



The University of British Columbia

Norman B. Keevil Institute of Mining Engineering

6350 Stores Rd., Vancouver, BC, Canada, V6T 1Z4

ph: (778) 9971590, fax: (604) 8225599; veiga@mining.ubc.ca

Vancouver, BC, October 8, 2025

Carta Aberta aos Participantes (e Ausentes) da Audiência Pública sobre Garimpo Ilegal do MPF

Ontem, 7 de outubro de 2025, participei de uma reunião por Zoom do Ministério Público Federal (MPF), liderada pelo jovem procurador Sr André Luiz Porreca Ferreira Cunha, sobre “Impactos socioambientais do garimpo ilegal no estado do Amazonas”. A dita audiência pública foi dividida em dois dias, 6 e 7 de outubro, cada qual com 4 horas de depoimentos de autoridades e indivíduos aparentemente impactados pelas medidas do MPF contra os garimpos ilegais. Infelizmente não pude comparecer no primeiro dia onde escutei que houveram pessoas com maior formação científica sobre o tema.

A reunião, que seria uma audiência pública, começou com uma introdução de mais de uma hora do “jurista” (como ele se designou) e mediador da audiência falando sobre suas capacidades de trabalhar com garimpos e minerações e mostrando leis e punições aos garimpeiros ilegais. O assunto mercúrio foi logo levantado e virou o centro das atenções. Este assunto, por sua dificuldade técnica, sua toxicidade conhecida e forte desconhecimento da maioria da população, sempre ocupa posição protagonista nos debates brasileiros sobre garimpagem. O jurista parecia muito envolvido no assunto e de pronto, já manifestou seu veredicto sobre o assunto... “prisão, e outras punições a quem não cumpre a lei.”

Como trabalho há 44 anos com mercúrio e mineração artesanal em mais de 35 países, e fui o gerente do GEF/UNDP/UNIDO Projeto Global de Mercúrio, escutei atento as declarações (na verdade acusações) sobre os danos do mercúrio utilizado pelos mineradores artesanais da Amazônia. Apesar de trabalharem de forma rudimentar, não convencional, o jurista declarou que não tem nada de artesanal em suas operações. Claramente uma falta de conhecimento do termo “mineração artesanal” que cunhamos em 1994 na UNIDO. Observei alguns mitos em suas declarações e gostaria de trazer à tona alguns aspectos mais científicos que possam trazer alguma contribuição à discussão.

MITO 1 - Todo mercúrio em peixes vem do garimpo

O jurista reconheceu que existem várias formas de poluição de mercúrio na Amazônia, mas declarou que “as formas naturais de emissão de mercúrio são pequenas, insignificantes, pois o mercúrio do garimpo é o responsável pelo mercúrio nas águas e nos peixes”. Em 44 anos de pesquisa nunca escutei algum cientista internacional falar isto de maneira tão assertiva, mas talvez o jurista saiba mais sobre o assunto que todos eles. A poluição por mercúrio e as preocupações ambientais e de saúde associadas têm sido, e com razão, objetos de debates acirrados na região Amazônica. Historicamente, os esforços científicos para compreender o impacto do mercúrio no Brasil têm se concentrado na única forma de mercúrio visível, aquele usado pelos mineradores artesanais de ouro. A transformação de mercúrio metálico em metilmercúrio, que rapidamente se acumula na biota aquática e sobe na cadeia trófica (isto é, peixes carnívoros acumulam mais metilmercúrio que os outros), não é um processo trivial pois necessita oxidação do metal, complexação com ácidos orgânicos e metilação bacteriana, normalmente anaeróbica¹. O papel dos ácidos orgânicos dissolvidos, que conferem a cor escura de alguns rios e igarapés amazônicos, é de suma importância na complexação do mercúrio já oxidado e na formação de ambiente anaeróbico propício a metilação. Este fenômeno tem sido amplamente divulgado por pesquisadores^{2,3,4}. O mercúrio atmosférico proveniente de vulcanismos, incêndios florestais, evaporação, erosão das margens de rios, intemperismo de vários componentes geológicos, deterioração de vegetação submersa depositado por milhões de anos nos solos amazônicos, pode ser uma das mais relevantes fontes de mercúrio que se bioacumula em organismos aquáticos^{5,6,7}. As recentes fontes industriais dispersas (que também inclui a mineração artesanal de ouro) têm importância na bioacumulação de mercúrio em peixes, mas é necessário elucidar os principais “vilões”.

¹ Tromans, D., Meech, J.A., Veiga, M.M. (1996). Natural Organics and the Environmental Stability of Mercury: Electrochemical Considerations. *Journal of Electrochemical Society*, 143 (6), L123-126.

² Kasper, D., Forsberg, B.R., do Amaral Kehrig, H., Amaral, J.H.F., Bastos, W.R., Malm, O. (2018). Mercury in Black-Waters of the Amazon. In: Myster, R. (eds) Igapó (Black-water flooded forests) of the Amazon Basin. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-90122-0_3

³ Tromans, D., Meech, J.A., Veiga, M.M., (1996). Natural organics and the environmental stability of mercury: electrochemical considerations. *J. Electrochem. Soc.* 143 (6), 123–126.

⁴ Jardim, W.F., Bisinoti, M.C., Fadini, P.S., Silva, G.S. (2010). Mercury redox chemistry in the Negro River Basin, Amazon: the role of organic matter and solar light. *Aquat. Geochem.* 16, 267–278.

⁵ Fadini, P.S., Jardim, W.F. (2001). Is the Negro River Basin (Amazon) impacted by naturally occurring mercury? *Sci. Total Environ.* 275 (1–3), 71–82.

⁶ Bisinoti, M.C., Sargentini Jr, E., Jardim, W.J., 2007. Seasonal behavior of mercury species in waters and sediments from the Negro River Basin, Amazon, Brazil. *J. Braz. Chem. Soc.* 18 (3), 544–553.

⁷ Barbosa, A.C., Souza, J., Dorea, J.G., Jardim, W.F., Fadini, P.S. (2003). Mercury biomagnification in a tropical black water, Rio Negro, Brazil. *Arch. Environ. Contam. Toxicol.* 45, 235–246.

