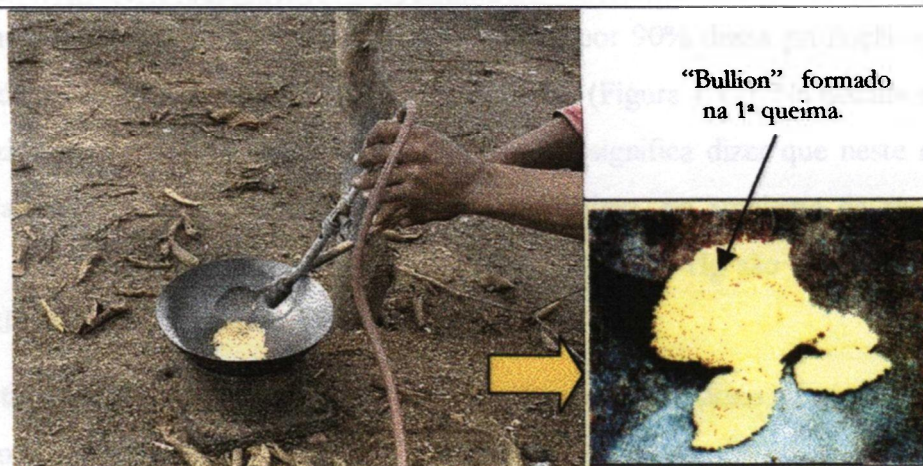


Figura 1.9- Formas mais comuns de queima de amálgama nos garimpos

Fonte: CD-ROM/Amazônia - Terra das Águas (acima) e cortesia CETEM (abaixo)



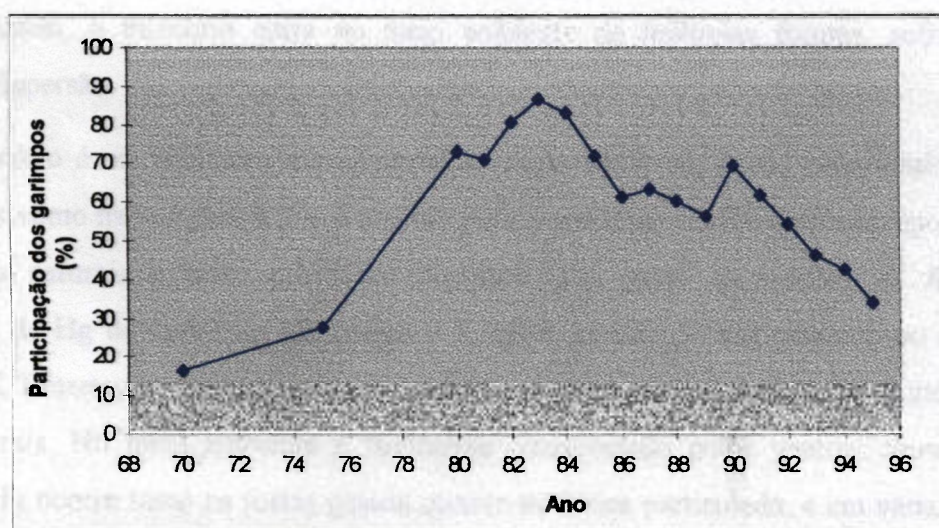
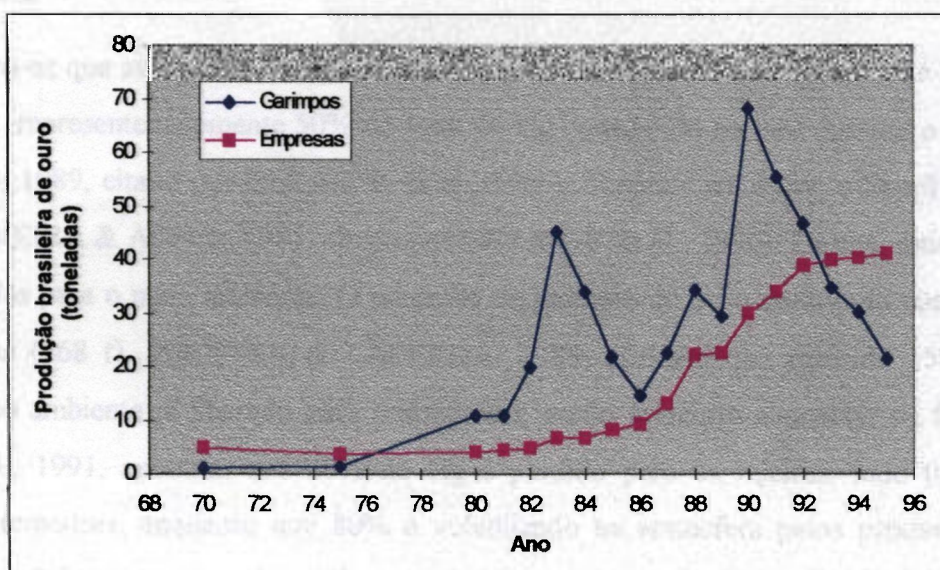
Figura 1.10 - Requeima do ouro realizada nas casas compradoras de ouro

Fonte: CD-ROM / Amazônia - Terra das Águas



Dos garimpos provêm cerca de 35% da atual produção brasileira de ouro. Em 1983, conforme citado anteriormente, estes foram responsáveis por 90% dessa produção e, em 1990, no auge da corrida ao ouro, produziram cerca de 70 toneladas (Figura 1.11). Na década de 1980 a 1990 foram produzidas cerca de 650 toneladas de ouro, o que significa dizer que neste mesmo período foram despejadas cerca de 650 toneladas de Hg, no mínimo, no ambiente da região amazônica, considerando que, para produzir 1,0 kg de Au, 1,0 a 1,5 kg de Hg são descartados no ambiente, segundo PFEIFFER & LACERDA, 1988.

A partir do início da década de 1990, um decréscimo sistemático da produção de ouro pelos garimpos vem sendo observado (Figura 1.11), motivado por fatores diversos, como o esgotamento dos depósitos geológicos secundários mais ricos, acompanhados de conseqüentes aumentos no custo de produção e queda do preço do ouro, inviabilizando a produção em muitos desses depósitos.



**Figura 1.11 - Produção brasileira de ouro**

Fonte: Sumário Mineral Brasileiro – DNPM.

## 1.5 Contaminação mercurial em áreas garimpeiras

O mercúrio é usado tanto na mineração mecanizada como na manual, sendo a quantidade de mercúrio utilizada na mineração do ouro dependente da tecnologia empregada. O mercúrio é utilizado para separar o ouro através da decantação do amálgama Au-Hg, facilmente formado pela adição de Hg ao sedimento enriquecido em Au pelo processo de mineração. O Hg pode ser liberado para o ambiente (solo, água ou sedimento) ainda durante o processo de amalgamação do ouro. Entretanto, a parte mais significativa do mercúrio é perdida para a atmosfera no processo de recuperação do ouro presente no amálgama Au-Hg. A maior parte dessa perda se dá durante a queima do amálgama na própria região do garimpo, enquanto que a outra parte ocorre durante a purificação do ouro no ato de sua comercialização, nas chamadas “casas de queima de ouro” ou “casas compradoras de ouro”. Essas casas de comércio localizam-se em centros urbanos, emitindo vapor de mercúrio diretamente na atmosfera local.

Estima-se que as importações oficiais de Hg pelo Brasil, feitas entre janeiro de 1986 e junho de 1989 (848 t), representem somente 50% do total do Hg consumido no país durante o mesmo período (LABORÃO, 1989, citado por GERAB, F. et al., 1996). Somente em 1989, o Brasil importou 337 t de Hg (FERREIRA & APPEL, 1991, citado por GERAB, F. et al., 1996). Destas, estima-se que 210 t foram perdidas para o meio ambiente. O processo de garimpo de ouro contribuiu com cerca de 80% dessas perdas (168 t). PFEIFFER & LACERDA, 1988, afirmam que mais de 55% do mercúrio descartado no ambiente, é liberado para a atmosfera, como mercúrio elementar na forma de vapor. FARID et al., 1991, apontam que 20% do Hg é perdido para os rejeitos, indo para os sistemas aquáticos e terrestres, enquanto que 80% é volatilizado na atmosfera pelos processos de queima, sendo 70% perdidos na queima do amálgama, ainda no garimpo e 10% na segunda queima, nas casas de queima. Assim, o mercúrio entra no meio ambiente de múltiplas formas, sofrendo distintos processos de dispersão.

O mercúrio é um elemento traço natural no meio ambiente, sendo encontrado tanto na sua forma orgânica como na inorgânica. Ele é emitido para o ambiente em diferentes compostos químicos, por processos naturais e pelas atividades humanas. Em geral os valores de fundo para as concentrações de Hg no ambiente são baixos e a maior parcela do Hg presente no ambiente é de origem natural. Entretanto, em termos locais, as fontes antropogênicas podem ser muito superiores às emissões naturais. No meio ambiente é facilmente transportado pelos ventos, chuvas e rios. Na atmosfera, o Hg ocorre tanto na forma gasosa quanto na forma particulada, e em várias composições químicas (GESAMP, 1986, citado por GERAB, F. et al., 1996). Sua concentração na atmosfera varia fortemente com as condições meteorológicas, especialmente quando o Hg está associado a partículas



de aerossol. Na amazônia, já foram observados altas concentrações de Hg na atmosfera, nas proximidades das casas de queima (MALM et al., 1990, citado por GERAB, F. et al., 1996) e os níveis de Hg atmosféricos encontrados na região de mineração representam um risco à saúde das populações locais (HACON, 1991 e 1996, citado por GERAB, F. et al., 1996).

Dentre os metais pesados, o mercúrio é considerado um dos mais tóxicos. As formas físicas e químicas do mercúrio determinam o metabolismo de absorção, distribuição e eliminação pelo homem. O mercúrio é um dos metais que, comprovadamente, sofre biomagnificação ao longo das cadeia alimentar (Figura 1.12) e além disso é eficientemente levado à sua forma mais tóxica (metil-mercúrio), principalmente em ambientes aquáticos (GERAB, F. et al., 1996).

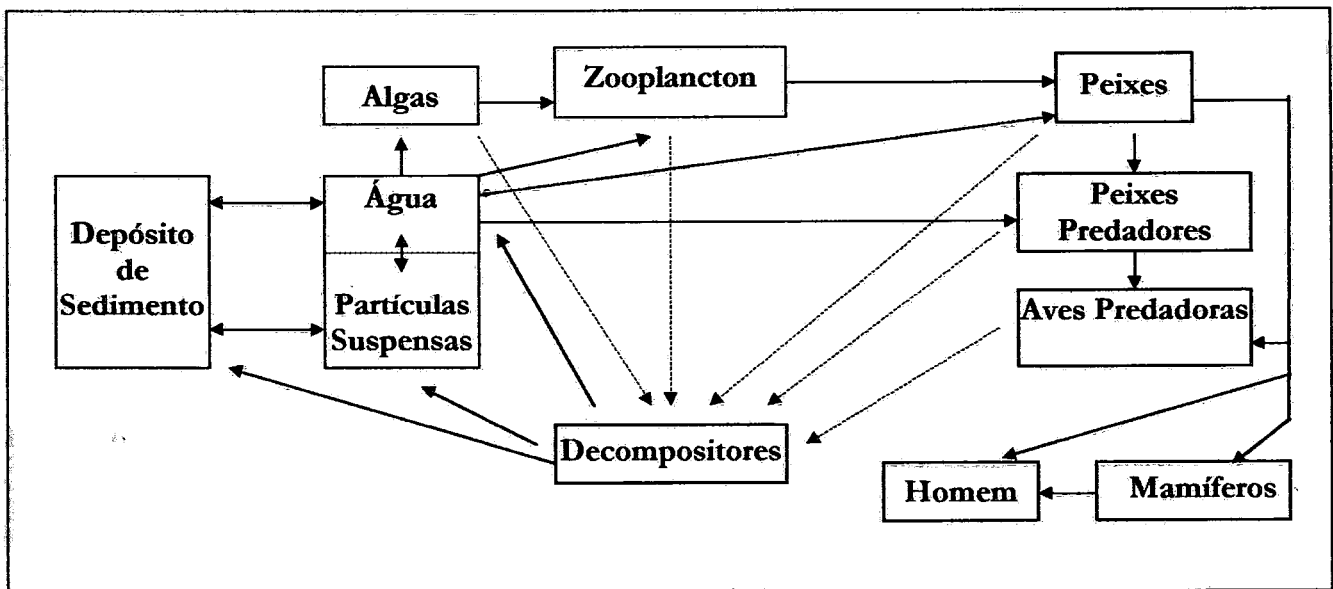


Figura 1.12 - Biomagnificação do mercúrio na cadeia alimentar  
 Fonte: OBERHANSLI, 1995

©

Cerca de 95% do vapor de mercúrio liberado para a atmosfera, durante a queima do amálgama, é liberado na sua forma neutra ( $Hg^0$ ) que é rapidamente oxidado a  $Hg^{2+}$ , através das reações mediadas pelo ozônio, energia solar e vapor de água (LINDQVIST, 1991, citado por GERAB, F. et al., 1996).

Os vapores de mercúrio gerados em ambientes abertos, espalham-se rapidamente por todos os lugares, sendo condensados em folhas de árvores, solo e superfícies de corpos receptores líquidos (poças d'água, igarapés, rios, etc.) ampliando o alcance da contaminação. Do mesmo modo, como o homem, os animais da fauna terrestre também sofrem contaminação pelo metal. Por outro lado, grande parte desses vapores difundem-se para a atmosfera, são oxidados a  $Hg^{2+}$  e por meio de precipitações pluviométricas, retornam ao ambiente das regiões atingidas, podendo sofrer metilação, processada por bactérias (Figura 1.13), de acordo com a reação apresentada a seguir.

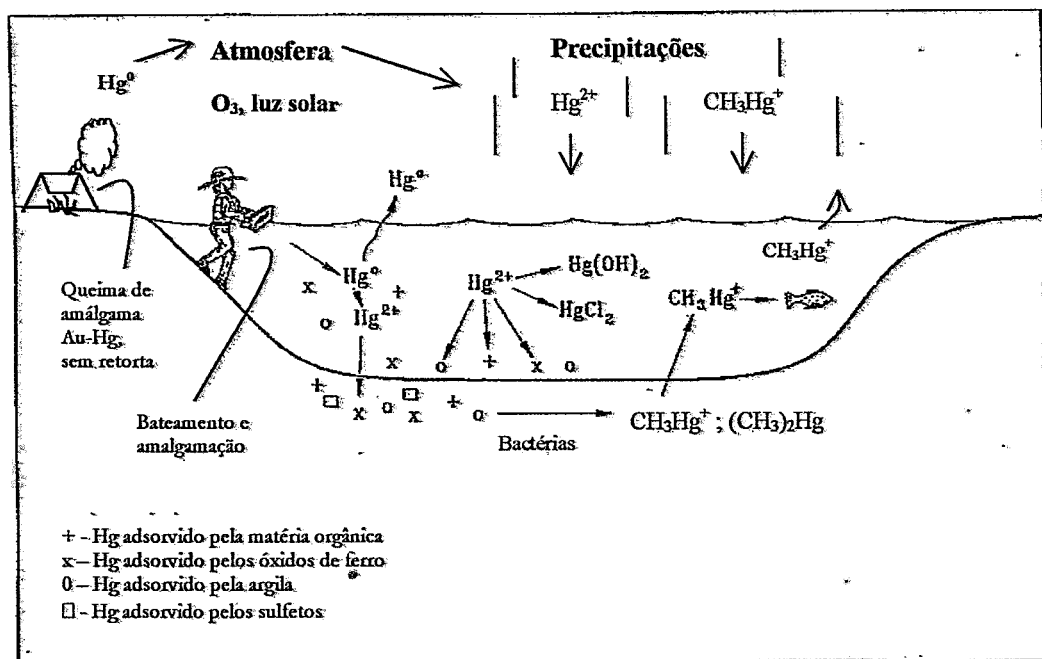
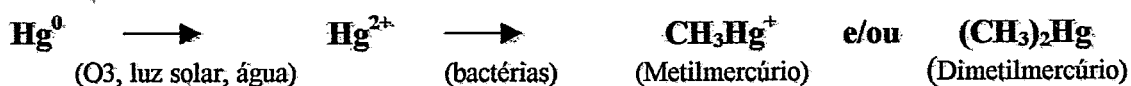


Figura 1.13 – Modelo hipot\u00e9tico do ciclo do Hg na regi\u00e3o de Ouro Preto e vizinhan\u00e7as (adaptado de Buscher, 1992).

O merc\u00fario, quando gerado em forma de vapor em recintos fechados como casas, barracos, etc. (Figura 1.15), \u00e9 pass\u00edvel de condens\u00e7\u00e3o em qualquer superf\u00edcie fria, como paredes, toalhas, telhados, utens\u00edlios dom\u00e9sticos, potes de \u00e1gua, etc., voltando \u00e0 sua forma l\u00edquida original, constituindo-se uma fonte de contamina\u00e7\u00e3o perigosa para o homem e o meio ambiente. \u2609

O uso do merc\u00fario nos garimpos \u00e9 agravado devido ao fato de que a pessoa mais exposta, o chamado “queimador”, inspira os vapores de merc\u00fario, na hora da queima do ouro amalgamado, quando esta \u00e9 realizada na forma mais comum nos garimpos, isto \u00e9, sem o emprego de retortas.

