

CIÊNCIAS DO AMBIENTE

Fascículo 15

Ciclo Biogeoquímico do Mercúrio

Autores:

Tassiane Garcia Peinado

Ozelito Possidônio de Amarante Junior

Organizadores:

Ozelito Possidônio de Amarante Junior

Celso Maran de Oliveira

© 2024 by Tassiane Garcia Peinado & Ozelito Possidonio de Amarante Junior

Direitos dessa edição reservados ao Centro de Estudos em Democracia Ambiental da Universidade Federal de São Carlos – CEDA-UFSCar

É proibida a reprodução total ou parcial desta obra sem a autorização expressa da Editora.

Capa e Projeto Gráfico: Matheus Mazini Ramos

Dados internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

Amarante Junior, Ozelito Possidônio de; Oliveira, Celso Maran de (Organizadores).

Ciências do Ambiente; fascículo 15: Ciclo Biogeoquímico do Mercúrio [recurso eletrônico] / Tassiane Garcia Peinado, Ozelito Possidonio de Amarante Junior - São Carlos: CEDA-UFSCar, 2024.
15p. il.

Inclui bibliografia.

ISBN 978-65-85443-05-0

1. Ambiente. 2. Contaminação. 3. Mercúrio. Peinado, Tassiane Garcia. I. Amarante Junior, Ozelito Possidonio de. II.



Centro de Estudos em Democracia Ambiental
Universidade Federal de São Carlos
Via Washington Luís, km 235 CEP: 13565-905.
São Carlos, SP. Brasil
Telefone: (16) 3306-6789
<http://www.ceda.ufscar.br>

CICLO BIOGEOQUÍMICO DO MERCÚRIO

Tassiane Garcia Peinado & Ozelito Possidonio de Amarante Junior

Diversos estudos ambientais indicam que o homem se tornou o mais importante agente de interação no ciclo biogeoquímico dos metais tóxicos, entre eles estão os chamados “metais pesados”. O conceito de metal pesado, atualmente, distancia-se da propriedade que lhes concedem essa denominação, que é sua elevada densidade, ou peso específico, envolvendo agora aspectos ambientais e toxicológicos, que correlacionam o conhecimento científico e suas interfaces sociais, ambientais e tecnológicas.

O mercúrio, além de ser classificado como um metal pesado (densidade de $13,55 \text{ g cm}^{-3}$ a 20 °C), é um elemento químico natural que, por isso, não pode ser criado ou destruído. É o único metal líquido nas CNTP (condições normais de temperatura e pressão, que são 1 atm de pressão e 0 °C). Ponto de fusão do mercúrio é de $-38,87 \text{ °C}$ (para comparação, o Gálio tem ponto de fusão de $29,76 \text{ °C}$, mantendo-se líquido o ano todo em alguns Estados Brasileiros). O símbolo do mercúrio é Hg e raramente ocorre livre, ou seja, no estado de oxidação 0, na natureza (ALMEIDA, 2005).

Pesquisas apontam que eventos naturais e atividades humanas podem redistribuir este elemento na atmosfera, bem como nos

ecossistemas terrestres e aquáticos, com uma combinação complexa de transformações e transporte, denominado **ciclo biogeoquímico do mercúrio**.

Desde a Revolução Industrial, o mercúrio foi largamente empregado na indústria devido a suas propriedades físicas e químicas, tendo sido empregado em diferentes produtos e processos, resultando no aumento da liberação de mercúrio para a atmosfera (SANTOS et al., 2001). Os usos do mercúrio iam desde produtos farmacêuticos, amálgamas para emprego odontológico, termômetros e como pigmento em tintas, entre outros.



Imagem 1: Ilustração do mercúrio sendo utilizado para formar amálgama com ouro. Fonte: os autores, 2024.

Para saber mais sobre os níveis de contaminação por mercúrio, clique [aqui](#).

Propriedades físicas e químicas

Átomos de mercúrio ocorrem naturalmente em três estados de oxidação: Hg^0 , que é a substância simples, e duas formas oxidadas, Hg_2^{2+} ($Hg^+ - Hg^+$, mercurioso) e Hg^{2+} (mercúrico). A substância simples é um metal líquido prateado, à temperatura ambiente.

O mercúrio mistura-se facilmente com muitos metais, tais como o ouro, a prata, o estanho, formando ligas chamadas amálgamas. Por esse fato, o mercúrio é utilizado na amálgamação de ouro para a extração do mineral de elevado valor comercial.



Você sabia?

Chamamos de amálgama a uma mistura de coisas que estão em fases (ou estados) diferentes, mas juntas formam um material homogêneo. Esse termo é geralmente empregado para as ligas metálicas contendo mercúrio.

Os mais importantes sais formados pelo mercúrio são: $HgCl_2$ - cloreto mercúrico, de elevada solubilidade em água, que já foi empregado como veneno muito intenso; Hg_2Cl_2 - cloreto mercurioso, de baixíssima solubilidade em água, usado ocasionalmente na medicina; $Hg(ONC)_2$ - fulminato de mercúrio, um detonador usado em explosivos; e HgS - sulfeto mercúrico, um pigmento avermelhado usado em pinturas.