Trabalhos recentes utilizando isótopos estáveis de mercúrio têm elucidado a origem do mercúrio em lagos de várzeas na Amazônia⁸. Eu levantei esse tema na reunião e mostrei que, de acordo com o trabalho de meu amigo Nicola Pirrone⁹ e vários cientistas renomados, as fontes naturais liberam ao ambiente cerca de 5207 toneladas anuais de mercúrio. Os vulcões hoje liberam da ordem de 90 t/a de Hg mas já houve tempo de maior atividade vulcânica. São milhões de toneladas de mercúrio que se depositaram nos solos amazônicos onde, 0,1% a 1,4% do mercúrio total do solo está na forma de metilmercúrio¹⁰. Esta é a razão pela qual peixes amazônicos apresentam altos teores de metilmercúrio nos músculos em estações chuvosas, pois o metilmercúrio é lavado do solo e chega às drenagens. Por isso altíssimos teores de mercúrio em peixes são analisados na estação chuvosa da Amazônia e principalmente em áreas de inundação onde a matéria orgânica é abundante.

O jurista argumentou que institutos brasileiros já fazem análise isotópica de mercúrio em peixes, algo inédito para mim, mas gostaria de saber onde. O recente trabalho¹¹ no Suriname do grupo do projeto “Amazon Sustainable Landscapes Program” do UNDP juntamente com o US Geological Service, USEPA e várias Universidades, utilizaram análises isotópicas de mercúrio em peixes e concluíram: “Surpreendentemente, nossas descobertas não corroboraram o aumento generalizado da carga de Hg nos peixes ao longo do tempo, nem que a proximidade com a mineração artesanal de ouro fosse um diagnóstico da carga de mercúrio total em peixes”. A grande carga de mercúrio de várias fontes naturais e antropogênicas (que também inclui os garimpos) nos peixes, faz a interpretação dos dados difíceis, mas revelam que existem várias fontes de poluição mercurial na Amazônia.

Aqui no Canadá, onde o mercúrio pode ser utilizado de maneira responsável em mineração artesanal, as represas hidroelétricas são os principais responsáveis pela acumulação de metilmercúrio em peixes. Isto ocorre porque o metilmercúrio dos solos, durante o processo de inundação, é lavado e se acumula rapidamente na mesma biomassa que estava antes da represa. Também, quando a vegetação, principalmente

⁸ Araujo, B.F., Hintelmann, H., Dimock, B., Sobrinho, R.L., Bernardes, M.C., Almeida, M.G., Krusche, A.V., Rangel, T.P., Thompson, F.T., Rezende, C.E. (2017). Mercury speciation and Hg stable isotope ratios in sediments from Amazon floodplain lakes—Brazil. *Limnol. Oceanogr.*, 63, 1134–1145.

⁹ Pirrone, N., Cinnirella, S., Feng, X., Finkelman, R. B., Friedli, H. R., Leaner, J., Mason, R., Mukherjee, A. B., Stracher, G. B., Streets, D. G., and Telmer, K. (2010): Global mercury emissions to the atmosphere from anthropogenic and natural sources, *Atmos. Chem. Phys.*, 10, 5951–5964, <https://doi.org/10.5194/acp-10-5951-2010>, 2010.

¹⁰ Kelly, C.A.; Rudd, J.W.M.; St. Louis, V.; Heyes, A. (1994). Is Total Mercury Concentration a Good Predictor of Methylmercury Concentrations? *Water Air and Soil Pollution* 80(1):715-724

¹¹ Vreedzaam, A., Ouboter, P., Hindori-Mohangoo, A.D., Lepak, R., Rumschlag, S., Janssen, S., Landburg, G., Shankar, A., Zijlmans, W., Lichtveld, M.Y., Wickliffe, J.K. (2023). Contrasting mercury contamination scenarios and site susceptibilities confound fish mercury burdens in Suriname, South America. *Environ Pollut.* 1;336:122447. doi: 10.1016/j.envpol.2023.122447.

árvores não são retiradas antes da inundação, as bactérias que deterioram a madeira submersa também metilam as pequenas quantidades de mercúrio oxidado que encontram nas árvores. A concentração de metilmercúrio nos peixes aumenta rapidamente e leva até 30 anos para que os níveis de mercúrio em peixes sejam reduzidos, mas nunca voltam aos níveis pré-inundação¹². O mesmo fenômeno foi bem reportado por Pestana et al. (2019)¹³ em represas hidroelétricas da América do Sul.

Em suma, não é só o mercúrio visível que polui os peixes, e a contribuição de outras fontes pode ser até maior que a dos garimpos. Regiões amazônicas sem qualquer proximidade a garimpos, apresentam peixes com altos teores de metilmercúrio.

MITO 2 – O mercúrio dos garimpos vai longe

A emissão de mercúrio de vulcões ocorre em alta temperatura (1000 a 1300 °C) e chega a altas elevações. Este mercúrio certamente vai longe pois fica na atmosfera por certo tempo até regressar oxidado, ou não, ao solo. Ao contrário, nas emissões de mercúrio quando amálgamas são queimados a céu aberto, o mercúrio evaporado não vai muito longe (< 2 km) pois a queima é feita a nível do solo e baixas temperaturas (todas as formas de mercúrio evaporam a 460 °C). Meu estudante de PhD¹⁴ simulou usando equações gaussianas e com dados de campo no Chile usando LUMEX que o mercúrio atmosférico das emissões de queima de amálgamas se dilui rapidamente e que grande parte se deposita localmente, algo já revelado pelo CETEM¹⁵ em 1991.

A ideia de que o mercúrio fica solúvel nas águas e é transportado para longe, é outro mito não muito bem confirmado. O mercúrio metálico tem baixa solubilidade, 0,060 mg/L a 25 °C¹⁶, mas outros compostos como o metilmercúrio (CH₃Hg⁺), 100 mg/L, são mais solúveis. Compostos mercuriais podem ser complexados pela matéria orgânica em solução ou serem adsorvidos no material particulado em suspensão¹⁷. De fato, podem ser transportados para longe, mas sofrem um processo de alta diluição e muitas vezes não se detecta mais nas águas, quando filtradas. Este é outro problema ambiental.

