

Inventário do uso e emissões de mercúrio em mineração artesanal de pequena escala de ouro no Brasil (resultados preliminares)

Mercury use and emission inventories in artisanal gold mining in Brazil (preliminary results)

Vinicius Tavares Kütter

Bolsista PCI, Biólogo, D.Sc.

Zuleica Castilhos

Supervisora, Bioquímica, D.Sc.

Resumo

Segundo a UNEP (2014) as Minerações Artesanais de Pequena Escala de Ouro (MAPE) são responsáveis por 37% das emissões atmosféricas globais de mercúrio (Hg). O Brasil é o 3º maior produtor de ouro via MAPE na América do Sul sendo estratégico o conhecimento das emissões desta atividade para criação de políticas públicas que minimizem seus impactos. O objetivo do presente estudo é a quantificação do Hg utilizado nos processos produtivos da MAPE e do Hg perdido para o meio ambiente. O levantamento foi realizado a partir de dados obtidos tanto através de entrevista com garimpeiros quanto obtidos pela realização de balanço metalúrgico do mercúrio, onde foi mensurada *in situ* a quantidade de Hg utilizada e perdida para o meio ambiente. Os resultados do balanço indicaram que é utilizado, no processo, em média de 3:1 ($Hg_{utilizado}:Au_{produzido}$) e perdido para o meio ambiente, principalmente para a atmosfera, em torno de 10 a 15% do Hg utilizado. Durante a decomposição térmica do amálgama em retorta ou em capela foram medidos teores de até $>220000\text{ ng/m}^3$ no ar, que, embora intermitentes, indicam a necessidade de se realizar uma avaliação de exposição ocupacional dos garimpeiros a mercúrio na atmosfera.

Palavras chave: Desenvolvimento Sustentável; Amazônia; Poluição Atmosférica, Fator de Emissão, Convenção de Minamata.

Abstract

According to the UNEP (2014) Artisanal Gold Mining (AGM) account for 37% of global mercury (Hg) emissions. Brazil is the third largest gold producer via AGM in South America, being strategic the knowledge of the emissions of this activity to create public policies that minimize its impacts. The objective of the present study is the quantification of Hg used and lost to the environment in the productive processes of AGM. The survey was performed from secondary data through interviews with prospectors and primary data, where the amount of Hg used and lost to the environment was measured *in situ*. It is used in the process in average of 3:1 ($Hg_{used}:Au_{produced}$). Considering, a conservative evaluation is lost to the environment about 10 to 15% of the Hg used, the main receiving path being the atmosphere. During the burning of the amalgam in the retort system and the chapel, it was measured $> 220000\text{ ng / m}^3$ in the air which are intermittent, nevertheless, represent a risk to the health of the miners.

Key words: Mercury, Artisanal Gold Mining, Emission, Air Pollution, Amalgamatio.

1. Introdução

A mineração artesanal e de pequena escala (MAPE) de ouro (Au) são atividades que causam impacto ao meio ambiente, sendo a alteração da paisagem (remoção de vegetação, solo) e a contaminação do ambiente por mercúrio (Hg), os principais fatores ambientais negativos desta atividade (Tarras-Wahlberg 2000; Hilson 2002; De lacerda 2003; Taylor et al 2005; Telmer; Veiga, 2009). O Hg é um elemento tóxico aos seres vivos, o qual possui elevada capacidade de biomagnificação na cadeia trófica. Além disso, os efeitos adversos ao meio ambiental, causados pela poluição por este elemento, podem perdurar muitas décadas após o evento de contaminação. O Hg metálico é utilizado no processo de amalgamação do ouro, sendo perdido para a água, solo e ar. Para o ar, a principal via de emissão é através da decomposição térmica do amálgama. Na América do Sul o Brasil é o 3º maior produtor de ouro via MAPE (Valdivia; Ugaya, 2011). A problemática da contaminação ambiental por Hg oriunda da MAPE de ouro é uma questão antiga na América do Sul. Lacerda e Salomons (1998) relatam tais problemas em "Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb?". Desde então, as agências governamentais brasileiras de meio ambiente vêm desenvolvendo normas específicas para o controle das contaminações em MAPE (FEMA-MT, 1997; SEMA-PA, 2013; SEMA-AM 2012). Contudo, as perdas de Hg para o ambiente ainda são correntes e consequência da carência de políticas públicas visando a educação dos garimpeiros para um uso seguro de Hg, associado ao baixo nível de qualificação destes trabalhadores, somado ao grande número de áreas de garimpo de ouro ilegais. Tornando assim, o levantamento das emissões geradas por estes empreendimentos um desafio além de, ser um fator chave para criação de políticas de gerenciamento ambiental desta atividade. Em relação à atividade legalizada, segundo levantamento realizado por Castilhos e colaboradores (2017), há 1.515 permissão de lavra garimpeira-PLGs, abrangendo uma área total de 484.842,31 ha em 10 estados (Amazonas/AM; Amapá/AP; Bahia/BA; Goiás/GO; Minas Gerais/MG; Mato Grosso/MT; Pará/PA; Pernambuco/PE; Rondônia/RO e Tocantins/TO) com predomínio na região amazônica.

