

EXPOSIÇÃO DE POPULAÇÕES RIBEIRINHAS NO BRASIL ÀS ESPÉCIES QUÍMICAS DE MERCÚRIO: CONTRIBUIÇÕES DA ESPECTROMETRIA NA AVALIAÇÃO DE AMOSTRAS

Laura Kimberly Ribeiro de Moraes*

Vanessa Nunes Alves*

Resumo: O presente estudo de revisão teve como tema "Exposição de populações ribeirinhas no Brasil às espécies químicas de mercúrio: contribuições da espectrometria na avaliação de amostras". Há décadas, no Brasil, em especial nos estados do Norte, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas de forma progressiva com a finalidade de avaliar o impacto sofrido pelas populações ribeirinhas em decorrência da exposição ao mercúrio. A presença deste metal no ambiente ocorre de distintas maneiras e pode ser desencadeada por processos naturais. Contudo, devido às ações antrópicas, a concentração do mercúrio foi e ainda é intensificada. Fato este que gera preocupações à saúde pública e ambiental, visto que o elemento possui alta toxicidade e capacidade de bioacumular e biomagnificar. Deste modo, este trabalho objetivou elucidar dados sobre análises de mercúrio em diferentes matrizes e os métodos empregados durante o processo analítico, para a realização de um monitoramento abrangente das condições às quais estas populações estão imersas nos últimos anos.

Palavras-chave: Mercúrio; Populações Ribeirinhas; Impacto Socioambiental; Espectrometria.

INTRODUÇÃO

No meio ambiente podemos encontrar de modo espontâneo elementos em baixas concentrações - como os metais, metais de transição e ametais - aos quais denominamos elementos-traço, e consideramos essenciais ou não diante de uma perspectiva biológica que se baseia no desempenho dos mesmos nos sistemas, e nos seus potenciais de toxicidade (GUILHERME, *et al.*, 2005).

O Mercúrio, ilustrado na Figura 1, é um elemento metálico não essencial, ou seja, que não possui função biológica definida, podendo apresentar efeitos tóxicos aos seres vivos. É conhecido por apresentar-se em estado líquido em condições

naturais de pressão e temperatura, como também por sua alta volatilidade e capacidade condutora de energia elétrica (FERREIRA, *et al.*, 2023).

Seu símbolo na tabela periódica é o Hg (Figura 1), proveniente de seu nome *hidragyrum*, que representa prata líquida (COSTA, 2024). Já o nome “Mercúrio”, que utilizamos na atualidade, conforme exposto por Damas (2014), foi difundido através da antiguidade egípcia, que associava os sete astros conhecidos aos sete metais identificados: Sol - Ouro, Lua - Prata, Vênus - Cobre, Marte - Ferro, Saturno - Chumbo, Júpiter - Estanho e Mercúrio – Mercúrio.

Figura 1 - Amostra de Mercúrio e identificação do metal na tabela periódica.



Fonte: adaptado de GONÇALVES, R.M., Olhar Digital, 2024 e Tabela Periódica.org

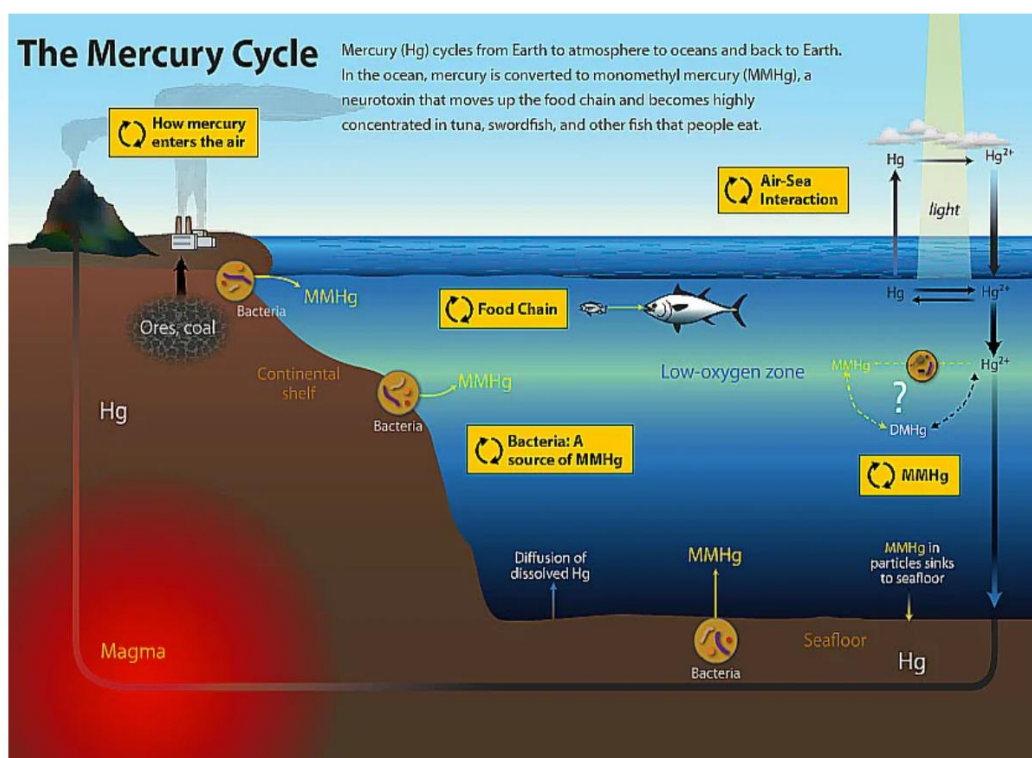
Embora ainda não tenha sido claramente elucidado na literatura, compreende-se que o ciclo deste metal no ambiente seja desencadeado por transformações físicas, químicas e biológicas de grande complexidade, e que atravessam fatores como a sua volatilização, o transporte através da cadeia alimentar, a deposição em solos oceânicos, e as suas especiações (KASPER, *et al.*, 2015).