¹² Bodaly, R.A.; Strange, N.E.; Fudge, R.J.P. (1988). Mercury Content of Fish in the Southern Indian Lake and Issett reservoirs, Northern Manitoba, Before and After Flooding. *Can. Data. Rep. Fish. Aquat. Sci.*, 706, 59 p

¹³ Pestana, I.A., Azevedo, L.S., Bastos, W.R., Souza, C.M.M. (2019) The impact of hydroelectric dams on mercury dynamics in South America: A review. *Chemosphere*, 219, 546-556.

¹⁴ Cordy, P.D. (2013). Urban atmospheric mercury contamination from artisanal mining : mapping, modeling, and mitigation. PhD thesis. University of British Columbia.
<https://open.library.ubc.ca/soa/cIRcle/collections/ubctheses/24/items/1.0103432?o=0>

¹⁵ Veiga, M.M. and Fernandes, F.R.C. (1991). General Aspects of the Poconé Project. In: Poconé: Um Campo de Estudos do Impacto Ambiental do Garimpo. Editors M.M.Veiga, F.R.C.Fernandes. Pub. CETEM/CNPq, Rio de Janeiro, p.1-25

¹⁶ World Health Organization (1993). Beryllium, Cadmium, Mercury, and Exposures in the Glass manufacturing Industry. IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans, v. 58.
<https://publications.iarc.who.int/76>

¹⁷ Meech, J.A., Veiga, M.M., Tromans, D. (1998). Reactivity of Mercury from Gold Mining Activities in Darkwater Ecosystems. *Ambio*, 27 (2), 92-98.

Muitas legislações regulam o mercúrio total em águas não filtradas. Ora, a concentração de mercúrio em material particulado é 1000 vezes maior que em solução, mas sua biodisponibilidade não é tão alta quanto a de um composto mercurial em solução¹⁸. Também, quem se atreve a beber água com material em suspensão não sofrerá somente de mercurialismo mas de outras enfermidades patogênicas. O metilmercúrio não fica tão facilmente disponível em águas naturais. D'Itri (1990)¹⁹ disse que “os organismos acumulam metilmercúrio tão rapidamente que a concentração de mercúrio analisada na água é muito baixa ou, muitas vezes, não é detectada por métodos analíticos.”

Outro fator muito mistificado é que a concentração de mercúrio em solos é um grande problema. De fato, pode ser, mas nem sempre existe correlação entre mercúrio total em solos com teores de metilmercúrio. Por exemplo, em Cachoeira do Piriá, Pará, verificamos que em áreas de solos com altos teores de mercúrio total, os valores de metilmercúrio eram baixos. Já em áreas com baixos teores de mercúrio total, mas em áreas pantanosas, os teores de metilmercúrio eram bem altos²⁰.

Em suma, o problema de poluição mercurial por garimpeiros deve se restringir a uma área mais regional e a emissão de mercúrio para atmosfera tem impactos relevantes na saúde de operadores e comunidades vizinhas. As casas compradoras de ouro (“doré”) de garimpo, usualmente com 2 a 5% de mercúrio residual²¹, que não usam condensadores ou filtros para mercúrio, apresentam riscos muito maiores à população que a ingestão de peixes.

MITO 3 – População indígena está contaminada pelo mercúrio do garimpo

A qualidade, quantidade e frequência de ingestão de peixes faz a diferença na bioassimilação do metilmercúrio. O cabelo é o melhor indicador de bioacumulação de metilmercúrio, pois este composto fica pouco tempo no sangue que também acumula espécies inorgânicas de mercúrio, por exemplo por exposição indevida a vapores. Os suecos²² mostraram que a concentração de mercúrio no cabelo é cerca de 300 vezes

¹⁸ Veiga, M.M. and Baker, R. (2004). *Protocols for Environmental and Health Assessment of Mercury Released by Artisanal and Small-scale Gold Miners*. Published by GEF/UNDP/UNIDO Global Mercury Project. Vienna. 289p, ISBN 92-1-106429-5, (book). <https://iwlearn.net/resolveuid/617e8a7184a7ec1e292a61c2319dc30f>

¹⁹ D'Itri, F.M., 1990. The Biomethylation and Cycling of Selected Metals and Metalloids in Aquatic Sediments. In: *Sediments: Chemistry and Toxicity of In-Place Pollutants*. p.163-214. Ed. R.Baudo; J.P.Giesy; H.Muntau. Lewis Publishers, Ann Arbor.

²⁰ Hinton, J.J.; Veiga, M.M. (2008). The Influence of Organic Acids on Mercury Bioavailability: Insight from an Earthworm Assessment Protocol. *Environ. Bioindicators*, 3, 47–67. <https://doi.org/10.1080/15555270801973559>.

²¹ Veiga, M.M. and Hinton, J.J. (2002). Abandoned Artisanal Gold Mines in the Amazon: A Legacy of Mercury Pollution. *Nat Res Forum*, 26, 15–26.

²² Nelson, N. et al.,(1971). Hazards of Mercury. *Environmental Research*, 4, 1-69.

maior que no sangue. Clarkson (1973)²³ compilando resultados de outros autores mostrou que, para um indivíduo de 70 kg, Hg no sangue (ppb) = 0,95 x Hg (µg) ingestão diária de peixes. Assim chegamos a uma correlação interessante:

ppm Hg no cabelo = 0,285 x gramas de peixes consumidos por dia x ppm Hg na carne do peixe

Uma pessoa que consome diariamente 300 g de peixe contendo 0,3 ppm (µg/g) de Hg (o que não é considerado poluído) esperaria ter 25,7 ppm de Hg no cabelo.