Em 2017 o Brasil assinou a Convenção de Minamata, na qual o país se compromete a decrescer as emissões de Hg para a atmosfera, incluindo as oriundas da MAPE de ouro. O levantamento das emissões geradas por estes empreendimentos (legais e ilegais) é um desafio e um fator chave para criação de políticas de gerenciamento ambiental desta atividade.

2. Objetivos

Quantificação das relações de mercúrio utilizado e de mercúrio perdido para o meio ambiente, por grama de ouro produzido nos processos produtivos correntes da Mineração Artesanal e de Pequena Escala de Ouro, nos estados do Pará e de Mato Grosso.

3. Material e Métodos

Com base no levantamento de MAPE legalizadas no Brasil (Castilhos et alii 2017) foram identificados os estados com maior representação de MAPE de ouro, para contatos com instituições locais e identificação de cooperativas e/ou pessoas físicas para trabalhos de campo e levantamento de dados. O presente trabalho irá apresentar os resultados preliminares dos levantamentos executados nos estados de MT e PA, realizados no período de 17 de julho a 01 de agosto de 2017.

Realizou-se levantamento do uso e perdas de Hg nas MAPE de ouro com base em dados secundários (documentos científicos, relatórios técnicos, etc). A metodologia empregada para formulação de questionários semi-estruturados, bem como a execução do experimento de balanço metalúrgico de mercúrio em campo, visando a quantificação do uso e perdas de Hg, foram baseados no “Toolkit” das Nações Unidas para quantificação e identificação das fontes de Hg (UNEP, 2017) e em relevantes artigos, como Farid et al (1991) e Pfeiffer; Lacerda (1988). O levantamento de dados com o uso do questionário foi efetuado via contato telefônico, email e também através de visita técnica a alguns empreendimentos e cooperativas para verificar *in situ* os dados fornecidos. Além disso, foi mensurada a concentração de Hg no ar em áreas de MAPE de ouro, empregando um equipamento portátil de Espectrometria de Absorção Atômica com correção Zeeman (modelo: Lumex 915).

4. Resultados e Discussão

Realizou-se o levantamento de dados em 17 áreas de MAPE de ouro, sendo 10 no Mato Grosso, 6 no Pará e 1 Rondônia. Deste total, 8 áreas foram visitadas e 6 experimentos do balanço metalúrgico de uso e perda de Hg foram realizados, sendo 5 com concentrado de minério secundário e 1 com concentrado de minério primário. Nas demais áreas o levantamento foi realizado através de entrevista com o gestor da MAPE. Também foi mensurada a concentração de Hg na atmosfera em áreas de MAPE de ouro, em áreas urbanas e em 2 casas de compra de ouro, onde é realizada, em geral, a fundição do ouro, após a decomposição térmica do amalgama, que é realizada, em geral, na área de MAPE de ouro.

Do total de dados levantados, 35% (6 áreas de MAPE) foram descartados, devido à inconsistência ou negativa de fornecimento da informação por parte dos gestores das áreas. Observou-se que de uma maneira geral, a quantidade de Hg utilizada no processo ($\text{Razão } \text{Hg}_{\text{utilizado}}:\text{Au}_{\text{produzido}}$) é, em média, de 3Hg:1Au. Atualmente, devido ao elevado custo do Hg (1Kg de Hg equivalente de 7 a 10g Au), existe uma preocupação em reduzir as perdas e aumentar a recuperação deste, durante o processo de produção de ouro. Nos locais estudados o processamento do minério, após a concentração em calha gravimétrica, ocorre em “centrais de amalgamação”, onde o Hg é adicionado ao concentrado para formação da amalgama de ouro, com uso ou não de tambor amalgamador. Posteriormente, a ganga mineral é separada do amálgama manualmente, com bateia, sob água, em tanques ou “piscinas”. Para estas piscinas foi verificado que há uma perda em torno de 2,5% de Hg inicial no processo. Contudo, estes

