

# **INVENTÁRIO NACIONAL DE EMISSÕES E LIBERAÇÕES DE MERCÚRIO NO ÂMBITO DA MINERAÇÃO ARTESANAL E DE PEQUENA ESCALA DE OURO NO BRASIL**

**ZULEICA C. CASTILHOS (CETEM) & LÍLLIAN MARIA DOMINGOS (AÇÃO AMBIENTAL)**

# Introdução

- Mineração artesanal e de pequena escala de ouro –MAPEO – é considerada uma fonte antropogênica de uso intencional de mercúrio (Hg) e responsável por cerca de 35% das emissões antropogênicas de Hg (UNEP, 2013)
- Setor extremamente heterogêneo, múltiplo e díspar não permitindo simplificações
- Um aspecto geral, entretanto, é o uso de mercúrio na amalgamação do ouro.
- Emissão de Hg = Perda direta para a atmosfera
- Liberação de Hg = Perda para solos, águas e/ou rejeitos (contidos ou não) e potencial re-emissão para a atmosfera
- Perda total de Hg = emissão + liberação

# Objetivo

Estimar a emissão para a atmosfera e as liberações de Hg para o meio ambiente (solos, águas e/ou rejeitos) por MAPEO no Brasil

- *Elaborar o inventário nacional de emissões e liberações de mercúrio no âmbito da MAPEO no Brasil: a) a partir das informações obtidas neste projeto para a MAPEO brasileira e, b) a partir da metodologia “Identificação e Quantificação de Fontes de Mercúrio Nível II – PNUMA (Toolkit)” e;*
- *Propor adequações, se necessárias, ao Toolkit com análise crítica que apresente as incertezas e as recomendações para utilização da metodologia.*

# Estimativas

Segundo a AMAP/UNEP (2013), a qualidade de estimativas é consequência *da validade das várias premissas assumidas*. Melhorar a acuracidade das estimativas (isto é, decrescer sua natural incerteza) depende da melhoria da qualidade das informações disponíveis para dar suporte às premissas.

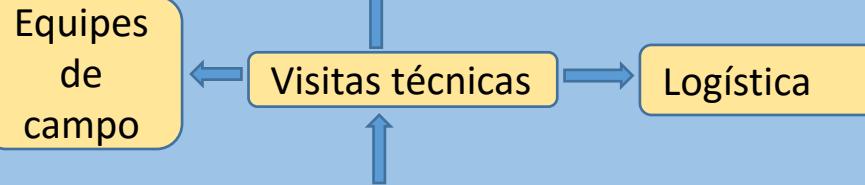
# Estratégia da Execução da Pesquisa

- Iniciado em Janeiro de 2017 e finalizado em abril de 2018
- Recursos financeiros disponibilizados: R\$ 183.768,00
- Equipe com mais de 25 integrantes, profissionais de diversas áreas e pessoal de apoio (motoristas, batalhão de polícia ambiental, etc)
- Multi-institucional e multidisciplinar
- Revisão bibliográfica
- Reuniões com instituições-chave e partes interessadas
- Visitas técnicas a MAPEO
- Elaboração de 3 Relatórios: 2 parciais e 1 final

Reuniões instituições-chave  
Processos MAPEO PA, MT, AP, BA, RO  
Gestão dos resíduos e de efluentes contaminados  
Balanço de massas de Hg em MAPEO  
Eficiência dos sistemas de controle ambientais  
Proporção Au produzido: Hg perdido (emitido e liberado)  
Medidas de teores de Hg na atmosfera

Análise de Triangulação  
Estimativa de Produção legal e ilegal de Ouro  
Relações Hg:Au encontradas nas MAPEO brasileiras  
Uso do Toolkit

**Estimativas de emissão e de liberação de Hg por MAPEO**



Trabalho de campo: Estimativa de perdas de Hg baseada em balanço de massa / fluxo de substância.

Elaboração de questionários semi-estruturados com perguntas diretas e indiretas

Proporção "Hgu x Aup"; Controle ambiental e eficiência; compra de mercúrio

Riscos à saúde e ao meio ambiente  
Formas químicas e propriedades físico-químicas

Processos

Métodos de lavra, concentração e Amalgamação

Revisão Bibliográfica

Espacialização da atividade

Reuniões com instituições federais e estaduais

Relatório 1  
Relatório 2  
Relatório 3

# Espacialização da MAPEO no Brasil

- Foi desenvolvido um sistema de informação geográfica — SIG, integrando os registros do DNPM de processos em fase de Permissão de Lavra Garimpeira (PLG) de ouro e de bases do IBGE, atualizado para julho/2017.
- 1.515 PLG: área de ~500.000 ha (ou 5.000km<sup>2</sup>) em 10 estados: Amazonas, Amapá; Bahia; Goiás; Minas Gerais; Mato Grosso; Pará; Pernambuco; Rondônia e Tocantins
- 235 requerentes: 191 Pessoas Físicas - PF e 44 Pessoas Jurídicas – PJ (sendo que destas, 28 são cooperativas).
- PJ = 88% do total das áreas de PLG; PF = 12% de todas as áreas de PLG
- As cooperativas detêm 84% do total de PLG (ou ainda 95% das áreas requeridas por PJ) e localizam-se em 4 estados: AM, MT, PA e RO.