Resultados obtidos em garimpos mostraram grandes diferen\u00e7as nos n\u00edveis de contamina\u00e7\u00e3o de um “queimador” e um n\u00e3o “queimador”. Foram constatados n\u00edveis de merc\u00fario na urina e no sangue acima dos limites estabelecidos pela legisla\u00e7\u00e3o brasileira (Portaria 12 SSMT/MTB de 14/03/83). Enquanto esta legisla\u00e7\u00e3o permite at\u00e9 50  $\mu\text{g/L}$  de Hg na urina e 2,1  $\mu\text{g}/100\text{g}$  de Hg no sangue, foram verificados, principalmente na popula\u00e7\u00e3o diretamente exposta (queimadores), n\u00edveis de at\u00e9 333  $\mu\text{g/L}$  na urina e numerosos casos com n\u00edveis de merc\u00fario acima do permiss\u00edvel no sangue, demonstrando estar ocorrendo uma exposi\u00e7\u00e3o ocupacional excessiva, com significativo risco de comprometimento dessa popula\u00e7\u00e3o (CETESB, 1985, apud EYSINK, G. G. J. et al., 1988).

Em 1990, a FEAM, em conjunto com o IEF e o IBAMA, realizou um trabalho preliminar de avaliação em treze regiões de garimpo de ouro e diamante, consideradas as mais críticas do estado de Minas Gerais. O relatório final do trabalho concluiu que o homem e o meio ambiente encontram-se sob um processo dinâmico de contaminação por mercúrio, uma vez que o metal tóxico está presente em todo material analisado, em muitos casos com valores acima dos limites permissíveis (FEAM, 1990).

Em Paracatu, amostras de solo coletadas perto de queimadores apresentaram valores de até 1132 ppm (SILVA, et al., 1989). O teor médio de Hg, na crosta terrestre, está em torno de 0,1 ppm (MALM, 1991). Nas vizinhanças de Ouro Preto, algumas amostras de sedimento apresentaram teores de até 22,4 ppm, ou seja, 560 vezes maior que aquele considerado normal para sedimento, que é de 40 ppb Hg, segundo LACERDA & PFEIFFER, 1988. Amostras de água coletadas em riachos da região de Ouro Preto e Mariana, apresentaram valores médios de 0,88 ppb de Hg (BUSCHER, 1992), enquanto que o nível normal para água de rios é 0,2 ppb e para água potável, 0,1 ppb de Hg, de acordo com o Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA.

Em amostras de sedimentos e solos da região de Monsenhor Horta, foram verificados, resultados de até 1244 ppb e 530 ppb de Hg, respectivamente. Exames preliminares de urina feitos em garimpeiros e pessoas desta comunidade, apresentaram resultados de até 100 µg/L de Hg, 10 vezes superior ao nível máximo de excreção considerado normal, de 10 µg/L, segundo GALVÃO, 1987.

Segundo BUSCHER, 1992, nas áreas garimpeiras de Ouro Preto e vizinhanças, 75 kg de mercúrio são empregados anualmente pelos garimpeiros sendo que, deste total, 7,5 kg (10%) são descarregados diretamente nos riachos e 15 kg (20%) são lançados na atmosfera, devido à queima do amálgama. ©

No trabalho realizado na região de Ouro Preto, BUSCHER, 1992, conclui: "Esforços devem ser feitos no sentido de proteger o meio ambiente e a população da contaminação por mercúrio, antes que o dano se torne irreversível e incontrolável. Estes esforços devem considerar o bem estar dos garimpeiros e seus familiares".

MALM, 1991, relata em uma de suas publicações: "Ao final do século XX, nos deparamos com mais uma corrida ao ouro, mas agora de forma intensa, mecanizada e com lançamentos de grande porte de Hg num ambiente pouco conhecido com relação às possíveis transformações biogeoquímicas e, portanto, com possíveis ameaças às populações humanas expostas".

VEIGA & MEECH, 1992, afirmam: "A poluição mercurial devida à atividade garimpeira representa hoje um dos mais sérios problemas ambientais produzidos pela espécie humana".

## 1.6 Propriedades, fontes e usos do mercúrio

O mercúrio, também conhecido por “*azougue*”, é o único metal encontrado em estado líquido em temperaturas ordinárias. Com símbolo Hg, apresenta as seguintes propriedades físico-químicas: número atômico 80, peso atômico 200,59 g e ponto de ebulição 356,9 °C. O mercúrio é 13,55 vezes mais pesado que a água, possui alta condutividade elétrica, expansão de volume uniforme, facilidade de ligar metais para fazer amálgamas e alta tensão superficial (MALM, 1991).

Pertence ao grupo IIB da tabela periódica, juntamente com o Zinco e o Cádmiio. Porém, apresenta comportamento químico acentuadamente diferente destes dois. As propriedades físico-químicas pouco comuns do Hg metálico fizeram com que este metal tivesse inúmeras aplicações. Sua fluidez a temperatura ambiente, elevada tensão superficial e alta condutividade térmica e elétrica o fazem um bom material refrigerante ou condutor; sua expansão uniforme de volume ao longo de uma ampla faixa de temperatura e elevada densidade o tornam ideal para a fabricação de instrumentos para medidas físicas, sistemas elétricos de pequeno e grande porte, baterias ou lâmpadas a gás. A estas propriedades podem ainda ser acrescentadas a alta capacidade catalítica de vários compostos mercuriais, tais como óxidos, cloretos ou sulfetos, em reações orgânicas para a produção de polímeros sintéticos, assim como a atividade fungicida de diversas formas orgânicas, o que explica suas aplicações em tintas, papéis, ou na agricultura como controle biológico de pragas. As aplicações como fungicidas utilizam principalmente as formas alquil, mais tóxicas do que as formas aril, comumente usadas na indústria farmacêutica (MALM, 1991).

Além de ser um metal líquido em temperaturas ordinárias, o mercúrio tem a capacidade de dissolver outros metais formando ligas. Esta solução é chamada amálgama e é bem conhecida para vários metais, dentre eles o ouro (Au), a prata (Ag), o cobre (Cu), o zinco (Zn), o estanho (Sn), o cádmio (Cd), o sódio (Na) e a platina (Pt); na realidade são poucos os metais (como o Fe, Ni e Co) que não formam amálgamas com o mercúrio. Os amálgamas possuem várias aplicações práticas, sendo que as principais estão na odontologia, eletrônica, metalurgia e recuperação de minerais nobres (Au e Ag) (MALM, 1991).

Os compostos inorgânicos do mercúrio são utilizados principalmente em indústrias de componentes elétricos, eletrodos, polímeros sintéticos, ou como agente anti-séptico, devido à sua eficácia, solubilidade e elevado grau de dissociação. Os organomercuriais são utilizados como fungicidas, fumigantes e inseticidas. Já o mercúrio metálico é empregado na fabricação de amálgamas para uso odontológico, termômetros, barômetros, acrômetros, espelhos, contatos elétricos, células eletrolíticas para a produção de soda e cloro, aparelhos elétricos, e tintas.

Um terço da produção mundial é empregada na forma metálica, enquanto dois terços como compostos de mercúrio (LINDQVIST, 1985, citado por MALM, 1991).

As categorias industriais que mais consomem Hg, nos EUA, são as fábricas de cloro-soda, onde o Hg é usado como cátodo em uma reação eletroquímica para a produção de soda cáustica (NaOH), gás cloro e subprodutos e, as que produzem baterias. As duas são responsáveis por mais de 60% dos usos com a primeira apresentando decréscimo rápido de utilização nos países ricos, enquanto a segunda parece crescer em utilização. A estas se seguem a crescente utilização em tintas e instrumentos, enquanto o uso de amálgamas dentárias, é ainda motivo de muita discussão (envolve interesses industriais), mas mostra ligeira tendência a um decréscimo (MALM, 1991).

As principais fontes naturais de mercúrio para a atmosfera são a volatilização/evaporação da crosta terrestre e dos oceanos. Emissões vulcânicas de Hg oscilam em torno de 20 t /ano enquanto as estimativas anuais de emissões antropogênicas oscilam entre 2.000 e 10.000 t de Hg (MALM, 1991)

O ciclo do Hg envolve principalmente a volatilização da crosta terrestre, a evaporação de corpos hídricos, transporte atmosférico e, novamente, sua deposição sobre a vegetação, solos e águas sendo drenado na sua forma inorgânica geralmente associada a partículas ou matéria orgânica, para os corpos d'água. Este ciclo é, pois, o resultado de vários processos físicos, químicos e bioquímicos, produzindo padrões de distribuição extremamente complexos, alguns ainda não conhecidos, principalmente em ambientes tropicais. O tempo de residência do Hg em diversos compartimentos ambientais é dependente de sua mobilidade que, por sua vez, vai depender da forma química em que se encontra. O ciclo pode ser bem longo pois várias de suas formas orgânicas ou inorgânicas, com grande estabilidade ou não, são voláteis, possibilitando ciclos repetidos de longa duração (LINDQVIST, 1984, citado por MALM, 1991). ©

Acredita-se que o intemperismo, a erosão e a volatilidade tenham liberado 16 bilhões de t de Hg no meio ambiente através dos tempos geológicos. Apenas 0,1% desta quantidade permanecem em solução nos oceanos (MORE & RAMAMOORTHY, 1984, citado por MALM, 1991). Seu destino mais comum são os sedimentos de fundo de lagos, rios, baías e particularmente dos oceanos, onde seu período de retenção é muito longo (em torno de 2000 anos). Os oceanos são assim, o principal repositório de Hg, porém, neste compartimento, com a atual atividade poluidora humana, 100 anos seriam necessários para que fosse observada qualquer alteração (CLARKSON, 1984, citado por MALM, 1991).

As emissões a nível local apresentam, portanto, muito maior significância para o ambiente.

## 1.7 Aspectos toxicológicos do mercúrio

A toxicologia de uma substância está principalmente associada à sua ação bioquímica, às alterações fisiológicas e metabólicas que provoca, mas também à estabilidade química e ao tempo de residência nos órgãos/organismo alvo.

Com base nas características toxicológicas, existem três formas de mercúrio: o elementar ou metálico, inorgânico e o orgânico. Esta característica traz problemas especiais para aqueles que se ocupam em avaliar os possíveis riscos a saúde pública. Todas as diferentes formas químicas e físicas desse elemento tem suas propriedades tóxicas intrínsecas e diferentes aplicações na indústria, agricultura e medicina, requerendo considerações separadas sobre os possíveis riscos que acarretam. Os principais efeitos causados pelo Hg, à saúde humana, estão apresentados na Tabela 1.2.

Duas características, volatilidade e transformação biológica, fazem do mercúrio um dos importantes agentes tóxicos ambientais. Sua volatilidade responde pelas altas concentrações atmosféricas, alcançada a partir do solo, rios e crosta terrestre. Os vapores sobem por evaporação e caem por precipitação da chuva (ALBERT, 1981).

A transformação biológica do mercúrio em compostos de alquilmercúrio de cadeia curta, processada por bactérias, é a segunda característica importante. O mercúrio é um dos únicos metais que, comprovadamente, sofre biomagnificação ao longo da cadeia alimentar. Além disso é eficientemente organificado à sua forma mais tóxica (metilmercúrio) no ambiente aquático (LINDQVIST, 1991 citado por GERAB, F. et al.). Este fato, provavelmente, responde pela alta concentração de metilmercúrio em peixes. Os ecossistemas aquáticos configuram-se como os de maior risco para as populações ambientalmente expostas.

A meia vida biológica para eliminação de metilHg é das maiores se comparada à de outros compostos metálicos. Em peixes, verificou-se valores entre 640 e 1200 dias, enquanto no homem estes valores variaram entre 35 e 189 dias, ficando em geral abaixo de 70 dias (MOORE & RAMAMOORTHY, 1984; citado por MALM, 1991).

A nível local, o ciclo baseia-se na circulação hipotética de compostos de mercúrio. Neste, o mercúrio é liberado em seus distintos estados físicos e químicos principalmente pelo ser humano. Uma vez nos ecossistemas aquáticos e em presença de oxigênio, quase todas as formas de mercúrio, inclusive o mercúrio metálico ( $Hg^0$ ), podem se ionizar, oxidar e transformar em  $Hg^{2+}$ . Nos sedimentos dos leitos dos rios e do mar a forma iônica do mercúrio pode sofrer metilação convertendo-se a mono e dimetilmercúrio por duas vias, uma anaeróbica e outra aeróbica. O  $(CH_3)_2Hg$  é pouco solúvel em água e volátil. Desta forma favorece seu transporte para a atmosfera e sua posterior dispersão no meio

ambiente, redução a Hg e deposição. Portanto, é óbvia a dependência do transporte em relação à especiação (SILVA et al., 1989).

A toxicidade do metilmercúrio no homem foi primeiramente observada em 1865, em um laboratório de físico-química em Londres, Inglaterra, a partir do envenenamento de dois técnicos que trabalhavam com  $(\text{CH}_3)_2\text{Hg}$  e apresentaram dormência nas mãos, surdez, visão debilitada, inflamação nas gengivas, ataxia e posterior morte (BERMAN, 1980; citado por MALM, 1991).

Mas, foi nas décadas de 1950 e 1960, a partir do envenenamento em massa de uma população humana, pela ingestão de peixes contaminados, na Baía de Minamata, Japão, que o mundo teve contato com o risco potencial deste elemento no meio ambiente. Cloreto de mercúrio, o catalizador utilizado na indústria química de acetaldeídos, foi lançado no ambiente de forma descuidada a partir de 1932. Os primeiros sintomas de envenenamento foram observados em 1953, mas até se ter uma compreensão do problema e descobrir-se que uma “pequena” quantidade de  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  também estava sendo liberada no ambiente, a partir de 1947, houve uma luta que durou vários anos e sacrificou muitas vidas. Até 1992, um total de 2300 vítimas haviam sido reconhecidas e indenizadas pela indústria, na baía de Minamata, com cerca de 1200 mortes (MALM, 1991).

O  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  foi utilizado como fungicida na Suécia a partir de 1938. Vários sintomas de envenenamento foram observados com efeitos de decréscimo da vida selvagem, principalmente de peixes, aves e também observou-se a contaminação de aves domésticas e ovos. Entre 1948 a 1965, estudos mais específicos identificaram o contaminante e revelaram os processos de bioacumulação e biomagnificação. Estes foram observados pela forte associação do  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  pela biota e posteriormente pela maior concentração nos elos mais elevados da cadeia alimentar, como em animais predadores. A partir de 1966 o uso do  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$  foi banido na Suécia (LINDQVIST, 1984). ©

No Iraque, a ingestão de  $\text{CH}_3\text{Hg}^+$ , a partir de alimentos preparados com sementes de trigo tratadas com fungicida organo-mercurial, levou mais de 6500 pessoas aos hospitais com um número de mortes em torno de 500 pessoas (BAKIR et al, 1973, citado por MALM, 1991).

Assim, as características orgânicas que o mercúrio apresenta, principalmente no que se refere a sua volatilidade e afinidades químicas, aliadas à estabilidade química da forma monometilada, podem parcialmente explicar porque ocorrem os processos de bioacumulação a partir do meio e de biomagnificação (multiplicação da concentração ao longo da cadeia trófica) de forma mais eficiente do que com qualquer outro composto inorgânico ou organometálico (MALM, 1991).

O metilmercúrio representa apenas uma parte muito pequena do total do mercúrio num sistema aquático; porém, é a forma dominante nos organismos superiores.



Outra situação em que o mercúrio apresenta elevada toxicidade ao homem é quando inalado na forma de vapor. Nesta forma, ele é quase totalmente absorvido pelos alvéolos pulmonares; percentuais de retenção de 75 a 100% foram observados em vários experimentos com animais, sendo que no homem observou-se um valor em torno de 75% para concentrações no ar entre 50 e 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (BERMAN, 1980, citado por MALM, 1991).

Buscando associar sinais ou sintomas apresentados por pessoas, com a exposição ocupacional ao Hg, SMITH et al., 1970, realizaram um estudo com 567 trabalhadores de algumas fábricas de cloro-soda, nos EUA. Os trabalhadores foram monitorados em diversos ambientes de trabalho, com diferentes níveis de concentração de Hg no ar. Dentre estes, um grupo de controle (sem exposição ao Hg) também foi monitorado. Observou-se, de acordo com o resultado apresentado (Figura 1.14), que, com exceção de “pressão alta” e “diarréia”, todos os outros sintomas ou sinais, apresentados pelos trabalhadores monitorados, ocorreram com maior predominância onde foi maior a exposição ao Hg, com destaque para os seguintes sintomas: “perda de peso”, “perda de apetite”, “tremores”, “insônia” e “distúrbios nervosos”.