compartimentos são limpos semestralmente ou anualmente e o Hg é recuperado para reutilização. Segundo relato em uma das MAPEs, a cada 6 meses são recuperados de 1 a 1,5Kg de Hg e em torno de 350g Au na “piscina”. Após a separação na bateia, o amalgama é filtrado para remoção do excesso de Hg sendo em média recuperados em torno de 64% do adicionado no início do processo. Em seguida, há a decomposição térmica do o amalgama, utilizando retortas ou capelas, com sistema de recuperação de Hg. Nos experimentos em campo não foi possível medir a eficiência exata destes equipamentos. Não foi possível mensurar a eficiência de recuperação das retortas em campo, pois mesmo efetuando queimas de limpeza antes do início do experimento de balanço metalúrgico, o equipamento permaneceu com resíduos de Hg na tubulação, resultando em uma recuperação maior do que a quantidade inicialmente adicionada de Hg. A eficiência de 95% de recuperação de Hg é baseada em dados fornecidos pelos fabricantes e por gestores de MAPEs de ouro.

Quanto às capelas, estas possuem um sistema de recuperação de Hg em tambores com água e algumas também possuem *spray* de água para condensação de vapores, sendo considerada a eficiência de recuperação de Hg presente no amalgama, de 95%. Segundo informações dos gestores de MAPE, na limpeza da tubulação e dos tanques são recuperadas grandes quantidades de Hg (1 Kg Hg/semana, ou 4kg/mês, onde é produzido 5 kgAu/mês). O ouro esponja (“bullion”) retém de 1 a 5% de Hg e é, posteriormente, fundido em lojas de compra de ouro (DTVM). Segundo levantamento em 2 lojas, estas realizam o processo de fusão em capelas com sistema de recuperação de Hg. Não foi possível avaliar a eficiência destes sistemas nem mensurar a perda para a atmosfera.

Com os resultados obtidos no presente estudo, conforme mostrado na Tabela 1 e adotando-se um cenário conservador: razão observada de $Hg_{utilizado}:Au_{produzido}$ de 3:1; perda de Hg para o meio ambiente de 15% do utilizado no processo; e, o total de ouro produzido por estes locais, de 310,2 Kg/ano, estima-se uma perda de 46,5KgHg/ano para o meio ambiente, com predominância de emissão para a atmosfera. Assim, o fator de emissão de Hg para a atmosfera pode ser estimado em 0,45:1.

Durante a decomposição térmica do amalgama, em retorta ou em capela, foram medidos teores >220000 ng/m³ no ar. Tais teores são intermitentes (ocorrem em curto período de tempo, em intervalos durante o período diurno de trabalho), e podem representar riscos de exposição ocupacional. Esta exposição aos vapores de Hg em alguns locais é diária e repetida várias vezes ao dia, enquanto em outros locais, é semanal.

Limites de 1000 ng/m³ são estabelecidos para exposição do público em geral, segundo a Organização Mundial da Saúde OMS; que recomenda o valor de 25000 ng/m³(concentração média ponderada no tempo para uma semana de trabalho 8hs/dia e 40hs/semana, ao qual quase todos os trabalhadores podem ser repetidamente expostos sem efeito adverso) para exposição ocupacional. No Brasil, a NR 15 indica máximos permitidos de 40000ng/m³ para exposição ocupacional (8hs/dia e 40hs/semana).

Tabela 1. Comparativo dos dados levantados atualmente com o presente na literatura.