# Distribuição de áreas de PLG

- Uma única cooperativa é responsável pela maior detenção da área (localizada nos estados do PA, MA e RO): 33% de toda a área requerida por PJ ou ainda, 29% de toda a área de PLG brasileira.
- Os 10 maiores requerentes PF somam mais da metade do total de área requerida por PF (ou ainda 6% das PLG em território nacional) e as áreas localizam-se em 2 estados: MT e PA.
- Um único requerente PF, com 162 áreas de PLG, todas no estado do PA, é responsável por 14% do total de áreas de PF ou 2% da área de PLG no Brasil.
- Este quadro demonstra o alto grau de concentração da MAPEO brasileira
- PA e MT são responsáveis pela maior parte da produção de ouro por MAPEO no Brasil
- Cooperativas do PA são consideradas de baixíssimo grau de maturidade (não há formalização dos atos e, portanto, de transparência de decisões)
- Na cooperativa com maior área de PLG, um ex-presidente é citado em processos judiciais (vide análise jornalística)
- Grande número de pistas de pouso de aviões também no entorno das PLG, o que pode indicar produção ilegal, fora dos polígonos das PLGs

# Número de garimpeiros de ouro

- Difícil estimar, não há censo atualizado de garimpeiros de ouro nos estados produtores
- Uma cooperativa conta com mais de 5.000 cooperados
- Há informações da existência de garimpos ilegais com mais de 5.000 pessoas trabalhando, como por exemplo, nas terras indígenas em RR
- Segundo o IBGE há cerca de 80 mil
- Seccatore et al, 2014 estimam em até 800 mil
- Portanto, há uma variação de uma ordem de grandeza neste número
- O gestor de área, nas cooperativas, é o responsável pela manutenção da estrutura do garimpo e recebe de 70 a 75% da produção
- Nem todos os cooperados trabalham conforme as recomendações das cooperativas.

# Seleção de áreas de MAPEO para visitas técnicas

- Identificados os estados mais importantes na *produção de ouro*;
- Identificados os estados importantes *em áreas legalizadas e/ou com potencialidade*;
- O nível de apoio das instituições locais,
- A logística de acesso e a receptividade pelo setor produtivo
- A receptividade dos garimpeiros é essencial para que nós, pesquisadores, possamos realizar as visitas técnicas.

Os estados pré-selecionados foram: AP, BA, MT, PA e RO.

Os estados visitados foram AP, BA, MT e PA. A visita a RO foi cancelada.

- **Instituições Federais**

- Ministério do Meio Ambiente – MMA, Brasília – DF
- Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM, Brasília – DF
- Ministério de Minas e Energia - MME, Brasília – DF
- Ministério da Saúde - MS, Brasília – DF

- **Instituições Estaduais**

- Companhia Mato-grossense de Mineração, METAMAT - MT
- Promotoria Pública Estadual – MT
- Secretaria de Estado de Desenvolvimento Econômico-SEDEME - PA
- Cooperativas de Garimpeiros – PA, MT, AP, BA
- FECOGAT, Federação de Garimpeiros do Tapajós

- **Instituições Municipais**

- Secretaria Municipal de Desenvolvimento Econômico SEDEMME –Itaituba-PA
- Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Itaituba
- Secretaria Municipal de Saúde de Nova Lacerda, MT

# Instituições visitadas



MINISTÉRIO DA  
CIÊNCIA, TECNOLOGIA,  
INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES



- **Reuniões no estado do Amapá**

- Equipe SEMA e Secretário de Meio Ambiente do Estado
- Equipe SEMA/CETEM/MMA, presidência da Cooperativa 8 e cooperados
- Instituto do Meio Ambiente e de Ordenamento Territorial do Amapá, IMAP
- DEMA, DNPM, IBAMA, ICMbio, IEF, IEPA e LACEN- MS

- **Reuniões no estado da Bahia**

- Equipe DNPM/BA
- SEMA
- Prefeitura de Santa Luz
- Companhia Baiana de Pesquisa Mineral, CBPM

- **Participação em Eventos**

- 1º Encontro Institucional de Fortalecimento das Cooperativas do Setor Mineral do Tapajós

# Trabalho de campo

As cinco expedições a campo foram executadas de julho a novembro de 2017

Os questionários semi-estruturados foram aplicados a 26 áreas de MAPEO:

- 10 explotam minério primário, 15 explotam minério secundário e 2 explotam rejeitos de secundário, sendo que uma delas explota também minério primário (MAPEO 7).
- 8 são minas subterrâneas (incluindo shaft, plano inclinado, tuneis, com uso ou não de explosivos), 14 são minas a céu aberto, 2 são em leito de rio; 1 é cata de blocos de minério primário, rejeito ou estéril de antiga mineração que atuava na região e 1 não indicou o tipo de lavra.
- Quanto ao processamento mineral, as MAPEO que explotam minério primário utilizam em geral moinhos de martelos ou de barras. A presença de moinho de bolas e de britador é rara.
- As MAPEO que explotam minério secundário, a céu aberto, utilizam escavadeiras e jato d'água; e em leito de rio, utilizam dragas.