Como podemos observar no esquema apresentado na Figura 2, segundo Bisinoti e Jardim (2004), "quando o mercúrio entra no ecossistema terrestre, parte dele pode ser volatilizado e retornado à atmosfera e parte pode ser rapidamente complexado com material orgânico".

Para complementar esta afirmativa, estudos realizados por Costa (2024) indicam que o mercúrio é encontrado de modo abundante em estado elementar (Hg^0) possuindo grandes chances de dispersão na camada de ar da Terra, podendo alcançar, inclusive, áreas remotas. Contudo, em aproximadamente um ano ele tende

a oxidar-se a Hg^{2+} e a dissolver-se em vapor d'água, depositando-se por precipitação em meios terrestres (60%) e aquáticos (40%) (FARRIPAS, 2010; SOUZA, 2019).

Figura 2 - Representação do Ciclo do Mercúrio: transformação entre a camada de ar, líquida e sólida da Terra, e fluxo através dos seres vivos.



Fonte: MESQUITA, Mar Sem Fim, 2018.

Deste modo, o mercúrio encontra-se disponível no meio para formar compostos orgânicos e inorgânicos, os quais chamamos espécies químicas, que possuem considerável capacidade de absorção pelos organismos, em ênfase, os aquáticos (BISINOTI, M.C.; JARDIM, W.F., 2004).

As espécies de mercúrio inorgânico podem se formar a partir do potencial de ganhar ou perder elétrons ocasionado pelo meio, e pela afinidade de compostos pelos íons mercúricos Hg^{2+} (mercúrico) e Hg_2^{2+} (mercuroso) (MOREL *et al.*, 1998). Já as espécies orgânicas, ocorrem por meio de processos fotoquímicos ou por ação catalizadora de microorganismos (bactérias) associados ao ambiente, sendo o principal alvo de pesquisas, a espécie denominada metil-mercúrio (MeHg), por sua alta toxicidade (MOREL *et al.*, 1998).

Em águas superficiais não poluídas, a concentração de Hg é de 1 a 20 ppt, sendo a maior parte cátions divalentes (Hg^{2+}) complexados com ligantes

orgânicos (grupos alquila, ácidos húmicos) ou inorgânicos (cloretos, cloratos, sulfetos, sulfatos, hidróxidos, óxidos). Na fase sólida, em solos e sedimentos, as concentrações de Hg variam de 50 a 500 ng.g⁻¹ (ppb), e geralmente 0,1 a 10% do total é MeHg. Em áreas contaminadas com o metal, essa concentração chega a ser até 50 vezes maior (BECKERS; RINKLEBE, 2017 *apud* SOUZA, 2019).

A incidência deste metal no meio em que vivemos ocorre de distintas maneiras. Pois, ainda que o mercúrio possua uma origem natural, o ser humano intensificou sua presença. Apesar de não ser essencial para os processos biológicos, suas características físico-químicas propõem atratividade para diversos setores, como o farmacêutico, odontológico, de mineração, industrial etc, o que ocasionou um uso indiscriminado por décadas, e ainda, em muitos casos, ilegal.