Cientistas japoneses²⁴ chegaram a outra equação:

ppm Hg no cabelo = 0,167 x gramas de peixes consumidos por dia x ppm Hg na carne do peixe

Assim, quem come diariamente 300 g de peixes com 0,3 ppm de Hg, teria 15 ppm de Hg no cabelo. Reportado pelo jurista do MPF, o nível normal de mercúrio (no qual quase todo já é metilado) no cabelo é 2 ppm (µg/g) para quem tem uma dieta diversificada. Para um indígena que não tem outra fonte de proteína, comer peixes, principalmente os carnívoros, que são mais saborosos mas que contêm mais mercúrio, é algo normal. Os níveis de mercúrio no cabelo de populações indígenas foram reportados por Dorea et al. (2003)²⁵, variando de 6,5 a 32,6 µg/g (mediana 18,3) em 31 mulheres de 15 a 45 anos que vivem em locais remotos na Amazônia brasileira. Segundo Nuttfall (2006)²⁶, “a toxicidade [do mercúrio] é avaliada por sinais e sintomas no paciente, e não por resultados laboratoriais ou intervalos de referência”. Este autor afirma que “sinais neurológicos clinicamente óbvios podem estar presentes quando o mercúrio no cabelo é >300 µg/g (ppm) e, em concentrações mais baixas, sintomas mais sutis podem estar presentes, mas muitas vezes são difíceis de diferenciar de outras causas. Este mesmo autor, cita um estudo de cientistas brasileiros²⁷ na Amazônia brasileira onde a concentração de Hg nos cabelos de uma família nativa variava de 8 a 339 µg/g devido a ingestão de peixes. Os autores concluíram que “nenhum sinal ou sintoma [de intoxicação por mercúrio] foi encontrado”.

²³ Clarkson, T.W. (1973). The Pharmacodynamics of Mercury and Its Compounds with Emphasis on the Short-chain Alkylmercurials. In: Mercury in the Western Environment, p.332-354. Ed. by D. Buhler, Continuing Education Publ., Oregon, USA.

²⁴ Kojima, K. and Araki, T. (1972). Normal Levels in Food in Japan. Tokyo, p.1-33. Stencils. Quoted in: Takizawa, Y., 1979. Epidemiology of Mercury Poisoning. In: The Biogeochemistry of Mercury in the Environment. p.325-365. J.O. Nriagu (ed.). Elsevier/North-Holland Biomedical Press, Amsterdam, 696 p.

²⁵ Dorea, J.G., Barbosa, A.C., Ferrari, I., de Souza, J.R. (2003). Mercury in hair and in fish consumed by riparian women of the Rio Negro, Amazon, Brazil. *Int J Environ Health Res.*, 13, 239–248.

²⁶ Nuttfall, K.L. (2006). Interpreting Hair Mercury Levels in Individual Patients. *Annals of Clinical & Lab. Sci.*, 36 (3), 248-261. <https://www.annclinlabsci.org/content/36/3/248.full#ref-39>

²⁷ Boischio, A.A.P., Cernichiari, E., Henshel, D. (2000). Segmental hair mercury evaluation of a single family along the Upper Madeira Basin, Brazilian Amazon. *Cad Saude Publica*, 16, 681–686.

Quando visitei uma aldeia lanomami em Roraima e outra na Venezuela, quando vivi por lá em 1995, verifiquei que os indígenas se sentavam no chão com uma tigela de peixes ao lado. Perguntei que peixe comiam e com que frequência. O intérprete me disse, “o mais saboroso, carnívoros e comem o dia todo, todo dia”. Não analisei o cabelo dos indivíduos, mas é obvio que estaria muito acima dos 2 ppm reportados pelo jurista como “nível normal”, talvez para quem vive na cidade e têm opções de comer outras proteínas. Níveis de mercúrio no cabelo aconselhados a gestantes devem ser menores que 14 ppm e sintomas como parestesia (formigamento ou dormência nas mãos) podem aparecer com concentrações entre 50 e 200 ppm ($\mu\text{g/g}$)²⁸. A companhia canadense de energia Hydro-Quebec²⁹, cujos reservatórios contaminaram grande massa de peixes durante a inundação, tem grande experiência no assunto de diversificação de alimentos para indígenas com várias histórias do que funciona e do que foi um fiasco.

Em suma, a proteína de peixes é de grande importância para os nativos e ribeirinhos da Amazônia. Exagerar e criar pânico afeta fortemente a vida dessas pessoas. Aconselhar a diminuir a dieta de peixes sem mostrar uma alternativa, não faz sentido. Mas qual alternativa? Talvez direcionar a ingestão de peixes herbívoros, como tambaqui ou pacu, seja uma melhor opção. Fiz uns panfletos em colaboração com pesquisadores da Fundação La Salle e da Universidade Experimental de Guaiana³⁰, na Venezuela para indicar aos consumidores de peixes da represa hidroelétrica de Guri as melhores opções de peixes para ingerir. Um grupo de cientistas da Universidade Federal do Pará e da Université du Québec à Montréal, onde a Dr Donna Mergler era seu expoente, conduziram trabalhos de quase 15 anos de avaliação de mercúrio em peixes e cabelos de indígenas no rio Tapajós, em Brasília Legal. Nenhum dos moradores testados apresentou sintomas graves de envenenamento por mercúrio, mas eles estavam apresentando declínios na coordenação, destreza manual e visão³¹. Os fatores de saúde inerentes da pobreza confundem muitas vezes com a ação do metilmercúrio nos organismos. Estes cientistas observaram que a erosão das margens dos rios era a principal fonte de mercúrio litogênico ou depositado (lembrem que solos contêm até 1% do mercúrio total já metilado) para as drenagens³². Fizeram posters e panfletos

²⁸ Hydro-Quebec (2025). Hydro-Québec and the mercury issue. <https://www.hydroquebec.com/sustainable-development/specialized-documentation/mercury.html>

²⁹ Bilodeau, F., Plante, M., Tremblay, A. (2020). How to manage mercury at hydropower reservoirs

³⁰ Rondón, A. and Perez, L.E. (1999). Mercury Bioaccumulation in Fifteen Dams of Bolivar State (Venezuela) Estimated with the Indicator Fish *Hoplias malabaricus*. In: Book of Abstracts of the 5th International Conference on Mercury as a Global Pollutant. Rio de Janeiro, May 23-28, 1999.

