

ANÁLISE CRÍTICA DAS LEGISLAÇÕES BRASILEIRAS SOBRE MERCÚRIO E ANÁLISE QUANTITATIVA DE EMPREGO DE AAS E AES PARA DETERMINAÇÃO DE MERCÚRIO EM AMOSTRAS DIVERSAS

Leonardo da Silva Gonçalves

Tatyanne Kelly Souto Alves

Vanessa Nunes Alves

Resumo: O presente trabalho tem como foco a análise crítica das legislações brasileiras a cerca da exposição ao mercúrio, metal altamente tóxico e de característica bioacumulativa no organismo humano. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliográfica em bases como SciELO, LILACS, PubMed e PubMed Central, Google Acadêmico, Repositório das Universidades Federais de Santa Maria, Santa Catarina e Uberlândia, Universidade de Brasília, International Journal of Environmental Research and Public Health, Periódico CAPES e Multidisciplinary Digital Publishing Institute, contemplando artigos científicos e trabalhos acadêmicos publicados entre 1983 e 2025. Foram selecionados estudos que abordam técnicas de determinação de mercúrio em organismos biológicos (espécimes aquáticos e humanos), amostras sólidas, líquidas e gasosas, com foco para métodos como a espectroscopia de absorção atômica (AAS) e a espectroscopia de emissão atômica (AES). A pesquisa se dividiu em dois objetivos principais: Identificar qual das técnicas é mais utilizada para determinação de mercúrio em determinado tipo de amostras através de uma análise quantitativa dos resultados encontrados; Fazer uma análise crítica da legislação brasileira atual a cerca dos níveis de mercúrio permitidos em determinados meios com impacto socioambiental.

Palavras-chave: Legislação Brasileira; Determinação de Mercúrio; AAS; AES

INTRODUÇÃO

O mercúrio (Hg), é um metal comumente encontrado na natureza sob forma do mineral cinábrio. Tem peso molecular elevado, é popularmente conhecido e ao mesmo tempo tem-se pouco conhecimento sobre sua alta toxicidade. As fontes de exposição desse metal podem advir de erosões, atividade vulcânica (que atualmente não há existência predominante no Brasil, mas no passado existiram muitas) e principalmente de formas antropogênicas (Mineração, baterias, amalgamas

dentárias, lâmpadas, equipamentos de saúde, manejo de resíduos, queima de carvão, produção de cimento, refino de óleo e processos industriais).

Entre outros, a maior parte da exposição humana vem da ingestão de peixes contaminados, liberação de gases de amálgamas dentais ou exposição ocupacional (por exemplo, mineração de ouro) (VIANNA *et al.*, 2019).

É um elemento metálico, de cor prateada, denso, com elevada tensão superficial. Na temperatura ambiente se apresenta na forma líquida, apresentando ponto de fusão de $-38,8^{\circ}\text{C}$ e de ebulição de 356°C . Muitas de suas características mineralógicas não são aplicadas a este metal pelo fato dele se apresentar na forma líquida. O mercúrio não possui estrutura cristalina ou plano de clivagem, nem há definição de seu grau de dureza. Dissolve-se facilmente em prata, ouro, chumbo e metais alcalinos, formando ligas consistentes, por isto é muito utilizado em mineração (IDE, 1986).

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Regulamentação internacional.

O mercúrio é um elemento químico reconhecido mundialmente por seu alto potencial tóxico, com efeitos adversos que vão desde alterações neurológicas e renais até impactos hematológicos significativos, como evidenciado por Vianna *et al.* (2019) em uma revisão sistemática que avaliou mais de nove mil pessoas expostas ao metal. Essa preocupação global levou à criação de marcos legais e sanitários com o objetivo de limitar a presença de mercúrio em produtos de consumo humano, abrangendo alimentos, água potável, cosméticos, medicamentos fitoterápicos e produtos odontológicos.