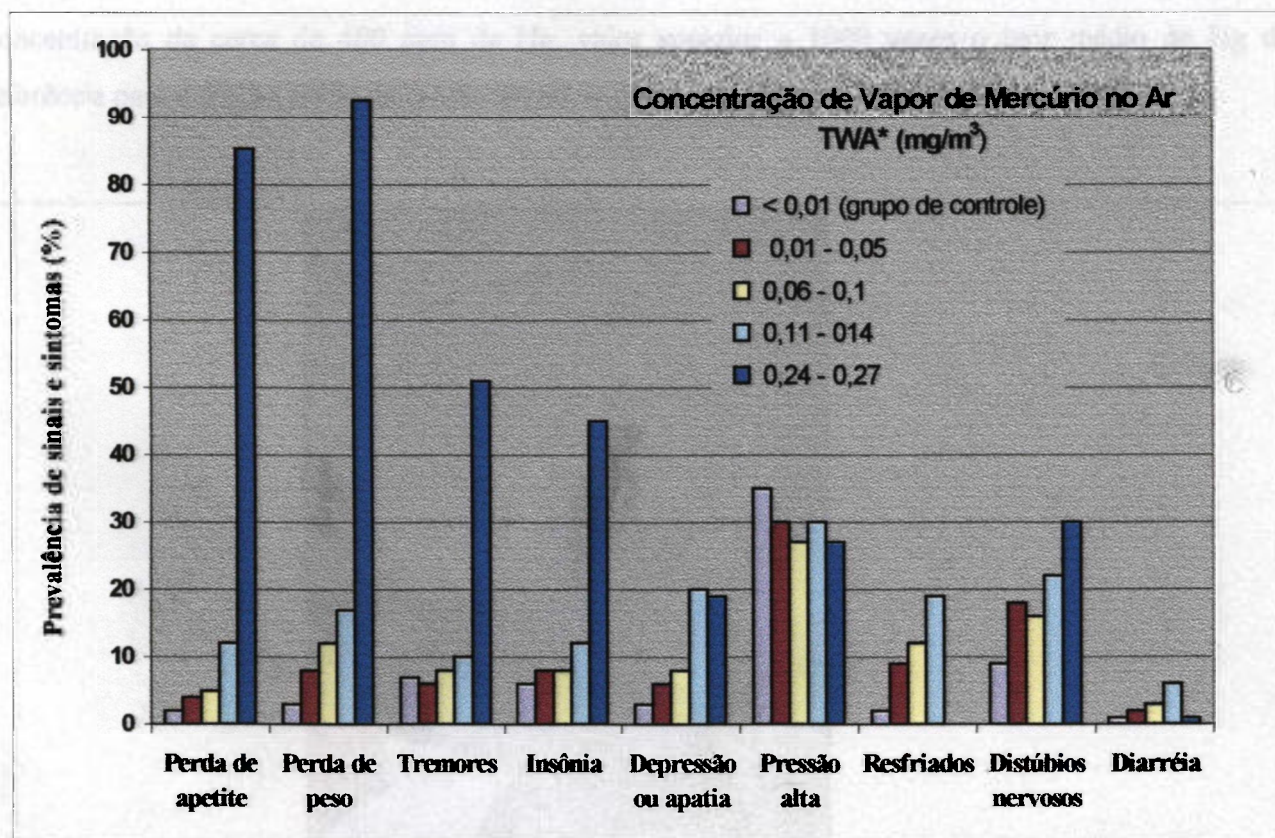


Figura 1.14 – Exposição ocupacional ao Hg (concentração no ar x prevalência de sintomas)  
 Fonte : Environmental Health Criteria 118, 1991

\* TWA - Time Weighted Average – concentração média para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias



O limite de exposição ocupacional ao vapor de Hg, no Brasil, é de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A Tabela 1.3, apresenta uma comparação entre os limites de exposição adotados por alguns países.

A exposição ao mercúrio no garimpo ocorre através de duas de suas formas de apresentação: mercúrio metálico, através dos vapores produzidos na etapa de queima do mercúrio e o metilmercúrio, através do processo de metilação do mercúrio que é lançado tanto no solo, na etapa de concentração do processo de trabalho, como na atmosfera, durante a etapa de queima. O mercúrio metálico penetra no organismo pela via respiratória, enquanto a principal via do metilmercúrio é a digestiva.

Nas atividades de extração e beneficiamento do ouro, a poluição causada pelo mercúrio e seus compostos é extremamente grave pelas conseqüências que acarreta à saúde humana e às comunidades bióticas, aquáticas e terrestres, principalmente tendo em vista a capacidade destes poluentes de se acumularem na cadeia alimentar. Os processos de amalgamação e queima da pasta formada são fontes relevantes de liberação de mercúrio no meio ambiente. Os vapores de mercúrio metálico, quando desprendidos em recintos fechados se condensam ao primeiro contato com qualquer superfície fria, voltando à sua forma líquida original, constituindo-se uma fonte perigosa de contaminação. No recinto (venda) mostrado na Figura 1.15, amostra de poeira colhida no teto (através de raspagem) apresentou concentração de cerca de 400 ppm de Hg, valor superior a 1000 vezes o teor médio de Hg de referência para a fração argila da crosta terrestre, que é de 0,3 ppm, (SILVA et al., 1996).



Figura 1.15 - Queima de amálgama realizada sem retorta e em recinto fechado, numa venda, em Monsenhor Horta, Mariana/M.G. (Cortesia FEAM).

**Tabela 1.2 - Principais efeitos à saúde humana devido à intoxicação por mercúrio**

ESPÉCIE	EFEITOS À SAÚDE HUMANA
Hg metálico	Bronquite aguda, cefaléia, catarata, tremor, fraqueza, insuficiência renal crônica, edema pulmonar agudo, pneumonia, diminuição da libido e capacidade intelectual, parestesia e insegurança
Sais inorgânicos de Hg	Cegueira, dermatite esfoliativa, eretismo, gastroenterite aguda, gengivite, nefrite crônica, síndromes neurológicas e psiquiátricas diversas
MetilHg (efeitos irreversíveis)	Dano cerebral e físico ao feto, síndromes neurológicas múltiplas com deterioração física e mental (tremores, disfunções sensoriais, irritabilidade, perda da visão, audição e memória, convulsões e morte)

(Fonte: Malm, 1991)

**Tabela 1.3 – Comparação dos Limites para a Exposição Ocupacional ao Mercúrio**

PAÍS/ÓRGÃO	LIMITES OCUPACIONAIS ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
	TWA*	STEL**
EUA (OSHA) e ACGIH	100 (aril/inorgânico) 50 (vapor) 10 (alquil)	30 (alquil)
CANADÁ (British Columbia)	100 (aril/inorgânico) 50 (vapor) 10 (alquil)	30 (alquil)
FRANÇA	50 (vapor) 10 (alquil)	
REINO UNIDO	50 vapor 10 (alquil)	150 (vapor) 30 (alquil)
CHINA	10 (vapor) 5 (alquil)	
ALEMANHA	100 (vapor) 10 (alquil)	
JAPÃO	50 (vapor)	
AUSTRÁLIA	50 (vapor) 10 (alquil)	30 (alquil)
BRASIL	40 (vapor)	

Fonte: Barreto, 1996

\* TWA - Time Weighted Average – concentração média para uma jornada de trabalho de 8 horas diárias.

\*\* STEL – Short Term Exposure – concentração máxima para uma exposição durante 15 minutos ininterruptos, com intervalo mínimo de 60 minutos entre cada exposição.

## 1.8 Área-teste do trabalho

A área garimpeira de Monsenhor Horta, em Mariana/MG, por sua proximidade de Belo Horizonte e suas características bastante peculiares, foi selecionada para ser o alvo de um projeto interinstitucional financiado pela Fundação de Amparo à Pesquisa de M.G. - FAPEMIG, no qual este trabalho está inserido. Este projeto, que visa conhecer o real impacto do mercúrio na saúde das pessoas e no meio ambiente, teve início em 1995 e tem seu término previsto para meados de 1998.

O município de Mariana, importante centro turístico de Minas Gerais, localiza-se a cerca de 100 km a sudeste de Belo Horizonte e a 10 km ao leste de Ouro Preto (Figura 1.16). O distrito de Monsenhor Horta, pertencente ao município de Mariana, localiza-se a cerca de 20 km ao leste da sede urbana municipal.

O distrito de Monsenhor Horta possuía cerca de 1.600 habitantes, sendo 950 residentes na zona urbana e 650, na rural. O município de Mariana possuía cerca de 33.500 habitantes, incluindo os seus 09 distritos e sua sede urbana que possuía cerca de 19.300 habitantes (IBGE, 1991).



Figura 1.16 – Localização do Município de Mariana/MG

A atividade garimpeira em Monsenhor Horta é responsável por cerca de 60% da renda gerada no distrito. Os garimpos na região, apesar de já existirem há quase 20 anos, somente nesta última década é que se desenvolveram de forma intensiva, mecanizada e com a utilização de mercúrio na extração do ouro.



A maior parte dos garimpos de Monsenhor Horta, é do tipo aluvião (Figura 1.17), e situa-se às margens do Ribeirão do Carmo (Bacia do Rio Doce), dentro do perímetro urbano, próximos às residências, escolas e lojas de comércio locais. Atualmente, existem cerca de 07 bombas operando nesta área, sendo que este número varia a todo instante e depende do sucesso ou fracasso da busca ao ouro e do rigor da fiscalização no local. Em cada bomba trabalham, em média, 05 pessoas.

A produção de ouro é muito variada, em média de 200 a 400 g semanais, por bomba. Em alguns casos fortuitos, não muito raros na região, chega-se extrair até de 2 kg de ouro, semanais.

Considerando 05 (cinco) bombas operando continuamente na região, com uma produção média semanal variando entre 200 e 500 g de ouro, por bomba, e 9 (nove) meses de operação durante o ano, a produção de ouro anual estimada, portanto, deve variar de 36 a 90 kg.

Observou-se, durante os trabalhos realizados nesta região, que os amálgamas produzidos pelos garimpeiros locais, em média, apresentavam uma relação Hg/Au igual a 0,7, isto é, para cada kg de ouro produzido utilizava-se, em média, 0,7 kg de Hg. Baseando-se neste dado e na estimativa de produção de ouro apresentada, estima-se que de 25 a 63 kg de Hg são descartados anualmente, nesta região. O mercúrio utilizado, segundo os garimpeiros, é adquirido nas casas de compra de ouro em frasco contendo 100 g, ao preço de R\$3,00, no ato da venda do ouro.

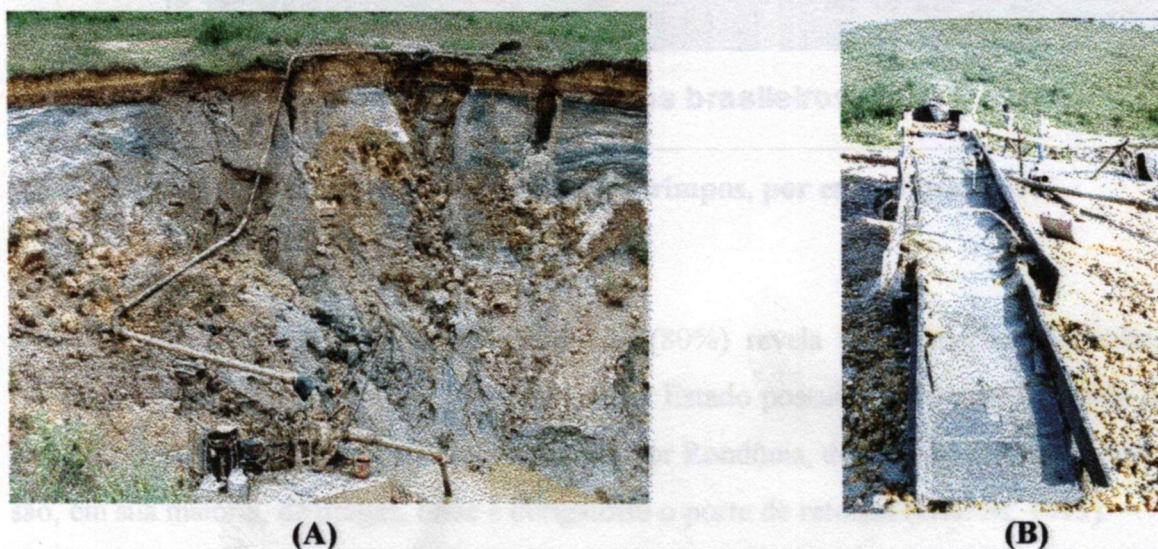


Figura 1.17 - Garimpo típico da região de Monsenhor Horta, Mariana/MG

(A) Desmonte e sucção; (B) Concentração em plano inclinado com carpete no fundo.

## CAPÍTULO 2 - ESTADO DA ARTE

Neste capítulo será abordado o estado da arte dos equipamentos destiladores de mercúrio existentes no país, denominados retortas. Descrevem-se aqui tanto as retortas citadas em trabalhos científicos, quanto aquelas que, apesar de se ter pouca ou nenhuma informação sobre suas origens e performances, torna-se relevante relatar as suas concepções e princípios de funcionamento. Na pesquisa realizada, constatou-se que o índice de utilização de retortas nos garimpos é muito baixo. Em média, usam-se retortas em somente 10% dos garimpos brasileiros. (Figura 2.1). Este baixo índice deve-se, em grande parte, à falta de equipamento adequado para esta finalidade e de conscientização dos garimpeiros quanto ao problema da contaminação mercurial.



Figura 2.1 – Utilização de retorta nos garimpos, por estado brasileiro

Fonte: DNPM, 1993.

O alto índice observado em São Paulo (80%) revela uma situação particular, de pouca relevância na média nacional, devido ao fato deste Estado possuir um número reduzido de garimpos de ouro. O índice de cerca de 37%, apresentado por Rondônia, deve-se ao fato de que seus garimpos são, em sua maioria, de dragas, onde é obrigatório o porte de retortas (DNPM, 1993).

Dentre as poucas retortas em utilização, raras, ainda, são aquelas adequadas e/ou aprovadas para serem usadas como a finalidade de recuperar o Hg contido em amálgamas.

Segundo o CETEM, órgão federal de pesquisa, credenciado pelo IBAMA, para testar equipamentos desta natureza, somente 4 (quatro) retortas foram submetidas ao “Teste de Eficiência e Estanqueidade”, exigido pelo IBAMA para a obtenção do “Registro do Equipamento”.

As retortas aprovadas no teste realizado no CETEM foram: a Retorcet, do próprio CETEM; a da UFRJ (sem nome); a do CDTN (sem nome) e o protótipo da retorta OuroLimpo (sem queimador próprio e sem protetor contra ventos), do CDTN.

De acordo com a Portaria IBAMA Nº 435 de 09/08/89, Art. 3º - “O equipamento registrado no IBAMA deverá atender, em qualquer regime de trabalho e dentro das condições preestabelecidas de operação, a eficiência de no mínimo 96% (noventa e seis por cento) de recuperação de mercúrio utilizado no amálgama”.

Todas as quatro retortas foram aprovadas no “Teste de Estanqueidade” e obtiveram, no “Teste de Eficiência de Recuperação de Hg”, resultados praticamente iguais, que variaram entre 96,5 e 97%. O que as diferenciaram nos testes realizados, foi o tempo gasto para realizar a operação de queima padronizada. O protótipo da retorta OuroLimpo alcançou a eficiência de destilação de Hg de 96,8%, em 12 minutos de queima, enquanto as demais gastaram, no mínimo, 25 minutos para realizar a mesma operação, obtendo resultados similares de eficiência de recuperação de Hg.

A retorta desenvolvida no CETEM, denominada “RETORCET” (Figura 2.2), segundo BRAGA et al., 1995, apresenta resultado de eficiência média de recuperação de cerca de 97%, facilidades de operação e montagem e baixo custo de aquisição. O tempo de pirólise informado foi de 25 minutos e sua capacidade nominal de 1 kg de amálgama. Os autores não fazem referências às condições em que foram realizados os ensaios, como, por exemplo, o local em que a retorta foi utilizada (se ao ar livre ou em recinto fechado) e nem ao seu peso e ao seu custo de fabricação (cerca de R\$250,00, segundo técnicos do CETEM). Esta retorta não possui protetor contra ventos.

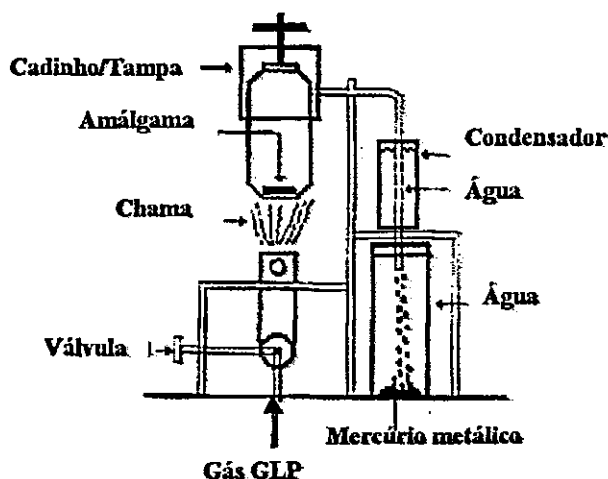


Figura 2.2 - Desenho esquemático da retorta RETORCET (Cortesia CETEM)



A respeito da retorta (sem nome) desenvolvida no Instituto de Biofísica Carlos Chagas da Universidade Federal do Rio de Janeiro, sabe-se, através de informações colhidas junto a pesquisadores daquele Instituto, que a mesma é composta por cadinho e tampa, em ferro, apoiados em um suporte (haste metálica), o qual é cravado no solo. Possui “queimador” e “protetor contra ventos” integrados à mesma. Pesa cerca de 7 kg e tem uma altura (do cadinho ao chão) de cerca de 1,2 m. O seu custo de fabricação informado foi cerca de R\$150,00. À primeira vista, o mesmo parece ser muito grande e pesado, o que, no nosso modo de pensar, dificulta o seu transporte e manuseio por parte dos garimpeiros, que estão sempre mudando de local de garimpagem.

A retorta (sem nome) desenvolvida no CDTN (Figura 2.3), foi construída a partir da fundição de um cadinho e tampa, em ferro fundido, e tubo de ferro fundido de 1/2" soldado na tampa, que funciona como condensador. A vedação do sistema é feita através de um anel de vedação em amianto grafitado, localizado na tampa, que por sua vez é comprimido contra a parede do cadinho quando a tampa é fechada (o aperto se dá por meio de três porcas borboleta). Este equipamento foi testado e aprovado pelo CETEM para uso como destilador de Hg. Porém os técnicos que realizaram os ensaios alertaram sobre o fato desta retorta ser superdimensionada quanto ao seu tamanho (grande volume) e à espessura de suas peças. O cadinho e a tampa têm espessura de parede de 8 mm e um volume útil de cerca de 500 cm<sup>3</sup> de amálgama, quando fechados. Esta capacidade é suficiente para processar cerca de 7 kg de amálgama Au-Hg (relação 1/1 em peso), enquanto que nos garimpos uma produção diária considerada ótima, gira em torno de 300g de Au. Características desse tipo fazem com que o tempo de queima seja muito longo, cerca de 40 minutos a 1 hora, comprometendo seu uso pelos garimpeiros. Este modelo também não foi projetado com “protetor contra ventos” e nem com “queimador”, integrados ao conjunto.