³¹ Renac, N. (2011). Brazil — Mercury contamination in the Amazon. IDRC-CRDI, <https://idrc-crdi.ca/en/research-in-action/brazil-mercury-contamination-amazon>

³² Roulet, M.; Lucotte, M.; Saint-Aubin, A.; Tran, S.; Rheault, I.; Farella, N.; De Jesus da Silva, E.; Dezencourt, J.; Sousa Passos, C.J.; Santos Soares, G.; Guimaraes, J.R.; Mergler, D.; Amorim, M., 1998. The Geochemistry of Mercury in Central Amazonian Soils Developed on the Alter-do-Chao Formation of the Lower Tapajos River Valley, Para State, Brazil. *The Science of the Total Environment*, 223 (1), 1-24.

aconselhando a população a não comer peixes carnívoros. O lema dos posters era: “Coma peixes, mas não coma peixes que comem outros peixes”. Muito boa iniciativa.

MITO 4 - Quem não é formalizado...é ilegal

Me chamou atenção ver que o jurista em sua preleção não distingue ilegalidade de informalidade. Em sua fala ele ressaltou: “..é preto e branco...quem não está legalizado, é ilegal”. Interessante pois de acordo com a Organização Internacional do Trabalho (ILO)³³, em 2022, 61% da força de trabalho no mundo, ou cerca de 2 bilhões de pessoas, trabalhavam informalmente. A força de trabalho de um país é normalmente 50% de sua população. No Brasil, de acordo com o IBGE (2025)³⁴ a força de trabalho é de 109,4 milhões de pessoas. De acordo com a Secretaria de Comunicação Social brasileira (2024)³⁵, a bolsa família ajuda a 54,3 milhões de brasileiros...talvez nem todos estejam na força de trabalho, mas teoricamente são trabalhadores desempregados que, de certa forma, não vivem somente com o auxílio governamental, logo trabalham informalmente. De acordo com os dados do governo³⁶ de 32 a 40 milhões de brasileiros trabalham de forma informal no Brasil. A taxa de informalidade no Brasil foi de 38,1% até fevereiro de 2025.

É importante ver que existe internacionalmente uma diferença entre informalidade e ilegalidade, embora exista muita sobreposição. De acordo com a OIT (2018)³⁷, “atividades informais são aquelas que, na lei ou na prática, não são cobertas ou são insuficientemente cobertas por sistemas formais, como legislação trabalhista, proteção social ou regulamentações tributárias.” Já ilegalidade é quando existe intenção de violar a lei, como lavagem de dinheiro, tráfico de substâncias ilegais, roubo, fraude, corrupção, etc. quase sempre em prejuízo a outros indivíduos ou à sociedade.

De cerca de 45 milhões de mineradores artesanais no mundo³⁸, extraindo mais de 30 substâncias minerais, talvez de 1 a 3% sejam formalizados³⁹, isto é, legalizados e trabalhando de maneira apropriada. Sim, a legalização não implica que um minerador trabalhe de maneira adequada. Fiz um trabalho para o governo Colombiano em 2018 e

³³ International Labour Organization (2023). Informal Economy. <https://www.ilo.org/international-labour-organization/topics/formalization>

³⁴ Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (2025). Trabalho. <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/trabalho.html>

³⁵ Secretaria de Comunicação Social (2024). Bolsa Família contempla 54,3 milhões de pessoas em setembro. <https://www.gov.br/secom/pt-br/assuntos/noticias/2024/09/bolsa-familia-contempla-54-milhoes-de-pessoas-brasileiras-em-setembro>

³⁶ Agencia Brasil (2025). Mais de 32 milhões são autônomos informais ou trabalham sem carteira

³⁷ International Labour Organization (2018). Informality and non-standard forms of Employment. https://g20.utoronto.ca/2018/g20_paper_on_nse_and_formalization_ilo.pdf

³⁸ DELVE (2025). A Global Platform for Artisanal & Small Scale Mining Data. <https://www.delvedatabase.org/>

³⁹ Marshall, B.G. and Veiga, M.M. (2017). Formalization of Artisanal Miners: Stop the Train, We Need to Get Off! *The Extractive Industries and Society*, 4 (2), 300–303.

verificamos que das 51 plantas legalizadas de mineração artesanal de ouro⁴⁰, todas utilizavam mercúrio e cianeto juntos, exacerbando a poluição ambiental. Quando confrontei um minerador sobre o perigo de fazer esta mistura de cianeto e mercúrio, ele respondeu: “...posso fazer o que quiser, sou legal”. A formalização, a meu entender, implica em legalização e uso de procedimentos adequados a saúde e ao ambiente.

O Brasil deve ter de 200 000 a 300 000 garimpeiros, sendo a maioria trabalhando em depósitos de ouro, por eles encontrados. Infelizmente muitos dos 2000 depósitos de ouro encontrados por esses aventureiros estão hoje nas mãos de empresas convencionais. Este é um grande problema em todo mundo. Não existem áreas disponíveis para mineradores artesanais⁴¹. Esta mineração artesanal, com níveis baixíssimos de legalização e formalização, extraiu cerca de 17 toneladas/a de ouro em 2023 (Araujo et al. 2025)⁴² que foram vendidas a compradores locais que pagam impostos ou a lavadores de dinheiro que estão presentes nos garimpos. De acordo com o Sumário Mineral Brasileiro (2025)⁴³ a produção de ouro de garimpos caiu de 28,3 toneladas em 2022 a 5,47 toneladas em 2024. Isto se refere a estatísticas por recolhimento de CFEM (Compensação Financeira pela Exploração de Recursos Minerais), que é um royalty pago aos governos pela produção do ouro ou outro mineral.

Segundo o relatório recente de Macedo (2024)⁴⁴ para o Projeto da UNEP (PNUMA), Ouro Sem Mercúrio, até 2024 existiam cerca de 14 mil requerimentos de Lavra Garimpeira (PLG) e somente 2074 autorizados e 151 com concessão legal de lavra. Parecem poucas concessões para tantos garimpeiros..