# Visitas técnicas a MAPEO

Das 26 áreas, 17 foram visitadas:

em 14 áreas foram realizados também os experimentos de balanço de massas de mercúrio nos processos produtivos da MAPEO:

Em 12 áreas foi possível realizar os experimentos completos e em 2 duas, experimentos parciais.

Das 14 áreas, 6 explotam minério secundário, 1, rejeito do minério secundário, e sete 7, minério primário.

# PROCESSOS PRODUTIVOS DA MAPEO

# Processos de Lavra



minério secundário, com escavadeira



minério secundário: escavadeira e uso de jato d'água e de mangueiras para envio da polpa às calhas rifladas



Garimpo de draga, em leito de rio



Mina subterrânea de minério primário com acesso por *plano inclinado*



Mina subterrânea de minério primário com acesso por *Shaft*



Extração de minério primário com picaretas

# Beneficiamento e concentração



Moinho de martelo para processamento de minério primário e calha riflada para concentração



Concentração de minério secundário em calha riflada



Calha riflada, em draga



Concentração de minério primário cominuído, em “cochim” e carpete



Moinho de martelo para processamento de minério primário, sem concentração



Centrífugas

# Amalgamação do ouro com mercúrio



Retirada dos tapetes da calha riflada com o concentrado sendo contido em tambor e adição de Hg



CA com tambores amalgamadores e bacia de contenção de rejeitos



Placa amalgamadora (após moinho de martelo)



Tanque para bateamento do amálgama em uma Central de Amalgamação (CA)



Tanque para bateamento do amálgama em uma Central de Amalgamação (CA)



Raspagem da placa amalgamadora

# Recuperação de Hg por filtragem e obtenção do amálgama



Recuperação do Hg por  
“filtragem” em pano



Amálgama

# Decomposição térmica do amálgama



em sistema aberto



com folhas vegetais



em retorta modelo 1



em capela



Sistema de captação de Hg em capela



Capela improvisada



em retorta modelo 2

# Ouro Esponja



Casas de  
compra de  
ouro, DTVM's)

Fusão (ou segunda “queima”)



# Balanço de massas de mercúrio nos processos produtivos da MAPEO

A metodologia consiste na pesagem do mercúrio (utilizado e recuperado) e do ouro produzido. A partir destes dados pode-se estimar a quantidade de mercúrio perdido para o meio ambiente. Neste processo podem ocorrer diversas etapas de recuperação do mercúrio (por ex.: filtragem em tecido e queima em retorta / capela). Em campo foram realizadas pesagens ao longo do processo produtivo, conforme ilustrado abaixo.