Tabela 1: Propriedades do mercúrio extraídas da Ficha de Informação de Produto Químico Fonte: CETESB, *on line*, acesso em 2024.

| IDENTIFICAÇÃO | |
|-----------------|---|
| Número ONU | 2809 |
| Nome do produto | MERCÚRIO |
| Símbolo | Hg |
| Rótulo de risco |  |
| Aparência | Líquido; prateado; sem odor; afunda na água |

| PROPRIEDADES FÍSICAS, QUÍMICAS E AMBIENTAIS | |
|---|--|
| Ponto de ebulição | 357 °C |
| Ponto de fusão (°C) | -38,87 °C |
| Densidade relativa do líquido | 13,55 g cm ⁻³ a 20 °C |
| Degradabilidade | Produto inorgânico |
| Solubilidade | Insolúvel |
| Grau de pureza | 100% |
| Risco ao fogo | Não é inflamável |
| Radioatividade | Não tem |
| Reatividade química com água | Não reage |
| Reatividade química com materiais comuns | Não reage |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | Nenhuma |
| Potencial de concentração na cadeia alimentar | Concentrado por animais, plantas e peixes. |

| TOXICIDADE | |
|--------------------------------|---|
| Espécies | Bactérias; algas; crustáceos; peixes; camundongos; ratos; coelhos; humanos. |
| Toxicidade a outros organismos | Mutagenicidade |

| Intoxicação humana | |
|--------------------|---|
| Tipo de contato | Síndrome tóxica |
| Vapor | Exposições a altas concentrações de vapores, podem produzir irritação pulmonar e edema agudo do pulmão. |
| Líquido | Os efeitos à exposição na pele podem não ser imediatos. |

Os compostos orgânicos de mercúrio são especialmente perigosos, uma vez que a forma metálica não é absorvida prontamente pela pele nem acumulada, porém os compostos organometálicos sim.

Dentre eles, o metil-mercúrio, o mais tóxico dos alquilmercuriais, constitui o mais relevante composto a base de mercúrio em termos de preocupação ambiental, dada a sua capacidade de bioacumulação e toxicidade mutagênica em organismos vivos.

Ciclo Biogeoquímico

Os ciclos biogeoquímicos representam um dos mais importantes processos para a compreensão de sistemas químicos, físicos e biológicos, responsáveis pela manutenção da vida de todos os organismos em existência na Terra. As alterações nos ciclos biogeoquímicos apresentam intrínseca relação com a degradação ambiental. Os aspectos que envolvem estes ciclos precisam ser compreendidos nos campos políticos, ambientais, sociais e éticos (SILVA e SILVA, 2017).



Imagem 2: Ilustração das relações ecológicas que garantem a ciclagem dos compostos essenciais à vida. Fonte: os autores, 2024.

O mercúrio pode ser liberado da crosta terrestre para a atmosfera de diversas maneiras. Ao se dispersar, é transportado e transformado na atmosfera, depositando-se no solo e na água, onde permanece armazenado ou é redistribuído para os

diferentes compartimentos (ALMEIDA, 2005).

A liberação do metal de suas jazidas naturais para a atmosfera ocorre por:

Emissão natural: refere-se ao processo natural biótico e abiótico que mobiliza e libera o mercúrio geologicamente ligado com transferência à atmosfera;

Emissão antrópica: refere-se à atividade humana que mobiliza e libera o mercúrio geologicamente ligado com transferência à atmosfera; e

Re-emissão: refere-se à transferência de massa de mercúrio para a atmosfera por processos bióticos e abióticos, a partir de um determinado reservatório de mercúrio depositado por emissões antrópicas.

As principais formas de emissão natural de mercúrio para a atmosfera ocorrem da erosão do solo e da evaporação a partir de solos e corpos d'água; e de erupções vulcânicas e atividades geotérmicas.

A re-emissão é considerada uma emissão natural e representa grande parte da emissão total de mercúrio para a atmosfera (ALMEIDA, 2005).

A forma de emissão antrópica de mercúrio para a atmosfera será detalhada adiante, em *os usos do mercúrio e a poluição*.

A interação entre o homem e a natureza, também conhecida como atividade antrópica ou antropogênica, pode gerar impactos negativos e produzir efeitos catastróficos sobre a organização social, política e econômica em uma determinada região, além do potencial de causar efeitos nocivos à saúde humana e trazer prejuízos vultosos à vida dos cidadãos (FIOCRUZ, 2016).

Alguns modelos recentes de fluxo de mercúrio sugerem que, das 5 a 9 mil toneladas de mercúrio liberados para a

atmosfera na atualidade, cerca de 10% ocorreram de forma natural (UNEP, 2013).

Ebinghaus (1999) estima que 30% do volume de mercúrio liberado para a atmosfera é rapidamente depositado em escala regional, enquanto os 70% restante é distribuído globalmente pela atmosfera.