Enfim, a produção de ouro não é bem reportada e deve existir muita compra não registrada, além de importação clandestina de países vizinhos, pois o Brasil tem fama de pagar melhor os vendedores de ouro que os outros países sul-americanos. Mais de 2 a 3 milhões de brasileiros devem viver da economia que o ouro artesanal gera, não só diretamente na mineração e processamento, mas vendendo suprimentos, equipamentos, combustível, serviços, transportes, etc. Se essa economia, predominantemente informal, é erradicada, irá ocasionar um desastre socioeconômico enorme na Amazônia. A

⁴⁰ Veiga, M.M. and Marshall, B.G. (2019). The Colombian Artisanal Mining Sector: Where Formalization is a Heavy Burden. *The Extractive Industries and Society*, 6 (1), 223-228.

⁴¹ Veiga, M.M., Anene, N.C., Silva, E.M. (2025). Four Decades of Efforts to Reduce or Eliminate Mercury Pollution in Artisanal Gold Mining. *Minerals*, 15(4), 376; <https://doi.org/10.3390/min15040376>

⁴² Araujo, C. H. X., Veiga, M. M.; de Tomi, G. (2025). Panorama nacional da mineração artesanal e em pequena escala de ouro, vol. VIII: inventário das emissões e liberações de mercúrio. São Paulo: FDTE.

⁴³ Sumário Mineral Brasileiro (2025). Ouro. Agência Nacional de Mineração. Ano-base 2024.

<https://www.gov.br/anm/pt-br/assuntos/economia-mineral/publicacoes/sumario-mineral/sumario-mineral-brasileiro-2025/sumario-2025.pdf>

⁴⁴ Macedo, D. (2024). Panorama nacional da mineração artesanal e em pequena escala de ouro. Vol VI. Diagnóstico dos aspectos econômicos. São Paulo: FDTE.

<https://www.ourosemmercúrio.com.br/documentos/>

legalização e formalização dos garimpos não é tarefa fácil, e sem educação e financiamento o garimpeiro irá reproduzir os procedimentos primitivos que aprendeu com o vizinho, perpetuando este cenário de informalidade e poluição. Onde está o governo? Não tem **presença** na assistência técnica. Se o garimpeiro não lê artigos científicos, nunca irá aprender nada. Se a legalização é difícil pela intrincada burocracia, imagine a formalização.

Em suma, recomendo o jovem jurista a ler mais artigos sobre legalização e formalização principalmente no âmbito legal. Se todo trabalhador brasileiro informal é considerado pelo jurista como ilegal, aconselho a construírem cadeias grandes para acomodarem 40 milhões de brasileiros.

MITO 5 – Retortas não capturam o mercúrio evaporado

Ao ser comentado na reunião que as retortas podem reduzir drasticamente a exposição e evolução de mercúrio vapor, o jovem jurista negou dizendo saber de “estudos da polícia (federal?) onde as retortas não coletam nem 60% do mercúrio evaporado”. Não conheço este estudo para poder julgar, mas certamente não tem expressão estatística. O estudo recente do projeto Ouro Sem Mercúrio, avaliou a perda de mercúrio em 25 garimpos que utilizavam a retorta (“cadinho”) (Araujo et al., 2025 – op. Cit.). A recuperação média de mercúrio foi de 98%. Houve um caso de recuperação de 66%, mas claramente os garimpeiros não sabiam usar a retorta.

Em 2018, a AMAP-UNEP⁴⁵ havia reportado que os valores brasileiros de perdas de mercúrio para o ambiente (emissão e descarga no solo e água) eram da ordem de 105 t/a, variando de 52.5 a 157.5 t/a (valores de 2015). O trabalho de avaliação do projeto Ouro Sem Mercúrio (Araujo et al., 2025 – op. cit.) utilizando balanços metalúrgicos de campo em 32 garimpos, chegou à conclusão que a perda de mercúrio está entre 9 e 12 t por ano, e que a perda de mercúrio é de 2,2% (do mercúrio alimentado) para os garimpos que utilizam retortas (perdas predominantemente com rejeitos) e que a perda média de mercúrio é cerca de 55% do mercúrio alimentado para os garimpos que queimam amálgamas a céu aberto, sendo 41% perdidos na evaporação e 14% perdidos nos rejeitos.

Sem dúvida que a mineração sem mercúrio é mais eficiente pois a amalgamação só captura as partículas de ouro livre⁴⁶. Para as partículas de ouro livre serem concentradas é necessária a liberação do ouro da massa de ganga silicática. Nos minérios aluvionares, seja em rios ou em terra seca, normalmente (mas não sempre) as partículas de ouro

⁴⁵ AMAP-UNEP (2018). Technical Background Report for the Global Mercury Assessment 2018. <https://www.unep.org/globalmercurypartnership/resources/report/technical-background-report-global-mercury-assessment-2018>

⁴⁶ Veiga, M.M. and Gunson, A.J. (2020). Gravity Concentration in Artisanal Gold Mining. Minerals 10(11), 1026. 49p, <https://doi.org/10.3390/min10111026>.

estão liberadas. Estas são bem capturadas pelo mercúrio, mas o bateamento com paciência, como usado pelos garimpeiros canadenses no Norte do país, funciona da mesma maneira e não expõe os trabalhadores ao mercúrio. Para os minérios coluvionares (“barranco”) a liberação é parcial e sem moagem as recuperações de ouro são da ordem de 30 a 45%, como observado nos garimpos estudados no projeto Ouro Sem Mercúrio. Se as partículas de ouro não liberado são concentradas por processos gravíticos (“cobra fumando”) a amalgamação não captura essas partículas e, portanto, a perda total de ouro nos garimpos coluvionares brasileiros deve estar por volta de 70 a 80%. Estes são valores que devem ser levados aos garimpeiros para convencê-los a melhorarem e abandonar a amalgamação, pois poucos acreditam no efeito poluidor do mercúrio.