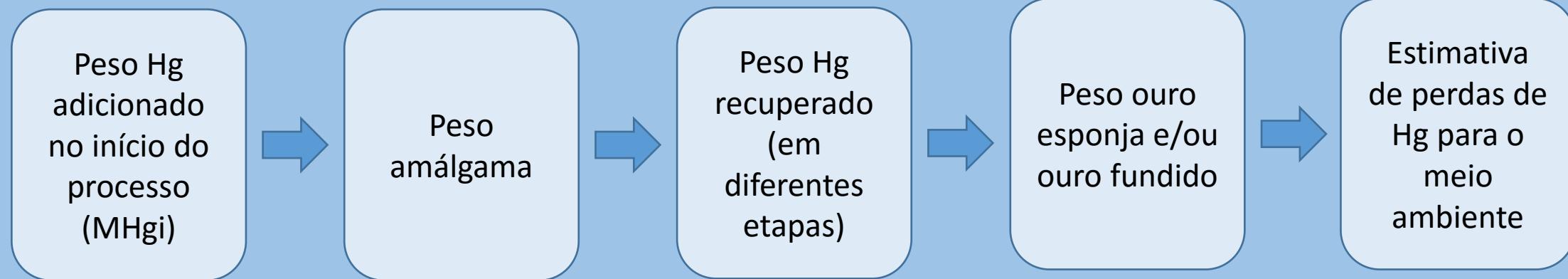


Diagrama ilustrativo das etapas de pesagens no balanço metalúrgico do mercúrio

## Síntese do balanço de massas de Hg nos processos de MAPEO com base nos experimentos realizados

MAPEO	Minério	M <sub>Hg</sub> inicial (kg)	Au produzido (kg)	Hg usado: Au produzido	FILTRAGEM		AMÁLGAMA			CONTROLE AMBIENTAL E PERDA PARA A ATMOSFERA				M <sub>Hg</sub> REC 1+2	PERDA TOTAL PARA O AMBIENTE		
					M <sub>Hg</sub> REC1 (kg)	% REC	Peso (kg)	M <sub>Hg</sub> (kg)	Relação Hg:Au	Tipo	EFC%	M <sub>Hg</sub> REC2 (kg)	M <sub>Hg</sub> Atm (kg)	(kg)	M <sub>Hg</sub>	%	Relação Hg:Au
8	S	0,193	0,200	0,97: 1	0,077	40	0,346	0,116	0,5:1	C	70	0,08	0,036	0,158	0,036	18	0,17:1
9	S	0,263	0,212	1,24: 1	0,145	55	0,352	0,112	0,5:1	R	98	0,11	0,002	0,256	0,007	3	0,03:1
10	S	0,354	0,102	3,47: 1	0,294	83	0,153	0,051	0,5:1	C	70	0,04	0,011	0,330	0,024	7	0,24:1
11	S	0,464	0,174	2,67: 1	0,362	78	0,268	0,094	0,5:1	C	70	0,07	0,024	0,428	0,036	8	0,21:1
12	P	0,367	0,039	9,29: 1	0,320	87	0,080	0,041	1,1:1	C	70	0,03	0,011	0,348	0,019	5	0,49:1
13	RS	0,027	0,158	0,17 : 1	0	0	0,193	0,0345	0,2:1	R	98	0,03	0,0045	0,027	0,000	0	-
18	P	4,605	0,458	10:1	4,087	89	0,726	0,268	0,6:1	N	0	0	0,268	4,087	0,518	11	1,13:1
19	P	-	0,0005**	-	0,0	0	0,001	0,0005**	1:1	N	0	0	0,0005	-	0,0005	-	-
20	P	0,010	0,0007	14,29:1	0,008	80	0,0016	0,0009	1,3:1	F	0	0	0,0009	0,008	0,002	20	2,86:1
21	S	-	0,0065	-	0,0	0	0,0093	0,0028	0,4:1	F	36	0,001	0,0018	0,001	0,0018	-	-
23	P	0,0036*	0,0005	7,20:1	0,0012	33	0,0007	0,0002	0,4:1	N	0	0	0,0002	0,0012	0,0024	67	4,80:1
24	P	0,0036*	0,002	1,80:1	0,0	0	0,0032	0,0012	0,6:1	N	0	0	0,0012	0,0	0,0036	100	1,80:1
25	P	0,0036*	0,0007	5,14:1	0,0016	44	0,0016	0,0009	1,3:1	N	0	0	0,0009	0,0016	0,002	56	2,86:1
26	S	0,31	0,1908	1,62:1	0,175	56	0,3272	0,1364	0,7:1	R	51	0,07	0,0664	0,242	0,068	22	0,36:1

Obs.: S = secundário; P = primário; RS = rejeito de secundário; M<sub>Hg</sub> = massa de mercúrio; M<sub>Hg</sub> REC1 = massa de mercúrio recuperado na filtragem; NF=não filtra; % REC = percentual de recuperação de Hg na filtragem; \* estimado por número de gotas ; \*\* estimado; C = capela; R = retorta; F = folha; N = Nenhum; EFC% = eficiência de recuperação de mercúrio; M<sub>Hg</sub> REC2 = massa de mercúrio recuperado na capela/retorta/folha; M<sub>Hg</sub> REC 1+2 = massa de mercúrio recuperado total; - =sem informação.

# Liberação e emissão de Hg por MAPEO

## **Liberação (para solos, águas e/ou rejeitos, contidos ou não)**

$MHgi = MHg\ Rec1\ (filtragem) + MHg\ amálgama + MHg\ liberada$

$MHg\ liberada = MHg\ i - (MHg\ Rec1 + MHg\ amálgama)$

## **Emissão (para a atmosfera)**

$MHg\ emitida\ atm = MHg\ amálgama - MHg\ Rec\ 2$

## **Perda total**

$Perda\ total = Hg\ liberado + Hg\ emitido\ atm$

## Síntese do balanço de massas de Hg nos processos de MAPEO com base nos experimentos realizados



### Liberações de Hg

### Emissões de Hg

MAPEO	Minério	M <sub>Hg</sub> inicial (kg)	Au produzido (kg)	Hg usado: Au <sub>produzido</sub>	FILTRAGEM		AMÁLGAMA			CONTROLE AMBIENTAL E PERDA PARA A ATMOSFERA				M <sub>Hg</sub> REC 1+2	PERDA TOTAL PARA O AMBIENTE		
					M <sub>Hg</sub> REC1 (kg)	% REC	Peso (kg)	M <sub>Hg</sub> (kg)	Relação Hg:Au	Tipo	EFC%	M <sub>Hg</sub> REC2 (kg)	M <sub>Hg</sub> Atm (kg)	(kg)	M <sub>Hg</sub>	%	Relação Hg:Au
8	S	0,193	0,200	0,97: 1	0,077	40	0,346	0,116	0,5:1	C	70	0,08	0,036	0,158	0,036	18	0,17:1
9	S	0,263	0,212	1,24: 1	0,145	55	0,352	0,112	0,5:1	R	98	0,11	0,002	0,256	0,007	3	0,03:1
10	S	0,354	0,102	3,47: 1	0,294	83	0,153	0,051	0,5:1	C	70	0,04	0,011	0,330	0,024	7	0,24:1
11	S	0,464	0,174	2,67: 1	0,362	78	0,268	0,094	0,5:1	C	70	0,07	0,024	0,428	0,036	8	0,21:1
12	P	0,367	0,039	9,29: 1	0,320	87	0,080	0,041	1,1:1	C	70	0,03	0,011	0,348	0,019	5	0,49:1
13	RS	0,027	0,158	0,17 : 1	0	0	0,193	0,0345	0,2:1	R	98	0,03	0,0045	0,027	0,000	0	-
18	P	4,605	0,458	10:1	4,087	89	0,726	0,268	0,6:1	N	0	0	0,268	4,087	0,518	11	1,13:1
19	P	-	0,0005**	-	0,0	0	0,001	0,0005**	1:1	N	0	0	0,0005	-	0,0005	-	-
20	P	0,010	0,0007	14,29:1	0,008	80	0,0016	0,0009	1,3:1	F	0	0	0,0009	0,008	0,002	20	2,86:1
21	S	-	0,0065	-	0,0	0	0,0093	0,0028	0,4:1	F	36	0,001	0,0018	0,001	0,0018	-	-
23	P	0,0036*	0,0005	7,20:1	0,0012	33	0,0007	0,0002	0,4:1	N	0	0	0,0002	0,0012	0,0024	67	4,80:1
24	P	0,0036*	0,002	1,80:1	0,0	0	0,0032	0,0012	0,6:1	N	0	0	0,0012	0,0	0,0036	100	1,80:1
25	P	0,0036*	0,0007	5,14:1	0,0016	44	0,0016	0,0009	1,3:1	N	0	0	0,0009	0,0016	0,002	56	2,86:1
26	S	0,31	0,1908	1,62:1	0,175	56	0,3272	0,1364	0,7:1	R	51	0,07	0,0664	0,242	0,068	22	0,36:1