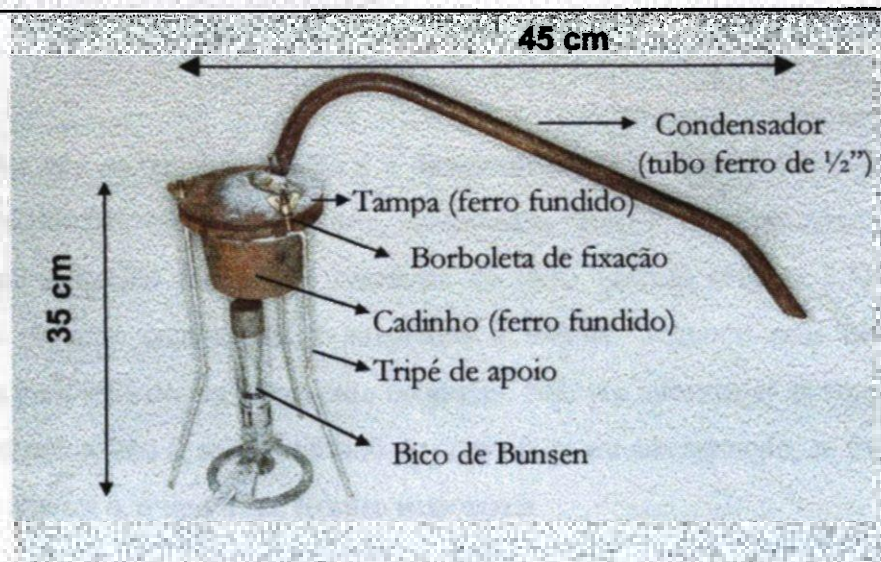
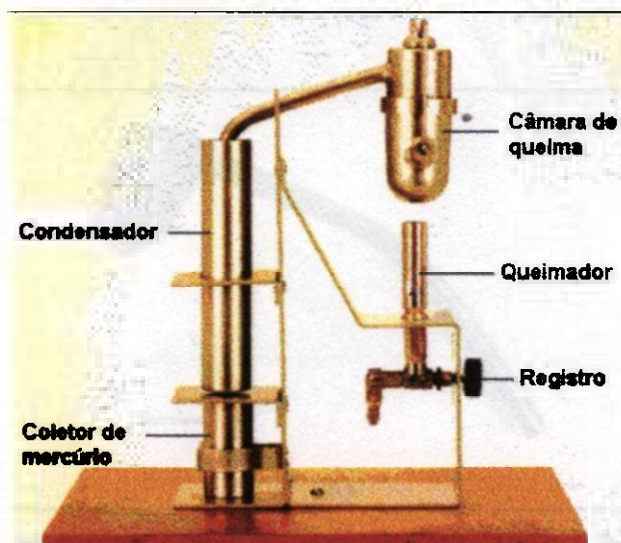


Figura 2.3 - Retorta “sem nome” desenvolvida no CDTN

Uma outra retorta disponível comercialmente é a denominada “Ouromil<sup>®</sup>”, que é fabricada e comercializada em Curitiba/PR (Figura 2.4). Segundo o fabricante, esta retorta foi testada e aprovada no Instituto de Tecnologia do Paraná (Folder da Crystal Química/PR). Nas suas especificações técnicas não são informados a eficiência de recuperação de mercúrio e o tempo médio gasto para se processar uma queima de amálgama. Observa-se pela Figura 2.4, que a mesma deve ter sido projetada para ser usada em recinto fechado, pois não há “protetor contra ventos”. Esta retorta é comercializada na forma de um kit em caixa de madeira, contendo: “cadinho/tampa”; “condensador”; “queimador a GLP”; “coletor de mercúrio”; jogo de anéis de vedação; e, abraçadeiras para a mangueira de gás. Seu peso líquido, é de 4kg e seu custo é de R\$350,00.



**Especificações Técnicas do Aparelho**

- Altura: 38,5 cm
- Largura: 25 cm
- Profundidade: 10 cm
- Peso: cerca de 4 kg
- Carga máxima: 1,5 kg amálgama

**Figura 2.4 - Retorta “OUROMIL<sup>®</sup>” (detalhes e especificações técnicas)**  
 Fonte: Crystal Química/Curitiba-PR

Outra retorta que se tem informação é a desenvolvida na Universidade de São Paulo por HYPÓLITO & ANDRADE, 1990. Esta retorta, denominada “RHYP”, é confeccionada através da montagem de cinco conexões hidráulicas roscáveis de ferro fundido (Figura 2.5). Não possui queimador e nem protetor contra ventos integrados à mesma. Segundo seus inventores, este destilador recupera mais 99% do Hg empregado no ensaio. Não são informadas as condições em que os testes foram realizados, isto é, se foi utilizado mercúrio puro ou amalgamado; se foi realizado em recinto fechado ou aberto; e, o tipo fonte térmica empregada.



Considerando que a queima de amálgama Au-Hg realizada nos garimpos, mesmo sob a chama direta de um maçarico, resulta em uma esponja de ouro com um residual de mercúrio de 1 a 3%, em média, infere-se que os testes realizados com a retorta "RHYP", não devem ter sido realizados com Hg amalgamado.

Segundo VEIGA, 1997, o tempo médio gasto por esta retorta para realizar uma queima de amálgama, é de 1 hora e o seu custo é de US\$12,00 (não possui queimador próprio e nem protetor contra ventos).

O fato também desta retorta se compor de peças hidráulicas, de ferro fundido, exatamente como encontradas no comércio, torna o conjunto cadinho/tampa/condensador muito pesado, tendo em vista que conexões deste tipo são muito espessas (dimensionadas para trabalharem sob pressão de água).

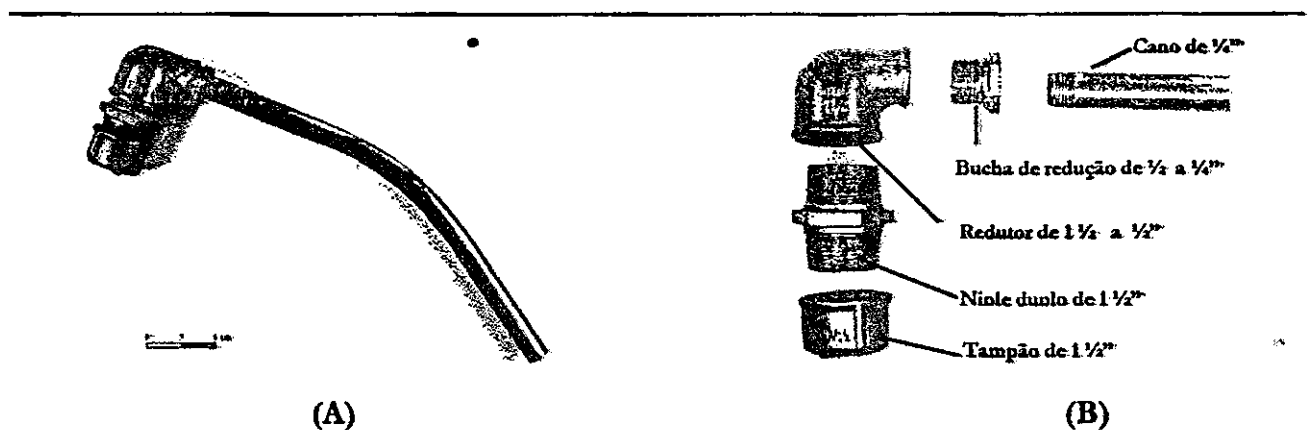


Figura 2.5 - Retorta "RHYP": (A) detalhe do modelo montado; (B) vista explodida

Fonte: HYPÓLITO & ANDRADE, 1990

©

Outra retorta de que se tem conhecimento, de origem e performance desconhecidas, foi observada no garimpo, em Monsenhor Horta (Figura 2.6). Não há informação concreta sobre onde a mesma foi obtida, a não ser que a mesma foi adquirida em troca de 18 gramas de ouro e que gasta cerca de 20 minutos para realizar uma queima, segundo seu proprietário. Se considerarmos essas informações verdadeiras, poderemos inferir que o preço de venda deste equipamento foi cerca de R\$200,00, considerando o preço de 1g de Au igual a R\$11,00, e que o mesmo possui bom sistema de aquecimento.

Nota-se pela Figura 2.6, que o conjunto “cadinho/tampa” e “protetor contra ventos” são feitos de ferro e que o fechamento da tampa se dá através da pressão da mesma contra o corpo do cadinho (anel metálico, parafuso e porca borboleta). Sabe-se que este processo de fechamento demanda de um bom projeto construtivo, pois é muito comum a ocorrência de vazamentos em vedações deste tipo, onde o fechamento se dá por pressão de metal contra metal. O “tubo condensador” é de aço inoxidável, soldado à tampa. O “protetor contra ventos” envolve totalmente o conjunto “cadinho/tampa” e o “queimador”. A sua altura é de 70 cm e a mesma não é desmontável, o que dificulta seu transporte e manuseio.



**Figura 2.6 – Modelo de retorta observada em garimpo de Monsenhor Horta**  
(A) Vista de cima, sem tampa; (B) Vista de perfil, fechada

## CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

### 3.1 Descrição da metodologia aplicada

Para alcançar os objetivos propostos nesta Dissertação, apresentam-se a seguir as três etapas principais da metodologia aplicada.

#### • Etapa 1

Pesquisa bibliográfica sobre a contaminação mercurial em áreas garimpeiras e realização de ensaios preliminares de destilação de Hg, utilizando-se inicialmente a retorta sem nome desenvolvida no CDTN (Figura 1.18). Foram realizados ensaios em laboratório e no campo, descritos a seguir.

##### - Ensaios em laboratório

Foram empregados: mercúrio puro, amálgama Ag-Hg, relação em peso de 1/1,3, bico de Bunsen como queimador e GLP como combustível. A prata usada em todos os ensaios foi na forma de pó, finamente dividido, abaixo de 35 mesh<sup>1</sup>, purificada quimicamente (dissolução/precipitação).

##### - Ensaios em campo

O teste foi realizado por um garimpeiro de Monsenhor Horta, com amálgama Au-Hg e o queimador usado foi o do tipo maçarico à GLP.

A partir dos resultados obtidos nos ensaios de laboratório e de campo, um novo modelo foi desenvolvido buscando corrigir as deficiências observadas.

#### • Etapa 2

Um novo modelo foi redimensionado, construído e testado em laboratório nas mesmas condições da Etapa 1. Os resultados obtidos mostraram uma melhoria significativa em seu desempenho. Ainda nesta etapa, foram também realizados estudos e ensaios para avaliação da viabilidade técnica e econômica do emprego de outros materiais na confecção da retorta, visando a facilidade de confecção e a melhoria de sua performance. Foram avaliados os empregos de: bronze, latão e aço inoxidável.

Ainda nesta etapa, foi realizada a monitoração de temperatura no interior do cadinho durante uma queima de amálgama. Para tal, foi utilizado um medidor de temperatura Markare e um termopar (sensor) tipo K (Alumel/Cromel), introduzido no interior do cadinho através do tubo condensador.

---

<sup>1</sup> Mesh – Número de furos por pol<sup>2</sup> de malha de uma peneira

O objetivo desta monitoração foi saber a real temperatura atingida no interior do cadinho durante uma operação de queima.

Visando comprovar a eficiência de estanqueidade do sistema destilador, foi também realizada a monitoração da concentração de Hg no ar atmosférico próximo à retorta, durante uma queima de amálgama, realizada em ambiente fechado (em laboratório). Os resultados destes ensaios estão apresentados no Capítulo 4 - “Resultados Obtidos”.

Este novo modelo de retorta, consistia basicamente de um cadinho e tampa, roscáveis, em ferro fundido e um tubo condensador em aço inox, soldado à tampa. Para melhorar a eficiência de troca de calor no condensador foi utilizado um pano úmido enrolado no tubo, ao qual adicionava-se água durante a queima. A fonte térmica era produzida através de um queimador tipo bico de Bunsen e gás liqüefeito de petróleo – GLP, como combustível. Um protótipo deste novo modelo foi submetido ao “Teste de Eficiência e Estanqueidade”, com aprovação no CETEM.

Algumas destas retortas foram produzidas e doadas aos garimpeiros de Monsenhor Horta para uso e avaliação de sua performance quanto à eficiência de recuperação de Hg, tempo de queima empregado e facilidade de operação. Após analisar a avaliação feita pelos garimpeiros, foram introduzidas melhorias no projeto e um novo modelo otimizado foi construído.

### • **Etapa 3**

Neste novo modelo, denominado retorta “OuroLimpo<sup>®</sup>”, buscou-se agregar as qualidades que cada uma das retortas conhecidas possuía e, ao mesmo tempo, atender as observações registradas pelos garimpeiros no que se refere ao modelo anterior. As melhorias alcançadas foram:

- a) Um “queimador” eficiente integrado ao sistema, que veio facilitar em muito o uso da retorta e evitar contratempos causados pelos vários tipos de maçaricos encontrados nos garimpos;
- b) Um “protetor contra ventos” que tem a função de proteger o conjunto “cadinho/tampa” do contato com ar frio externo (ventos) e, ao mesmo tempo, proporcionar uma maior concentração de calor sobre o mesmo conjunto;
- c) Uma conexão de ferro soldada à tampa, na qual se encaixa o “tubo condensador”, ao invés de soldá-lo à tampa, como no modelo anterior. Desta forma, facilita-se o trabalho de soldagem (mesmo material) e torna o modelo mais prático para o manuseio (desmontável em partes).

Este modelo foi testado em laboratório utilizando-se amálgama Ag-Hg, nas mesmas condições da Etapa 1 e, no garimpo, com amálgama Au-Hg cedido por garimpeiros. Os resultados destes testes, estão apresentados no Capítulo 4 - "Resultados Obtidos".

Após a avaliação dos resultados obtidos, este modelo foi padronizado para produção em série e algumas destas retortas foram construídas e introduzidas na área garimpeira de Monsenhor Horta, através de doação aos garimpeiros.

Concomitantemente aos trabalhos realizados nas diversas etapas, palestras, encontros e oficinas de trabalho foram planejados e realizados, em conjunto com a FEAM e a SES, em Monsenhor Horta, visando a sensibilização dessa comunidade quanto aos malefícios causados pelo mercúrio e, principalmente, quanto a importância do uso de retortas. Nestes eventos, a fim de facilitar a exposição das informações, foram utilizados como recursos didáticos: transparências, fotografias, filmes e uma retorta de vidro, desenvolvida nesta Dissertação, a qual foi usada em palestras de demonstração do princípio de funcionamento e da importância das retortas.

Este trabalho, coordenado pela FEAM, foi realizado mensalmente, durante seis meses, com ampla divulgação dos eventos programados. Todos os encontros com a comunidade garimpeira tiveram grande cobertura pelos meios de comunicação, principalmente, pelas redes de televisão e jornais locais. Nestes eventos educativos, compareceram com frequência: garimpeiros, estudantes, professores, pessoas da comunidade e políticos da região.

### **3.2 Descrição da retorta "OuroLimpo®"**

A retorta OuroLimpo® é um sistema de destilação (Figura 3.1 e 3.2) composto de:

- a) "fogareiro";
- b) "suporte para cadinho";
- c) "protetor contra ventos";
- d) "cadinho" ou câmara de queima;
- e) "tampa do cadinho" (tipo roscável);
- f) "tubo condensador" e;
- g) "conexão" soldada na tampa, onde é encaixado o "tubo condensador".

O "fogareiro", por sua vez, é composto de: "apoio" (tipo tripé); "base" com aletas; "queimador" e "mangueira de gás" com dois registros.

A seguir é apresentado um detalhamento de cada um desses componentes.

- a) O fogareiro utilizado possui altura de 17 cm e peso de 1,7 kg. Duas adaptações foram feitas no fogareiro: uma, nas aletas situadas na “base” e a outra, no “queimador” (onde se produz a chama). Em cada uma das aletas, foi feito um pequeno corte para encaixe do “protetor contra ventos”. Já no “queimador”, foi feito um estreitamento em sua abertura a fim de melhorar o direcionamento e concentração da chama sobre o conjunto “cadinho/tampa”. O fogareiro utilizado, que demonstrou ser muito eficiente, é facilmente encontrado no comércio. Por questões de segurança, optou-se pelo modelo, que possui “mangueira de gás” com dois registros.
- b) O “protetor contra ventos” tem como funções básicas: evitar a troca de calor entre o conjunto “cadinho/tampa” e o ar frio, concentrar calor neste conjunto e ainda proteger a chama de ventos. Sua forma é cilíndrica e é feito em chapa de aço carbono, de 1 mm de espessura. Sua altura é de 20 cm e seu diâmetro interno de 13,5 cm. Na parede deste cilindro de aço é feito um corte de 12 cm de altura por 1,5 cm de largura, onde se encaixa o “tubo condensador”. Para aumentar a resistência mecânica dessa peça, a chapa é frisada em dois pontos.
- c) O “suporte do cadinho” é confeccionado através do corte, dobra e solda de quatro pedaços de barra chata de ferro, de 3 mm de espessura e 20 mm de largura. O “suporte” pode ser usado apoiado na “base do fogareiro” ou soldado internamente no “protetor contra ventos”.
- d) O “cadinho” utilizado foi confeccionado utilizando um niple duplo de 2 ½”, de ferro maleável, preto (sem galvanização), e chapa de aço carbono de 3 mm de espessura. O niple, que compõe o corpo do “cadinho” é usinado até adquirir dimensões padronizadas (Figura 3.2), mantendo uma de suas extremidades com a rosca original. A chapa é cortada e soldada no niple, compondo o fundo do “cadinho”.