MITO 6 – Processos gravíticos são a solução para eliminação do mercúrio

Este mito foi bem descrito por Martinez et al. (2020)⁴⁷. Se a indústria convencional de mineração de ouro recupera de 20 a 30% do ouro por processos gravíticos, por que a mineração artesanal deveria extrair mais? A maioria do ouro produzido no mundo é por cianetação onde partículas de ouro expostas, mas não necessariamente liberadas, podem ser dissolvidas com auxílio de um oxidante (oxigênio) e um complexante (cianeto). A remoção de partículas de ouro livre e mais grosseiras que 0.1 mm por processos gravíticos é necessária porque essas partículas levam muito tempo para serem dissolvidas num processo de cianetação convencional. Usar processos gravíticos em série (como várias centrifugas em série) aumenta a recuperação de ouro, mas diminui o teor do concentrado, sendo então necessário um processo de extração adicional. O problema de aumentar a recuperação de ouro e teor do concentrado ao mesmo tempo é um desafio enfrentado pelos metalúrgicos de todo mundo. Para isso a resposta está na cominuição, isto é, britagem e moagem. Moagem fina para liberar partículas de ouro é o processo mais caro do tratamento de minério, porque demanda muita energia. Classificar (isto é peneirar ou usar hidrociclones) é necessário, mas a malha de liberação precisa ser estudada e testada. Esta é a razão, ou razões pelas quais as mineradoras muitas vezes preferem lixiviar todo minério (uma vez que o ouro esteja exposto) com cianeto.

Fazer fusão com bórax de um concentrado com menos de 3 a 5% de ouro, faz com que haja grandes perdas de ouro para a escória⁴⁸. O concentrado tem que ser rico (amarelo) em ouro para coalescer as partículas e afundar no meio fundido. Se o concentrado não tem alto teor de ouro as partículas não afundam no meio. A alternativa seria colocar mais ouro ou prata junto com o concentrado para coletar o ouro disperso que durante a fusão afundaria deixando a escória isenta de ouro. Mas parece improvável que os garimpeiros

⁴⁷ Martinez, G., Restrepo, O.J., Veiga, M.M., (2021). The Myth of Gravity Concentration to Eliminate Mercury Use in Artisanal Gold Mining. *The Extractive Industries and Society*, 8, 477-485.

⁴⁸ Veiga, M.M., Angeloci-Santos, G., Meech, J.A. (2014). Review of Barriers to Reduce Mercury Use in Artisanal Gold Mining. *The Extractive Industries and Society*, 1 (2), 351–361.

queiram usar ouro para coletar mais ouro de um concentrado pobre. Para concentrar mais e ter um concentrado amarelo, o garimpeiro sabe uma regra do tratamento de minérios: “quanto mais se concentra, mais ouro se perde para os rejeitos”. Uma realidade cruel, mas teor de ouro e % recuperação são antagônicos (Veiga & Gunson – op. cit.). A ideia de colocar prata como coletor seria interessante, mas depois demandaria um processo de refino químico que nem todo garimpeiro estaria interessado em fazer. Logo, o tal “Método de Bórax”, não é novo (tem mais de 3 séculos) e nem uma panaceia. Funciona para minérios aluvionares onde o concentrado é amarelo com partículas de ouro liberadas da ganga (minerais indesejáveis).

A alternativa do uso de “pau de balsa” (*Ochroma pyramidale*)⁴⁹, um dispersante que eficientemente facilita a separação por bateamento das partículas de ouro livre de um concentrado, é interessante, mas não elimina o uso de mercúrio. Não é o “pau de balsa” que substitui o mercúrio, é a facilidade do garimpeiro para batear partículas de ouro separando-as da massa de minerais de ganga de modo a ter um concentrado rico que possa ser fundido com bórax. Um esforço louvável e bem esquematizado da equipe da Universidade Federal de Rondônia, mas o pau de balsa não dissolve o ouro e o processo acaba sendo útil para uma fatia da mineração artesanal de ouro, aqueles que trabalham com minérios aluvionares onde a maioria do ouro está liberado naturalmente.

Existem vários processos de dissolução de ouro que poderiam ser usados por garimpeiros. Por exemplo o uso de “manipueira”, um líquido extraído da mandioca brava, que em algumas espécies e épocas do ano (seca) apresenta teores altos de linamarina. Este composto ao ser extraído, se hidrolisa e forma HCN (aquoso). Ao alterar o pH para acima de 10, o ácido cianídrico se transforma no composto iônico CN⁻ que lixivia o ouro e não se evapora como o HCN (gas). Em laboratório, extraímos 84% do ouro⁵⁰ de um minério de uma mineração artesanal de ouro colombiana usando um efluente de mandioca com 265 ppm de CN livre. A amalgamação do mesmo minério recuperou 19% de ouro⁵¹. Este trabalho foi desenvolvido inicialmente em colaboração com a Universidade Federal da Bahia e o Centro Brasileiro de Mandioca e Fruticultura da EMBRAPA em Cruz das Almas, Bahia. A ideia de usar o efluente de mandioca para lixiviar ouro foi levada ao conhecimento de uma indústria de amido em Pernambuco (Mana Alimentos Agroindústria Ltda) que processa 400 t/dia de mandioca e gera 120 000 L/dia de efluente rico em linamarina. Essa técnica foi testada com êxito em uma operação de

⁴⁹ Projeto Ochroma (2025). Potencial biotecnológico de *Ochroma pyramidale* (Pau de Balsa) como substituto do mercúrio. <https://biogeoquimica-unir.org/projeto-ochroma>

⁵⁰ Torkaman, P. Veiga, M.M., Andrade-Lima, L.R.P., Oliveira, L.A., Motta, J.S., Jesus, J.L., Lavkulich, L. (2021). Leaching Gold with Cassava: an Option for Artisanal Miners to Eliminate Mercury Use. *J. Cleaner Production*, 311, 1275531. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.127531>.

⁵¹ Torkaman, P. and Veiga, M.M. (2023). Comparing Cyanidation with Amalgamation of a Colombian Artisanal Gold Mining Sample: Suggestion of a Modified Merrill-Crowe Process. *The Extractive Industries and Society*, 13, 101208. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2022.101208>

mineração artesanal a 80 km dessa indústria de amido⁵². Outros reagentes⁵³ ainda foram testados com excelentes resultados quando comparados a amalgamação.