Os usos do mercúrio e a poluição

As características físicas e químicas conferem ao mercúrio uma aplicabilidade variada em diversos ramos da indústria. A produção mundial de mercúrio é estimada em 10 mil toneladas por ano para uso nas mais diversas áreas, sendo os principais produtores o Canadá, a Rússia e a Espanha (SOUZA; BARBOSA, 2000).

Como exemplo de utilização industrial do mercúrio, desatacam-se a produção de cloro e soda cáustica; a fabricação de baterias alcalinas; a composição de lâmpadas incandescentes e fluorescentes (essas em atual substituição e até proibição em alguns países); e na produção de compostos organometálicos, amplamente

utilizados como fungicidas na agricultura e na fabricação de tintas (NRIAGU, 1979).

Um estudo desenvolvido pela Fiocruz (2016) reconhece que um dos principais usos do mercúrio ainda hoje é a aplicação nos garimpos de ouro. O processo de extração de ouro utilizando o mercúrio é usado em países como o Brasil, Venezuela, Colômbia, Bolívia, Guiana Francesa, Guiana, Equador e Peru.

Para melhor entendimento e diferenciação entre **mineração industrial** e **garimpo**, toma-se por base as definições representadas pelo MapBiomas (2021):

Mineração industrial faz a extração, transporte e o processamento do material, empregando alto nível de mecanização, operações de longo prazo e mão de obra especializada.

Garimpo é a mineração caracterizada pelo baixo nível de mecanização, quase sempre associado a mão de obra não especializada e pouca ou nenhuma infraestrutura permanente.

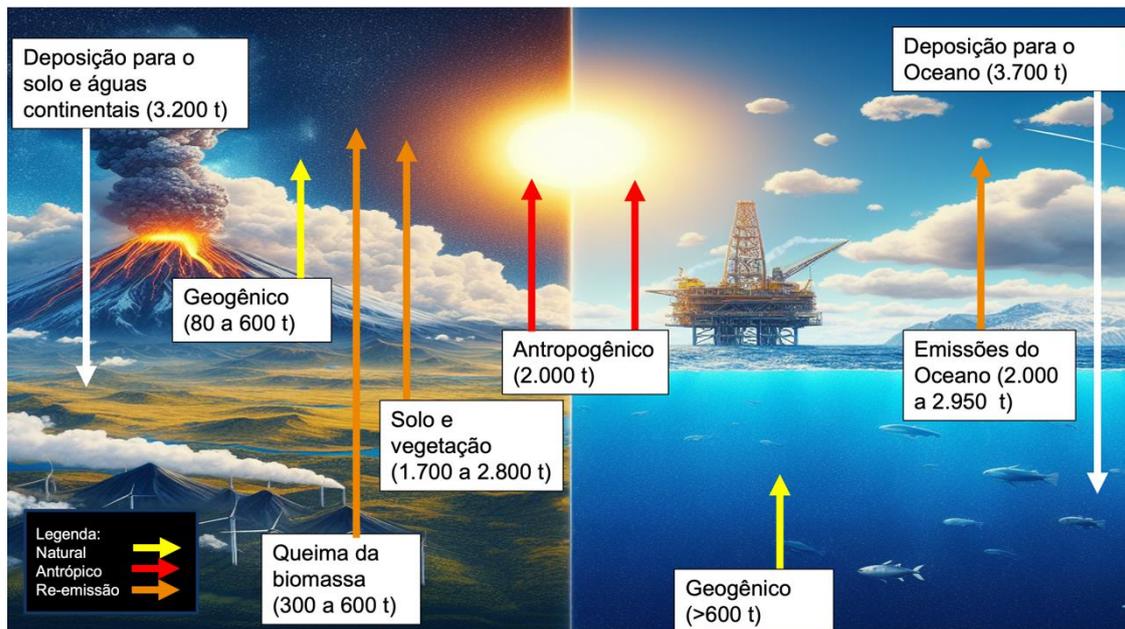


Imagem 3: Emissões globais de mercúrio. Fonte: adaptado de UNEP, 2013.

O mercúrio inorgânico utilizado na amalgamação do ouro é, na grande maioria das vezes, descartado nos corpos d'água sem nenhum controle ou tratamento prévio.

No leito dos rios, em contato com microrganismos, o mercúrio inorgânico passa por um processo biológico (metilação), originando o metil-mercúrio, uma das formas mais tóxicas do metal.

O metil-mercúrio, por sua vez, pode se acumular em microrganismos aquáticos, se concentrar em seres vivos situados nos níveis tróficos superiores da cadeia alimentar e ampliar o espectro calamitoso da contaminação.

As concentrações mais altas de metil-mercúrio geralmente são encontradas em peixes carnívoros e em outros predadores aquáticos, uma vez que o metal sofre bioacumulação e biomagnificação (aumento de concentração em função do aumento do nível trófico).

As emissões de mercúrio associadas à queima de combustíveis fósseis, especialmente a queima de carvão mineral, e processos de combustões a altas temperaturas (ex. incineradores de lixo) representam fontes primárias de poluição por mercúrio em escala global.