Obs.: S = secundário; P = primário; RS = rejeito de secundário; M<sub>Hg</sub> = massa de mercúrio; M<sub>Hg</sub> REC<sub>1</sub> = massa de mercúrio recuperado na filtragem; NF=não filtra; % REC = percentual de recuperação de Hg na filtragem; \* estimado por número de gotas; \*\* estimado; C = capela; R = retorta; F = folha; N = Nenhum; EFC% = eficiência de recuperação de mercúrio; M<sub>Hg</sub> REC<sub>2</sub> = massa de mercúrio recuperado na capela/retorta/folha; M<sub>Hg</sub> REC 1+2 = massa de mercúrio recuperado total; - =sem informação.

Amostragem	Hg usado: Au produzido	
	Aplicação quest.	MAPEO visitadas
<b>Geral</b>	$4,77 \pm 4,58$ (23)	$4,82 \pm 4,45$ (12)
<b>Minério Primário</b>	$5,80 \pm 4,70$ (9)	$7,9 \pm 4,3$ (6)
<b>Minério Secundário</b>	$3,88 \pm 4,46$ (14)	$1,7 \pm 1,19$ (6)

Resultou distinta a relação Hg *u*: Au *p* para os diferentes minérios:

2:1 para minério secundário e 8:1 para minério primário.

A maior parte da produção de ouro em MAPEO é por minério secundário;

Cerca de 80% da produção de ouro de MAPEO é oriunda do MT e do PA

- A filtragem recupera, em média, 50% da MHgi;
- A maioria dos garimpeiros filtra o amálgama e recupera Hg para uso posterior (os que não o fazem tem baixíssima produção de ouro)

- Há MAPEO de alta (~500g/dia), média (~200g/dia) e baixa (<10g; <1 g) produção: p.ex: uma MAPEO (~6 garimpeiros) produz praticamente o que outra MAPEO produz com ~200 garimpeiros
- MAPEO que não utiliza controles (queima em sistema aberto) para a decomposição térmica emite 100% do Hg presente no amálgama. As folhas vegetais mostraram eficiência de cerca de 35%
- Os menores produtores não utilizam controles ambientais para abatimento de emissão ou usam folhas vegetais
- Os controles para abatimento de emissão atmosférica variam de eficiência, de em torno de 50 a 98% para as retortas (medido em laboratório e em campo) e de 70% para as capelas (informado).
- Os maiores produtores utilizam capelas e/ou retortas
- Em termos médios, as MAPEO estudadas perdem em torno de 30% do Hg inicial, sendo 50% emitido e 50% liberado.

# Estimativas de emissão e de liberação de Hg por MAPEO no Brasil

- Diversas premissas foram assumidas para o cálculo de emissão e liberação de Hg a partir de MAPEO brasileiras. Parte delas tem como base a revisão bibliográfica, a experiência prévia da equipe técnica e os resultados das reuniões com as diferentes instituições que se relacionam com o setor da MAPEO e outra parte é baseada nos resultados obtidos dos experimentos de balanço de massas de Hg e na vivência da equipe durante a realização dos trabalhos de campo.

# Parâmetros e relações importantes

- Quantidade de ouro produzida (declarada e total, incluindo a ilegal)
- Processos de produção, uso e eficiência de controles ambientais de abatimento de emissão e/ou de liberações de Hg
- Relações Hg *u*: Au *p*
- Relações Hg emitido ou *atm*: Au *p*
- Relações Hg liberado ou *lib*: Au *p*
- Relações Hg perdido ou *p total* (emitido + liberado): Au *p*
- Busca de fatores de distribuição de Hg para os compartimentos ambientais solos, águas e/ou rejeitos (liberado) e atmosfera (emitido)

# Produção de ouro (toneladas) pela MAPEO brasileira, em 2016 e estimativas da produção total (declarada e ilegal).

Oficial	Oficial +10%	Oficial +30%	Oficial +50%	Oficial +80%*	Oficial +100%**	Oficial + 3x	Oficial + 8x
DNPM	GIATOC, 2016	De Acevedo (2014)	***Com. pessoal	***Com. pessoal	***Com. pessoal	Seccatore et al, 2014	Seccatore et al, 2014
25	27,5	32,5	37,5	45	50	75	200