Local/Autor	Ano de levantamento	Hg inicial (g)	Produção Au (g)	Hg utilizado: Au produzido (kg)	% Hg recuperado (filtragem)	% Hg recuperado (retorta/capela)	% Hg recuperado (TOTAL)	% Hg perda Fusão	Hg perda total (%)	Hg perda/Au produzido
1 – MT/A	2017	354	102	3,5:1	83	13,7*	86,7	-	13,3	0,5
2 – MT/A	2017	464	174	2,7:1	78	19,2*	97,2	-	2,8	0,4
3 – MT/A	2017	367	39,5	9,3:1***	87	10,5*	97,5	-	2,5	1,4
4 – MT/A	2017	27	158,5	0,2:1	-	125	125	-	?	?
5 – MT/A	2017	193	200	1:1	18,3	70*	88,3	-	11,7	0,1
6 – MT/A	2017	263	210	1,3:1	55	**50,6	105,6	-	?	?
7 – MT/A	2017	1500	850	1,8:1	-	95**	95		5	0,3
8 – MT/A	2017	1600	500	3,2:1	-	95**	95		5	0,5
9 – MT/A	2017	1500	400	3,8:1	-	95**	95		5	0,6
10 – PA/A	2017	1500	875	1,8:1	-	95**	95		5	0,3
11 – MT/B	1989	1000	151	6,6:1	90,5	6,6	97,1	0,6	2,9	0,2
12 – MT/B	1989	1000	429	2,3:1	74,6	15,3	89,9	2,5	10,2	0,2
13 – MT/B	1989	1000	118,3	8,5:1	99,8	0,3	100	0,4	10,1	0,9
14 – MT/B	1989	1000	288,5	3,5:1	85,4	12,5	97,9	0,7	14,7	0,5
15 – MT/B	1989	-	17,8	-	73,7	15,9	89,6	3,8	26,1	14,7
16 – MT/B	1989	1000	40,2	25:1	78	-	-	0,5	23,9	5,9
17 – MT/B	1989	1000	5,8	166:1	99,1	-	-	0,05	0,9	1,6
18 – MT/B	1989	-	15,8	-	51	-	-	3,1	49,0	31,0
19 (RR,AM,PA, RO,)C	1988	-	1000	~4:1 (6:1 a 10:1)	70	-	70	-	30	1,32
20 – PA/D	1988	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7
21 – PA/E	1980 a 1988	-	-	0,8:1	-	-	-	-	-	-
22 - MT/E	1980 a 1988	-	-	0,9:1	-	-	-	-	-	-
23 – RO/E	1980 a 1988	-	-	1,3:1	-	-	-	-	-	-
24 – RR/E	1980 a 1988	-	-	0,6:1	-	-	-	-	-	-
25-Outros estados/E	1980 a 1988	-	-	1,3:1	-	-	-	-	-	-
26-Bacia Amazônica/F	1984	1000 a 10.000		2:1 a 10:1	-	-	-	-	100	-

* Considerando que a eficiência da capela com sistema de recuperação de Hg é de 95%

** Considerando que a eficiência da retorta é de 95%

*** concentrado de minério primário

A – Presente estudo; B – Farid et al (1991); C - Pfeiffer & Lacerda (1988); D – Silva et al (1988); E – Ferreira & Appel (1991); F – Mallas & Benedicto (1986)

5. Conclusão

Os resultados apontam uma perda de Hg para o meio ambiente <15% do Hg utilizado no processo, sendo este valor inferior ao reportado para a década de 80, onde até 100% do Hg utilizado era lançado no meio ambiente. Verificou-se, portanto, que os mecanismos legais de controle das emissões de Hg são eficientes quando adotados corretamente. Observou-se que a atmosfera é a principal via receptora do Hg perdido, recebendo parte do Hg oriundo da decomposição térmica do amálgama e o emitido pelos tanques de bateamento e pilhas de rejeitos (algumas estão contidas em compartimentos de concreto). Faz-se necessário um estudo de avaliação da exposição dos garimpeiros, em especial dos responsáveis pela decomposição térmica do amálgama, devido às elevadas concentrações medidas na atmosfera, mesmo quando são empregadas a retorta ou capelas. Há necessidade de orientação dos garimpeiros para a correta utilização dos equipamentos de proteção individual (como máscaras para contenção de vapores de Hg, óculos, etc) e de disponibilização destes EPIs; de controle ambiental, de segurança e saúde do trabalhador.

6. Agradecimentos

Ao CNPq pela bolsa PCI, ao MMA e PNUMA pelo financiamento deste projeto e à METAMAT pelo apoio imprescindível no levantamento de dados e suporte de campo. Os autores agradecem também às cooperativas, gestores de áreas e pessoas físicas detentores de permissão de lavra garimpeira pelo apoio ao projeto. Finalmente, agradecemos à Lillian Maria Domingos e à Patrícia C Araújo, pela participação em todas as fases deste projeto, incluindo os trabalhos de campo.