Em consequência, as emissões de mercúrio desde meados do século dezanove parecem estar relacionados com aumentos nas emissões de CO₂ (LAMBORG et al., 2000).

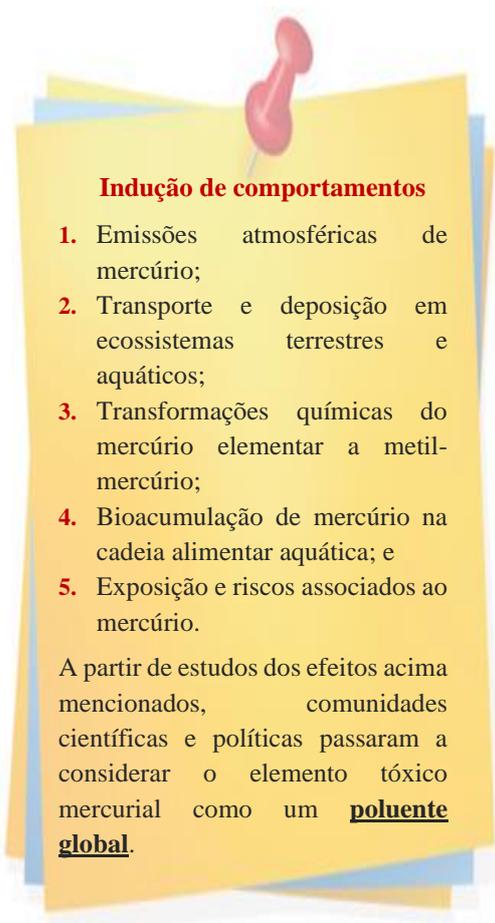
Emissões de mercúrio no Brasil

As principais fontes de mercúrio estão em locais de atividade tectônica. O Brasil não apresenta litologias com concentrações significativas de mercúrio, não havendo extração primária de mercúrio no Brasil.

Logo, todo o mercúrio utilizado no país é importado na forma metálica ou na forma de compostos mercuriais (VASCONCELLOS, 2017).



Imagem 4: Garimpo de ouro na Amazônia brasileira. Fonte IBAMA.



Lacerda (1997) sustenta que as fontes industriais eram responsáveis pela totalidade das emissões antropogênicas de mercúrio no Brasil até 1970. A partir desta data, três aspectos principais modificaram radicalmente esta situação:

- i. O controle eficiente das emissões industriais conhecidas e a substituição de tecnologias "sujas";
- ii. O crescimento acelerado dos grandes centros urbanos; e
- iii. A explosão do garimpo de ouro na Amazônia.

Em 2005, Almeida elencou os setores com maior contribuição para emissões de mercúrio para a atmosfera. Em escala crescente de emissões, são eles:

- ✓ 3º lugar - queimadas: representam 7,5% das emissões nacionais. Apesar da quantidade de mercúrio na vegetação natural ser muito pequena, a grande

área queimada atualmente no Brasil, principalmente na Amazônia, faz com que se tenha uma contribuição significativa a nível regional.

- ✓ 2º lugar - produção de cloro, aço e ferro: representam 20,5% das emissões nacionais. Contudo, a partir da década de 80 as emissões mercuriais do segmento industrial vêm apresentando queda devido à substituição por tecnologias alternativas.
- ✓ 1º lugar - mineração de ouro: representam 67,3% das emissões nacionais. Desde a década de 70, a utilização do mercúrio está presente no processo na amalgamação do ouro.



Imagem 5: Mineradores usam mercúrio no garimpo para identificar o ouro. Fonte Thinkstock/Getty Images.

Mercurio na Amazônia

Segundo Souza e Barbosa, até o ano de 2000 cerca de 3 mil toneladas de mercúrio utilizadas nos garimpos de ouro da Amazônia vem sofrendo oxidação e metilação nas condições propícias das águas e sedimentos dos rios, contaminando as populações ribeirinhas.

Existem diversas pesquisas realizadas na Amazônia abordando a contaminação da população ribeirinha por mercúrio. Hacon et al (2008) em seus estudos identificaram, dentre o período de 1990-2005, 455 publicações de estudos desenvolvidos

sobre a contaminação por mercúrio na bacia Amazônica.

Em um período compreendido entre 1991 e 1993 foram analisadas amostras de cabelo de 270 ribeirinhos do rio Madeira, um rio da bacia do rio Amazonas que banha os estados de Rondônia e do Amazonas.

Utilizando a espectrometria de absorção atômica com vapor frio, foi possível medir o teor médio de mercúrio em cabelo obtido em vários projetos para populações da Amazônia.

O resultado das pesquisas apontaram 19,1 mg/g, valor considerado elevado, o que requer especial atenção dos órgãos do governo responsáveis pelo meio ambiente e saúde da população brasileira (SOUZA; BARBOSA, 2000).