Dentre as fontes naturais podemos citar as erupções vulcânicas, os incêndios florestais, os combustíveis fósseis e o minério cinábrio - minério que contém sulfeto de mercúrio (HgS) (FERREIRA, *et al.*, 2023). A utilização antrópica deu-se inicialmente a partir do cinábrio, como pigmento em pinturas rupestres, em sequência, o uso do mercúrio se ampliou como amálgama de outros metais, bem como para fim industrial na fabricação de cloro e hidróxido de sódio, corantes, fungicidas, lâmpadas fluorescentes, termômetros e termostatos, pilhas baterias (DAMAS, *et al.*, 2014). Sais de mercúrio inorgânico também foram utilizados no mercado farmacêutico para compôr cosméticos e diuréticos, contudo, seu uso foi descontinuado por promoverem complicações renais, gástricas e intestinais naqueles que faziam a sua administração (FARRIPAS, 2010).

A formação de amálgama supracitada foi um dos motivos que levou o mercúrio a se difundir em atividades garimpeiras, visando a extração de outros metais, como ouro e prata de solos e águas em todo o território brasileiro, especialmente na Amazônia. Um dos maiores impactos ambientais desenvolvidos neste processo ocorre pelo fato do mercúrio utilizado ser liberado como rejeito em rios e, sobretudo, na atmosfera por meio do vapor liberado durante o aquecimento para desunir o ouro do mercúrio (FERREIRA, *et al.*, 2023). Embora as atividades garimpeiras tenham sofrido um pequeno decréscimo, o garimpo segue ocorrendo de forma preocupante, sendo ainda um dos maiores meios de contaminação ambiental por mercúrio, além de possuir coadjuvantes como desmatamentos e incêndios por causas não naturais.

Ademais, projetos que visam o desenvolvimento energético na região hidrográfica amazônica podem aumentar as concentrações de Hg e favorecer a composição de um ambiente para a introdução do mesmo na cadeia trófica, por biomagnificação, através da espécie metil-mercúrio (RUIZ, 2014). Nas últimas décadas, tem sido discutida a relação entre a construção e operação de hidrelétricas e o aumento da concentração de Mercúrio no meio ambiente, pois estudos indicam que as hidrelétricas favorecem a criação de áreas de alagamento e o soerguimento do metal que havia sido acumulado no solo ao longo do tempo (RUIZ, 2014).

Em um estudo publicado na revista “Ecotoxicology and Environmental Safety”, ao analisar o histórico da região de proximidade das comunidades ribeirinhas de Tucuruí, os pesquisadores constataram a existência de vários pontos de mineração e nenhum deles estava ligado à extração do ouro. A partir disso, sugeriram que a principal fonte de contaminação seria decorrente do efeito indireto provocado pelas barragens de Tucuruí, ou seja, a construção dessas barragens cria ecossistemas fechados que periodicamente são inundados (GOMES *et al.*, 2021)

Além de propiciarem o aumento da concentração de Hg nos sedimentos, as barragens impedem a migração de peixes, fazendo com que o metal se acumule no organismo ao longo de sua vida, ou seja, que bioacumule; a área sofre também uma intensificação da presença de macrófitas - vegetais fundamentais para atividades de microorganismos, e que possuem radicais metila utilizados no processo de metilação por bactérias -, (BARROS, 2025). Como explicado por Miranda, 2007 “As comunidades microbianas associadas às raízes de macrófitas aquáticas apresentam uma alta taxa de metilação do mercúrio”.

Estudos evidenciam que a metilação está altamente relacionada a fatores como pH ácido, disponibilidade de matéria orgânica decomposta e salinidade baixa (MIRANDA, *et al.* 2007). Sabe-se que os rios da Amazônia são comumente ácidos, gerando condições ideais para que bactérias rapidamente metilem o Hg e, deste modo, contamine a biota aquática (vegetais e animais) e, por consequência, os seres humanos que consomem os recursos daquele ambiente (FERREIRA, *et al.*, 2023).

Por este motivo, pesquisas voltadas para o norte do país, com destaque nos rios e lagoas da Amazônia, como exemplo, Tapajós, Machado e Madeira, Pururuzinho etc, têm sido desenvolvidas desde a década de 80, e gerado alertas para a saúde de

indígenas e ribeirinhos que trabalham e se alimentam da pesca local (WASSERMAN, *et al.* 2001). Em muitos resultados, têm sido evidenciados valores de concentração acima do limite estabelecido pela OMS e ANVISA para consumo seguro de pescado, que é de 0,5 µg/g e 1,0 µg/g para espécies não predadoras e predadoras respectivamente (BASTA, *et al.* 2023; ROCHA, 2025). Há variáveis que modificam o nível de exposição dos indivíduos, como: a etapa da biomagnificação do animal consumido, ou seja, o posicionamento trófico; o tempo de vida, tamanho e peso do peixe (fatores que afetam a bioacumulação); tipo de pescado (diferentes espécies, sazonalidade e local de pesca) e a quantidade (BOISCHIO *et al.* 1993; KASPER *et al.* 2007).

