

## EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO E OS IMPACTOS À SAÚDE HUMANA

Moana Ferreira dos Santos<sup>1,2</sup>, Heloísa Pacheco-Ferreira<sup>1,2</sup>, Gustavo Bastos Lyra<sup>2</sup>.

(<sup>1</sup>CIT HUCFF/UFRRJ - Centro de Informação Toxicológica - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rua Rodolpho Paulo Rocco, 255 - sala 03E57, Ilha do Fundão, Rio de Janeiro, CEP 21941-913, <sup>1</sup>moana@hucff.ufrj.br, <sup>2</sup>PPGPDS / UFRRJ - Programa de Pós-Graduação em Práticas em Desenvolvimento Sustentável / Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro, Rua Anfilóbio de Carvalho, 29 - sala 901, Centro do Rio de Janeiro, RJ, CEP - 20030-060)

### RESUMO

O mercúrio (Hg) é um metal que ocorre naturalmente no meio ambiente em diversas formas, e pode ser organizado em três grupos: mercúrio metálico ou mercúrio elementar, mercúrio inorgânico e mercúrio orgânico. O mercúrio metálico é um metal brilhante, branco-prateado, que se apresenta na forma líquida à temperatura ambiente. É obtido quase que exclusivamente do minério cinábrio (HgS), onde se encontram cerca de 86,2% de mercúrio, embora possa ser encontrado em outros minérios na forma de mercúrio elementar. Além de ser encontrado naturalmente em todos os compartimentos ambientais (água, solo e ar), também é emitido de forma antropogênica. É usado na indústria de cloro-álcali, lâmpadas elétricas, incluindo as fluorescentes e as de descarga de alta densidade, laboratórios analíticos (pesquisas químicas, físicas e biológicas), amálgamas dentários, medicamentos, no tratamento de minérios de ouro/prata e para refino de metais, na pintura e na produção de seda artificial, no refino do petróleo, processamento do gás natural e usinas termoelétricas a carvão, pilhas e outros. Para realização deste trabalho utilizou-se referenciais teóricos partindo de bases de dados científicos. Como resultados observou-se que a intoxicação pelo Hg pode ser apresentada nas formas aguda ou crônica, podendo afetar o sistema nervoso central e periférico, sistema digestivo, ocular, renal, causar dermatites, embriotoxicidade, mutagenicidade e carcinogenicidade, dentre outros agravos. Devido ao alto nível de toxicidade do mercúrio, sua circulação no ambiente representa riscos à saúde humana. Partindo disto, este trabalho objetiva sinalizar os agravos à saúde oriundos da exposição humana ao mercúrio.

**Palavras-chave:** origens do Hg; exposição ao mercúrio; mercúrio elementar; mercúrio no ambiente; riscos à saúde humana.

### INTRODUÇÃO

O mercúrio é um metal pesado de aspecto argênteo, inodoro, elemento químico de número atômico 80 cujo símbolo Hg deriva do latim *hydrargyrum* (do grego *hydor*, elemento de composição com o sentido de água, mais *árgyros* = prata; no latim: *argentum* = prata; daí o termo *hydrargirismo* para explicitar sua intoxicação em longo prazo), cuja análise etimológica já revela algumas propriedades do metal, isto é, a de ser um líquido prateado à temperatura ambiente ou nas condições normais de temperatura e pressão (Azevedo 1994; Barbosa *et al.* 2000; HSDB 2000; ONU 2002). Normalmente, é encontrado em dois estados de oxidação. Na sua forma elementar é um líquido denso, prateado, nas condições normais de temperatura e pressão. As formas nas quais pode ser encontrado são: mercúrio metálico ou elementar (Hg<sup>0</sup>), mercúrio (I) e mercúrio (II), nas quais os átomos perdem um ou dois elétrons, respectivamente, formando o mercúrio mercurioso (Hg<sup>2++</sup>) e o mercúrio mercúrico (Hg<sup>++</sup>). Estes dois últimos, mercurioso e mercúrico, formam diversos compostos químicos orgânicos e inorgânicos (HSDB 2000).

Também chamado de prata viva, o mercúrio metálico encontra-se em estado líquido na temperatura ambiente. O vapor de mercúrio (Hg<sup>0</sup>) é muito mais perigoso do que sua forma líquida (Klaassen 2012). O mercúrio elementar é a forma mais volátil dos compostos mercuriais, porém, o dimetilmercúrio também pode volatilizar-se.

O mercúrio é um elemento natural de distribuição ubíqua em todos os compartimentos do planeta (geosfera, hidrosfera e biosfera), ocorrendo em concentrações variadas. A quantidade de mercúrio existente no planeta é a mesma desde sua formação (Pirrone *et al.* 2001) sendo mobilizado por processos tectônicos e vulcânicos. Os seus principais depósitos são encontrados em regiões mineralizadas, geralmente associadas a zonas de atividade tectônica e, devido à sua natureza e associações, é encontrado em maior abundância em rochas magmáticas intrusivas, em locais de vulcanismo (Fitzgerald & Lamborg 2003). As fontes mais importantes são as do minério cinábrio (HgS), encontrado em rochas próximas de atividades vulcânicas recentes, em veios ou fraturas minerais e em áreas próximas de fontes de águas termais (Biester *et al.* 1999). Na forma elementar (Hg<sup>0</sup>) ocupa a 16ª posição em relação à abundância na natureza e suas reservas são avaliadas em cerca de 30 bilhões de toneladas. (Azevedo 1994; Barbosa *et al.* 2003; HSDB 2000). As formas naturais de mercúrio mais comumente encontradas no meio ambiente são o mercúrio metálico, sulfeto de mercúrio, cloreto de mercúrio e metilmercúrio (INS 2011; HSDB 2000; Webelements<sup>TM</sup> 2001; WHO 1978; WHO 1989; WHO 1990; WHO 1991).

As fontes naturais mais significativas de mercúrio são a gaseificação da crosta terrestre, as emissões de vulcões e a evaporação de corpos aquáticos (WHO 1991). O Hg é encontrado em todos os tipos de rochas, sendo mais frequente em calcário, arenito, serpentina, andesita, basalto e riolita (*alkaline feldspar* e quartzo). É obtido quase que exclusivamente do minério cinábrio (HgS), onde se encontram cerca de 86,2% de mercúrio, embora possa ser encontrado em outros minérios na forma de mercúrio elementar (Clayton 1982).

As fontes antropogênicas de mercúrio contribuem significativamente para os níveis no ambiente e incluem as operações de mineração, processos industriais, queima de combustíveis fósseis, produção de cimento, incineração de produtos químicos, de serviços de saúde e resíduos urbanos. Atualmente os níveis de mercúrio na

atmosfera são entre três a seis vezes superiores aos níveis anteriores à industrialização (ONU 2002; Olivero 2002). Os processos naturais junto aos antrópicos podem redistribuir esse elemento no ambiente, e este processo de redistribuição é auxiliado pela elevada pressão de vapor, propriedade que propicia que esse metal possa estar em fase gasosa na atmosfera (ONU 2002). Admite-se que as emissões naturais sejam da ordem de 25.000 a 125.000 toneladas por ano. As indústrias de cloro-álcali, as de equipamentos elétricos e as de pinturas à base de mercuriais são apontadas como contribuintes em cerca de 55% da produção total de Hg (WHO 1989).