No campo da segurança alimentar, a Organização Mundial da Saúde (OMS), em parceria com a *Food and Agriculture Organization* (FAO), estabeleceu, através do *Codex Alimentarius*, os limites máximos toleráveis para ingestão de mercúrio. A ingestão semanal tolerável provisória (PTWI) para metilmercúrio foi fixada em 1,6 microgramas por quilograma de peso corporal, enquanto para o mercúrio inorgânico, o limite é de 4 microgramas por quilograma por semana. Esses parâmetros visam

proteger a saúde pública, considerando a bioacumulação do metal em cadeias alimentares aquáticas. Contudo, estudo como o de Jesus e colaboradores (2018), realizado em populações expostas no Centro-Oeste brasileiro, revela que mesmo dentro desses limites, os níveis de mercúrio encontrados na urina podem ser preocupantes, evidenciando a fragilidade desses parâmetros em populações com dietas baseadas em pescado.

No que tange à água potável, a OMS estabeleceu o valor de 0,006 mg/L como limite máximo de mercúrio inorgânico. Embora esse parâmetro seja internacionalmente adotado, a capacidade de monitoramento contínuo em comunidades rurais e periféricas permanece limitada, contribuindo para o risco de exposição crônica.

Em relação aos cosméticos, a Convenção de Minamata, um dos marcos mais importantes da regulamentação internacional sobre mercúrio, estabeleceu a proibição da utilização intencional de mercúrio em produtos cosméticos, com exceção de itens específicos destinados à área dos olhos, nos quais o mercúrio pode ser utilizado como conservante em concentrações inferiores a 0,007%. No entanto, a Quinta Conferência das Partes da Convenção (COP-5), realizada em 2023, aprovou a eliminação completa do limite de 1×10^{-1} mg/kg anteriormente tolerado para cosméticos clareadores de pele, proibindo qualquer nível detectável de mercúrio nesses produtos. Essa mudança foi motivada por estudos que demonstraram níveis alarmantes de mercúrio em cosméticos clandestinos, com concentrações que chegaram a ultrapassar $1,6 \times 10^{-4}$ mg/kg, segundo dados divulgados em relatórios da Organização das Nações Unidas para o Meio Ambiente.

No segmento dos medicamentos fitoterápicos e produtos naturais, a OMS recomenda o limite de 1×10^{-1} mg/kg de mercúrio tanto na matéria-prima quanto no produto final. Países como Canadá, China e Tailândia adotam regulamentações semelhantes. Apesar disso, o controle efetivo da presença de mercúrio nesses produtos ainda é limitado, especialmente considerando a comercialização informal de fitoterápicos em muitos países latino-americanos.

No campo odontológico, as legislações internacionais vêm avançando. A União Europeia, por exemplo, aprovou uma regulamentação que proíbe totalmente o uso de amálgamas dentárias contendo mercúrio desde janeiro de 2025, com um período de transição para adaptação até 2026. Essa medida alinha-se às diretrizes

da Convenção de Minamata, que recomenda a eliminação gradual do uso de mercúrio em procedimentos odontológicos, visando à proteção de profissionais da saúde e pacientes, além da redução da contaminação ambiental.

Complementarmente, equipamentos como lâmpadas fluorescentes, baterias, termômetros e outros dispositivos contendo mercúrio estão sendo progressivamente banidos do mercado global, com cronogramas de eliminação que variam entre 2025 e 2027, conforme estipulado tanto pela Convenção de Minamata quanto por legislações regionais, como a União Europeia e os Estados Unidos.

Do ponto de vista crítico, mesmo com avanços legislativos significativos, as normas atuais ainda mantêm a lógica de aceitação de limites mínimos de exposição, o que contraria o princípio da precaução em saúde pública. Faria (2003), em revisão sobre mercurialismo ocupacional, já alertava que os efeitos cumulativos e crônicos do mercúrio poderiam manifestar-se mesmo em exposições consideradas baixas e contínuas. Além disso, o trabalho de desenvolvimento de metodologias analíticas para quantificação de mercúrio em cosméticos e imunobiológicos, como descrito na dissertação de mestrado de Oliveira (2021), reforça a necessidade de aprimoramento nos métodos de detecção para garantir o cumprimento efetivo das normas.

Legislação Brasileira sobre o Mercúrio.

No Brasil não há parâmetros nacionais especificando a quantidade de mercúrio aceitável no corpo humano, sendo adotados parâmetros de referência da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS/OMS) (Tabela 1) (Política de prevenção à exposição ao mercúrio é aprovada na CMA, 2024). No entanto um projeto de lei (PL) nº 1.011/2023 que *“Institui a Política Nacional de Prevenção da Exposição ao Mercúrio no país e dá outras providências”*, de autoria do senador Randolfe Rodrigues (REDE/AP) tramita em Comissão de Assuntos Sociais no Senado Federal (Projeto de Lei nº 1.011, de 2023, 2025). Este projeto objetiva referendar os mesmos parâmetros de referência da Organização Pan-Americana da Saúde (OPAS/OMS) como forma de regulamentar em leis brasileiras o que já era adotado em território nacional.