Segundo ROCHA, 2025, os efeitos associados à intoxicação ou exposição contínua de altas concentrações de mercúrio - principalmente sua forma organometálica - nos seres humanos envolvem “sintomas neurológicos e emocionais, como depressão, insônia, ansiedade, parestesias, tremores, fraqueza muscular e distúrbios de equilíbrio”. Além de serem acometidos o sistema nervoso (central e periférico) promovendo perda de memória, e, devido a grande afinidade lipídica, o Hg consegue permear as membranas celulares, afetando, deste modo, pulmões, aparelho digestivo, rins, o sistema imune; e podendo, para finalizar, comprometer a visão, audição e cérebros de bebês, quando as mães gestantes se expõem (KASPER *et al.* 2007; FERREIRA *et al.*, 2023).

A fim de se quantificar ou detectar o nível ao qual as populações estão expostas às espécies de mercúrio, a comunidade científica pode utilizar diferentes métodos analíticos com base na espectrometria – fundamenta-se na quantidade de radiação emitida ou absorvida por átomos ou moléculas do analito - associada a variadas técnicas de injeção de amostra, e aplicá-los às mais distintas matrizes ambientais e biológicas (sedimentos, tecido muscular, fígado, água, urina, sangue, leite, cabelo etc) (FERREIRA *et al.*, 2023; COSTA, 2024).

Dentre os métodos de injeção amostral mais utilizados, podemos citar: Vaporização a Frio (CV), Geração de Hidretos (HG) e Plasma Indutivamente Acoplado (ICP). A respeito dos métodos, estes variam entre: Espectroscopia UV-Visível (UV-VIS), Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS), Espectroscopia de Emissão Atômica (AES) e Espectrometria de Massas (MS), Espectrometria de Absorção

Atômica por Amalgamação de Decomposição Térmica (TDA-AAS) ou Direta de Mercúrio (DMA), e Espectroscopia de Fluorescência Atômica (AFS) (COSTA, 2024).

Deste modo, ao se combinar estrategicamente os métodos de detecção com os de injeção, torna-se viável a obtenção de resultados, que posteriormente, são qualitativamente analisados pelos pesquisadores. A escolha da técnica a ser empregada dar-se-á pelo tipo de amostra que será utilizada, o analito de interesse, possibilidades de armazenamento e tratamentos pré-analíticos, e pelas condições de acessibilidade e fomento, pois alguns métodos são mais custosos que outros. Além de serem selecionados por sua confiabilidade, eficiência, precisão e rapidez (COSTA, 2024).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

No ano de 2021, foi publicado um estudo realizado por Vasconcellos *et al.* em vilarejos da Terra Indígena Sawré Muybu, da comunidade indígena Munduruku, na região do Médio do Tapajós na Amazônia, onde evidenciaram o potencial do mercúrio para biomagnificação ao longo dos diferentes níveis tróficos e para bioacumulação entre peixes de diferentes tamanhos dentro de um mesmo nível trófico. A concentração de mercúrio total (THg), em músculo de peixe, encontrado nesta pesquisa foi quantificada por CVAAS, e após tratamentos estatísticos, os resultados podem ser avaliados na Tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Caracterização das espécies de peixes analisadas e concentração média de mercúrio quantificada. Peixes capturados em 2019.

Fish Species	Popular Name	N	Size (cm)	Weight (g)	Trophic Level	Hg (µg/g) (SD)	Min-Max (Hg)
<i>Serrasalmus rhombeus</i>	Piranha Preta	6	17–34.5	140–1305	Piscivorous	0.71 (±0.61)	0.33–1.95
<i>Pseudoplatystoma fasciatum</i>	Surubim	6	23.8–45	141–907	Piscivorous	0.24 (±0.15)	0.13–0.45
<i>Pirirampus pirinampu</i>	Barbado	8	17.3–42	109–961	Piscivorous	0.49 (±0.14)	0.31–0.75
<i>Cichla ocellaris</i>	Tucunaré	6	25–29	347–571	Piscivorous	0.33 (±0.06)	0.22–0.41
<i>Rhaphiodon vulpinus</i>	Peixe Cachorro	2	39–41	328–469	Piscivorous	0.66 (±0.48)	0.32–1.00
<i>Ageneiosus inermis</i>	Mandubé	1	33	550	Piscivorous	0.6	-
<i>Pachyurus junki</i>	Corvina	1	20.5	148	Piscivorous	0.14	-
<i>Geophagus proximus</i>	Caratinga	10	10.5–18.5	36–171	Omnivorous	0.07 (±0.03)	0.03–0.10
<i>Pimelodus blochii</i>	Mandii	7	14.5–17.3	60–84	Omnivorous	0.20 (±0.05)	0.13–0.28
<i>Leporinus fasciatus</i>	Aracu Flamengo	5	17.7–23.3	102–244	Omnivorous	0.09 (±0.02)	0.05–0.11
<i>Caenotropus labyrinthicus</i>	João Duro	6	13.7–14.8	63–73	Omnivorous	0.28 (±0.07)	0.17–0.39
<i>Hemiodus unimaculatus</i>	Charuto	1	17.5	95	Omnivorous	0.02	-
<i>Schizodon vittatus</i>	Aracu	4	21.3–27.3	163–351	Herbivorous	0.03 (±0.01)	0.02–0.04
<i>Myloplus rubripinnis</i>	Pacu Branco	7	12.5–20.5	89–390	Herbivorous	0.02 (±0.03)	0.01–0.07
<i>Semaprochilodus insignis</i>	Jaraqui Escama Grossa	6	21–23.5	223–329	Detritivorous	0.11 (±0.05)	0.05–0.16
<i>Prochilodus nigricans</i>	Curimatá	6	20.5–24	253–369	Detritivorous	0.07 (±0.02)	0.04–0.10
<i>Curimata sp.</i>	Branquinha	6	12.7–14	64–85	Detritivorous	0.09 (±0.03)	0.06–0.13