Dentre os usos do mercúrio podemos destacar: sua utilização como catalisador na produção eletrolítica do cloro e da soda cáustica na indústria cloro-álcali. É também usado em baterias domésticas, em vários tipos de lâmpadas elétricas, incluindo as fluorescentes e as de descarga de alta densidade, em interruptores, retificadores e termostatos elétricos, em bombas de difusão a vapor de mercúrio, manômetros, barômetros, e outros tipos de instrumentos de pressão, medição e calibração usados em laboratórios analíticos, de pesquisas químicas, físicas e biológicas, em tubos de raio X, válvulas de rádio, dispositivos de navegação, em amálgamas dentários, em pigmentos, como catalisador em reações poliméricas, em explosivos, em medicamentos e aplicações químicas, no tratamento de minérios de ouro e prata, e para refino de metais, na produção de ácido acético e acetaldeído a partir do acetileno, em taxidermia, em fotografia, na pintura e na produção de seda artificial (Hacon 2006). Os combustíveis fósseis, principalmente o petróleo, tendem a ser uma das causas mais significativas da contaminação ambiental, principalmente do ar, que, posteriormente, leva à contaminação de outros compartimentos ambientais como o solo e a água (Queiroz 1995).

O mercúrio está presente como elemento-traço em todos os hidrocarbonetos geológicos (Shafavi *et al.* 1999; Ryshov *et al.* 2003). Os petróleos contêm tanto Hg dissolvido e suspenso, quanto compostos de mercúrio. A concentração desses compostos, entretanto, varia de um campo de exploração para outro, e a concentração dos mesmos é importante para prever seu destino na cadeia produtiva. A concentração de Hg no petróleo é extremamente variável dependendo da origem, arcabouço geológico do depósito, idade do depósito, entre outros fatores. Esta concentração pode variar de 10 a 30.000 ng. g<sup>-1</sup>. Várias espécies de mercúrio já foram identificadas no petróleo (Pirrone *et al.* 2001). A lista inclui mercúrio elementar, como espécie majoritária e dimetilmercúrio, ambos voláteis e reativos.

O Hg também está presente em lâmpadas fluorescentes. É comum o armazenamento inadequado de grande quantidade de lâmpadas fluorescentes em quartos e locais fechados e mal ventilados em áreas comerciais e em prédios residenciais, com muitos casos de quebra de lâmpadas e liberação dos vapores de mercúrio. A ruptura de uma única lâmpada representa um baixo nível de exposição. Já a ruptura e o armazenamento em quartos ou cubículos confinados com baixa ou nenhuma ventilação pode representar um maior risco de exposição para as pessoas que utilizam estes ambientes (Rempe *et al.* 2010).

São vários os mercuriais usados em formulações farmacêuticas (entre eles os sais à base de nitrato, iodeto, cloreto, cianeto, sulfato, tiocianato, brometo, acetato), e perfazem cerca de 200 produtos registrados nos EUA. São usados, principalmente, como conservantes em soluções nasais, oftálmicas, vacinas e produtos injetáveis. As concentrações normalmente encontradas são da ordem de 0,01% como timerosal e 0,002% como acetato de fenilmercúrio. O FDA - *Food and Drug Administration* estima que cerca de 80 kg desses compostos mercuriais sejam usados como princípio ativo em formulações farmacêuticas anualmente. Entretanto, esse uso tende a diminuir com a substituição por outros conservantes (FDA 1997) e com o banimento dos mercuriais em vários países. No início de 2001, vários medicamentos desse tipo foram banidos do mercado brasileiro e substituídos por outros mais eficazes e que não contêm mercuriais.

O mercúrio deixou de ser usado, ou teve seu uso banido, como desinfetante em sementes de alimentos, como biocida, em pinturas como antifolhante, em camada de revestimento em espelhos, na produção de alguns tipos de vidros, no tratamento de feltro e como fungicida em papéis, devido aos seus efeitos nocivos em trabalhadores expostos e à população passível de exposição (Simon *et al.* 1990; Devito 1995; Cheminfo 2000).

Fontes antropogênicas de Hg no ar podem, também, estar relacionadas à produção de cimento e de ligas do metal. As contaminações na água estão associadas a operações de refino de metais, lixo e, principalmente, a indústrias de cloro-álcali. Admite-se que, locais que concentrem dejetos associados à atividade industrial e ao descarte de lixo, apresentem maiores teores de Hg enquanto as descargas difusas geralmente estão associadas com a queima de combustíveis contendo mercúrio como impureza. O descarte inadequado de Hg industrial aumenta os níveis de mercuriais na água e na atmosfera. A maior fonte poluidora de metilmercúrio são os dejetos industriais lançados no sedimento de rios e lagos (Nascimento *et al.* 2001).

O Brasil não possui reservas significativas de minerais de mercúrio, tendo importado 62,5 toneladas de mercúrio em 2001, segundo o relatório nacional da gestão de substância química do Ministério do Meio Ambiente (MMA 2003). O mesmo relatório cita também, que o mercúrio utilizado no País foi importado da Federação Russa (44 %), Espanha (24 %), Argélia (11 %), Rep. Centro Africana (5 %) e Finlândia (4 %).

As minas de Almadén, na Espanha, estão em operação desde 400 d.C. Além destas, existem outras minas de considerável expressão em Monte Amianta na Itália, Ídria na Iugoslávia, várias minas na Rússia, no México, na América do Norte, no Japão, nas Filipinas, no Canadá, na China, na Turquia, na Irlanda, dentre outras (Biester *et al.* 1999; Cano 2001).

Os depósitos de cinábrio em Guizhou, na China, de aproximadamente 80.000 toneladas, vêm produzindo Hg há mais de 600 anos, sendo que o total extraído entre 1949 e 1981 foi de 26.000 toneladas (Tan *et al.* 2000).

As ligas de mercúrio são extraídas por processos de mineração de depósitos subterrâneos de baixa profundidade, normalmente inferiores a 800 metros, a partir de sulfeto de mercúrio, HgS, minério denominado cinábrio. Após a extração, o mercúrio metálico é separado do minério, através do aquecimento em forno rotatório a temperaturas que podem variar entre 500 e 600° C, na presença de ar ou óxido de ferro, onde o enxofre é removido como dióxido de enxofre ou na forma de sulfato ferroso. O Hg metálico é liberado na forma de vapor, o qual é resfriado em condensadores ou pode ser extraído a baixas temperaturas com solução alcalina de sulfito de sódio. Posteriormente, o metal é precipitado adicionando-se alumínio e, através da destilação em sistema fechado, o Hg é finalmente purificado. Este processo diminui bastante as emissões de Hg para o meio ambiente (Berlin 1986; Vieira 1994).

Estima-se que, no Brasil, aproximadamente 180,4 toneladas de mercúrio por ano são lançadas na biosfera, contaminando o solo, as águas e poluindo o ar atmosférico. Dentro desta estimativa, 72% do mercúrio lançado são provenientes do garimpo de ouro, 6,7% da indústria de cloro-álcalis, 6,7% da produção de ferro, 4,8% de queimadas, 2,8% de aterros sanitários e lixões, 2,5% da pirometalurgia, 2,3% da queima de combustíveis fósseis, 1,6% dos serviços de odontologia, 0,6% da fabricação e quebra de lâmpadas fluorescentes (Toxisphera 2013).

No Brasil, durante a “corrida do ouro” nas últimas três décadas do século XX, estima-se que cerca de 4.000 toneladas de Hg foram liberadas para o meio ambiente, sendo cerca de 60% em rejeitos sólidos de mineração (Farias *et al.* 2005; Lacerda 2003).