Tabela 1 - Parâmetros de referência de limites de mercúrio no corpo humano segundo a Organização Pan-Americana da Saúde.

Parametrização	Valor limite
Cabelo	2,3 µg/g
Sangue	9,2 µg/l
Urina (Por grama de creatina)	50 µg/g

Fonte: OPAS/OMS

Segundo Rempe, Amorim e Neto (2010), estimativas de 1 a 13 miligramas de mercúrio no organismo humano dos quais 10% desse valor total de metilmercúrio, são considerados normais de acordo com o *“Protocolo de Vigilância à Saúde de Populações Expostas ao Mercúrio, contendo Parâmetros e Indicadores de Exposição. OPAS, 2008”*.

No Brasil os parâmetros de qualidade da água subterrânea e superficiais são definidos pelas Resoluções CONAMA 396/08 e 357/05 respectivamente (Tabelas 2 e 3) e qualidade da água para consumo humano são definidos pela Portaria do Ministério da Saúde 518/04 (Tabela 4).

Tabela 2 – Padrões de Qualidade das Águas Subterrâneas

Parametrização	Valor limite
Consumo humano	1 µg/L
Dessedentação de animais	10 µg/L
Irrigação	2 µg/L
Recreação	1 µg/L
Limite de quantificação praticável ⁽¹⁾	1 µg/L

(1) limite de quantificação praticável (lpq): menor concentração de uma substância que pode ser determinada quantitativamente com precisão e exatidão, pelo método utilizado.

Fonte: CONAMA 396/08

Tabela 3 – Padrões de Qualidade das Águas Superficiais

Parametrização	Valor limite
Águas doces – Classes I ⁽¹⁾ e II ⁽²⁾	0,2 µg/L
Águas doces – Classe III ⁽³⁾	2 µg/L
Águas salinas – Classe I ⁽⁴⁾	0,2 µg/L
Águas salinas – Classe II ⁽⁵⁾	1,8 µg/L
Águas salobras – Classe I ⁽⁶⁾	0,2 µg/L
Águas salobras – Classe II ⁽⁷⁾	1,8 µg/L

(1) Classe I – Águas doces: A) Abastecimento para consumo humano após tratamento simplificado; B) Proteção das comunidades aquáticas; C) Recreação de contato primário; D) Irrigação de hortaliças e frutas que se desenvolve rente ao solo para consumo cru e sem retirada de película; E) Proteção das comunidades aquáticas em terras indígenas.

(2) Classe II – Águas doces: A) Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional; B) Proteção das comunidades aquáticas; C) Recreação de contato primário; D) Irrigação de hortaliças, plantas frutíferas e de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto; E) Aquicultura e à atividade de pesca.

(3) Classe III – Águas doces: A) Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; B) Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras; C) Pesca amadora; D) Recreação de contato secundário; E) Dessedentação de animais.

(4) Classe I – Águas salinas: A) Recreação de contato primário; B) Proteção de comunidades aquáticas; C) Aquicultura e atividades de pesca.

(5) Classe II – Águas salinas: A) Pesca amadora; B) Recreação de contato secundário.

(6) Classe I – Águas salobras: A) Recreação de contato primário; B) Proteção de comunidades aquáticas; C) Aquicultura e atividade de pesca; D) Abastecimento para consumo humano após tratamento convencional ou avançado; E) Irrigação de hortaliças e frutas que se desenvolvem rentes ao solo para consumo cru sem retirada de película, irrigação de parques, jardins, campos de esporte e lazer, com os quais o público possa vir a ter contato direto.

(7) Classe II – Águas salobras: A) Pesca amadora; B) Recreação de contato secundário.

Fonte: CONAMA 357/05

Tabela 4 – Padrões de Qualidade das Águas para consumo humano

Parametrização	Valor limite
Padrão de potabilidade	1 µg/g

Fonte: Portaria MS Nº 518/04

A Resolução CONAMA 430/2011 que dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes complementa e altera a Resolução CONAMA 357/2005, traz os parâmetros para lançamento de efluentes contendo Mercúrio Total (Tabela 5).