7. Referências Bibliográficas

- FARID, L. H.; MACHADO, J. E. B.; SILVA, A. O. Controle da Emissão e Recuperação de Mercúrio em Rejeitos de Garimpo. In Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo. In: VEIGA, M. M.; FERNANDES, F.R. C. (Eds). **Série Tecnologia Ambiental** nº1, Rio de Janeiro, CETEM/CNPq, 1991.
- PFEIFFER, W. C.; LACERDA, L. D. Mercury inputs into the Amazon Region, Brazil. **Environmental Technology Letter**, 9, 325-33, 1988.
- LACERDA, L. D. Monitoramento de mercúrio na área do projeto Carajás. In: Seminário Nacional Riscos e Consequências do uso do mercúrio. Rio de Janeiro FINEP/CNPQ 1990
- FERREIRA, R. C. H.; APPEL, L. E. Fontes e usos de mercúrio no Brasil. **Série de Estudos e documentos** nº 13, Rio de Janeiro, CETEM/Cnpq, 1991.
- MALLAS, J.; BENEDICTO, N. Mercury and goldmining in the Brazilian Amazon. **AMBIO**, v15(4), 1986.
- Fundação estadual do Meio Ambiente (FEMA). Manual de procedimentos para licenciamento de atividades mineradoras, Cuiabá, 1997, 167pp
- INSTRUÇÃO NORMATIVA N° 006/2013 Secretaria de Estado de Meio Ambiente do Pará. Dispõe sobre o licenciamento para a atividade de lavra garimpeira de ouro no Estado do Pará. Data da publicação: 3 de julho de 2013.

- INSTRUÇÃO NORMATIVA Nº 001/2015. Secretaria municipal de Meio Ambiente de Itaituba – PA. Data publicação: 10 de agosto de 2015.
- Resolução CEMAAM Nº 14/2012. Secretaria Estadual do Meio Ambiente do Amazonas. Data Publicação no Diário Oficial do Estado (DOE) em 22 outubro. 2012
- CASTILHOS, Z.C. Relatório Parcial 1: Inventário nacional de emissões e liberações de mercúrio no âmbito da mineração artesanal e de pequena escala no Brasil. Rio de Janeiro, CETEM, 55p, 2017.
- LACERDA, L. D.; SALOMONS, W. *Mercury from Gold and Silver Mining: A Chemical Time Bomb*, Springer Verlag: Berlin, p. 232, 1998.
- HILSON, G. The environmental impact of small-scale gold mining in Ghana: identifying problems and possible solutions. **The Geographical Journal**, V 168 (1), 57-72, 2002.
- TAYLOR, H.; APPLETON, J. D.; LISTER, R.; SMITH, R.; CHITAMWEBE, D.; MKUMBO, O.; MACHIWA, J. F.; TESHU, A. L.; BEINHOF, C. Environmental assessment of mercury contamination from the Rwamagasa artisanal gold mining centre, Geita district, Tanzania. **Science of the Total Environment**, V 343 (1-3), 111-133, 2005.
- TARRAS-WAHLBERG, N. H.; FLACHIER, A.; FREDRIKSSON, G.; LANE, S.; LUNDBERG, B.; SANGFORS, O. Environmental impact of small-scale and artisanal gold mining in southern Ecuador: implications for the setting of environmental standards and for the management of small-scale mining operations. **AMBIO: A Journal of the Human Environment**, 29(8), 484-491, 2000 . doi: <http://dx.doi.org/10.1579/0044-7447-29.8.484>
- TELMER, K.; VEIGA, M. M. World emissions of Mercury from artisanal and small scale gold mining. In: mercury fate and transport in the global atmosphere: measurements, models and policy implications. In: Pirrone, N.; Mason, R (eds). New York: Springer, 2009.
- DE LACERDA, L. Updating global Hg emission from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. **Environmental geology**, 43(3), 308-314, 2003.
- UNEP. Report: The Minamata Convention on Mercury and its implementation in the Latin America and Caribbean region, 2014.
- VALDIVIA, S. M.; UGAYA, C. M. L. Life cycle inventories of gold artisanal and small-scale mining activities in Peru. **Journal of industrial Ecology**, v 15 (6), 2011.