A principal carga de mercúrio para o meio ambiente é oriunda dos garimpos de ouro. As fontes industriais de mercúrio representam menos que 30% da emissão total, enquanto a emissão de fontes difusas, particularmente disposição de resíduos sólidos, vem crescendo em importância em diversas áreas urbanas, tornando-se a principal fonte de mercúrio nestas regiões. As alterações nas principais fontes de mercúrio para o país criam um problema ambiental de difícil monitoramento e de consequências imprevisíveis, para os quais as agências de controle ambiental brasileiras não se encontram de modo geral, preparadas (Lacerda 1997).

A mineração de ouro usando amalgamação com Hg para separação do metal tem sido a metodologia mais difundida de mineração artesanal nas Américas, desde as primeiras décadas após o descobrimento. Estima-se que, para todo o continente, cerca de 156.000 e 250.000 toneladas de Hg tenham sido liberadas para a atmosfera, solos e ambientes aquáticos nos últimos 430 anos (Nriagu 1994; Strode *et al.* 2009).

A utilização de mercúrio para exploração do ouro é conhecida como processo de páteo, onde as partículas mais pesadas do sedimento (normalmente aluviões de pequenos rios) são separadas com a batéia (espécie de bacia cônica) e é então acrescido o mercúrio inorgânico no estado líquido, que se fixa às partículas de ouro formando um aglomerado (amálgama), o chamado “ouro amalgamado” que é facilmente separado. O amálgama é então queimado a céu aberto utilizando maçaricos em painéis ou frigideiras e o mercúrio volatiliza, ficando apenas as partículas de ouro (Couto *et al.* 1988; Wasserman *et al.* 2001).

A metodologia extremamente simples de amalgamação manual, ou em pequenas unidades misturadoras do concentrado do minério (geralmente obtidos pela concentração gravítica do minério extraído de solos e sedimentos) resulta em emissão significativa de Hg para o meio ambiente. Estima-se que para cada quilograma de Au produzido, 1,32 quilos de Hg podem ser liberados para o meio ambiente (atmosfera, rios e solos). A maior parte, 55% a 65%, é perdida para a atmosfera sendo, eventualmente, depositada em ecossistemas terrestres e aquáticos. Entretanto, aproximadamente 45% do Hg é liberado sob forma de mercúrio metálico durante o processo de amalgamação resultando em grandes depósitos de rejeitos sólidos de mineração (Pfeiffer & Lacerda 1989; Andrade *et al.* 1989; Pfeiffer *et al.* 1990). Esta forma de mercúrio, o metálico, fica nos sedimentos de fundo de cursos d'água. A possibilidade de metilação deste mercúrio metálico retido nos sedimentos depende de fatores que criem condições propícias para a forma oxidada do metal (Hg<sup>2+</sup>) (Andrade *et al.* 1989). Apesar da reatividade baixa do Hg metálico presente nesses rejeitos, seu transporte para ambientes aquáticos adjacentes pode resultar em significativa remobilização e maior biodisponibilidade (Lacerda & Salomons 1998), como tem sido verificado em diferentes regiões do mundo onde ocorre este tipo de rejeito (Wayne *et al.* 1996; Alpers *et al.* 2005).

Rejeitos de mineração de ouro, particularmente da atividade realizada em seco, resultam em acumulação de materiais enriquecidos em Hg. Na maioria dos corpos de rejeitos (*tailings*) o Hg aparece distribuído de forma aleatória no corpo do rejeito. Desta forma, estes rejeitos de garimpo devem ser considerados como um “resíduo sólido contendo Hg”, necessitando gerenciamento adequado. O total de Hg presente nestes rejeitos pode atingir de 2.000 a 3.000 toneladas. Alguns procedimentos de gerenciamento destes rejeitos têm sido propostos e testados com diferentes graus de sucesso (MMA 2013).

O lixo urbano contém Hg proveniente de várias fontes, que contamina o composto orgânico, produto da reciclagem da parte orgânica do lixo, e o chorume, líquido gerado no lixo e que é lançado em corpos receptores (rios) ou penetra no solo alcançando águas subterrâneas (Teves 2001).

Árvores e a vegetação em geral absorvem o mercúrio da atmosfera ao longo do tempo. As queimadas florestais mobilizam o mercúrio presente na biomassa e disponibiliza-o novamente na atmosfera como vapor ou ligado a partículas. Atualmente, com a alta taxa de desmatamento pelo fogo nos países em desenvolvimento, as emissões de mercúrio provenientes da queima de derivados de madeira são significativas (INS 2011). Em ambientes tropicais, a camada orgânica dos solos, naturalmente mantidos por raízes de árvores, pode ser erodido durante o período das chuvas e esse processo erosivo é potencializado pelo desmatamento e retirada da cobertura natural do solo. O mercúrio acumulado nesses solos devido à deposição atmosférica também é liberado para rios e lagos (OPAS 2011).

A maioria dos estudos sobre os impactos ambientais oriundos da inundação em reservatórios mostram o incremento dos níveis de mercúrio em peixes desses reservatórios. Em muitos casos, esses aumentos resultam em níveis de mercúrio no pescado que pode ser perigoso para regular o consumo humano. A criação de reservatórios favorece a reciclagem da carga de mercúrio acumulado por anos no solo antes da inundação, atuando também como eficiente “incubadora” para metilação do mercúrio. Populações que consomem frequentemente pescado de reservatório e represas podem expostas a níveis elevados de mercúrio e, portanto, poderiam ser identificadas como prioritárias para avaliações aprofundadas (WHO & UNEP 2008).

No que diz respeito a exposição humana e os compartimentos ambientais, o Hg atinge os ambientes de superfície principalmente pela deposição atmosférica, pela denudação física e química de componentes geológicos contendo Hg e devido a efluentes de atividades antrópicas. Uma vez que no Brasil não existem litologias com concentrações significativas de Hg, o Hg presente em solos, sedimentos e na biota é, provavelmente, originado na deposição atmosférica e nos efluentes de atividades antrópicas. A variação espacial observada na concentração de Hg em solos é, portanto, devido às diferenças nas taxas de deposição atmosférica, e à presença de efluentes de atividades emissoras. Da mesma forma, os sedimentos de fundo de ambientes aquáticos (lagos, rios, lagoas e estuários) integram, ao longo do tempo, as entradas de Hg, tanto da deposição atmosférica quanto da lixiviação dos solos da bacia de drenagem (MMA 2013).

A deposição de material particulado e a oxidação da forma elementar do Hg resultam em um *pool* de  $Hg^{2+}$ , altamente reativo e que pode ser bioacumulado. Entretanto, o principal mecanismo associado a contaminação ambiental do Hg é a possibilidade de metilação da forma oxidada, resultando em compostos de metil e di-metil Hg, altamente tóxicos e passíveis de sofrerem biomagnificação ao longo da cadeia trófica (MMA 2013).

A exposição humana ao mercúrio pode ocorrer em diversas atividades em que o mercúrio é utilizado. Trabalhadores expostos ao mercúrio são o principal foco de uma avaliação da exposição ocupacional, no entanto, os trabalhadores podem, por vezes, trazer o mercúrio para suas residências através de roupas e calçados contaminados. Mineradores artesanais de ouro são geralmente os mais expostos diretamente, ou através da manipulação direta ou através da inalação dos vapores de mercúrio gerados durante a queima do amálgama ouro-mercúrio. No entanto, em muitos casos, a queima da amálgama é feita nas casas, ou em outros locais próximos aos familiares e outras pessoas, expondo esses grupos a níveis elevados de mercúrio. A inalação de vapores de mercúrio é geralmente a via de exposição mais importante e perigosa de exposição ao mercúrio metálico de garimpeiros e suas famílias. Isso também é válido para os negociantes de ouro e as pessoas que habitam nas proximidades das “lojas de ouro” (WHO & UNEP 2008). Esta exposição também pode ocorrer em populações que residem nas proximidades de locais de lançamento de resíduos industriais em emissões atmosféricas ou na forma de efluentes sólidos e líquidos (OPAS 2011).