Fonte: VASCONCELLOS *et al.* 2021

Para além, foi constatado que 96% das famílias que compõem a comunidade consomem pescado pelo menos três vezes na semana, e que as espécies pescadas

variam com a estação de seca e chuva, sendo o surubim mais consumido nesta, e caratinga e curimatá naquela (VASCONCELLOS *et al.* 2021). Em síntese, após realizar cálculos para obtenção de valores diários e semanais de consumo, a pesquisa sugere que a população ingere quantidades acima do indicado como seguro pela OMS, e em cenários mais sensíveis, como os de mulheres gestantes, estas podem chegar a ingerir cerca de 10 vezes mais mercúrio que o valor de segurança (VASCONCELLOS *et al.* 2021).

As espécies *Cichla spp* e *Plagioscion squamosissimus* foram utilizadas como amostras para comparação sazonal de concentração de Hg no rio Tapajós. Como resultado da pesquisa, durante a seca *Cichla spp* teve concentração média de THg igual a 0,62 µg/g e *Plagioscion squamosissimus* de 0,73 µg/g, já durante o período de chuva *Cichla spp* apresentou 0,39 µg/g e *Plagioscion squamosissimus* 0,54 µg/g (OLIVEIRA *et al.*, 2022). Além dos resultados promoverem um alerta para o consumo destes peixes, nos evidencia a influência da sazonalidade nos resultados analíticos.

Análises voltadas para a área do rio Tapajós vêm ocorrendo há muitos anos, e os padrões seguem similares. Em 1998, também foram apresentadas diferenças significativas entre as concentrações de Hg em peixes carnívoros e não carnívoros, e resultados de mesma magnitude entre áreas com foco de contaminação por atividades de garimpo e áreas mais longínquas, e este último dado sugere que a deposição atmosférica pode afetar lugares mais remotos e ainda assim, colocar em risco a população de distintas áreas, mas que tenham ingestão considerável de pescado (CASTILHOS *et al.*, 1998).

Em consonância, pesquisas destacam que a concentração de THg na água está diretamente relacionada a quantidade de partículas em suspensão, e fatores como quantidade de matéria orgânica interferem na concentração de MeHg da água, sedimentos e plânctons, podendo assim, haver variações que impliquem nas concentrações de mercúrio em posicionamentos tróficos diferentes da cadeia alimentar (Lino *et al.*, 2019). Corroborando, deste modo, com o explicado por Kasper *et al.* (2007): fatores bióticos e abióticos influenciarão na concentração de Hg em peixes.

Uma das espécies de peixe mais consumidas pelas comunidades que vivem próximas à bacia hidrográfica do Rio Teles, na Amazônia, a *Brycon falcatus*, conhecida popularmente como matrinxã, foi coletada entre os anos de 2014 e 2016

para ser utilizada como objeto de pesquisa a fim de se avaliar a exposição ao Hg, e a determinação do metal foi realizada também por CVAAS (MATOS *et al.* 2018).

Embora a concentração média de 0,052 µg/g encontrada no tecido muscular durante a pesquisa supracitada esteja abaixo do valor recomendado pela OMS para ao consumo de até 250 g por semana, sabe-se que esta quantidade não é a real dentro da dieta de ribeirinhos e indígenas, que pode, inclusive, chegar a 340 g por dia, tendo-se, portanto, um risco eminente (MATOS *et al.* 2018).

De acordo com consultas bibliográficas realizadas por BARROS, *et al.* (2025) com relação aos peixes analisados com procedência do rio Xingu, as espécies apontadas com elevados níveis de mercúrio foram: *Phractocephalus hemioliopterus* (pirarara) com 1,82 µg/g e *Boulengerella cuvieri* (bicuda) 1,42 µg/g.