Visando reduzir o tempo despendido na realização de queima de amálgama, construiu-se dois cadinhos de diferentes tamanhos, acopláveis à mesma tampa. Um ou outro cadinho, pode ser usado de acordo com a quantidade de amálgama produzida pelo garimpeiro, tornando o sistema mais versátil (Figura 3.2).

- e) A “tampa do cadinho” é feita de um tampão de 2 ½”, de ferro maleável, preto, a qual é furada na sua parte lateral superior, onde é soldada uma conexão de ferro de 10 mm de diâmetro interno (união simples de solda). Esta conexão, que recebe o “tubo condensador”, funciona pelo sistema de porca de aperto e anel de penetração interno, o qual é comprimido contra a parede do tubo ao se processar o aperto da porca sobre o corpo da conexão. Este sistema fornece uma perfeita ligação entre estas peças, não possibilitando a ocorrência de vazamentos (alta estanqueidade).

f) O “tubo condensador” é feito utilizando 45 cm de tubo de aço inoxidável, com espessura de parede de 1 mm e diâmetro externo de 10 mm. Este é curvado com o propósito de promover um maior contato do Hg vaporizado com a parede do tubo e facilitar a coleta do Hg condensado. O seu tamanho e forma asseguram uma perfeita condensação do vapor de Hg, dispensando a imersão da saída do mesmo em água. Desta forma, evita-se a possibilidade de ocorrência de acidente (explosão da câmara), causado pela sucção da água fria para o interior da câmara de queima superaquecida, passível de ocorrer, no final da queima, em retortas cujo tubo condensador encontra-se mergulhado em água. A fim de aumentar a eficiência de troca de calor do “tubo condensador”, deve-se enrolar e prender sobre o mesmo, um pano úmido.

### 3.3 Descrição dos ensaios realizados

Os ensaios de laboratório foram realizados segundo a metodologia adotada pelo CETEM (GRANATO, 1989). Os materiais utilizados foram pesados em balança digital, marca Sartorius, carga máxima de 2 kg e precisão de 0,1g. O combustível empregado foi o GLP.

Inicialmente, pesa-se o cadinho vazio, tara-o e, seguindo o mesmo processo, pesa-se a prata e o mercúrio (pesos iniciais). Promove-se a homogeneização da mistura (prata em pó e mercúrio metálico), até que todo o material se apresente com uma mesma coloração. Formado o amálgama Ag-Hg, o cadinho é fechado e inicia-se a operação de queima.

Ao fim da queima e após resfriamento do cadinho, pesa-se: a prata e o mercúrio recolhido (pesos finais). Calcula-se então a Eficiência de Recuperação e de Retenção de Hg e o Residual de Hg retido na prata, expressos em %, conforme cálculos descritos abaixo.

$$\text{Eficiência de Recuperação de Hg} = \frac{\text{Peso de Hg recolhido}}{\text{Peso de Hg inicial}} \times 100 \quad (1)$$

$$\text{Residual de Hg na prata} = \frac{\text{Peso de Hg retido na Ag}}{\text{Peso de Hg inicial}} \times 100 \quad (2)$$

$$\text{Eficiência de Retenção de Hg} = \frac{\text{Peso de Hg recolhido} + \text{Peso de Hg retido na Ag}}{\text{Peso de Hg inicial}} \times 100 \quad (3)$$

Obs.:  $\text{Peso de Hg retido na Ag} = \text{Peso final de Ag} - \text{Peso inicial de Ag}$

A “Eficiência de Retenção de Hg” é também representada pela soma dos resultados das equações ① e ②.

### 3.4 Levantamento de custo de fabricação da retorta

Na Tabela 3.1 estão relacionados os custos de mão-de-obra e dos materiais empregados na confecção de uma unidade da retorta OuroLimpo®.

**Tabela 3.1 - Planilha de custo de fabricação da retorta OuroLimpo®**

Item nº	Descrição	Unidade	Custo/un (R\$)	Quantidade empregada	Custo (R\$)
01	Fogareiro - modelo 2	un	25,00	01	25,00
02	Níple duplo de 2 1/2", ferro preto	peça	5,50	01	5,50
03	Tampão de 2 1/2", ferro preto	peça	3,50	01	3,50
04	Tubo aço inox 304, Ø <sub>E</sub> =10mm, e = 1mm	m	8,00	0,45	4,40
05	Chapa aço carbono 1020, e = 3mm	m <sup>2</sup>	14,00	0,0036	0,05
06	Chapa aço carbono 1020, e = 1mm	m <sup>2</sup>	9,00	0,09	0,81
07	União de simples solda, de 10 mm	peça	6,00	1	6,00
08	Ferro chato, e = 3mm, l = 20 mm	kg	3,00	0,2	0,60
09	Mão-de-obra autônoma (usinagem, solda, dobra e corte de chapa, etc.)	h	20,00	3	60,00

Legenda: e = espessura ; l = largura ; Ø<sub>E</sub> - diâmetro externo

**Custo Total : R\$ 105,86**

#### Discriminação do Custo Total:

- Materiais .....R\$45,86 (43,3 %)
- Mão-de-obra .....R\$60,00 (56,7 %)

©

Caso este equipamento seja fabricado em série e seus componentes adquiridos direto de seus fabricantes, estima-se que o seu custo final poderá ficar, em média, 30% menor, conforme demonstrado abaixo.

- Materiais – redução de 15 a 20% - R\$45,86 x 0,175 (17,5%) = R\$8,00
- Mão-de-obra – redução de 30 a 50% - R\$60,00 x 0,40 (40%) = R\$24,00

Preço final estimado = R\$105,86 – R\$32,00 = R\$73,86

Redução no custo (%) =  $105,86 - 73,86 / 105,86 = 30,2\%$



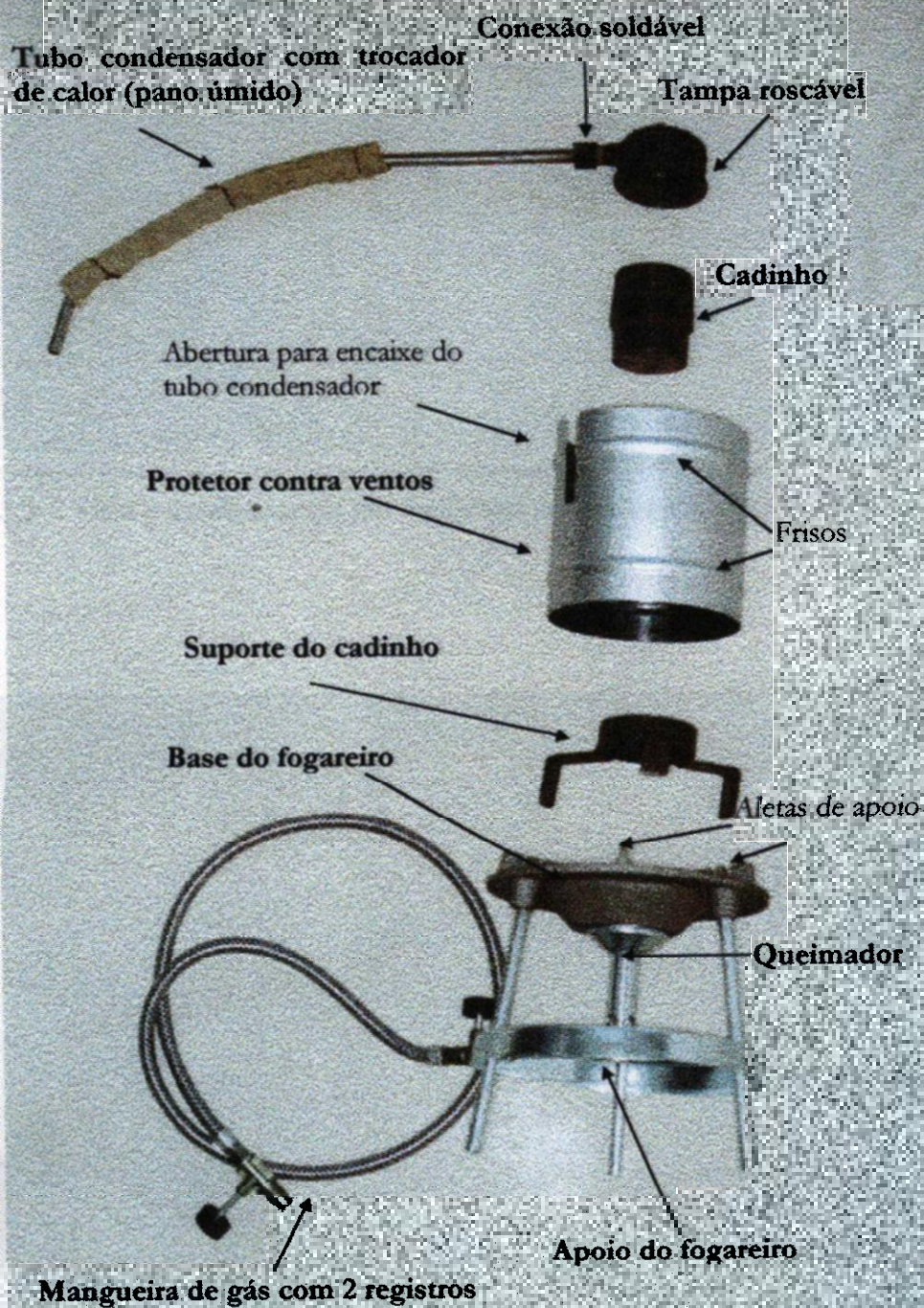


Figura 3.1 - Vista explodida da retorta "OUROLIMPO"<sup>6-71</sup>



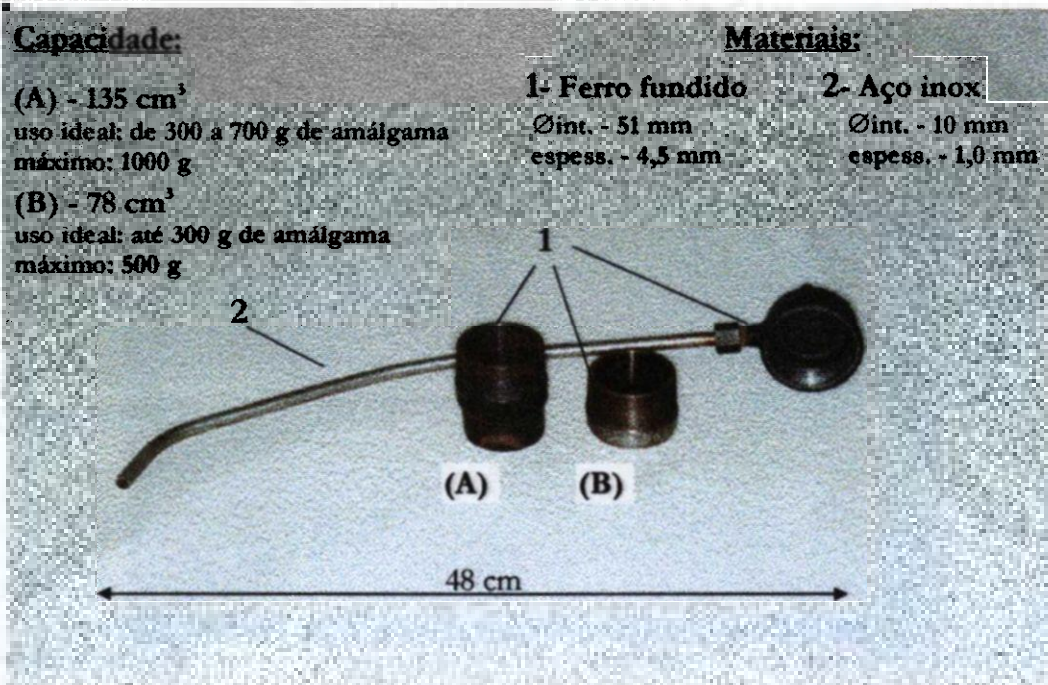


Figura 3.2 – Vista e detalhamento de: cadinhos, tampa e tubo condensador



Figura 3.3 - Vista de uma retorta “OuroLimpo<sup>®</sup>”, completa e montada.



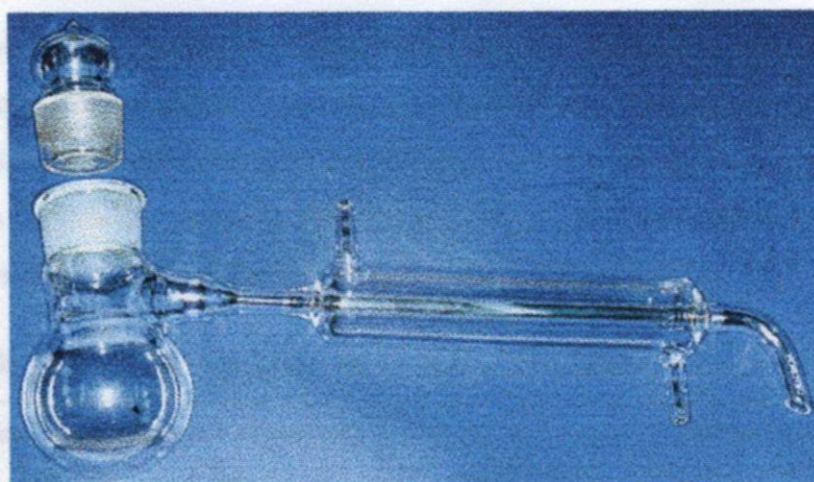


Figura 3.4 – Retorta de vidro desenvolvida, utilizada em eventos educativos.

Tabela 4.2 – Monitoramento de temperatura abaixo do tempo do cadinho

Tempo de queima (minutos)	Temperatura registrada (°C)	Tempo de queima (minutos)	Temperatura registrada (°C)
0,5	130	6	490
2	310	12	660

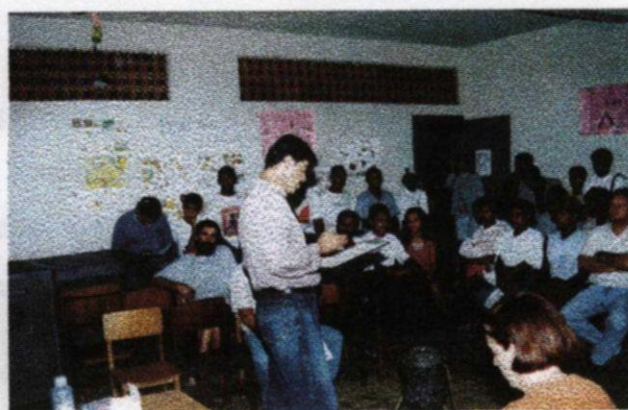
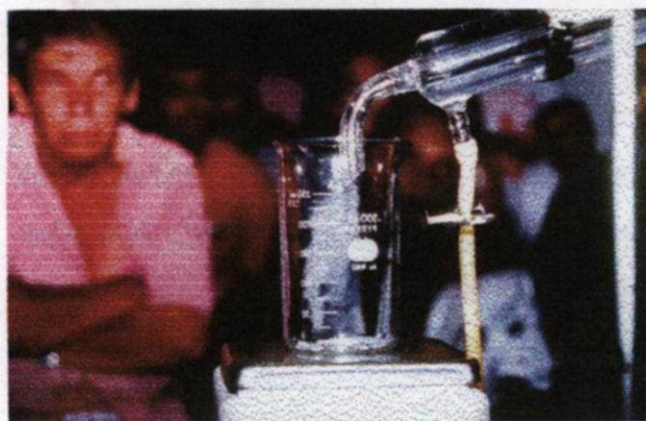


Figura 3.5 - Evento educativo realizado em Monsenhor Horta/MG, com distribuição de retortas OuroLimpo®, aos garimpeiros da região.

## CAPÍTULO 4 - RESULTADOS OBTIDOS

### 4.1 Monitoramento da temperatura no interior do cadinho

A fim de poder inferir sobre o material adequado para construir a retorta e a eficiência do queimador empregado, foi necessário conhecer a temperatura real alcançada durante uma operação de queima. Para tal, foram realizados dois monitoramentos de temperatura no interior do cadinho maior durante uma queima de amálgama Ag-Hg, conforme já citado no Capítulo 3.1, Etapa 2. Os resultados desses monitoramentos estão apresentados nas Tabelas 4.1 e 4.2.

**Tabela 4.1 – Monitoramento de temperatura no fundo do cadinho**

Tempo de queima (minutos)	Temperatura registrada (°C)	Tempo de queima (minutos)	Temperatura registrada (°C)
0,5	230	6	570
2	420	12	750

**Tabela 4.2 – Monitoramento da temperatura abaixo da tampa do cadinho**

Tempo de queima (minutos)	Temperatura registrada (°C)	Tempo de queima (minutos)	Temperatura registrada (°C)
0,5	120	6	490
2	310	12	660

Os resultados mostram que o sistema aquecedor, composto de “queimador” e “protetor contra ventos”, é muito eficiente. Com apenas 2 minutos de queima, a temperatura no fundo do cadinho já ultrapassa os 400 °C e, após 12 minutos, a temperatura alcança 750 °C. Estes dados foram importantes para a seleção de material adequado para a confecção do equipamento e para seu correto dimensionamento.