A maior parte da exposição humana ao mercúrio é de origem ocupacional. Dentre as categorias profissionais com exposição dos trabalhadores ao mercúrio destaca-se a Odontologia, devido à utilização desse metal na confecção do amálgama de prata, material utilizado em restaurações de dentes posteriores (Anusavice 2005; Craig *et al.* 2006). O amálgama dentário é uma liga composta de prata (Ag), estanho (Sn), mercúrio (Hg) e outros metais na qual a percentagem de mercúrio varia de 43 a 54%. Devido às suas características físicas e mecânicas o amálgama dentário ainda é um dos materiais mais utilizados na Odontologia, apesar da alta toxicidade do mercúrio em sua forma metálica, de seu uso restrito ou proibido em alguns países e da estética desfavorável (Anusavice 2005; Cardoso 2001; Craig *et al.* 2006; OPAS 2011). Estudos toxicológicos demonstram que o armazenamento e o descarte inadequados dos resíduos de amálgama dentário contribuem para a contaminação dos compartimentos ambientais possibilitando tanto uma exposição ocupacional quanto ambiental pelo mercúrio (Fortes *et al.* 2000; Pécora *et al.* 2002).

Diferentemente dos metais essenciais à vida, o mercúrio não faz parte da constituição normal do organismo dos seres vivos e tampouco desempenha funções nutricionais ou bioquímicas. Assim, sob qualquer forma em que se apresente, quando absorvido de forma continuada, mesmo em baixas concentrações, representa um grave risco para o homem e para os seres vivos em geral. O mercúrio possui efeito cumulativo, tornando-se, assim, causa de perturbação crônica e progressiva das funções metabólicas e celulares dos indivíduos que a ele estão expostos (Atsdr 1999; Azevedo *et al.* 2003; Tsalev *et al.* 1983). Seu potencial tóxico, especialmente para os indivíduos ocupacionalmente expostos, fez com que o mercúrio fosse a primeira substância química a ser submetida a uma legislação para controle da exposição em ambiente laboral, estando, também, na lista elaborada

pela U.S. Environmental Protection Agency (EPA) que relaciona os poluentes atmosféricos de maior risco para a saúde humana (Schhute *et al.* 1994).

O vapor de mercúrio oriundo das queimas de amalgama na mineração do ouro pode ser facilmente oxidado pelo oxigênio do ar e tem chances reais de ser levado a participar da cadeia alimentar do homem. O mercúrio metálico, quando inalado apresenta uma elevada capacidade de toxicidade, pois pode ser convertido à forma metilada nos pulmões (Andrade & Bueno 1989; Bisinoti & Jardim 2004). Neste caso as populações mais afetadas seriam os próprios garimpeiros e os trabalhadores em lojas de compra de ouro, que estariam severamente expostos durante o processo de queima do amálgama ouro-mercúrio através da aspiração de vapores de mercúrio (mercurialismo).

Indiretamente, as populações que vivem exclusivamente da pesca estariam sendo afetadas através de sua alimentação, poluída por elevadas doses de metilmercúrio (Hacon 2006).

Para avaliar possíveis riscos devido à exposição de inalação, a EPA dos EUA estabeleceu uma concentração de referência de inalação – RfC para o mercúrio elementar de  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Para o cloreto de mercúrio, o RfD desenvolvido pela EPA é de  $0,3 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$  e para metilmercúrio de  $0,1 \mu\text{g}/\text{kg}/\text{dia}$ , e uma concentração de referência de inalação (RfC) para o mercúrio elementar de  $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de ar (OPAS 2011).

Como indicadores biológicos da exposição humana ambiental são analisados mercúrio no sangue, na urina e o mercúrio no cabelo, os quais permitem uma avaliação do grau de exposição ambiental de populações ao mercúrio. O cabelo é a matriz biológica de escolha quando se pretende avaliar a exposição progressiva ao mercúrio metálico e ao metilmercúrio e, por isso mesmo, particularmente empregado nas pesquisas de avaliação da exposição ambiental da população em geral representada por pessoas sem histórico de contato profissional com o mercúrio. É, também, particularmente útil para o levantamento do grau de exposição ao metilmercúrio veiculado por alimentos por ele contaminados. A concentração de mercúrio no cabelo de  $6 \text{ g/g}$  corresponde à ingestão semanal de metilmercúrio estabelecida provisoriamente como tolerável pela OMS - Organização Mundial da Saúde (Friberg *et al.* 1979; Rahman *et al.* 2000; WHO 1991).

Visando proteger a saúde humana e o ambiente dos efeitos nocivos do mercúrio, em 2009 foi elaborado um instrumento jurídico e global sobre o uso do mercúrio. Foi instituído um Comitê de Negociação Intergovernamental (*Intergovernmental Negotiating Committee - INC*) e a partir deste cinco sessões de negociações foram realizadas entre 2010 e 2013 realizadas nas cidades de Estocolmo, China, Nairóbi, Punta del Este e Genebra, tendo como finalidade, que em 2013 fosse elaborado o texto da Convenção de Minamata sobre o Mercúrio. A Convenção teve sua origem nas discussões que ocorreram no âmbito do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA), sobre os riscos do uso de mercúrio. A partir da Decisão 25/5 UNEP/GC de 2009, que convocou os governos a elaborar um instrumento legalmente vinculante para o controle do uso de mercúrio visando proteger à saúde humana e ao meio ambiente, foi iniciado um processo de negociação global (UNEP, 2013).

Cerca de 140 países envolveram-se e aprovaram o texto final em 19 de janeiro de 2013, em Genebra, na Suíça e em 10 de outubro de 2013 houve a abertura para a assinatura. O Brasil e mais 127 países assinaram a convenção em 2013 que já sofreu 25 ratificações dos países signatários. Os países que aderiram à convenção terão as atividades ligadas ao mercúrio, vinculadas a um pacto global, visando à redução do uso do metal (Haddad, 2015; UNEP, 2015; UNEP, 2013).

O presente resumo tem como finalidade principal sinalizar os agravos à saúde humana oriundos da exposição de origem antropogênica e/ou natural ao mercúrio, mostrando a necessidade da intervenção nos usos do metal de forma ocupacional.

## **METODOLOGIA**

O presente trabalho é parte integrante da dissertação de mestrado da autora, refere-se a um capítulo desta dissertação. O estudo foi realizado a partir da pesquisa “Elaboração de Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas para Vigilância em Saúde de Populações Expostas ao Mercúrio”, sob EDITAL Nº1 DE 2012 – Ministério da Saúde. Pesquisa esta desenvolvida pelo Centro de Ciências da Saúde - CCS, no Centro de Informações Toxicológicas – CIT, Faculdade de Medicina da Universidade Federal do Rio de Janeiro – FM/UFRJ, sob a coordenação da professora Dra. Heloísa Pacheco-Ferreira.

Para realização deste trabalho foram utilizados referenciais teóricos com revisão de bibliografia em bases de dados como Scientific Electronic Library Online (SciELO) utilizando como palavras chave mercúrio, emissões atmosféricas e impactos a saúde humana. E um levantamento de dados secundários utilizando-se fontes do Ministério do Meio Ambiente (MMA), United Nations Environment Programme (UNEP), World Health Organization (WHO), dentre outros.