\* 60% não declarada e mais 30% de produção ilegal; \*\*baseada em comentários de que uma pequena parte é declarada e que a maior parte do ouro produzido não é declarado e é enviado como contrabando para os países vizinhos; \*\*\*Com. Pessoal=comunicação pessoal

# Premissas assumidas

- A produção de ouro por MAPEO é essencialmente por exploração de minério secundário concentrado (90%);
- Relação Hgu: Aup de 2:1 para minério secundário concentrado e 8:1 para primário
- A filtragem recupera 50% da massa inicial de Hg (MHgi) e é uma prática rotineira
- A relação média Hg:Au existente no amálgama de 1:1, independentemente do processo mineral empregado
- A emissão direta de Hg para a atmosfera ocorre na decomposição térmica do amálgama e pode ser abatida com ou uso de controles
- Os controles de abatimento de emissão de Hg tem em média, 70% de eficiência
- Tais controles são aplicados na maioria das MAPEO legalizadas (80% ) e este percentual decresce na produção ilegal (20%)
- A produção ilegal é aquela originada de áreas legalizadas mas que não é declarada e também aquela originada de áreas ilegais.

## Estimativas de emissões e de liberações de Hg e de seus fatores de distribuição em distintos cenários.

C	Au p	Condição de legalidade	Tipo minério	% de aplicação	Hg u: Au p	MHgi	MHgi total	Rec 1	ΣHg Rec 1 + Hg amal	Hg Lib.*	Hg total Lib.*	Queima de amalgama	% de aplicação	Hg emitido	Hg total emit.**	Hg total Emit. legal+ilegal	Hg total perdido : Σlib. +emit.	Fator atm. (%)	Fator solo (%)
25	25	100% legal; 0% ilegal	S	90	2:1	45	65	32,5	57,5	7,5	7,5	Contrl	80	6	11	11	18,5	59	41
			P	10	8:1	20							Sem	20	5				
27,5	2,5	10% ilegal	S	90	2:1	4,5	6,5	3,25	5,75	0,75	8,25	Contrl	20	0,15	2,15	13,15	21,4	61	39
			P	10	8:1	2							Sem	80	2				
32,5	7,5	30% ilegal	S	90	2:1	13,5	19,5	9,75	17,25	2,25	9,75	Contrl	20	0,45	6,45	17,45	27,2	64	36
			P	10	8:1	6							Sem	80	6				
37,5	12,5	50% ilegal	S	90	2:1	22,5	32,5	16,25	28,75	3,75	11,25	Contrl	20	0,75	10,75	21,75	33	66	34
			P	10	8:1	10							Sem	80	10				
45	20	80% ilegal	S	90	2:1	36	52	26	46	6	13,5	Contrl	20	1,2	17,2	28,2	41,7	68	32
			P	10	8:1	16							Sem	80	16				
50	25	1x mais ilegal	S	90	2:1	45	65	32,5	57,5	7,5	15	Contrl	20	1,5	21,5	32,5	47,5	68	32
			P	10	8:1	20							Sem	80	20				
75	50	2x mais ilegal	S	90	2:1	90	130	65	115	15	22,5	Contrl	20	3	43	54	76,5	71	29
			P	10	8:1	40							Sem	80	40				
200	175	8x mais ilegal	S	90	2:1	315	455	227,5	402,5	52,5	60	Contrl	20	10,5	150,5	161,5	221,5	73	27
			P	10	8:1	140							Sem	80	140				

# Cenário otimista

- A maior parte das MAPEO que produziram as 25 toneladas de ouro legais e declaradas em 2016, utilizam sistemas de abatimento de emissão de Hg (80%) com eficiência média de 70%;
- Os 20% restantes não utilizam controles ( dado que vimos retortas sem uso em MAPEO legalizadas ou buscando a legalização);
- 100% de legalidade: 90% exploração de minério secundário concentrado e 10% minério primário;
- Relação Hg u: Au p de 2:1 para minério secundário concentrado e de 8:1 para minério primário.
- MHgi total = 65 toneladas. Cerca de 50% desta massa é recuperada por filtragem (Rec 1= 32,5t);

- A relação Hg:Au no amalgama de 1:1; 25 toneladas de Hg fazem parte do amálgama.
- A liberação de Hg para solos e/ou rejeitos [diferença entre a MHgi total (65t) e o somatório do Hg recuperado em Rec1 (32,5t) e do existente no amálgama (~25t), de 57,5t] resulta em **7,5 toneladas**.
- A emissão direta de mercúrio para a atmosfera resulta em **11 toneladas**.
- A massa perdida para solos e/ou rejeitos e emitida diretamente para a atmosfera resultou em **18,5 toneladas (cerca de 30% da MHgi)**, das quais **60%** é emitida diretamente para a atmosfera e **40%** é perdida para solos, águas e rejeitos.
- A maior parte de MAPEO legalizada visitada tem os rejeitos contaminados contidos em bacias de rejeito (sem liberação para rios, lagos e até mesmo para solos)

# Cenário pessimista

- Incremento de produção de ouro por produção ilegal, em torno de 8 vezes a produção declarada
- iguais processos minerais mas distinto percentual de uso de retortas e/ou capelas, que seriam adotadas por apenas 20% da produção,
- as perdas de Hg para solos e/ou rejeitos atingem **60 toneladas** e a emissão diretamente para a atmosfera resulta em **161,5 toneladas**, totalizando **221,5 toneladas** perdidas para o meio ambiente.
- ~ 70% emitido diretamente para a atmosfera e ~30% perdido para solos, águas e/ou rejeitos.