Pesquisas recentes nestas e em outras áreas têm gerado resultados preocupantes. Segundo BASTA *et al.* (2023), em seu estudo que abrangia 17 municípios da Amazônia, “mais de um quinto (21,3%) dos peixes comercializados nos centros urbanos avaliados, e que chegam à mesa das famílias na região Amazônica, têm níveis de mercúrio acima dos limites seguros estabelecidos [...]”, com maior severidade para as cidades dos estados Roraima, Rondônia e Acre, e, em todo caso, as espécies não carnívoras possuíam concentrações médias menores que as carnívoras. Os resultados podem ser verificados na Tabela 2 abaixo.

Tabela 2 – Concentração média de Hg em músculo de peixes capturados nos estados amazônicos entre 2021 e 2022.

Estado	Nº de Peixes	Nº de Espécies	Média Hg µg/g (D.P)	Média Hg µg/g Carnívoros (n)	Média Hg µg/g Não-carnívoros (n)	% ≥ 0,5 µg/g
Acre	78	25	0,58 (0,97)	1,06(40)	0,08(38)	35,90
Amapá	114	27	0,18 (0,25)	0,27 (74)	0,02 (40)	11,40
Amazonas	262	34	0,34 (0,49)	0,67 (108)	0,11 (154)	22,50
Pará	393	47	0,27 (0,43)	0,48 (183)	0,08 (210)	15,80
Rondônia	88	28	0,45 (0,80)	0,84 (40)	0,13 (48)	26,10
Roraima	75	27	0,55 (0,65)	0,87 (43)	0,12 (32)	40,00
Região Amazônica	1010	80	0,34 (0,56)	0,60 (488)	0,09 (522)	21,3

Fonte: Adaptado de BASTA *et al.* (2023).

Todos estes dados têm sido avaliados há anos pela comunidade científica, em diversas matrizes e por distintas técnicas. Inclusive, alguns resultados já têm sido associados a condições clínicas de habitantes que vivem nas proximidades dos rios, fato este que tem promovido maiores preocupações com relação a saúde da população local, de modo geral, e aos grupos sensíveis como crianças e gestantes.

Pesquisas associaram quadros de anemia em crianças e adolescentes de uma comunidade indígena, aos valores de Hg encontrados em amostras de cabelo (VIANNA *et al.*, 2022). Ademais, como podemos observar no estudo realizado por GOMES *et al.*, 2021:

Ao analisar três comunidades ribeirinhas na Amazônia, sendo elas de tais localidades: São Luiz do Tapajós, Barreiras e Furo do Maracujá, observou-se a incidência de manifestações clínicas neurológicas, variando as frequências conforme a comunidade analisada. A exemplo daquelas estão: fraqueza nas pernas, alteração da marcha, alteração de nervos cranianos, diminuição da sensibilidade tátil e dolorosa e adormecimento das [...] ao analisar queixas motoras e emocionais nos ribeirinhos associadas às concentrações de Hg, a frequência foi maior em Barreiras e São Luiz do Tapajós, ambas na região de Itaituba (GOMES *et al.*, 2021)

MATERIAIS E MÉTODOS

Para a confecção deste trabalho de conclusão de curso, foi desenvolvido um estudo bibliográfico a fim de reunir dados científicos sobre a exposição de populações ribeirinhas ao mercúrio, em todas as suas especiações, trazendo como ênfase o método analítico que contribuiu para a exposição de resultados quantitativos, como a espectrometria, para posteriormente serem qualitativamente analisados. Para compor este estudo foram utilizados artigos científicos, livros, revistas, dissertações, teses, trabalhos de conclusão para pós graduações de fontes confiáveis.

RESULTADOS

As condições de biomagnificação e bioacumulação apresentadas refletem notoriamente o resultado de atividades antrópicas, principalmente as de garimpo e criação de represas, que, por consequência, tornam o ambiente aquático uma potencial fonte local para a intoxicação humana por mercúrio, visto que é deste ambiente que recursos de subsistência, trabalho e base proteica são adquiridos pelas comunidades indígenas e ribeirinhas.

De acordo com Rocha (2025), 87,4% das pessoas que vivem próximas ao rio Madeira e Tapajós possuem o consumo aproximado de pescado com frequência maior que duas vezes semanais, e 70,5% fazem pelo menos três refeições diárias

com peixe, o que leva a um risco maior de exposição. Devido a isto, estudos voltados para casos clínicos e concentração de Hg têm sido desenvolvidos ao passo que análises ambientais ocorrem.

Por meio da revisão bibliográfica, foi possível evidenciar que os métodos espectrométricos associados às técnicas pré-analíticas desenvolvidas, tornam viável a quantificação do mercúrio presente em diferentes tipos de amostras utilizadas nos estudos científicos, que por vezes, encontram-se acima do tolerado.