Exposição humana

Os efeitos deletérios do mercúrio na saúde são conhecidos desde a antiguidade. Embora o mercúrio já tenha sido usado na cura de doenças como sífilis, atualmente é reconhecido como um elemento traço altamente tóxico que se concentra na cadeia alimentar em ambiente aquático.

Para Clarkson (1997), um dos problemas da exposição humana ao mercúrio inorgânico é a contaminação por mercúrio gasoso, derivado principalmente das indústrias de prospecção de ouro e prata, plantas de produção de cloro-soda e amálgamas dentárias.

Dados da Fiocruz (2016) apontam que, atualmente, o consumo de peixes constitui uma das principais fontes de exposição humana ao metil-mercúrio, sobretudo em populações ribeirinhas e em grupos que tem como base da alimentação o pescado.

Souza e Barbosa (2000) explicam que o mercúrio penetra no organismo humano e

se deposita nos tecidos, causando lesões graves, principalmente nos rins, fígado, aparelho digestivo e sistema nervoso central.

A exposição aguda, por inalação de vapores de mercúrio, pode acarretar: fraqueza, fadiga, anorexia, perda de peso e perturbações gastrointestinais.

A ingestão de compostos mercuriais, em particular cloreto mercúrico, provoca úlcera gastrointestinal e necrose tubular aguda. A exposição excessiva ao elemento dá origem a reações psicóticas, como por exemplo delírio, alucinação e tendência suicida.

Os efeitos sobre a saúde humana, relacionados com a bioacumulação, a transformação e o transporte mundial do mercúrio inorgânico, se devem quase exclusivamente à conversão dos compostos de mercúrio em metilmercúrio (CH_3Hg).

O mercúrio inorgânico ao ser metilado no ambiente aquático possibilita a disseminação do metil-mercúrio. A contaminação humana por este composto altamente neurotóxico acontece principalmente através do consumo de peixes e derivados (FITZGERALD; CLARKSON, 1991).

Responsabilidade intra e internacional

No Brasil, os marcos regulatórios que tratam do controle do mercúrio em território nacional datam do final da década de 80 e estão em vigor até os dias atuais, tais como:

- Decreto nº 97.634, de 10/04/89, que dispõe sobre o controle da produção e da comercialização de mercúrio;
- Portaria Ibama nº 32, de 12/05/95, que torna obrigatório o cadastro no IBAMA de pessoas físicas e jurídicas que

importem, produzam ou comercializem a substância mercúrio metálico;

- Decreto nº 97.507, de 13/02/89, que proíbe o uso de mercúrio na atividade de extração de ouro, exceto em atividades licenciadas pelo órgão ambiental competente; e
- Decreto nº 97.632, de 10/04/89, que torna obrigatório a recuperação da área degradada quando da apresentação do Estudo de Impacto Ambiental - EIA e do Relatório do Impacto Ambiental - RIMA.

DOENÇA DE MINAMATA

A liberação de grande quantidade de metilmercúrio por indústrias, entre os anos de 1950 e 1975, provocou severos efeitos e muitas mortes em Minamata (Japão) e Niigata (Irão). Enquanto que a tragédia japonesa resultou do consumo de peixes contaminados por metilmercúrio liberados por uma fábrica de acetaldeído, no caso iraquiano, a fonte de contaminação ocorreu pelo consumo de pães produzidos com trigo tratado com fungicida a base de metilmercúrio (BAKIR et al., 1973).



Imagem 7: Em memória de Minamata. Fonte Pincelli.

Contudo, em 2013, por ocasião de um encontro organizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - PNUMA, 140 países (incluindo o Brasil)

acordaram responsabilidades entre as partes nos termos postos pela Convenção de Minamata sobre o mercúrio.

Nesta Convenção, o mercúrio é reconhecido como uma substância química que causa preocupação global devido à sua propagação atmosférica de longa distância, sua persistência no meio ambiente depois de introduzido antropogenicamente, sua habilidade de se bioacumular nos ecossistemas e seus efeitos significativamente negativos na saúde humana e no meio ambiente.

Cinco anos depois do encontro no Japão, o instrumento de ratificação brasileiro, Decreto nº 9.074 oficializa a entrada em vigor da Convenção no território brasileiro. Com isso, os esforços direcionados para atender as obrigações previstas na Convenção, bem como seus desdobramentos, foram intensificados.

Ainda em 2017, um estudo desenvolvido para o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento - PNUD realizou um levantamento inicial para elaboração do Inventário Nacional de Emissões de mercúrio.

O documento visou atender às diretrizes dispostas nos artigos 3, 4, 5, 8, 10, 11 e 12 da Convenção de Minamata. Dentre esses, destaca-se o artigo 12, que traz à luz o compromisso de que “cada parte deverá engajar-se no desenvolvimento de estratégias apropriadas para identificar e avaliar as **áreas contaminadas** com mercúrio ou compostos de mercúrio”.

Nesse sentido, o levantamento prévio analisado por Vasconcellos (2017) identificou que até o ano de 2013, haviam 106 áreas com populações expostas ou potencialmente expostas ao mercúrio no Brasil, cadastradas na base de dados do Ministério da Saúde.

O Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA define valores orientadores quanto ao limite aceitável de presença de mercúrio no ambiente. De igual modo, estão definidos limites máximos de mercúrio na água de consumo humano, conforme detalhada a tabela 2.

Solo

Resolução CONAMA nº 420/2009

| | |
|---------------------|-------------------------|
| Valor de Prevenção | 0,5 mg kg ⁻¹ |
| Cenário agrícola | 12 mg kg ⁻¹ |
| Cenário residencial | 36 mg kg ⁻¹ |
| Cenário industrial | 70 mg kg ⁻¹ |

Água subterrânea

Resolução CONAMA nº 396/2008

| | |
|----------------|-----------------------|
| Consumo humano | 1 µg L ⁻¹ |
| Dessedentação | 10 µg L ⁻¹ |
| Irrigação | 2 µg L ⁻¹ |
| Recreação | 1 µg L ⁻¹ |

Água doce

Resolução CONAMA nº 357/2005

| | |
|---------------|------------------------|
| Classes 1 e 2 | 0,2 µg L ⁻¹ |
| Classe 3 | 2 µg L ⁻¹ |

Água salina

Resolução CONAMA nº 357/2005

| | |
|----------|-------------------------|
| Classe 1 | 0, 2 µg L ⁻¹ |
| Classe 2 | 1,8 µg L ⁻¹ |

Água salobra

Resolução CONAMA nº 357/2005

| | |
|----------|------------------------|
| Classe 1 | 0,2 µg L ⁻¹ |
| Classe 2 | 1,8 µg L ⁻¹ |

Água potável

Portaria MS nº 2914/2011

| | |
|------------------------|----------------------|
| Padrão de potabilidade | 1 µg L ⁻¹ |
|------------------------|----------------------|

Efluentes

Resolução CONAMA nº 430/2011

| | |
|----------------------|-----------------------|
| Padrão de lançamento | 10 µg L ⁻¹ |
|----------------------|-----------------------|

O governo federal, por meio da lei nº 9.605, de 12/02/1988, e do seu decreto regulamentador, nº 6.514, de 22/07/2008, define as sanções penais e administrativas

àqueles que cometem condutas lesivas ao meio ambientes, tais como:

- i. Causar poluição decorrente do uso inadequado do mercúrio - sujeita as pessoas físicas e jurídicas a multa que pode variar de R\$ 5.000,00 (cinco mil reais) a R\$ 50.000.000,00 (cinquenta milhões de reais), além de pena de prisão que varia de seis meses a cinco anos; e
- ii. Descumprir as exigências legais relacionadas à importação, comércio, armazenamento, uso e destinação do mercúrio - sujeita o infrator a multa que varia de R\$ 500,00 (quinhentos reais) a R\$ 2.000.000,00 (dois milhões de reais), além de pena de prisão que varia de seis meses a quatro anos.

Tendências observadas

Em 2021, o projeto MapBiomass, de iniciativa da rede multistitucional Observatório do Clima, desenvolveu um estudo de Mapeamento Anual de Mineração e Garimpo no Brasil entre ao longo do período de 35 anos (1985 a 2020).

O levantamento aponta que em 2020, 72,5% da área de mineração industrial no Brasil estava na Amazônia, 14,7% na Mata Atlântica, 9,9% no Cerrado, e as demais áreas distribuídas entre Caatinga, Pantanal e Pampa. Tratando-se de área de garimpo, a distribuição da atividade por biomas se modifica, concentrando 93,7% na Amazônia.

Dos resultados do estudo é possível inferir que, ao longo do período dos 35 anos, a área minerada no Brasil cresceu na ordem de 6x, saltando de 32 mil para 206 mil hectares (gráfico 1).

O estudo do projeto MapBiomass identifica ainda que a área utilizada para o garimpo acompanha a curva de crescimento da área

total de mineração no Brasil, sobressaindo atualmente a área destinada à mineração industrial.

A larga utilização do mercúrio na atividade de amalgamação do ouro e o aumento significativo da área de mineração no país, aliado ao fato de que no Brasil não ocorre a extração primária de mercúrio, leva por lógica o raciocínio de que nos últimos anos houve um aumento na importação de mercúrio.

Entretanto, esse dado não é confirmado pelo estudo desenvolvido para o PNUD, que revela uma severa diminuição dos volumes de importação de mercúrio no período entre 2001 a 2016. Enquanto no primeiro ano houve a importação declarada de 62.545 kg, no último ano do estudo o volume foi de 18.118 kg, uma diminuição de aproximadamente 70% na importação legal de mercúrio (VASCONCELLOS, 2017).

O crescimento acelerado da área de mineração no Brasil, que utiliza o mercúrio na amalgamação do ouro, associado à diminuição drástica da importação legal de

mercúrio no país, instila que a entrada da substância química no território brasileiro ocorra por contrabando.