# Resultados Gerais

- Os resultados indicam que quanto maior a ilegalidade, maior é o fator de distribuição para a atmosfera.
- Cerca de **5 a 10% da MHgi é liberada** para solos, águas e/ou rejeitos (contidos ou não)
- E **percentuais crescentes da MHgi é emitida** para a atmosfera, em função do percentual de uso dos controles;
- Quando dobra a produção, ilegalmente (50 toneladas, das quais 25 são produzidas ilegalmente, com 80% sem abatimento para a atmosfera), a emissão triplica.

## Estimativas de emissão e liberação de Hg por MAPEO utilizando o “Toolkit”

Segundo o “Toolkit”, a quantidade de Hg u: Au (ou prata) p varia de acordo com os métodos e equipamentos usados, entre outros fatores.

Utilizando minério não concentrado e sem dispositivos de recuperação, a relação da quantidade de Hg u:Au p é >3:1

Se o mercúrio é usado no concentrado do minério a relação Hg u:Au p é de cerca 1,3:1.

Se forem usados concentrados de minério e retortas, a relação Hg u:Au p é muito menor, podendo ser de 0,1 (Telmer, 2012; UNIDO, 2003 apud PNUMA 2015).

Relação Hg u: Au p e de Hg p: Au p obtidos nos experimentos nas MAPEO brasileiras visitadas e o sugerido no ‘Toolkit’, para cada tipo de processo considerado.

Cenários	Mapeo	Hg u: Au p	Hg p: Au p
Minério não concentrado sem utilização de dispositivos de recuperação a relação (Hg usado:Au extraído) é >3:1	23	7,20:1	4,8:1
	24	1,80:1	1,80:1
	25	5,14:1	2,86:1
Minério concentrado a relação(Hg usado:Au extraído) é de cerca de 1,3:1.	18	10:1	1,13:1
	20	14,20:1	2,86:1
Minério concentrado e utilização de retorta, a quantidade de mercúrio utilizada é muito menor (a taxa pode ser de 0,1; a faixa de 0,05–0,2) (Telmer, 2012; UNIDO, 2003).	8	0,97:1	0,17:1
	9	1,24	0,03:1
	10	3,47:1	0,24:1
	11	2,67:1	0,21:1
	12	9,29:1	0,49:1
	13	0,17:1	-
	26	1,62:1	0,36:1

## Planilha do “Toolkit” para estimativas de emissão e liberações de Hg a partir de MAPEO.

Categoria de fonte / fase	Fator de entrada padrão	Unidade	fator de entrada	Unidade	taxa de atividade	Unidade	Cálculo entrada de Hg	Unidade	entrada de Hg	Unidade	Ar	Água	Terra
/Do minério inteiro	3	kg Hg/kg Au prod		kg Hg/kg Au prod		Au prod, kg/a		Kg Hg/a		Kg Hg/a	0,25	0,4	0,35
/Do concentrado	1	kg Hg/kg Au prod		kg Hg/kg Au prod		Au prod, kg/a		Kg Hg/a		Kg Hg/a	0,75	0,13	0,12
/Do concentrado sem uso de retortas	0,1	kg Hg/kg Au prod		kg Hg/kg Au prod		Au prod, kg/a		Kg Hg/a		Kg Hg/a	0,2	0,4	0,4

# Aplicando o Cenário 1 no Toolkit

A produção declarada é de 25 toneladas; 100% legalidade

A produção de ouro é essencialmente por exploração de minério concentrado (90%) com uso de retorta

E 10% da produção é de concentrado, sem retorta

É assumido que a relação indicada na planilha é de Hg perdido: Au p (e não a relação Hg usado: Au p);

20 toneladas produzidas com concentrado e retorta; 5 toneladas produzidas com concentrado sem retorta

Resultaram em perda total de 7 toneladas, sendo 4,15 emissão e 2,85 liberação

Os resultados diferem (bem como os fatores) sendo menor do que o calculado com os parâmetros obtidos em campo e mostrados previamente.

## Estimativa de emissão de Hg para a atmosfera por MAPEO no Brasil (2007): Anexo 2/ AMAP/UNEP (2013) baseada no “Toolkit”

No estudo não há informação sobre a produção de ouro considerada, mas em 2007, o Brasil produziu 5 toneladas de ouro declaradas oficialmente (DNPM).