## **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

A intoxicação pelo Hg pode ser apresentada de forma aguda ou crônica. Para a definição do tipo de intoxicação é necessário avaliar a intensidade e o tempo de exposição do indivíduo intoxicado. Estas variáveis são determinantes para identificar de qual o tipo de intoxicação se trata. Segundo Pacheco-Ferreira (2008), a

forma de intoxicação, aguda ou crônica, depende da intensidade e do tempo de exposição que irão, por sua vez, determinar as alterações no organismo e na forma de apresentação do quadro clínico. Nas agudas, a exposição se dá em um curto período de tempo e em altas concentrações da substância, ocorrendo diminuição imediata e profunda da função neurológica, claramente percebida, podendo levar até a morte. Já nas intoxicações crônicas, as exposições repetem-se durante período prolongado de tempo (meses, anos ou toda a vida) a baixas concentrações, ocorrendo acumulação da substância tóxica no organismo, quando houver desequilíbrio entre absorção e eliminação do agente químico. Os efeitos fisiopatológicos decorrentes da exposição crônica ao mercúrio, principalmente pela ingestão de peixes contendo metilmercúrio, apresentam-se sutis, inespecíficos e com grande período de latência, sendo difíceis de diagnosticar na avaliação clínica habitual, por sua caracterização subclínica.

Os sinais e sintomas da intoxicação em exposição aguda têm um início insidioso, com um período de latência que pode variar de uma até várias semanas, dependendo da dose ou concentração dos compostos mercuriais, sendo que quanto maior for a dose ou concentração, mais rapidamente ocorrerá o aparecimento dos efeitos. Estes efeitos, associados à exposição a curto prazo em altas concentrações, são, atualmente, raramente observados devido aos conhecimentos adquiridos no passado sobre a toxicidade do composto e aos cuidados praticados pelos indivíduos expostos. As intoxicações a curto prazo, descritas na literatura, estavam associadas às altas concentrações dos vapores de Hg formados após aquecimento e que induziam o aparecimento de efeitos nocivos relacionados aos sistemas nervoso, digestivo, respiratório e renal (WHO 1991).

Neste caso, os sintomas são semelhantes aos observados na febre dos “fumos metálicos” e incluem fadiga, febre e tremores, além de, nos casos mais graves, ocorrência de edema pulmonar. Observam-se tosse, escarros sanguinolentos, dispneia (respiração curta), inflamação pulmonar, pneumonia química e dores torácicas. Estes efeitos são observados em exposição ocupacional na faixa de 1,1 a 44  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  de vapores de mercúrio por quatro a oito horas. Todos os acidentes tóxicos, que resultaram em morte após exposição aos vapores de mercúrio, estão relacionados ao processo de aquecimento deste composto. São também evidentes, em exposições a altas concentrações de vapores de mercúrio, os efeitos associados ao sistema nervoso central (SNC), sendo os tremores os mais significativos, afetando inicialmente as mãos do intoxicado, espalhando-se em seguida por outras partes do corpo; a instabilidade emocional, incluindo irritabilidade e nervosismo; sonolência, delírios, alucinações, tendência suicida, perda de memória, fraqueza muscular, cefaleia, reflexos lentos e perda de sensibilidade (WHO 1991; HSDB 2000).

Independentemente do tipo de intoxicação, estas causam danos à saúde humana. Os efeitos associados ao sistema digestivo por exemplo, na intoxicação aguda mais frequentemente resultante da ingestão de sais de mercúrio, acidental ou voluntária, incluem estomatite, dificuldade em ingerir alimentos, salivação excessiva, além de dores abdominais, náusea, vômitos e diarreia. Podem também ser comumente observados danos renais, que incluem desde proteinúria, insuficiência renal por necrose dos túbulos proximais convolutos, à falência total do órgão (WHO 1991). Alterações do sistema nervoso podem ocorrer com ou sem envolvimento do trato gastrointestinal, onde dois quadros clínicos podem ser observados: (a) leves tremores semelhantes aos encontrados em esclerose múltipla; (b) parkinsonismo com tremor em estado de descanso e redução da função motora. Uma das duas condições é dominante e pode ser complicada por irritação mórbida e pronunciada hiperatividade mental (eretismo mercurial). O parkinsonismo mercurial apresenta-se como andar cambaleante, oscilante e irregular, ausência de reflexos de equilíbrio e hipotonia, sintomas vegetativos leves com rigidez facial, sialorréia, dentre outros. Entretanto, esse parkinsonismo é geralmente leve. Os tremores cessam durante o sono, embora cólicas e contrações possam ser observadas e sejam mais evidentes em situação de estresse emocional, uma das características que permitem diagnosticar a intoxicação por mercúrio. Os tremores são mais marcados em situações em que o paciente se sente embaraçado ou envergonhado. Em casos extremos, tais tremores invadem toda a musculatura voluntária de forma continuada, havendo casos em que o paciente necessita ser amarrado para evitar que caia da cama. Um sintoma característico é o reproduzido quando o paciente sente sono e normalmente dorme por longos períodos, embora com sono leve e frequentemente perturbado por cólicas e espasmos. A insônia pode ocorrer em alguns casos, além de perda de memória e demência, como sintomas iniciais e finais, respectivamente. Observam-se também dermatografia e sudorese excessiva (HSDB 2000).

O mercúrio representa uma ameaça particular para o desenvolvimento da criança no útero e no início da vida. Todas as formas têm toxicidades e implicações diferentes para a saúde, bem como existem medidas para evitar a exposição. A exposição humana às altas concentrações de Hg metálico, orgânico e inorgânico podem danificar permanentemente o cérebro, rins, e comprometer o desenvolvimento fetal. A absorção, distribuição, metabolismo, excreção e, conseqüentemente, a toxicidade dependem do seu estado de oxidação e da forma química no organismo. A exposição intrauterina pode resultar em dano cerebral, parcialmente devido à inibição de migração dos neurônios das partes centrais para as áreas corticais periféricas, sendo o metilmercúrio duas a cinco vezes mais tóxico para o feto que para adultos. Nos casos menos graves pode ocorrer retardo no desenvolvimento fetal. Ainda na exposição crônica é possível observar nos olhos dos indivíduos intoxicados uma descoloração parda da cápsula anterior do cristalino, relacionada à deposição de partículas de Hg finamente

divididas. Este quadro denominado *Mercurialentis* é bilateral e simétrico, pode ser detectado através de exame ocular com equipamento adequado e aparece depois de decorrido um tempo considerável após os sinais gerais de intoxicação. A inalação de vapores de mercúrio é muito nociva, por serem estes na sua quase totalidade absorvidos, sendo que 75% do total absorvido são retidos no organismo. Os principais órgãos-alvo são o cérebro, os rins, aqueles do trato gastrointestinal (TGI) e os pulmões. Após algumas horas de exposição os indivíduos tendem a apresentar tosse, dispneia, tremores, constrição torácica, febre, fraqueza e desconforto estomacal. Podem também ser observados neuropatias periféricas e comprometimento renal (Hacon 2006; WHO 2003; Nascimento *et al.* 2001). No trato gastrointestinal (TGI), o mercúrio elementar é pouco absorvido sendo quase inteiramente eliminado pelas fezes. Muito raramente o mercúrio elementar fica retido nos intestinos, devido à baixa mobilidade intestinal ou à presença de fístulas, o que acarreta a presença do mercúrio por longo tempo na mucosa intestinal aumentando sua biotransformação e absorção (Nascimento *et al.* 2001). O mercúrio sob forma líquida é muito pouco absorvido pelo trato gastrointestinal. Portanto, ele não é considerado nocivo se ingerido. Por outro lado, seus vapores, quando inalados, podem facilmente atravessar a membrana alveolar até atingir a circulação sanguínea.