### 4.2 Monitoramento de Hg no ar, durante uma queima de amálgama

A fim de verificar a eficiência de estanqueidade e de condensação de vapor de Hg, da retorta OuroLimp®<sup>®</sup>, o ar próximo à mesma foi monitorado continuamente, durante uma operação de queima de amálgama Ag-Hg. Utilizou-se para tal, um amostrador (bomba de sucção) de ar, portátil e tubo detetor de Hg (colorimétrico), Hg PR 843, faixa de detecção de 0,1 a 0,8 mg/m<sup>3</sup>, acoplado, em linha, à mangueira de sucção da bomba.



O amostrador portátil e o tubo detetor de Hg usados são produtos da MSA - Mine Safety Appliances Company, aprovados pelo MSHA (Mine Safety and Health Administration – United States Department Labor) para uso em avaliações de condições ocupacionais.

Apesar do detetor utilizado fornecer leitura direta de concentração de Hg no ar, esta metodologia é indicada somente para a avaliação qualitativa da presença deste contaminante no ar. O resultado indicado, se observado, deve somente ser utilizado como indicador de presença de Hg no ar monitorado, devido a grande incerteza ( $\pm 30\%$ ) associada a esta leitura, conforme orientação do fabricante.

Baseando-se nestas considerações, foi montado em laboratório o sistema amostrador de ar (Figura 4.1), com tomada de ar em dois pontos considerados críticos, em relação a possível ocorrência de escape de vapor de mercúrio: acima da tampa do cadinho e próximo à saída do tubo condensador.

A bomba foi regulada para sua máxima vazão, 2L/min e, o ar, nestes dois pontos, foi succionado durante toda a queima, passando pelo detetor de Hg.

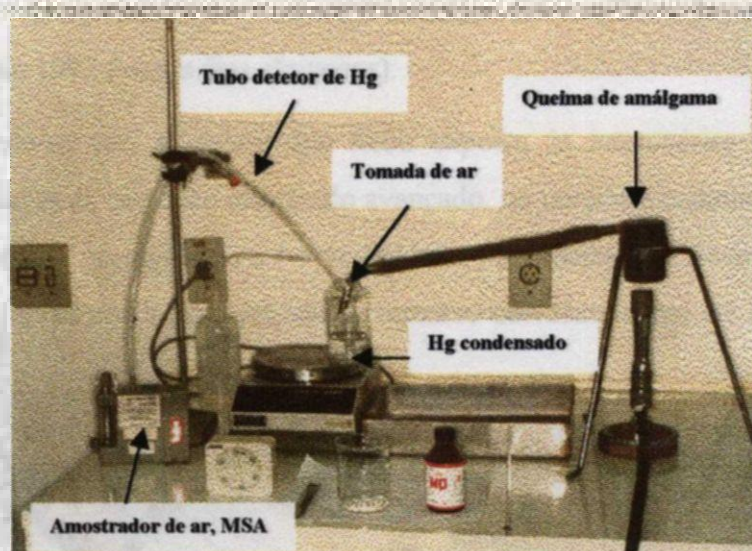


Figura 4.1 – Monitoramento de Hg no ar durante queima de amálgama Ag-Hg.

Ao final da queima, não foi detectado qualquer alteração de cor no tubo detetor, o que levou a inferir que, se houve escape de Hg para o ambiente, foi em um nível de concentração abaixo do detectável. Conclui-se, portanto, que a concentração de Hg no ar desse ambiente, durante a queima, deve estar bem abaixo do limite permitido de  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , devido às condições críticas em que o teste foi realizado. Esta afirmação é respaldada pelos resultados obtidos de eficiência de recuperação e de retenção de mercúrio, apresentados no Capítulo 4.5.

### 4.3 Avaliação de materiais para confecção da retorta

Com relação aos materiais que compõe a retorta, pode-se inferir que as altas temperaturas envolvidas nesta operação são críticas para os mesmos, principalmente para o cadinho e a tampa, que estão sujeitos a condições favoráveis à ocorrência de fadiga e corrosão desses componentes. Por isso, independente do tipo de material empregado, certos cuidados como, prolongar ao máximo o tempo de resfriamento ao ar livre e evitar a exposição à umidade, devem ser tomados com relação ao uso da retorta, de forma a garantir uma maior vida útil a este equipamento.

Para a fabricação do conjunto “cadinho/tampa” e do “tubo condensador” foram avaliados o ferro, bronze, latão e aço inox (inoxidável).

Para a confecção do “conjunto cadinho/tampa” o ferro mostrou-se como o material mais adequado devido ao seu alto ponto de fusão (1300 - 1400 °C), a sua grande resistência ao choque térmico, a facilidade de ser usinado e fundido e ao seu baixo custo. Um outro fator muito importante é que o ferro não possui afinidade com o mercúrio, isto é, não forma liga com o mesmo. Como desvantagem, o ferro apresenta uma baixa resistência à corrosão, principalmente quando exposto ao sol, chuva ou umidade excessiva. A Figura 4.2 mostra duas retortas, com cadinho e tampa de ferro e tubo condensador de aço inox, que receberam cuidados diferenciados dos seus usuários, no período de março a abril de 1997 (vários dias chuvosos).

Como pode-se ver, a retorta que ficou exposta às intempéries e guardada ao ar livre, apresentou evidências de corrosão em estado avançado, no conjunto cadinho/tampa. A outra, que foi manuseada e guardada protegida do sol e da umidade, não apresentou sinais de corrosão. Em ambas, o tubo condensador, de aço inoxidável, não apresentou corrosão, como era de se esperar.

©

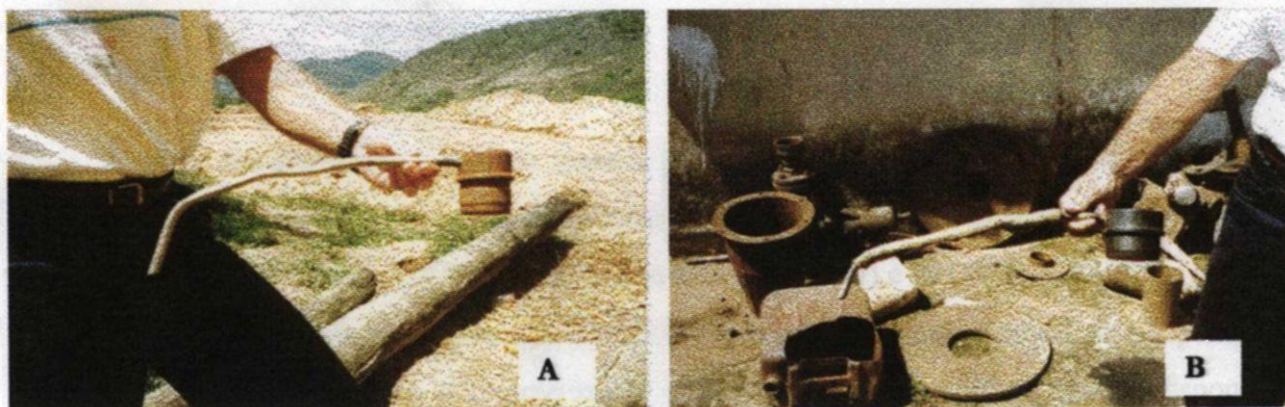


Figura 4.2 – Retortas: (A) exposta às intempéries; (B) usada adequadamente



O bronze e o latão (ligas metálicas cujo principal constituinte é o cobre) apresentam como desvantagens em relação ao ferro, um menor ponto de fusão (bronze - 850 a 900 °C; latão - 900 a 950 °C), afinidade com mercúrio (apesar de pouca), e uma menor resistência ao choque térmico. Em contrapartida, apresentam condutibilidade térmica superior e grande facilidade de serem moldados através de fundição. Estas qualidades são importantes para o uso (menor tempo de queima) e a confecção do conjunto “cadinho/tampa”, respectivamente.

A fabricação do cadinho e/ou tampa através de fundição, seja de ferro, bronze ou latão, implica a necessidade posterior de serviço de usinagem de acabamento e abertura de rosca nesses componentes. Por outro lado, as peças obtidas por esse processo, certamente terão maior vida útil e melhor trabalhabilidade, devido à homogeneidade do material que as compõem e à ausência de partes soldadas.

Para a confecção do tubo condensador, o aço inox mostrou ser o mais adequado devido a facilidade de se encontrar tubos de parede fina no mercado (ideais para esta finalidade), e o baixo custo em relação às vantagens que o mesmo oferece. O tubo de aço inox é fácil de ser dobrado, resistente à corrosão, apresenta baixa rugosidade interna, o que facilita o escoamento do Hg condensado e, assim como o ferro, não possui afinidade com o mercúrio.

Tanto o aço carbono como o inox (em forma de chapas) são adequados para a confecção do protetor contra ventos. O protetor confeccionado em aço inox apresenta como principal vantagem uma maior vida útil para a peça, devido à sua alta resistência à corrosão.

A mesma peça feita em aço carbono apresenta como vantagens: a facilidade de confecção (mais fácil de ser dobrado e cortado) e custo mais baixo, apesar de irrelevante, quando comparado ao custo total (vide Tabela 3.1).

#### **4.4 Análise comparativa entre retortas**

A partir dos dados disponíveis de retortas já industrializadas – Ouromil<sup>®</sup> (Crystal Química, Curitiba/PR) e “sem nome” (observada em Monsenhor Horta/MG), e os protótipos desenvolvidos por pesquisadores – Retorcet (CETEM/RJ); “sem nome” (UFRJ/RJ) e RHYP (USP/SP), foi possível fazer um estudo comparativo com a retorta OuroLimpo<sup>®</sup>, no que se refere ao custo, ao tempo médio gasto na operação de queima e à características dimensionais ou construtivas (dados disponíveis apenas para algumas), conforme apresentado na Tabela 4.3.

Estes fatores foram considerados os de maior relevância na análise comparativa realizada, baseando-se nas exigências dos usuários finais, que são os garimpeiros, e do órgão fiscalizador e licenciador deste tipo de equipamento, que no caso específico é o IBAMA.

Tabela 4.3 – Quadro comparativo entre algumas retortas

Retortas (nome)	Preço (R\$) (custo <sup>1</sup> e venda <sup>2</sup> )	Características físicas		Tempo médio gasto na operação de queima (min)
		Peso (kg)	Altura (m)	
RETORCET <sup>(a)</sup>	250,00 <sup>1</sup>	4,0	0,40	25 <sup>(f)</sup>
OUROMIL <sup>(a)</sup>	350,00 <sup>2</sup>	4,0	0,40	25 <sup>(g)</sup>
Sem nome <sup>(b)</sup>	150,00 <sup>1</sup>	7,0	1,20	20 – 25
Sem nome <sup>(c)</sup>	200,00 <sup>2</sup>	6,0	0,70	20 – 25
RHYP <sup>(d)</sup>	12,00 <sup>1</sup>	2,0	0,15	60 <sup>(f)</sup>
OUROLIMPO <sup>(e)</sup>	106,00 <sup>1</sup>	3,3	0,40	13

<sup>(a)</sup> Retorta com queimador, sem protetor contra ventos.

<sup>(b)</sup> Retorta completa (UFRJ). Dados obtidos a partir de informações verbais.

<sup>(c)</sup> Retorta completa (Monsenhor Horta). Preço, peso e tempo gasto inferidos.

<sup>(d)</sup> Retorta sem queimador e sem protetor contra ventos (somente cadinho/tampa e condensador).

<sup>(e)</sup> Retorta completa. Testada em ambiente fechado e aberto. Altura desmontada = 0,20 m

<sup>(f)</sup> Não informado as condições de teste.

<sup>(g)</sup> Tempo inferido (esta retorta é similar à Retorcet)

Para fabricar 01 (uma) retorta OuroLimpo<sup>®</sup>, com componentes comprados no comércio e mão-de-obra de profissional autônomo, o custo foi de cerca de R\$106,00. Este preço é menor do que um terço do preço de venda (custo + impostos + lucro) da OUROMIL<sup>®</sup> (cerca de R\$350,00<sup>(g)</sup>) e ainda menor do que a metade do custo de fabricação da Retorcet (cerca de R\$250,00).

Se a retorta OuroLimpo<sup>®</sup> for produzida em série e seus principais componentes, como o fogareiro, forem adquiridos diretamente dos fabricantes e se o cadinho for fabricado por fundição, o preço de custo poderia sofrer uma redução significativa, ficando em torno de R\$74,00, a unidade, conforme demonstrado anteriormente, no Item 3.4.

Com relação ao tempo médio despendido na operação de queima, observa-se que o tempo gasto pela retorta OuroLimpo<sup>®</sup> (13 minutos), é bem inferior aos demais. Este parâmetro, juntamente com baixo custo e fácil manuseio, são os mais importantes para a boa aceitação de uma retorta.

Apesar de não se dispor de dados suficientes para fazer uma comparação entre as retortas,

quanto aos aspectos de manuseio e transporte, considerou-se relevante informar esses dados referentes à retorta OuroLimpo<sup>®</sup>. Seu manuseio é simples e é facilmente transportável, devido ao seu pequeno porte e por ser composta de partes desmontáveis, perfeitamente acopláveis (Figura 3.1 e 3.4). O peso total da retorta OuroLimpo<sup>®</sup> é de cerca de 3,3 kg, o menor dentre as retortas (completas) pesquisadas. O peso do conjunto “cadinho/tampa/condensador” e do “protetor contra ventos” é de 0,8 kg, cada um, sendo que o “fogareiro” pesa 1,7 kg.

Uma outra vantagem desta retorta, é que seu fogareiro possui mangueira de gás e adaptador padrão de ligação, incorporado ao mesmo, e, por isso, é facilmente conectado a qualquer botijão de gás GLP, podendo, portanto, ser utilizado em outras tarefas nos garimpos.

#### 4.5 Descrição e resultados dos testes realizados

A descrição e os resultados dos testes realizados estão apresentados na Tabela 4.4. No total, 8 (oito) testes foram realizados, nas seguintes condições:

- 2 (dois) em laboratório, com mercúrio puro;
- 3 (três) em laboratório e 2 (dois) ao ar livre, com amálgama Ag/Hg, utilizando prata em pó, variando-se a carga e mantendo-se a proporção, em peso, Hg/Ag, entre 1,3 e 1,4 e;
- 1 (um) ensaio no garimpo utilizando amálgama Au-Hg.

Tabela 4.4 – Descrição dos testes e resultados obtidos

Teste N <sup>o</sup>	Peso de Ag ou Au (g)		Peso de Hg (g)		Tempo gasto (min)	Recuperação de Hg (%)	Residual de Hg (%)	Retenção de Hg (%)
	Antes	Depois	Antes	Depois				
01 <sup>(a)</sup>	25,0	25,7	35,0	34,2	10	97,7	2,2	99,9
02 <sup>(a)</sup>	50,0	50,9	66,8	65,6	12	98,2	1,4	99,6
03 <sup>(a)</sup>	100,0	101,0	133,7	131,5	14	98,3	0,8	99,1
04 <sup>b</sup>	-	-	50,7	50,4	6	99,5	-	99,5
05 <sup>(b)</sup>	-	-	101,4	100,6	7	99,2	-	99,2
06 <sup>(c)</sup>	50,0	52,5	68,3	65,6	14	96,0	3,7	99,7
07 <sup>(c)</sup>	100,0	105,5	135,4	129,0	16	95,2	4,1	99,3
08 <sup>(d)</sup>	-	36	30	29	12	96,7	-	-
<b>Média Obtida</b>					<b>13,2</b>	<b>97,7</b>	<b>2,5</b>	<b>99,5</b>

(a) - Ensaio realizado em laboratório (recinto fechado), T ambiente = 19 °C, com amálgama Ag-Hg.

(b) - Idem anterior ( recinto fechado), T ambiente = 24 °C, com Hg metálico.

(c) - Ensaio realizado ao ar livre, T ambiente = 18 °C, com amálgama Ag-Hg.

(d) - Ensaio realizado no garimpo (recinto fechado), T = 26 °C, com amálgama Au-Hg, retorta sem protetor contra ventos (balanço de massa realizado somente para o mercúrio)

A partir dos testes realizados, comprovou-se, como era esperado, que após a queima de amálgama de mercúrio com prata ou ouro, sempre fica um residual (quantidade retida) de Hg na Ag ou no Au (valor médio obtido de 2,5% de Hg). Segundo GRANATO, 1986, em média, ficam retidos de 1 a 3% de Hg e, chegando em alguns casos, até 10%.

A Tabela 4.5 apresenta os valores máximos e mínimos obtidos nos testes realizados com a retorta OuroLimpo®. Convém lembrar que o teste, que gastou mais tempo (16 min.) para realizar a queima de amálgama, foi realizado ao ar livre, à temperatura de 18 °C e com 235 g de amálgama.

De acordo com os resultados obtidos, conclui-se que o tempo gasto na operação de queima, ao ar livre, depende das condições ambientais e da quantidade de amálgama processada.

**Tabela 4.5 – Quadro resumo da performance da retorta OUROLIMPO®**

Valores	Tempo de queima (min.)	Recuperação de Hg (%)	Residual de Hg na Ag (%)	Retenção de Hg (%)
Mínimo	10	95,2	0,8	99,1
Máximo	16	98,2	4,1	99,9

Convém aqui esclarecer o significado dos termos **Recuperação** e **Retenção**. O termo **Recuperação de Hg** representa a relação (expressa em %) entre o peso total de Hg usado na amalgamação e o peso de Hg obtido (que pode ser reutilizado) após a operação de queima. Por outro lado, **Retenção de Hg** é a relação (expressa em %) entre o peso de Hg recuperado mais o peso de Hg retido no Au ou na Ag, após a operação de queima, e a quantidade total de Hg empregado na operação. Um alto resultado de **Retenção** associado a uma alta **Recuperação de Hg**, significa dizer que o equipamento possui alta eficiência de estanqueidade e de destilação.