O grande problema é que qualquer processo de aumento da recuperação de ouro (única coisa que interessa ao garimpeiro) e consequente eliminação do mercúrio, custa muito dinheiro e necessita conhecimentos químicos e de processamento mineral. A introdução de uma usina de processamento limpa e de alta eficiência exige capital que varia entre US\$ 30 000 e 40 000 por tonelada diária a ser processada. O custo operacional anual pode ser metade deste valor (Veiga & Gunson, 2020 – op.cit.). Por isso, o modelo de negócio de coexistência entre mineiro artesanal (na lavra) vendendo o minério baseado no teor de ouro contido para uma companhia de processamento mineral tem sido o único processo eficiente de eliminação de mercúrio. Na América Latina, pelo menos 25 mineradoras de pequeno e médio porte estão comprando rejeitos e minérios de aproximadamente 15 000 mineradores artesanais legais⁵⁴. Nesse sistema, os mineradores recebem pagamentos mais altos pelo teor de ouro em seus materiais do que receberiam se processassem o minério eles próprios usando técnicas tradicionais baseadas em mercúrio. As empresas não precisam investir em títulos de mineração e operações de mineração; no entanto, elas ajudam os mineradores artesanais a se formalizarem e minerarem com mais eficiência. O modelo é simples: os mineradores mineram, as empresas processam e extraem o ouro. O modelo se mostrou melhor quando aplicado a minérios primários, mas um caso de coexistência em minérios secundários de baixos teores foi observado na Colômbia⁵⁵.

Conclusão

Com o alto preço do ouro, onde 1 grama de ouro (US\$ 110) compra mais de 80 kg de bananas, acho difícil encontrar alguma opção melhor de emprego para 30 milhões de pessoas que vivem na Amazônia brasileira. Pela primeira vez no Brasil se viu um projeto (UNEP-USP Ouro Sem Mercúrio) fazer de maneira sistemática um balanço metalúrgico de ouro e mercúrio em 32 garimpos na Amazônia. As emissões e liberações de mercúrio pelos garimpos na Amazônia ficaram abaixo de 12 toneladas por ano, ainda alto, mas

⁵² Silva, E.M.; Barreto, M.C.S.; Veiga, M.M.; De Tomi, G. (2025). From Agro-Industrial Waste to Gold Lixiviant: Evaluating Cassava Wastewater Applications in Artisanal Mining. *Mining*, 5 (4), 64. <https://doi.org/10.3390/mining5040064>

⁵³ Torkaman, P., Veiga, M.M., Lavkulich, L.M., Klein, B. (2023). Investigation of techniques to replace amalgamation in artisanal gold mining operations. *Int. J. Sustainable Energy and Environmental Research*, 12 (2), 17-30. DOI: <https://doi.org/10.18488/13.v12i2.3422>

⁵⁴ Veiga, M.M. and Fadina, O. (2020). A Review of the Failed Attempts to Curb Mercury Use at Artisanal Gold Mining and a Proposed Solution. *The Extractive Industries and Society*, 7, 1135-1146. <https://doi.org/10.1016/j.exis.2020.06.023>

⁵⁵ Tarra, J.A., Restrepo-Baena, O., Veiga, M.M. (2022). Coexistence between conventional alluvial mining and artisanal mining to deal with problems associated with informality in the lower Nechí River Basin-Colombia. *Resources Policy*, 78, 10282. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2022.102821>.

inferior ao que se promovia em 2018 (AMAP-UNEP – op. cit), de 105 toneladas de Hg ao ano. O uso e perda de mercúrio se vê paulatinamente decrescendo, não graças ao MPF ou outro órgão do governo, mas à própria organização dos garimpeiros em cooperativas e associações e trabalhos de alguns acadêmicos e ONGs responsáveis. O ativismo ecológico não traz nenhum benefício a causa de eliminação de mercúrio. Apenas cria distanciamento entre cientistas e garimpeiros incluindo comunidades afetadas.

Acho que minha conclusão sobre a audiência pública é que o jovem jurista, e a audiência de autoridades, têm muito pouco conhecimento técnico, mas preferem falar sobre o que não sabem do que escutar ou estudar. As informações sobre mercúrio são extremamente endógenas, com pouco conhecimento do que acontece em pelo menos 80 outros países onde a mineração artesanal de ouro se desenvolve. Claramente as autoridades, ditas (por eles mesmos) tecnocráticas, têm o diagnóstico pronto antes de conhecer a opinião de outros ou dados científicos. A toxicidade do mercúrio é inegável, mas é necessário conhecer as causas para não ficar atacando somente as consequências. Queimar dragas, prender trabalhadores informais, polui ainda mais os rios e cria mais ilegalidade (ex. contrabando de mercúrio). Os mitos são abundantes nas concepções arcaicas das autoridades que pouco frequentam ou frequentaram garimpos ou escutaram as opiniões de quem trabalha no campo. Como estou há 34 anos fora do Brasil, embora frequentemente trabalhando em assuntos de garimpos e mercúrio no Brasil, senti falta de alguma posição moderadora e mais especializada no assunto. Talvez estes especialistas tenham vindo no dia anterior, 6 de outubro, e eu não pude participar. Em 2006, estando numa vila de garimpo do Tapajós, dei um curso de 4 dias a garimpeiros de como melhorar suas operações, diminuir e até eliminar o mercúrio. Um garimpeiro me comentou que em 40 anos que estava trabalhando lá, nunca tinha recebido qualquer instrução para melhorar seu trabalho. Felizmente, graças a ANORO (Sr Dirceu F. Sobrinho), ano passado vi garimpeiros utilizando meus conhecimentos em seus processos. Triste ver este atraso no meu país de origem e mais uma vez quem paga são os trabalhadores, que urgem por conhecimento e assistência técnica para evoluírem, mas recebem somente repressão.

MMVeiga

Marcello M. Veiga, P.Eng., PhD
Professor Emeritus
University of British Columbia, Vancouver, Canada
<https://mining.ubc.ca/marcello-m-veiga>