Lino *et al.* (2019) utilizou, em um estudo que aborda diferentes pontos do rio Tapajós, o método de Espectrometria de Fluorescência com Vapor Frio (CVASF) para quantificar THg e MeHg em amostras de água não filtradas, e para amostras sólidas como, material particulado em suspensão, sedimentos, plânctons e músculo de peixes, o THg foi quantificado por CVAAS com Sistema de Injeção em Fluxo de Mercúrio (FIMS) e o MeHg, após ser realizada a etilação em fase gasosa e separação por Cromatografia Gasosa (CG), foi quantificado por CVASF.

Com o objetivo de determinar a concentração de mercúrio total em músculo e fígado de *Plagioscion squamosissimus* provenientes do médio Rio Machado, Costa *et al.* (2022) usou as técnicas CVAAS com FIMS, obtendo-se concentrações com correlação positiva ao comprimento dos peixes, e valores médios de THg muscular ($1,09 \pm 0,72 \mu\text{g/g}$) e hepático ($1,28 \pm 1,23 \mu\text{g/g}$), ou seja, cima de $0,5 \mu\text{g/g}$. Deste modo, infere-se que o ambiente amazônico necessita de monitoramento contínuo.

CONCLUSÕES

A poluição na Amazônia por mercúrio possui grande associação às atividades de mineração e garimpo ilegal. Devido ao quadro em que se encontra, e neste trabalho descrito, políticas públicas que vetem estes tipos de atividade na Amazônia precisam ser implementadas com eficiência e vigilância. Para além, faz-se necessário o desenvolvimento de estratégias para a reduzir a exposição das comunidades ribeirinhas e indígenas às altas concentrações. Visto que é uma temática de saúde ambiental e pública. Por fim, para um controle dos índices de concentrações de mercúrio de toda a biota e do meio que a cerca, é impreterível que análises sejam realizadas continuamente.

REFERÊNCIAS

- ANVISA – Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 42, de 29 de agosto de 2013**. Brasília, 2013.
- BARROS, L.S. *et al.* **Níveis De Mercúrio Em Peixes Disponíveis Para Consumo Das Populações Ribeirinhas Do Estado Do Pará, Região Amazônica**. Meio Ambiente & Biodiversidade. Acta Biologica Brasiliensia, v. 8, n. 1. 2025
- BASTA, P.C. *et al.*, **Análise Regional dos Níveis de Mercúrio em Peixes Consumidos pela População da Amazônia Brasileira**. Nota Técnica. Ensp/, UFOPA, Greenpeace Brasil, Iepé, Instituto Socioambiental e WWF-Brasil. Mai. 2023
- BECKERS, F.; RINKLEBE, J. **Cycling of mercury in the environment: Sources, fate, and human health implications: A review**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 47, n. 9, p. 693–794, 3 maio 2017.
- BISINOTI, M.C.; JARDIM, W.F. **O COMPORTAMENTO DO METILMERCÚRIO (METILHg) NO AMBIENTE**. Química Nova, Vol. 27, No. 4, 593-600, 2004.
- BOISCHIO, A. A. P. & BARBOSA, A. **Exposure to Organic Mercury in Riparian Populations on the Upper Madeira River, Rondonia, Brazil, 1991: Preliminary Results**. Cad. Saúde Públ., Rio de Janeiro, 9 (2): 155-160, Apr/Jun, 1993.
- CASTILHOS, Z.C.; BIDONE, E.D.; LACERDA, L.D.; **Increase of the Background Human Exposure to Mercury Through Fish Consumption due to Gold Mining at the Tapajós River Region, Pará State, Amazon**. Bull. Environ. Contam. Toxicol. 1998.
- COSTA, C.M.N. **Uma revisão das técnicas analíticas para a determinação de mercúrio a diferentes matrizes**. Trabalho de Conclusão de Curso – Instituto de Ciências Exatas, Universidade Federal Fluminense, Volta Redonda, 2024.
- COSTA, I.D.; *et al.* **Mercury in muscle and liver of Plagioscion squamosissimus (Acanthuriformes: Sciaenidae) from the Machado River, Brazilian Amazon**. Acta Amazonica 52: 60-68. 2022.
- DAMAS, G.B.; BERTOLDO, B.; COSTA, L.T. **Mercúrio: da antiguidade aos dias atuais**. Revista virtual de química, v. 6, n. 4, p. 1010-1020, 2014.