No sangue, fígado e rins o mercúrio é oxidado à forma divalente (mercúrio iônico) pelo complexo chamado hidrogênio peróxido catalase. Este tipo de mercúrio representa a maior fonte de intoxicação verificada em laboratórios industriais e de pesquisa (Cardoso *et al.* 2001). Os compostos orgânicos são os mais tóxicos e mais facilmente absorvidos no trato gastrointestinal. A forma metilada é solúvel em lipídios, difundindo-se facilmente através das interfaces biológicas, como sangue-placenta, e sangue-cérebro. Devido à alta afinidade do metilmercúrio com os grupos sulfidríla, este atinge uma rápida incorporação nos órgãos críticos. O principal órgão crítico para o metilmercúrio é o sistema nervoso central (WHO 1989).

As mais importantes formas de contaminação pelo metal consideradas são o contato dérmico acidental com líquido ou sais empregados na manipulação de componentes eletrônicos; a inalação do vapor, por exemplo, em exposição ocupacional; e pela ingestão alimentar, destacadamente a dieta piscívora. Em alguns ambientes laborais, os riscos são maiores, como é o caso de hospitais, que utilizam mercúrio elementar em vários equipamentos (Vecchio 2005).

No que diz respeito aos sinais e sintomas relacionados à intoxicação por mercuriais no Sistema Nervoso Central (SNC), há irritabilidade, fadiga, insônia, mudanças comportamentais, cefaleia, constrição do campo visual, perda auditiva, diminuição da função cognitiva, letargia, tremores, diminuição do eletroencefalograma (EEG), convulsões, disartria, ataxia, incoordenação motora. Outros sintomas, tais como fala alterada, hipersalivação, aumento do tom de voz, disfagia, neurastenia, perda da libido, depressão, alucinações, cólicas, paralisia, estupor, coma e morte, estão relacionados especificamente à exposição ao metilmercúrio (Graeme *et al.* 1998).

Segundo CCOHS - CHEMINFO (2000), estudos envolvendo exposições ocupacionais indicam que tais tremores estão associados à frequência da exposição e já foram observados em trabalhadores expostos a concentrações tão baixas quanto  $0,026 \mu\text{g}/\text{m}^3$  por mais de 15 anos. Em exposições especificamente relacionadas ao metilmercúrio, o principal órgão alvo é o SNC em todas as espécies estudadas, inclusive no homem, sendo que a ataxia é um dos primeiros sinais clínicos observados. A neurotoxicidade do metilmercúrio é bem evidente no desenvolvimento embrionário e fetal, sendo a exposição intrauterina muito eficaz. No caso de Minamata, onde gestantes se expuseram ao metilmercúrio através da ingestão de peixes contaminados, esses efeitos foram bem evidentes, comprovados por casos de microcefalia e retardo mental (WHO 1990; EPA 1997; Axtell *et al.* 2000).

A diminuição de força e sensações musculares, neuropatia periférica, parestesia e reflexos anormais estão relacionados à intoxicação por mercuriais no sistema nervoso periférico (SNP) (Graeme *et al.* 1998).

O mercúrio atravessa a barreira placentária e pode causar embriofetotoxicidade, onde são constatados graves danos cerebrais, diversos graus de retardo mental, convulsões, ataxia, tremores, cataratas, deficiência auditiva, anemia, disfunção renal, entre outros. Os estudos em que se utilizaram os recursos de tomografia computadorizada em pacientes com intoxicação por metilmercúrio por exposição fetal revelaram aumento leve do ventrículo, e do cerebelo, lóbulos pouco desenvolvidos e lesões corticais e subcorticais. O mercúrio orgânico pode, também, acarretar o aparecimento de teratospermia (Graeme *et al.* 1998).

As primeiras manifestações da intoxicação a longo prazo por mercúrio metálico e por alquilmercuriais podem se confundir com outros quadros "psicológicos", o que dificulta o diagnóstico. Quando houver a suspeita de uma intoxicação mercurial é necessário voltar cuidadosamente a atenção para o sistema nervoso central, o periférico e a função renal, a fim de ultimar seu diagnóstico. As relações dose-efeito e dose-resposta constituem o eixo básico e principal da ciência toxicológica. O seu conhecimento permite prever os tipos de lesões causadas por exposições excessivas, segmentar a exposição segundo zonas de risco de produzir intoxicações, e permite, assim, sugerir e estabelecer limites de segurança para o grau de exposição (Azevedo 1994).

## CONCLUSÃO

O Hg e seus compostos podem causar diversos danos à saúde tanto em situações de exposição aguda quanto crônica, interferindo, por sua afinidade com grupamentos sulfidrilas presentes em sistemas enzimáticos, em diferentes órgãos e tecidos. Assim, os efeitos nocivos associados ao Hg atingem os sistemas nervoso, reprodutivo, digestivo, renal, cardíaco, imunológico, respiratório, entre outros.

Devido ao alto nível de toxicidade do mercúrio, sua disponibilização no ambiente representa riscos de intoxicação. Independente do nível de exposição, os casos de intoxicação apresentam danos à saúde humana, e em alguns casos estes danos são irreversíveis ou letais, como em casos crônicos com metilmercúrio e agudos com vapor de mercúrio.

Nos casos de intoxicação crônica por vapor de mercúrio (Hg<sup>0</sup>), os danos são ao sistema nervoso central, sistema digestivo, ocular, renal, em alguns casos dermatite de contato, efeitos teratogênicos, mutagênicos e cancerígenos. Nos casos de intoxicação crônica por metilmercúrio os efeitos são ao sistema nervoso central, embriotoxicidade e, mutagenicidade e carcinogenicidade.

Tendo em vista que os maiores números de intoxicação são via fonte ocupacional, a diminuição do uso do mercúrio nestas atividades deve ser priorizada utilizando métodos alternativos já existentes onde o Hg não faz parte do processo.

A convenção de Minamata veio como um aporte visando a erradicação do uso do mercúrio. Dentre suas diretrizes e obrigações sinaliza o uso eliminado em baterias, pilhas, lâmpadas, cosméticos, pesticidas e outros materiais até 2020. Estabelece o controle de fontes e comércio, medidas para o controle e a redução de emissões, eliminação ou redução do uso do mercúrio em determinados produtos e processos industriais, o banimento de novas minas de mercúrio e o prazo de 15 anos para fechamento das atuais, e quanto às questões que envolvem a saúde humana estabelece que as Partes, devem promover o desenvolvimento e implementação de estratégias e programas para identificar e proteger populações vulneráveis e em risco, através de programas preventivos e ocupacionais, e promover serviços de saúde adequados para prevenir, diagnosticar, tratar e monitorar exposição ao mercúrio e seus compostos. As diretrizes e obrigações da convenção, da qual o Brasil é signatário, devem ser consolidadas para que as fontes de exposição do mercúrio sejam diminuídas e ou erradicadas. No que diz respeito à saúde humana, o afastamento do indivíduo intoxicado da fonte de exposição é essencial e imprescindível, o que em muitos casos não ocorre devido a exposição ser via fonte ocupacional. Pode-se dizer que qualquer dano causado por compostos mercuriais é suscetível de aumentar dependendo da sua magnitude, frequência e duração da exposição.

A atuação de órgãos fiscalizatórios é crucial e deve atuar não apenas como meio punitivo, mas principalmente com um viés de orientação para o uso racional do mercúrio nos processos onde este é imprescindível e insubstituível. E para a orientação nos casos em que o uso do mercúrio pode ser definitivamente substituído.