O controle do mercúrio exercido pelo poder público através dos regulamentos legais vigentes mostra-se precário e obsoleto. Vasconcellos (2017) defende que a dificuldade de obter informações sobre a importação de mercúrio e os volumes utilizados pelos diferentes setores ou atividades pode representar um obstáculo importante para a elaboração de um inventário nacional de emissões mercuriais.

A imprecisão acerca das emissões nacionais de mercúrio para atmosfera impacta negativamente a adequada identificação e avaliação de áreas contaminadas e suas recuperações, assim como ao que se refere à exposição de populações ao mercúrio.

Soluções propostas

Além da substituição do elemento, utilizado no setor produtivo, por substâncias e tecnologias mais sustentáveis, diversas outras propostas surgem para o controle e

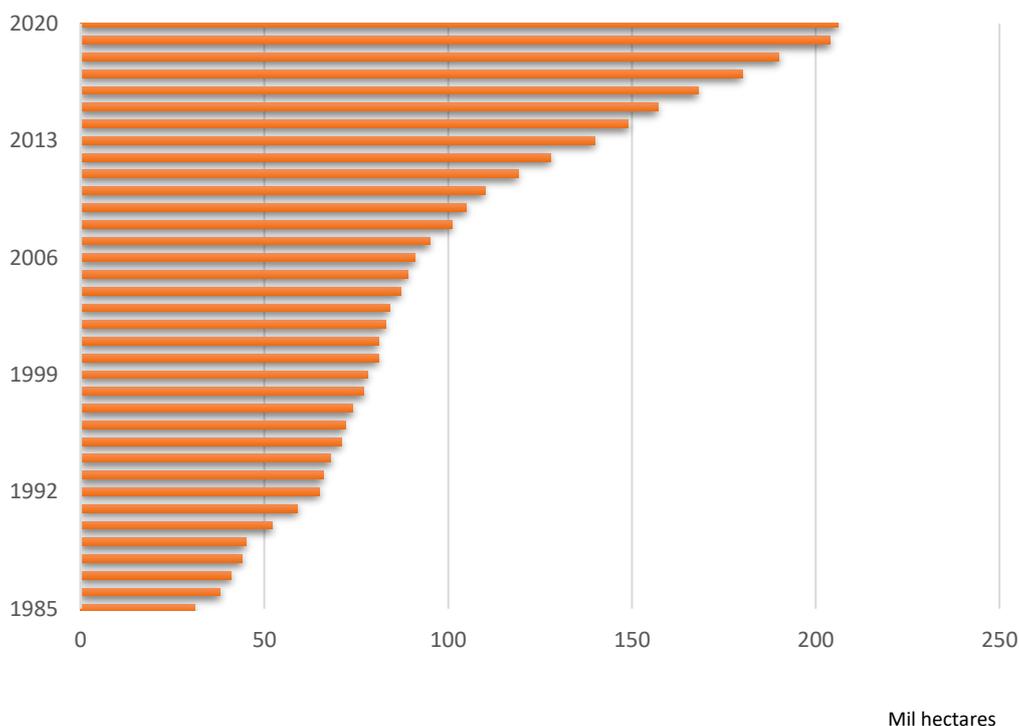


Gráfico 1: Área de produção mineral no Brasil, entre 1985 e 2020. Fonte: adaptado do relatório MapBiomass.

remediação da poluição por mercúrio no Brasil. Souza e Barbosa (2000) apresentam algumas delas:

- Uso de retorta e capelas nas casas de queima do amálgama;
- Maior eficiência no processo de garimpagem: calha mais adequada;
- Criação de centrais de bateamento;
- Reprocessamento dos rejeitos com altas concentrações de mercúrio;
- Recuperação das áreas degradadas;
- Educação ambiental e recomendação para ingestão de peixes de baixo nível trófico; e
- Monitoramento da contaminação nos diversos compartimentos ambientais.

Contudo, os autores salientam que a questão da poluição por mercúrio passa antes por um processo de educação ambiental a todos os agentes envolvidos direta ou indiretamente com o metal. Não somente pelos garimpeiros, pescadores, índios e ribeirinhos, mas também e principalmente pela ação fiscalizadora da sociedade.

É preciso reavaliar, rediscutir e redisciplinar as políticas públicas ambientais, de modo que possam proporcionar uma melhor governabilidade sobre o mercúrio e a proteção ambiental.

Para tanto, o avanço necessário à garantia do direito à vida saudável de todos, indistintamente, reveste-se da necessidade do exercício da democracia ambiental.

Silva *et al* (2021), ressaltam que a participação popular na tomada de decisões ambientais integra um dos três pilares do Princípio 10 da Declaração do Rio de Janeiro, elaborada durante a Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente (Rio-92).

Declaração do Rio de Janeiro, 1992.

“A melhor maneira de tratar as questões ambientais é assegurar a participação, no nível apropriado, de todos os cidadãos interessados. No nível nacional, cada indivíduo terá acesso adequado às informações relativas ao meio ambiente de que disponham as autoridades públicas, inclusive informações acerca de materiais e atividades perigosas em suas comunidades, bem como a oportunidade de participar dos processos decisórios. Os Estados irão facilitar e estimular a conscientização e a participação popular, colocando as informações à disposição de todos. Será proporcionado o acesso efetivo a mecanismos judiciais e administrativos, inclusive no que se refere à compensação e reparação de danos”.