- FARRIPAS, S.S.M. **Aspectos epidemiológicos da exposição ao mercúrio na região do Tapajós, no período de 1994 a 2008.** Dissertação de Mestrado – Pós Graduação em Doenças Tropicais, Universidade Federal do Pará, 2010.
- FERREIRA, G.L.A; BRABO, J.C. **Mercúrio: noções básicas e propostas de atividades para aulas de química,** 2023. EduCAPES. Disponível em: <https://educapes.capes.gov.br/bitstream/capes/731733/2/2023_Produto%20Educativo_Gabriel%20Lucas%20dos%20Anjos%20Ferreira.pdf>. Acesso em 21 Dez. 2025.
- FRANCISCO, J. S. **O ciclo do mercúrio nos ecossistemas tropicais.** Revista Ciência & Ambiente, v. 53, p. 25–39, 2021.
- GUILHERME, L.R.G. *et al.* **Elementos-traço em solos e ambientes aquáticos.** Tópicos Ci. Solo. 4: 345-390. 2005. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/230683147_ELEMENTOS-TRACO_EM_SOLOS_E_SISTEMAS_AQUATICOS>. Acesso em 21 Dez. 2025.
- GOMES, B.L.C. *et al.* **Análise temporal da exposição ao mercúrio na população ribeirinha da Amazônia: revisão integrativa** Revista Eletrônica Acervo Saúde, Vol. 13, 2021.
- GONÇALVES, R.M., Olhar Digital. **Contaminação por mercúrio: o que é e como ocorre?** 2024. Disponível em <<https://olhardigital.com.br/2024/04/12/medicina-e-saude/contaminacao-por-mercuro-o-que-e-e-como-ocorre/>>. Acesso em: 02 Jan. 2026
- LINO, A.S. *et al.* **Total and methyl mercury distribution in water, sediment, plankton and fish along the Tapajós River basin in the Brazilian Amazon.** Chemosphere, Elsevier. 2019
- KASPER, D. *et al.* **Metodologias de Coleta, Preservação e Armazenamento de Amostras de Água para Análise de Mercúrio - Uma Revisão.** Química Nova, Vol. 38, Nº 3, 410-418, 2015.
- KASPER, D. *et al.* **Mercúrio Em Peixes – Fontes E Contaminação.** Oecol. Bras., 11 (2): 228-239, 2007.

- MATOS, L.S. *et al.* **Assessment of mercury contamination in Brycon falcatus (Characiformes: Bryconidae) and human health risk by consumption of this fish from the Teles Pires River, Southern Amazonia.** Neotropical Ichthyology, 2018.
- MESQUITA, J. L. **Consumo de peixes e o mistério do ciclo do mercúrio.** Mar sem fim, 2018. Disponível em: <<https://marsemfim.com.br/consumo-de-peixes-e-ciclo-do-mercuro/>>. Acesso em 26 Dez. 2025.
- MIRANDA, M.R. *et al.* **Mercúrio em sistemas aquáticos: Fatores Ambientais que Afetam a Metilação.** Oecol. Mercúrio em Sistemas Aquáticos, Bras., 11 (2): 240-251, 2007.
- MOREL, F. M. M., *et al.* **The chemical cycle and bioaccumulation of mercury.** Annual Review of Ecology and Systematics, v. 29, p.543-566, 1998.
- OLIVEIRA R.B., *et al.* **Fish consumption habits of pregnant women in Itaituba, Tapajós River basin, Brazil: risks of mercury contamination as assessed by measuring total mercury in highly consumed piscivore fish species and in hair of pregnant women.** Arch Ind Hyg Toxicol. 2022
- ROCHA, S.A.M. **Poluição por Mercúrio e seus Efeitos Sobre a Saúde Humana na Região Amazônica.** Revista Foco. v.18 n.6, p.01-07, 2025.
- RUIZ, C.M.V. **Interações mercúrio-selênio: uma abordagem integrada de Avaliação de Exposição ao Mercúrio em populações ribeirinhas no município de Porto Velho, Rondônia.** Tese de Doutorado. Programa de Pós-graduação em Química da PUC-Rio, Rio de Janeiro, 2014.
- SOUZA, J.P.R; **Determinação de metilmercúrio em cabelos de comunidades indígenas e ribeirinhas.** Dissertação de Mestrado – Programa de Pós Graduação em Química, Universidade de Brasília, 2019.
- VASCONCELLOS, A.C.S. *et al.* **Health Risk Assessment of Mercury Exposure from Fish Consumption in Mundurucu Indigenous Communities in the Brazilian Amazon.** Int J Environ Res Public Health, 2021.
- VIANNA A.S. *et al.* **Anemia in Indigenous youth from an Amazonian community in Brazil exposed to mercury during a major environmental impact from gold mining activities.** Cad Saúde Colet, 2024.
- WASSERMAN, J.C. *et al.* **O Ciclo do Mercúrio no Ambiente Amazônico.** Mundo e Vida. Vol. 2. 2001.