Outras queimas foram realizadas no campo, com amálgama Au-Hg fornecido por garimpeiros, sem se conhecer a quantidade de Hg empregada e, por isso, sem condições de realizar o balanço de massa do mesmo. Porém, apesar de não poder inferir-se sobre os resultados obtidos nessas queimas, torna-se relevante relatar a avaliação feita pelos garimpeiros, sobre os produtos obtidos. Segundo os mesmos, a quantidade de mercúrio recuperado (baseado no peso) e a qualidade do ouro obtido (baseado na aparência), foram muito boas. Consideraram ainda, que o tempo de operação de queima, de cerca de 13 minutos, foi rápido e que a rapidez de queima, juntamente com a facilidade de manuseio e transporte, são os principais fatores de convencimento do uso de retortas por parte dos garimpeiros.

## CAPÍTULO 5 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Esta Dissertação teve como objetivo central o desenvolvimento de uma tecnologia que viesse a atender a uma demanda premente no país, no que se refere à mitigação da contaminação mercurial, ambiental e ocupacional, nas áreas garimpeiras de ouro do Brasil, e de apoiar os trabalhos de educação e conscientização de comunidades garimpeiras e os esforços no sentido de tornar obrigatório o uso de retortas, nos garimpos de ouro de Minas Gerais.

Por mais esforços que alguns órgãos ambientais do país empreguem, como os que se observam em Minas Gerais e Mato Grosso, na tentativa de encontrar uma solução em definitivo para esta questão, a possibilidade de interromper ou regularizar totalmente esta atividade é remota. São grandes e complexos os aspectos e interesses sociais, jurídicos, econômicos e políticos envolvidos. Como alternativa para minimizar os problemas gerados por essa atividade, resta, portanto, a sua organização, orientação tecnológica e conscientização das pessoas envolvidas.

Sabe-se que os efeitos da contaminação na Baía de Minamata só se tornaram evidentes após vinte anos de lançamentos indiscriminados de Hg e que, doze anos após cessarem os lançamentos, a baía teve de ser dragada ou o fundo coberto com material imobilizante, para melhorar as suas condições. No Brasil, os inúmeros garimpos de ouro, concentrados principalmente na região amazônica, lançam Hg metálico em grandes proporções, em milhares de pequenos sistemas muito pouco estudados até o momento e, por isso, com inferências sobre o risco e conseqüências a médio e longo prazo, difíceis de serem realizadas.

Das etapas do processo extrativo de ouro nos garimpos, a queima de amálgama Au-Hg, é considerada como a mais crítica, do ponto de vista do descarte de mercúrio para o ambiente. Esta operação é realizada, normalmente, ao ar livre e sem retortas, produzindo emissões tóxicas que podem comprometer seriamente a saúde das pessoas envolvidas e o meio ambiente.

Nos levantamentos realizados na região garimpeira de Monsenhor Horta, Mariana/MG, foi constatado que os garimpeiros só usariam uma retorta, nas seguintes condições: 1) se realizasse rapidamente a operação de queima de amálgama; 2) se fosse barata (doadada, de preferência); 3) se fosse fácil seu transporte e manuseio; e ainda, 4) se os usuários fossem esclarecidos sobre os malefícios do mercúrio e a importância do uso deste equipamento.

Constatou-se também, nos trabalhos realizados, que era indispensável que as retortas tivessem seu próprio sistema de aquecimento (queimador, mangueira de gás e registro), já que, os queimadores usados nos garimpos, eram de diversos tipos, com dimensões e performances variadas.



Buscando atender aos requisitos tecnológicos e ambientais demandados, foi desenvolvido um sistema destilador de Hg, que se mostrou ágil, prático, de baixo custo e em conformidade com a legislação pertinente. Em parceria com a Fundação Estadual do Meio Ambiente - FEAM e a Secretaria de Saúde do Estado de Minas Gerais - SES, campanhas educativas e de conscientização foram planejadas e realizadas concomitantemente com a introdução desta nova tecnologia na área de estudos, em Monsenhor Horta, Mariana/MG.

Este equipamento, constitui-se basicamente de: 1) “fogareiro” à GLP, que fornece o calor necessário ao sistema; 2) “cadinho” de ferro com tampa roscável, onde ocorre a vaporização do Hg; 3) “tubo condensador” de aço inox, onde o Hg volatilizado é condensado e, 4) “protetor contra ventos” que protege a chama do “fogareiro” do apagamento e o conjunto “cadinho/tampa”, do resfriamento. O equipamento desenvolvido foi denominado retorta “OuroLimpo<sup>®</sup>”.

Na confecção dos componentes da retorta “OuroLimpo<sup>®</sup>”, foram avaliados diversos materiais. Para a confecção do conjunto “cadinho/tampa” e do “protetor contra ventos”, o ferro é o material que apresenta melhores qualidades. Para o “tubo condensador”, o melhor material é o aço inoxidável.

O mesmo foi submetido também, a vários testes em laboratório e no campo. A maior parte destes ocorreu em laboratório, utilizando-se amálgama Ag-Hg, em condições similares àquelas de campo. A retorta OuroLimpo<sup>®</sup> foi também submetida a teste no CETEM, órgão credenciado pelo IBAMA para avaliar equipamentos desta natureza, sendo aprovada no “Teste de Estanqueidade e de Eficiência de Recuperação de Hg”.

Nos ensaios realizados em laboratório e no campo, variando-se o peso de amálgama e o tipo de ambiente (fechado ou ao ar livre), a eficiência média de recuperação foi de 97,7% de Hg e a de retenção foi de 99,5% de Hg. O tempo médio gasto na realização dessas queimas foi de cerca de 13 minutos. Registrou-se que, em média, 2,5% de Hg ficam retidos na Ag ou no Au após a pirólise do amálgama. No teste realizado no CETEM, o protótipo da retorta, sem o protetor contra ventos e utilizando, como queimador, um bico de Bunsen e GLP como combustível, obteve-se um resultado de eficiência média de recuperação de mercúrio de 96,7%.

Existem poucos equipamentos (retortas) apropriados para realizar a operação de queima de amálgama nos garimpos de ouro. Somente 04 (quatro) retortas foram testadas e aprovadas pelo CETEM. Destas, uma (sem nome, do CDTN) teve seu projeto abandonado devido a problemas operacionais (superdimensionamento); outras duas (a Retorcet, do CETEM e a sem nome, da UFRJ) não chegaram a serem produzidas em maior escala e nem utilizadas, de forma intensiva, nos

garimpos; já a retorta objeto deste trabalho, foi testada e avaliada continuamente pelos garimpeiros. As informações e sugestões fornecidas pelos mesmos, contribuíram em muito para o desenvolvimento deste equipamento.

Algumas unidades do modelo final da retorta OuroLimpo<sup>®</sup> foram produzidas e doadas a garimpeiros da região de Monsenhor Horta e, desde então, o monitoramento do desempenho das mesmas vem sendo realizado. Informações preliminares obtidas constam que os garimpeiros vem reduzindo significativamente a compra de mercúrio, depois que passaram a usar a retorta.

Diante dos resultados obtidos e da discussão apresentada concluiu-se que:

1. o objetivo central proposto, de desenvolver e disponibilizar uma alternativa tecnológica, viável e adequada, para realizar a etapa de queima de amálgama, nos garimpos, e de apoiar a FEAM nos trabalhos de educação e conscientização de comunidades garimpeiras e nos esforços realizados para tornar obrigatório o uso de retortas, nos garimpos de ouro de Minas Gerais, foi plenamente alcançado;
2. os resultados obtidos de eficiência média de recuperação de 97,7% e de retenção de 99,5%, para um tempo médio de operação de 13 minutos, atestam à retorta OuroLimpo<sup>®</sup>, uma performance única, quando comparada com as outras similares;
3. a retorta OuroLimpo<sup>®</sup> é facilmente transportada e manuseada, devido ao seu pequeno tamanho (altura montada = 40 cm; peso = 3,3 kg) e por ser desmontável em partes. O seu custo unitário de fabricação, para produção em série, deve ficar em torno de R\$74,00. Além do mais, ela apresenta ainda como vantagem adicional, a versatilidade de uso de seu fogareiro, que pode ser usado como fonte de calor, em outras tarefas no garimpo, sem prejuízo da sua função principal. Esta versatilidade, aliada à economia de dinheiro que o garimpeiro terá ao reutilizar o mercúrio recuperado, são fatores relevantes de convencimento quanto ao uso deste equipamento;
4. os trabalhos de educação, de conscientização e de demonstração de uso da retorta, realizados na comunidade garimpeira de Monsenhor Horta, Mariana/MG, mostraram que estes procedimentos são indispensáveis e essenciais para a boa aceitação da nova tecnologia e para o envolvimento e apoio de toda a comunidade na discussão da questão da contaminação mercurial;
5. com o desenvolvimento desta tecnologia não se pretende, de forma alguma, resolver o problema da contaminação mercurial nas áreas garimpeiras de ouro. Pretende-se, sim, disponibilizar uma opção simples e barata que, se for implantada de forma sistemática e integrada aos trabalhos de educação e conscientização, certamente trará uma redução significativa da contaminação mercurial, ambiental e ocupacional, nestas áreas.

Finalmente, objetivando a melhoria contínua do equipamento desenvolvido e das condições ambientais e ocupacionais nas áreas garimpeiras de ouro do país, recomenda-se que:

1. caso este equipamento venha ser produzido em série, que o “cadinho” seja feito de ferro “nodular”, por processo de fundição, a fim de assegurar uma maior resistência e vida útil a este componente, além de baratear o custo final de fabricação;
2. seja testado o uso de um protetor contra ventos maior e dotado de tampa, a fim de reduzir ainda mais o tempo gasto na operação de queima;
3. a partir dos dados obtidos neste trabalho, se realize estudos teóricos mais detalhados, com desenvolvimento de modelos numéricos, a fim de se verificar, por simulação, o desempenho da retorta OuroLimpo<sup>®</sup> em diversas condições construtivas, de geometria e de materiais;
4. se promovam campanhas de informação à comunidade como um todo, principalmente a garimpeira, sobre os riscos desta atividade e os malefícios do mercúrio;
5. para executar a “requeima” ou fundição do ouro, se desenvolva urgentemente um sistema (capela) capaz de reter os vapores de Hg emanados para a atmosfera durante esse processo e que seja economicamente viável sua produção e disponibilização aos usuários. Faz-se também necessária a intervenção dos órgãos públicos no sentido de normalizar e fiscalizar as atividades nas casas de compra de ouro;
6. até que surjam novos processos de extração de ouro nos garimpos e que as questões sociais, econômicas e jurídicas, principalmente, sejam resolvidas, esforços sejam despendidos pelos órgãos públicos e instituições competentes no sentido de viabilizar a fabricação deste equipamento e exigir a obrigatoriedade de seu uso, nas áreas garimpeiras de ouro. A curto prazo, esta é a única opção viável e eficiente, para a mitigação da contaminação mercurial nas áreas garimpeiras; e, que
7. estejamos alertas! O impacto causado pelo mercúrio no ambiente, já foi demonstrado em suas nuances, de forma trágica, na baía de Minamata, no Japão e em outros países. No Brasil, toneladas de mercúrio foram e continuam sendo lançadas anualmente em diversos ecossistemas de nosso país, principalmente na amazônia. Da forma como está sendo conduzida esta questão, a ocorrência da versão “tropical” do mal de Minamata está a mercê da mãe natureza. E, como diz o ditado: “...A natureza não perdoa nunca! Cedo ou tarde, esta se vingará do que fizemos contra ela!”

## CAPÍTULO 6 - BIBLIOGRAFIA

- ALBERT, L. *Curso básico de toxicologia ambiental*. México: Centro Panamericano de Ecologia Humana e Salud, 1981.
- ARAÚJO, R. V. V. *Análise Sócioeconômica da atividade garimpeira e caracterização das fontes emissoras da mercúrio na atmosfera da região de Alta Floresta-MT*. Trabalho integrante do Projeto interdisciplinar e multi-institucional denominado: "Avaliação do impacto sócio-ambiental da atividade garimpeira, causado por emissões de mercúrio na atmosfera. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1995.
- BARRETO, M. L. *Relatório final do projeto "Avaliação do impacto sócio-ambiental da atividade garimpeira, causado por emissões de mercúrio na atmosfera, sub-área de direito*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996
- BRAGA, P. F. A. et al. *Tecnologia aplicada a garimpos de ouro primário*. Rio de Janeiro: CETEM/CNPq, 1996.
- BUSCHER, D. P. *Mercury in river systems from garimpeiro activities in the vicinity of Ouro Preto, Minas Gerais, Brazil*. , Ouro Preto/MG, 1992, Dissertação (Mestrado em Geoquímica), Escola de Minas, Ouro Preto, 1992.
- CÂMARA, V. M., COUTO, S. *Mercúrio em áreas de garimpos de ouro*. Metepec, México: Centro Pan-americano de Ecologia Humana e Saúde, Organização Mundial da Saúde, 1993 (Série Vigilância, 12).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL, (Brasília) *Levantamento nacional dos garimpeiros*. Brasília, 1993, (Série Tecnologia Mineral, 43).
- DEPARTAMENTO NACIONAL DA PRODUÇÃO MINERAL. *Sumário Mineral*. Ministério das Minas e Energia, Brasília/DF, 1996.
- EYSINK, G. G. J. et al. *Presença do mercúrio no ambiente*. *Revista Ambiente*, v.2, n.1, 1988.
- FARID, L. H. M. et al. *Controle da emissão e recuperação de mercúrio em rejeitos de garimpos*. In: *Poconé: um campo de estudos do impacto ambiental do garimpo*, Rio de Janeiro, RJ CETEM/CNPq, 1991.
- FARID, L. H. M. (Coord.). *Diagnóstico preliminar dos impactos ambientais gerados por garimpos de ouro em Alta Floresta/MT: um estudo de caso*, Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq 1992. (Tecnologia ambiental, 2)

- FERREIRA, R. C. H., APPEL, L.E. *Fontes e usos de mercúrio no Brasil* Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1991, apud GERAB, F. et al, 1996.
- FUNDAÇÃO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE, Belo Horizonte. *Relatórios de vistorias a várias regiões garimpeiras do Estado de Minas Gerais*. Belo Horizonte: FEAM, 1988-1989.
- GALVÃO, L. A. C., COREY, G. *Mercúrio: 1987*. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, Organización Panamericana de Salud, OMS, 1987, Série Vigilância 82pp, apud MALM, 1991.
- GERAB, F. et al. *Caracterização das emissões de aerossóis atmosféricos pelas casas de queima de ouro em Alta Floresta-MT*. Trabalho integrante do Projeto interdisciplinar e multi-institucional denominado "Avaliação do impacto sócio-ambiental da atividade garimpeira, causado por emissões de mercúrio na atmosfera". Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, Série Vigilância, 82pp, 1996.
- GESAMP. *IMO/FAO/UNESCO/WHO/IAEA/UN/UNEP Joint group of experts on the scientific aspects of marine pollution, review of potentially harmful substances: arsenic, mercury and selenium*. Rep. Stud. GESAMP, 1986, apud GERAB, F. et al., 1996.
- GRANATO, M. *Mercúrio, alternativas tecnológicas e controle*. Rio de Janeiro, RJ: CETEM, CNPq, 1986.
- GRANATO, M. *Metodologia de avaliação de retortas de pirólise de amálgamas de metais preciosos*. Rio de Janeiro, RJ: CETEM, CNPq, 1989.
- HACON, S. *Mercury contamination in Brazil*. A technical report. FINEP, 1991, apud MALM, O., 1991. ©
- HYPÓLIYO, R., ANDRADE, S. Aparelho simples e barato pode reduzir poluição por mercúrio. *Ciência Hoje*, v. 11, n. 63, p.10-11, 1990.
- IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico – 1991*, v.18, Rio de Janeiro, RJ, 1991.
- LABORÃO, J. *Importação, comercialização e controle de mercúrio no país*. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RISCOS E CONSEQUÊNCIAS DO USO DO MERCÚRIO, 12-15 set 1989, Brasília. *Riscos e consequências do uso do mercúrio*. Rio de Janeiro, 1990, RJ: FINEP, p. 141-144, apud GERAB, F. et al., 1996.
- LAWLESS, E. W. *Technology and Social Shock*. Ed. Rutgers, State University of New Jersey, USA, 1977. 327pp, apud MALM, O., 1991.

- LINDQVIST, O. et al. *Mercury in Swedish Environment. Global and Local sources*. Report PM1816, National Protection Board, Solna, Sweden, 1984, apud MALM, O., 1991.
- LINDQVIST, O. *Atmospheric mercury*. A review. *Tellus*, v. 37B, p.136-159, 1985, apud MALM, O., 1991.
- LINDQVIST, O. *Mercury in the Swedish Environment*. Kluwer Acad. Publishers, 1991, apud GERAB, F. et al., 1996.
- MALM, O. *Contaminação ambiental e humana por mercúrio na região garimpeira de ouro do Rio Madeira, Amazônia*. Rio de Janeiro, RJ, Tese (Doutorado), Instituto de Biofísica Carlos Chagas, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 1991.
- MARINS, R. V. et al. *Estudo preliminar da contaminação atmosférica por mercúrio em área produtora de ouro na cidade de Poconé-MT, Brasil*. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1991.
- PFEIFFER, W. C., LACERDA, L. D. *Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil*. *Environ. Techn. Letters*, v.9, p.325-330, 1988.
- OBERHANSSLI, R. *Litogeochemistry Course – Lecture 14 - Mercury*. Curso de Pós-Graduação em Geoquímica Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto/MG, 1988.
- ROSA, S. A. G. *Ocorrência do mercúrio nas águas superficiais do Estado de Minas Gerais – Tecnologias alternativas e medidas de controle*. CETEC, Belo Horizonte: CETEC, 1989.
- SILVA, A., P. et al. *Emissões de mercúrio na queima de amálgama: estudo da contaminação de ar, solo e poeira em domicílios de poconé, MT*. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1996. (Tecnologia ambiental, 13).
- SILVA, A. R. B. et al. *A contaminação mercurial nos garimpos de ouro da Amazônia*. CONGRESSO BRASILEIRO DE DEFESA DO MEIO AMBIENTE, 1989, Rio de Janeiro, RJ. *Anais*: p. 435-455.
- SILVA, A. S. et al. *Avaliação da poluição por mercúrio nos garimpos de Paracatu-MG*. In: SEMINÁRIO NACIONAL SOBRE RISCOS E CONSEQUÊNCIAS DO USO DO MERCÚRIO, 12-15 set 1989, Brasília. *Riscos e consequências do uso do mercúrio*. Rio de Janeiro, RJ: FINEP, 1990. p. 30-45
- SOUZA, V. P., LINS, F. F. *Recuperação de ouro por amalgamação e cianetação: problemas ambientais e possíveis alternativas*. Rio de Janeiro, RJ: CETEM/CNPq, 1989.