Referências Bibliográficas

ALMEIDA, M. D. Biogeoquímica do mercúrio na interface solo - atmosfera na Amazônia. Tese de Doutorado em Geociências da Universidade Federal Fluminense. Niterói, 2005.

BAKIR, F., et al. Methylmercury poisoning in Iraq. *Science*, v.181, n.96, p.230-241, 1973.

CETESB. Licenciamento. Ficha de Informação de Produto Químico. *Merúrio*. On line. Disponível em: <https://licenciamento.cetesb.sp.gov.br/produtos/ficha_completa1.asp?consulta=MERC%DARIO>. Acesso em 26 jan 2024.

CLARKSON, T. W. The toxicology of mercury. *Crit. Rev. Clin. Lab. Sci.*, v.34, n.4, p.369-403, 1997.

DECLARAÇÃO DO RIO DE JANEIRO. *Estud. Av.*, São Paulo, v. 6, n. 15, p. 153-159, 1992.

EBINGHAUS, R., et al. International field intercomparison measurements of atmospheric mercury species at Mace Head, Ireland. *Atmospheric Environment*, v.33, n.18, p.3063-3073, 1999.

FIOCRUZ, et al. Avaliação da exposição ambiental ao mercúrio proveniente da atividade garimpeira de ouro na Terra Indígena Yanomami, Roraima, Amazônia, Brasil. *Escola Nacional de Saúde Pública*, Fundação Oswaldo Cruz, 2016.

FITZGERALD, W. F.; CLARKSON, T. W. Mercury and Monomethylmercury - Present and Future Concerns. *Environmental Health Perspectives*, v.96, p.159-166, 1991.

HACON, S., et al. An overview of mercury contamination research in the Amazon basin with an emphasis on Brazil. *Caderno de Saúde Pública*, v.24 (7), 2008.

LACERDA, L. D., Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais e garimpo de ouro. *Química Nova*. Universidade Federal Fluminense, 1997.

LAMBORG, C. H., et al. An examination of the atmospheric chemistry of mercury using Pb-210 and Be-7. *Journal of Atmospheric Chemistry*, v.36, n.3, p.325-338, 2000.

MAPBIOMAS. Mapeamento da superfície de mineração industrial e garimpo no Brasil. Coleção 6, 2021. Acessado em set.2022, através do link: [mapbiomas-br-site.s3.amazonaws.com/Fact_Sheet_1.pdf]

MASON, R. P.; FITZGERALD, W. F.; MOREL, F. M. M. The Biogeochemical Cycling of Elemental Mercury - Anthropogenic Influences. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, v.58, n.15, p.3191-3198, 1994.

NRIAGU, J. O. Production and uses of mercury. In: NRIAGU, J. O. (Ed.). *The Biogeochemistry of mercury in the environmental*. Amsterdam: Elsevier, p.23-40, 1979.

PACYNA, J. M.; KEELER, G. J. Sources of Mercury in the Arctic. *Water Air and Soil Pollution*, v.80, n.1-4, p.621-632, 1995.

PLEIJEL, K.; MUNTHE, J. Modeling the Atmospheric Chemistry of Mercury - the Importance of a Detailed Description of the Chemistry of Cloud-Water. *Water Air and Soil Pollution*, v.80, n.1-4, p.317-324, 1995.

SANTOS, G. M., et al. Chronology of the atmospheric mercury in Lagoa da Pata Basin, Upper Rio Negro region of Brazilian Amazon. *Radiocarbon*, v.43, n.2B, p.801-808, 2001.

SILVA, S. P.; BARBOSA, F. D.; HANAI, F. Y. Participação e representatividade no âmbito das legislações ambientais no Brasil. *Democracia Ambiental*, c.2, p.39-63, Tupã, 2021.

SILVA, T. R.; SILVA, B. R. Reflexões sobre a abordagem de ciclos biogeoquímicos no ensino em ciências: considerações para um enfoque em CTS. *Revista do Plano Nacional de Formação de Professores da Educação Básica*. Universidade Federal do Piauí, Teresina, v. 5, n. 2, p.5-18, 2017.

SOUZA, J., R.; BARBOSA, A., C. Contaminação por mercúrio e o caso da Amazônia. *Química e Sociedade*, n.12, 2000.

UNEP. United Nations Environment Programme. Global Mercury Assessment 2013: Sources, Emissions, Releases and Environmental Transport. *UNEP Chemicals Branch*, Geneva, Switzerland, 2013.

VASCONCELLOS, A., C., S. Avaliação inicial das informações disponíveis sobre mercúrio

para auxiliar na elaboração do Inventário Nacional de Emissões. *Projeto MIA Brasil - Desenvolvimento da Avaliação Inicial da*

Convenção de Minamata sobre Mercúrio no Brasil, Diretório de Projetos do Ministério do Meio Ambiente, 2017.