#### AGRADECIMENTOS

À equipe executiva da pesquisa “Elaboração de Protocolo Clínico e Diretrizes Terapêuticas para Vigilância em Saúde de Populações Expostas ao Mercúrio”. Ao Ministério da Saúde pela possibilidade de integrar a dissertação a esta grandiosa pesquisa. Aos meus orientadores da dissertação Dra Heloísa Pacheco-Ferreira (*in memoriam*) e Dr. Gustavo Bastos Lyra. A Ana Paula da Conceição Fernandes de Amorim pela parceria nas análises ambientais e demais trabalhos realizados em conjunto.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alpers CN, Hunerlach MP, May JT, Hothem RL; Taylor HE, Antweiler RC, De wild JF & Lawler DA (2005) Geochemical characterization of water, sediment and biota affected by mercury contamination and acidic drainage from historical gold mining, Greehorn Creek, Nevada County, Califórnia, 1999-2001. US Geological Survey, Scientific Investigations Report 2004-5251. Disponível: <http://pubs.usgs.gov/sir/2004/5251>. Acessado em 20 de janeiro de 2017.
- Andrade JC; Bueno MIMS (1989) O mercúrio e o ambiente um ponto de vista. Química Nova, vol.12, n.2, 208-210.
- Anusavice KJP (2005) Materiais dentários. Rio de Janeiro: Campus/Elsevier. Tradução da 11ª edição americana.
- Atsdr (1999) U.S. Department of Health and Human Services. Public Health Service, Agency for Toxic Substances and Disease Registry. Toxicological Profile for Mercury. Disponível: <http://www.atsdr.cdc.gov/toxprofiles/tp46.pdf>. Acessado em 19 de abril de 2017.
- Axtell CD, Cox C, Myers GJ, Davidson PW, Choi AL, Cernichiari E, Sloane-reeves J, Shamlaye CF, Clarkson TW (2000) Association between methylmercury exposure from fish consumption and child development at five and a half years of age in the Seychelles Child Development Study: an evaluation of nonlinear relationships. Environ. Res., v. 84, n. 2, p. 71-80.
- Azevedo FA (1994) Exposição humana ao mercúrio: bases para a vigilância. Tecbahia R. Baiana Tecnol., v. 9, n. 1, p. 87 a 99.
- Barbosa AC, Souza J, Dórea JG, Jardim WF, Fadini PS (2003) Archive of Environmental Contamination Toxicology, 45, 235.
- Berlin M (1986). Mercury. In: Friebel L, Nordberg GF, Vouk V (Eds.). Handbook on the toxicology of metals. 2. ed. New York: Elsevier. p. 387-440.
- Biester H, Gosar M, Muller G (1999) Mercury speciation in tailings of the Idrija mercury mine. J. Geochem. Exploration, v. 65, n. 3, p. 195-204.
- Bisinoti MC, Jardim WF (2004) O comportamento do metilmercúrio (metilHg) no ambiente. Química Nova, vol. 27, nº. 4, 593-600. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/qn/v27n4/20801.pdf>. Acessado em 17 de Abril de 2017.
- Boening DW (2000) Ecological effects, transport, and fate of mercury: a general review. Chemosphere, v. 40, p. 1335-1351.
- Cano SE (2001) Toxicología del Mercurio. Actuaciones Preventivas en Sanidad Laboral y Ambiental Minas de Almadén. Servicio Prevencion de Riesgos Laborales - Almadén (Ciudad-Real) España.
- Cardoso PCS, Lima PDL, Bahia MO, Amorim MIM, Burbano RR, Farias RAF (2001) Efeitos Biológicos do Mercúrio e seus Derivados em Seres Humanos - uma revisão bibliográfica. Revista Paraense de Medicina. 15: 51-58.
- CHEMINFO CCOHS (2000) Issue 2000-4. Canadian Center For Occupational Health And Safety. Disponível: <http://www.ccohs.ca>. Acessado em 07 de Novembro de 2015.