Considerando a produção declarada, a relação assumida de Hg  $u$ : Au  $p$  foi de 9:1

Assumido que 50% da produção de ouro ocorreu por processo de amalgamação de minério concentrado e 50% em minério não concentrado, foi assumido um fator de emissão de 0,5 (resultante da média obtida dos fatores padrões de 0,75 - para amalgamação de minério concentrado - e de 0,2 - para amalgamação de minério não concentrado)

**Resultado: 22,5 toneladas**

# Comparação das estimativas

- O cálculo utilizando o “Toolkit” resultou mais baixo do que com os parâmetros obtidos em campo. Entretanto, a aplicação do “Toolkit” em estudo da AMAP/UNEP produziu estimativa muito alta do que se depreende dos dados e cenários da presente pesquisa.
- Considerando a entrada no sistema de 65 toneladas para a produção de 25 toneladas de ouro, 18,5 toneladas são perdidas para o meio ambiente, incluindo a emissão de 11 toneladas diretamente para a atmosfera e de 7,5 toneladas perdidas para solos e/ou rejeitos.
- À luz dos dados disponibilizados pelo presente projeto, a estimativa de emissão de Hg por MAPEO no Brasil, em 2016, resulta em cerca de metade da contribuição indicada para 2007.
- Como agravante, deve-se salientar que em 2007, o Brasil produziu, oficialmente, 5 toneladas, ou seja, cinco vezes menos ouro do que o declarado em 2016.
- Assim, as estimativas partindo-se das premissas assumidas com base nos estudos realizados nesta pesquisa, em 2007, com produção de 5 toneladas de ouro, o Brasil teria emitido para a atmosfera pouco mais do que 2 toneladas de Hg. Ou seja, 10 vezes menos do que o estimado naquele estudo.
- Infelizmente não há informação completa do cenário considerado naquele estudo.
- De qualquer maneira, uma emissão de 22 toneladas de Hg, considerando as premissas do nosso trabalho, a produção de ouro por MAPEO teria que ser em torno de 50 toneladas.

# Metodologia de análises de Hg gasoso na atmosfera

LUMEX – *Portable Mercury Vapor Analyzer*, modelo RA-915+, Espectrômetro de Absorção Atômica com corretor Zeeman.

- Leituras em tempo real
- LD de 0,02 ng m<sup>-3</sup> e LQ de 0,3 ng m<sup>-3</sup>. O limite máximo de leitura é de 200.000 ng m<sup>-3</sup>.
- O equipamento foi programado para realizar uma leitura média a cada 10 segundos.
- Nas áreas garimpeiras visitadas foram realizadas leituras em pontos de amostragem escolhidos em função da conveniência, estabelecendo o mínimo de 10 minutos de medição ininterrupta em cada ponto.
- Foi dada especial atenção para análises durante os processos de amalgamação e de queima do amálgama, com ou sem o uso de retorta ou de capelas.
- Nos pontos de referência, as determinações de mercúrio foram realizadas colocando-se o equipamento em área aberta, preferencialmente a favor dos ventos, a alturas variando de 1 a 1,5 m do solo.

# Teores de mercúrio na atmosfera durante decomposição térmica do amálgama

MAPEO/ Localidade	Atividade	T (min)	Hg na atmosfera média ± dp (ng/m <sup>3</sup> )
Em loja de compra de ouro/ Área urbana	Queima em capela e pós-queima	40	184.835±35.639
Ambiente aberto	Queima do amálgama, sem sistema de controle	7	9.568±6.947
8	Processo de amalgamação	27,5	16.531±8.233
9	Durante a queima do amálgama	10	128.329±7.4912
Casa de compra 1	Durante a fundição de ouro	32	950±363
Casa de compra 2- sala 1	No ambiente interno, sem fundição de ouro esponja	3,5	48.971±12.916
	Durante a fundição de ouro	24,5	120.098±65.335
Casa de compra 2-sala 2**	Sem queima nem fundição de ouro	5	>200.000
CA -10, 11, 12 Primeiro dia	Durante a queima do amálgama	104	38.086 ±29.917
CA- 10, 11 e 12 Segundo dia	Durante a queima do amálgama	54	116.698±38.512
CA- 13	Durante a queima do amálgama	65	195.358±50.721
	Durante a queima do amálgama	30	62.496±76.673



# CONSIDERAÇÕES FINAIS E RECOMENDAÇÕES

- Altos teores de Hg na atmosfera, em especial durante a decomposição térmica do amálgama; intermitentes, devem ser melhor estudados, sobretudo pelo potencial risco de exposição ocupacional e ambiental;
- Foram observados processos como a cianetação de rejeitos de MAPEO com Hg;
- É importante quantificar o Hg usado para a ativação de placas de amalgamação;
- Empresas juniores ou pequenas empresas que utilizam mercúrio nos seus processos (como por exemplo, uma pessoa física que tinha PLG e que migrou para concessão de lavra mas que mantém o processo de amalgamação com Hg) devem fazer parte de inventários futuros

- Se houver modificação da relação Hg: Au no amálgama, haverá impacto nas estimativas de emissão.
- Se houver modificação na condição de legalidade da atividade, haverá impacto nas estimativas de emissão.
- Não foi possível utilizar o “Toolkit” para estimar as emissões e liberações nem sugerir valores para os parâmetros com valores padrões nos cenários considerados pela ferramenta.

# Agradecimentos

A todas as instituições parceiras, às suas diretorias e aos pesquisadores, analistas, motoristas, e demais colaboradores que nos apoiaram. Sobretudo, aos garimpeiros de ouro e suas famílias, pela generosa acolhida, por nos receberem em seus locais de trabalho e compartilhar sua experiência de trabalho e de vida.