- TAYLOR, D. *Mercury as an environmental pollutant. A bibliography*. 4<sup>th</sup> Edn., Birmingham Imperial Chemical Industries Ltd, Inglaterra, 1975, apud MALM, O., 1991.
- VEIGA, M. M., MEECH, J. A. *Proc. of int. symp. al in material processing*. CIM – MetSoc, 107-118, 1992.
- VEIGA, M. M., MEECH, J. A. HgEx – A Heuristic System on Mercury Pollution in the Amazon. *Water, Air, and Soil Pollution*, 80p: 123-132, 1995.
- VEIGA, M. M. *Introducing new technologies for abatement of global mercury pollution in Latin America.*, Rio de Janeiro, RJ: UNIDO, UBC, CETEM, CNPq, 1997.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION. *Inorganic mercury*. WHO, Geneva, 1991. (Environmental Health Criteria 118).

## **7 - ANEXOS**



CNPq

CONSELHO NACIONAL  
DE DESENVOLVIMENTO  
CIENTÍFICO E TECNOLÓGICO

58

CETEM/CNPq  
CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL  
DEPARTAMENTO DE METALURGIA EXTRATIVA - DME

**AVALIAÇÃO DE RETORTA DESTINADA À RECUPERAÇÃO DE  
MERCÚRIO CONTIDO EM AMÁLGAMA DE METAIS PRECIOSOS**

**Ramon Veras V. de Araújo**  
Engenheiro de Minas, M.Sc.

**Roosevelt Almeida Ribeiro**  
Químico

**Maiο/1996**

**CENTRO DE TECNOLOGIA MINERAL**

Rua 4, Quadra D - Cidade Universitária - Ilha do Fundão - CEP 21949 - Tel: (021) 260-7222 - Telex (021) 22761 - Fax 260-2037 RJ



## 1. INTRODUÇÃO.

Este relatório apresenta os resultados obtidos na avaliação técnica de um modelo protótipo de retorta destinada à pirólise de amálgamas (ouro ou prata), desenvolvida pelo Eng<sup>o</sup> Paulo Lucas Cota do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN. O equipamento deu entrada no CETEM no dia 14/05/96, acompanhado do questionário - CETEM respondido, das instruções sucintas de operação e das massas de mercúrio e prata solicitadas para os ensaios de eficiência. O questionário respondido, bem como as instruções de operação da retorta estão apresentados no Anexo 1. A avaliação obedece os procedimentos definidos pelo CETEM/FUNDACENTRO e pelo IBAMA.

## 2. CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DO EQUIPAMENTO \*

**Capacidade de tratamento:**

- a) por ciclo( 30 min. ) - 300 g de amálgama
- b) por hora - 600 g de amálgama

**Tempo de destilação:** 10 minutos

**Material base de construção:** ferro maleável, aço carbono e aço inox

**Peso total:** 1,2 Kg

**Eficiência média de destilação:** superior a 97%

(\*) Informadas pelo fabricante.

## 3. PROCEDIMENTOS DE AVALIAÇÃO

Os procedimentos adotados na avaliação da retorta de pirólise do CDTN constaram de ensaios de estanqueidade e de eficiência de destilação de mercúrio do equipamento, quando alimentado com amálgamá de prata e mercúrio metálico.

A primeira etapa constou de 02 (dois) ensaios de estanqueidade para verificação do sistema de vedação, utilizando iodo elementar, por ser sublimado, e papel umedecido em solução de amido 2% para a indicação e detecção dos vapores de iodo, de acordo com a metodologia de avaliação de retortas de pirólise de amálgamas de metais preciosos [1].



Em vista dos resultados favoráveis na primeira etapa, foram realizados 03 (três) ensaios de eficiência de recuperação de mercúrio utilizando amálgama de prata (nas formas, granular e em pó) e mercúrio metálico.

#### **4. ENSAIOS DE EFICIÊNCIA DE DESTILAÇÃO DE MERCÚRIO METÁLICO**

O primeiro ensaio foi realizado utilizando prata granular (fornecida pelo fabricante), relação Ag/Hg de 1/1,3. Os dados operacionais estão apresentados a seguir:

- Massa de prata (99,5%) - 87,07g
- Massa de mercúrio (99%) - 113,09g
- Massa de amálgama - 200,16g
- Tempo de destilação - 12min.

O sistema permaneceu em operação durante 12min., 20% superior ao tempo sugerido pelo fabricante (10min.). Porém, recomendamos que o tempo de destilação seja fixado em 20 minutos. Após a etapa de pirólise do amálgama, o equipamento permaneceu em torno de 10 minutos resfriando de forma natural (ar livre), em seguida, fez-se o resfriamento direto sob fluxo de água corrente, de acordo com as instruções do fabricante.

O balanço metalúrgico deste primeiro ensaio, permitiu constatar que a eficiência de destilação de mercúrio metálico foi de 99,0%. Foi observado que uma parte do calcinado fixou-se no fundo do compartimento de pirólise. Não houve carreamento de prata com o mercúrio destilado.

##### **Mercúrio destilado**

- Massa = 111,53g
- Teor = 99 %
- Massa de prata contida = 0,0g

##### **Prata calcinada**

- Massa = 88,19g
- Teor = 98,7%
- Massa de mercúrio associado = 1,12g

##### **Mercúrio retido no equipamento**

- Massa = 0,44g



No segundo ensaio de eficiência foi utilizada prata, em pó, na formação do amálgama (relação Ag/Hg de 1/1,3).

- Massa de prata (99,5%) - 87,01g
- Massa de mercúrio (99%) - 113,25g
- Massa de amálgama - 200,26g
- Tempo de destilação - 12min.

Após a etapa de pirólise do amálgama de prata, o equipamento permaneceu em torno de 10 minutos resfriando de forma natural (ar livre), em seguida, fez-se o resfriamento direto sob fluxo de água corrente. A eficiência de destilação de mercúrio metálico foi de 93,5%. O calcinado apresentava um bom aspecto e não foi verificado qualquer problema de cladeamento ou fixação deste no fundo do compartimento de pirólise.

#### Mercúrio destilado

- Massa = 104,50g
- Teor = 99 %
- Massa de prata contida = 0,0g

#### Prata calcinada

- Massa = 94,36g
- Teor = 92,2%
- Massa de mercúrio associado = 7,35g

#### Mercúrio retido no equipamento

- Massa = 1,4g

Complementando esta etapa, foi realizado um ensaio de pirólise com mercúrio metálico (99%). A massa inicial de mercúrio foi de 100,30g e o tempo de destilação foi mantido em 12 minutos. O sistema de resfriamento foi semelhante aos ensaios anteriores. A massa final foi de 98,07g, resultando numa eficiência de destilação de 97,8%.





## 5. CONCLUSÃO

A eficiência média de destilação de mercúrio utilizando a retorta desenvolvida pelo Eng<sup>o</sup> Paulo Lucas Cota do Centro de Desenvolvimento da Tecnologia Nuclear - CDTN foi de 96,8%, o que lhe confere aplicabilidade técnica no propósito de evitar a contaminação ambiental pelo mercúrio.

## 6. RECOMENDAÇÕES

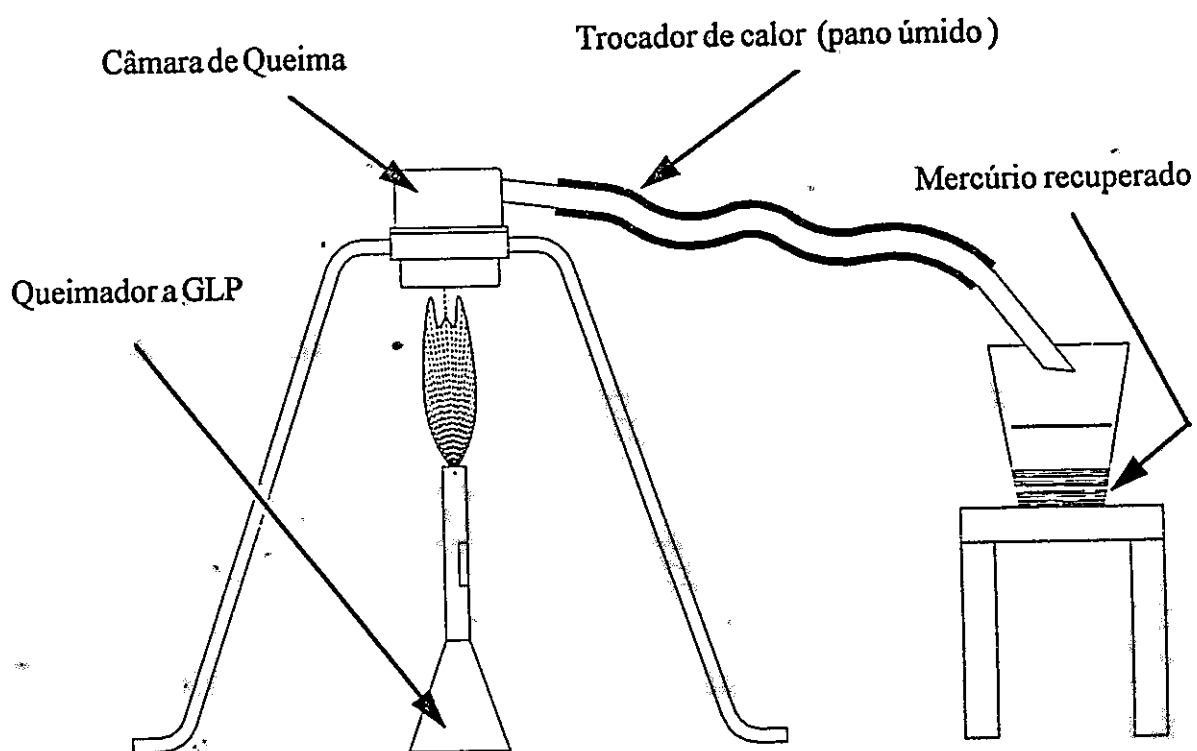
- (a) Como o sistema de fechamento é feito com tampa rosqueada, é imprescindível certificar que o cadinho esteja totalmente lacrado (ou seja, *rosquear* por completo a câmara de queima à tampa do equipamento).
- (b) Aumentar o tempo de destilação para 20 minutos.
- (c) Utilizar um queimador que proporcione uma chama mais intensa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. GRANATO, M., Metodologia de avaliação de retortas de pirólise de amálgamas de metais preciosos. *Relatório Interno (RI) - 25/89, CETEM, 10p., 1989.*

# RECUPERADOR DE Hg

SUPERVISÃO DE MEIO AMBIENTE



**DETALHE DA MONTAGEM DO SISTEMA**

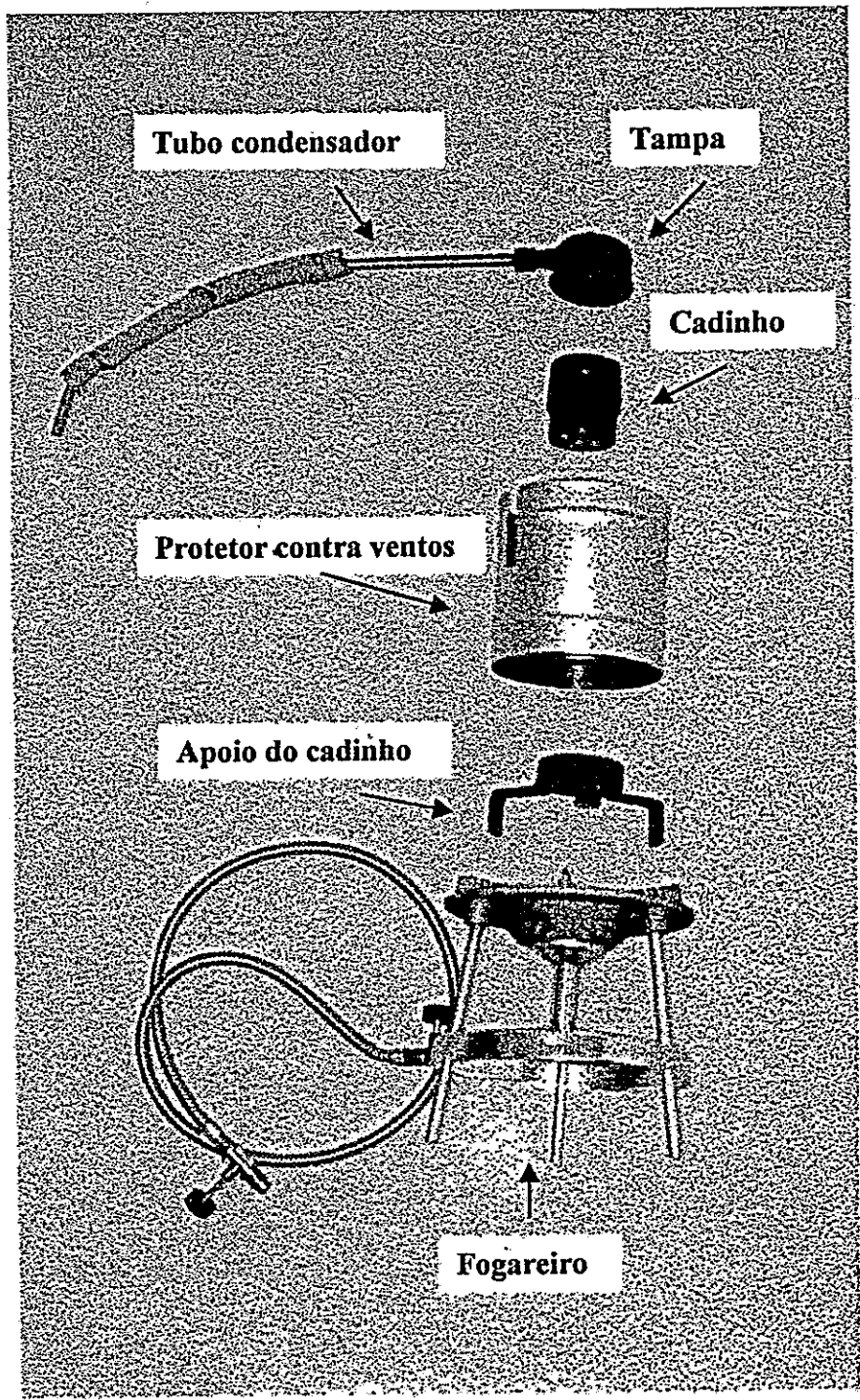
## Instruções de uso da Retorta OuroLimpo<sup>®</sup>

1. Com os registros fechados, ligue a mangueira do fogareiro ao botijão de gás e adapte o protetor contra ventos ao fogareiro;
2. Envolve o tubo condensador com um pano velho ou flanela úmida e prenda-o ao tubo usando arame flexível;
3. Coloque o amálgama ouro-mercúrio envolto em um pedaço de papel, dentro do cadinho. Tampe-o, enroscando a tampa até ficar firme e em seguida acenda o fogareiro e, segurando o conjunto pelo tubo condensador, apoie o cadinho no suporte que fica dentro do protetor contra ventos;
4. À medida que o mercúrio for condensando, **adicione água ao pano enrolado no tubo condensador**, a fim de garantir um bom resfriamento deste. Durante a queima dê **umas batidas leves no tubo** para que o mercúrio que ali esteja retido escorra para o recipiente coletor;
5. Após cerca de 13 min de operação (ideal 15 min.) apague o fogo, fechando os registros de gás. **Retire o cadinho segurando-o pelo tubo condensador e deixe esse conjunto esfriar ao ar livre por cerca de 7 minutos.** Quanto maior o fluxo de ar frio sobre o conjunto cadinho/tampa melhor o resfriamento;
6. Após o pré-resfriamento do conjunto cadinho/tampa ao ar livre, **jogue água fria sobre o mesmo. Não coloque o conjunto dentro d'água !**
7. **Abra o cadinho, retire o ouro e guarde o mercúrio recolhido, em recipiente bem fechado, para ser usado novamente.**
8. Seque e limpe o equipamento e guarde-o em lugar protegido do sol e da chuva.

### RECOMENDAÇÕES:

- Aconselha-se colocar o amálgama envolto em papel ou que se coloque um pedaço de papel no fundo do cadinho antes da colocação do amálgama a fim de evitar uma possível adesão do ouro às paredes do cadinho;
- Para prolongar a vida útil da retorta recomenda-se resfriá-la o maior tempo possível ao ar livre e guardá-la sempre seca para evitar oxidação dos componentes.

# RETORTA OUROLIMPO



AB ENCADERNACOES  
RUA ESMERALDA, 550 PRADO  
BELO HORIZONTE MG  
TELEFAX - 334 80 75