- Clayton GD, Clayton FE (1982) (Eds.). *Patty's Industrial Hygiene and Toxicology: Volume 2A, 2B, 2C: Toxicology*. 3rd ed. New York: John W & Sons. 1780 p.
- Couto RCS, Câmara VM, Sabroza PC (1988) Intoxicação Mercurial: Resultados preliminares em duas áreas garimpeiras – PA. *Cadernos de Saúde Pública*, RJ, vol.4, nº3, 301-315. Disponível: <http://www.scielo.br/pdf/csp/v4n3/05.pdf>. Acessado em 14 de abril de 2017.
- Craig RG, Powers JM (2006) *Materiais dentários restauradores*. 11ª ed. São Paulo: Santos.
- Fortes CBB, Samuel SMW (2000) Avaliação de meios para armazenagem de resíduos de amálgama de prata. *Revista da Faculdade de Odontologia de Porto Alegre*, v. 40, n. 2, p. 36-40.
- Devito SC (1995). Mercury. In: Kroschwitz JI (Ed.). *Kirk-Othmer encyclopedia of chemical technology*. 4th ed. New York: John W & Sons v. 16.
- EPA (1997) Mercury Report to Congress, Vol VI: Characterization of Human Health and Wildlife Risks from anthropogenic Mercury Emissions in the United States. Environmental Protection Agency. U.S. Environmental Protection Agency, Washington.
- Farias RA, Hacon S, Campos RC & Argento R (2005) Mercury contamination in farmed fish setup on former garimpo mailing area in northern Mato Grosso State, Amazon region, Brazil. *The Science of the Total Environment* 348: 128-134.
- FDA (1997) Center for Drug Evaluation and Research. United States Food And Drug Administration. Disponível: <http://www.fda.gov/cder/fdama/mercuryreport.htm>. Acessado em 18 de junho de 2016.
- Fitzgerald WF, Lamborg CH (2003) *Geochemistry of Mercury in the Environment*. Elsevier Ltd., Amsterdam.
- Friberg L, Nordberg GR, Vouk VB (1979) *Handbook on the toxicology of metals*. New York: Elsevier North Holland. 517 p.
- Graeme AK, Pollock CV (1998) Heavy metal toxicity, part I: arsenic and mercury. *The Journal of Emergency Medicine*, v. 16, n. 1, p. 45-56.
- Hacon S, Azedo F (2006) Plano de ação regional para prevenção e controle da contaminação por mercúrio nos ecossistemas amazônicos. Organização do Tratado para Cooperação Amazônica. Ministério do Meio Ambiente do Brasil. Disponível: <http://www.acpo.org.br/campanhas/mercurio/docs/Plano%20de%20a%20E7ao%20mercurio%20Amazon%20MMA.pdf>. Acessado em 10 de junho de 2015.
- HSDB (2000) Mercury. In: *Tomes Cps System. Toxicology, occupational medicine and environmental series. Hazardous Substances Data Bank*. Englewood: Micromedex. CD-ROM.
- INS (2011). Protocolo de vigilancia y control de intoxicaciones agudas por mercurio. Instituto Nacional De Salud. Documento em revisão. Colombia.
- Klaassen CD, Watkins III JB (2012) *Fundamentos em Toxicologia de Casarett e Doull*. 2. Ed. – Porto Alegre: AMGH, 23: 326-35.
- Lacerda LD & Salomons W (1998) Mercury from gold and silver mining: A chemical time-bomb? Springer Verlag, Berlin.
- Lacerda LD (2003) Updating global Hg emissions from small-scale gold mining and assessing its environmental impacts. *Environmental Geology* 43: 308-314.
- Lacerda LD (1997) Contaminação por mercúrio no Brasil: fontes industriais vs garimpo de ouro. *Química Nova*, v.20, n.2., 196-199. Disponível: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-40421997000200012](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40421997000200012). Acessado em 14 de Abril de 2017.
- MMA (2013) Diagnóstico Preliminar sobre o Mercúrio no Brasil. Ministério do Meio Ambiente Brasília: 107 p.
- MMA (2003) Perfil nacional da gestão de substâncias químicas. Ministério do Meio Ambiente. Brasília: 280 p.
- Nascimento ES, Chasin A (2001) Caderno de Meio Ambiente, Aspectos Atualizados dos Riscos Toxicológicos do Mercúrio. TECBAHIA, R. Baiana Tecnol., v. 16, n. 3, p.87 a 104.
- Nriagu JO (1994) Mercury pollution from the past mining of gold and silver in the Americas. *Science of the Total Environment*, 149: 167-181.
- Olivero JT (2002) Programa de desarrollo sostenible de la región de La Mojana, Colombia. Relatório Final de Consultoria. Toxicología Ambiental. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Bogotá.
- ONU (2002) Programa de desarrollo sostenible de la región de La Mojana, Colombia. Relatório Final de Consultoria. Jesús Tadeo Olivero. Toxicología Ambiental. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Bogotá.
- OPAS/OMS (2011) Organização Pan-Americana da Saúde. Cooperação Técnica entre Brasil, Bolívia e Colômbia: Teoria e Prática para o Fortalecimento da Vigilância em Saúde de Populações Expostas a Mercúrio. Brasília. p.101.
- Pacheco-ferreira H (2008) Epidemiologia das substâncias químicas neurotóxicas. Em: Medronho RA, Bloch KV, Luiz RR, Werneck GL. *Epidemiologia*. São Paulo: Atheneu: 577-86.
- Pfeifer WC, Malm O, Souza CM, Lacerda LD, Silveira EGA (1990) Ameaça de mercúrio nos garimpos. *Ciência Hoje*, v. 11, n. 61, p. 12-16.
- Pfeifer WC, Lacerda LD, Malm O, Souza CM, Silveira EG, Bastos WR (1989) Mercury concentrations in inland waters of gold mining areas in Rondônia. *Sci. Total Environm.*, v. 87-88, p. 233-40.
- Pirrone N, Munthe J, Barregard L, Ehrlich HC, Petersen G, Fernandez R, dos Santos-Alvés SG, Diaz MCR, Hansen JC, Grandjean P, Horvat M, Steinnes E, Ahrens E, Pacyna JM, Borowiak A, Boffetta P & Wichmann-Fiebig M (2001) Ambient air pollution by mercury (Hg). Position Paper. Office for Official Publications of the European Communities, Luxembourg.
- Queiroz IR (1995) Determinação de metilmercúrio em peixes de região de garimpo. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Rahman L, Corns WT, Bryce DW, Stockwell PB (2000) Determination of mercury, selenium, bismuth, arsenic and antimony in human hair by microwave digestion atomic fluorescence spectrometry. *Talanta*, v. 52, n. 5, p. 833-843.
- Rempe EF, Amorim LA, Neto RV (2010) 4ª Reunião do Grupo de Trabalho Lâmpadas Mercuriais. Câmara Técnica de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos do Conselho Nacional do Meio Ambiente Coordenação Geral de Saúde do Trabalhador e Coordenação Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Departamento de Vigilância em Saúde Ambiental e Saúde do Trabalhador Secretaria de Vigilância em Saúde. Ministério da Saúde.
- Ryshov VV, Mashyanov NR, Ozerova NA & Pogarev SE (2003) Regular variations of the Mercury concentration in natural gas. *The Science of the Total Environment* 304: 145-152.
- Schlute NP, Knight AL, Jahn O (1994) Mercury and its compounds. In: Zenz OC, Dickerson B, Horvarth EP (eds.). *Occupational medicine*. 3ª ed. St. Louis: Mosby-Year Book: 549-576.
- Shafawi A, Ebdon L, Foulkes M, Stockwell P, Corns W (1999) Determinations of total mercury in hydrocarbons and natural gas condensate by atomic fluorescence spectrometry. *The Analyst* 124: 788-796.
- Simon M, Jonk P, Wuhl-coutriel G, Daunderer M (1990) Mercury, mercury alloy, and mercury compounds. In: HANS-JÜRGEN, A. (Ed.). *Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry*. 5th ed. New York: CVH. v. A16, p. 269-298.
- Strode S, Jaelé L, Selin NE (2009). Impact of mercury emissions from historic gold and silver mining: Global modeling. *Atmospheric Environment*, 43: 2012-2017.
- Tan HEJL, Liang L, Lazoff S, Sommer J, Xiao ZF, Lindqvist O (2000) Atmospheric mercury deposition in Guizhou. China. *Sci. Total Environ.*, v. 259, p. 223-230.
- Teves MLU (2001) *Lixo urbano contaminação por resíduos de tintas e vernizes*. Fundacentro. São Paulo.
- Toxisphera (2013) Emissões Atmosféricas de Mercúrio da Indústria de Cloro-Álcalis no Brasil. Associação de Saúde Ambiental. Medição de mercúrio na atmosfera do entorno de quatro fábricas de cloro-álcalis. Brasil.

- Tslev DL, Zaprianov ZK (1983) Atomic absorption spectrometry in occupational and environmental health practice. Volume I. Analytical aspects and health significance. CRC Press, Inc; p. 158-163.
- UNEP (2008). United Nations Environmental Program. Technical Background Report to the Global Atmospheric Mercury Assessment. Arctic Monitoring and Assessment Programme / Chemicals Branch. Geneva, Switzerland. 159 pp.
- Vecchio D (2005) Qualidade de vida e avaliação física em intoxicados por mercúrio: estudo observacional transversal descritivo. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Educação Física, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, São Paulo.
- Vieira JLF (1994) Determinação de mercúrio total em amostras ambientais por espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor a frio. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Ciências Farmacêuticas, Universidade de São Paulo, São Paulo.
- Wayne DM, Warwick JJ, Lechler PJ, Gill GA, Lyons WB (1996) Mercury contamination in the Carson river. Nevada: a preliminary study of the impact of mining wastes. *Water, Air, and Soil Pollution*, 92: 391-408.
- Wasserman JC, Hacon SS, Wasserman MA (2001) O ciclo do mercúrio no ambiente amazônico. *Mundo e Vida*, vol. 2, nº 1/2, p.46-53, 2001. Disponível: [http://www.uff.br/cienciaambiental/mv/mv2/MV2\(1-2\)46-53.pdf](http://www.uff.br/cienciaambiental/mv/mv2/MV2(1-2)46-53.pdf). Acessado em 17 de abril de 2017.
- Webelements™ (2001) The periodic table on the www. United Kingdom: Mark Winter [The University of Sheffield and WebElements Ltd], 2001. Disponível: <http://www.webelements.com>. Acessado em 18 de maio de 2015.
- WHO (1976) Conference on intoxication due to alkylmercury-treated seed. Geneva. 138 p. (Baghdad, Iraq, 9-13, Sept. 1974).
- WHO (1978) Mercury. Geneva. Environmental Health Criteria 1. 148 p.
- WHO (1991) Environmental Health Criteria 118 – Inorganic Mercury. Geneva. International Programme on Chemical Safety.
- WHO (1989) Mercury - environmental aspects. Environmental Health Criteria 86. Geneva. 115p.
- WHO (1990) Methylmercury. Environmental Health Criteria 101. Geneva. 144 p.
- WHO (2003) Organization. Elemental mercury and inorganic mercury compounds: Human health aspects. Concise International Chemical Assessment Document 50. Geneva. 68p.
- WHO (2008) Assessing the environmental burden of disease at national and local levels. Environmental Burden of Disease Series, n.16. Geneva. 68p.