Tabela 5 – Padrões de lançamento de efluentes

Parâmetros inorgânicos	Valor limite
Mercúrio total	0,01 mg/L Hg

Fonte: CONAMA 430/11

Os padrões de qualidade para o solo são definidos pela resolução CONAMA 420/09 (Tabela 6), mas os valores de referência de qualidade (VRQs) são definidos pelos respectivos órgãos ambientais dos estados e Distrito Federal, variando apenas nas unidades de medidas adotadas para as mesmas concentrações limites apontadas na resolução federal.

Tabela 6 – Padrões de Qualidade do Solo

Parametrização	Valor limite
Valor de prevenção	0,5 mg/kg (ppm) ⁽¹⁾
Valor de investigação – solo agrícola	12 mg/kg (ppm)
APMax⁽²⁾	
Valor de investigação – Solo residencial	36 mg/kg (ppm)
Valor de investigação – Solo industrial	70 mg/kg (ppm)
Valor de investigação – Água subterrânea	1 µg/L ⁽³⁾

(1) Partes por milhão.

(2) APMax: Agricultura de Precisão Max é uma técnica de avaliação de qualidade do solo.

(3) Portaria Nº 518/04 do Ministério da Saúde.

Fonte: CONAMA 420/09

A Resolução CONAMA 316/02 que *dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos*, norteia em seu artigo 38, limites máximos de emissão de poluentes atmosféricos, incluindo o mercúrio.

Art. 38. [...]

I – Material particulado total: Setenta miligramas por normal metro cúbico;

II – Substâncias inorgânicas na forma particulada, agrupadas em conjunto como:

a) Classe 1: Vinte e oito centésimos de miligramas por normal metro cúbico incluindo:

[...]

2. Mercúrio e seus compostos, medidos como mercúrio (Hg);

[...]

Também temos as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho e Emprego (NRs) que são estabelecidas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores em ambientes de trabalho. Elas atendem a Consolidação das Leis do Trabalho (CLT). As vias de exposição para os trabalhadores dão-se através da emissão de vapores de mercúrio resultado das atividades industriais e dispersos no meio laboral, gerando riscos ocupacionais químicos. A NR 07 – *Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional (PCMSO)* determina através de exames admissionais, periódicos, retorno a função e demissional, os valores de mercúrio inorgânico testados na urina do trabalhador examinado (Tabela 7). A NR 15 – *Atividades e Operações Insalubres* norteia valores de exposição para 48h por semana e relaciona isso a um grau de insalubridade ao qual o trabalhador é exposto (Tabela 8).

Tabela 7 – Limites para exposição de mercúrio (NR 7)

Indicadores biológicos de exposição excessiva (IBE/EE)	Valor limite
Mercúrio metálico na urina	20 µg/g creatina (EPNE ⁽¹⁾)

(1) EPNE – Encontrado em população não expostas ocupacionalmente.

Fonte: Norma Regulamentadora Nº 7 (1978)

Tabela 8 – Limites para exposição de mercúrio (NR 15)

Agente químico	Valor limite
Mercúrio (Todas as formas exceto orgânica)	0,04 mg/m ³ ⁽¹⁾

(1) Grau máximo de insalubridade a ser considerado no caso de sua caracterização..

Fonte: Norma Regulamentadora Nº 15 (1978)

Importante salientar que em se tratando de Normas Regulamentadoras, ultrapassar os limites estabelecidos configura doença profissional e doença do trabalho assim definidas pela Lei Nº 8.213/91 que *dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências*, assim descritas em seu artigo 20, incisos I e II.

Outras Normas e Regulamentos nacionais relacionados ao mercúrio (Quadro 1) (GT LÂMPADAS MERCURIAIS, 2010).

Quadro 1 – Outras Normas e Regulamentações Nacionais referente à presença de mercúrio.

Normas e Regulamentos	Descrição
Decreto 97.507 (1989)	Dispõe sobre licenciamento de atividade mineral, o uso do mercúrio metálico e do cianeto em áreas de extração de ouro, e dá outras providências.
Decreto 97.634 (1989)	Dispõe sobre o controle da produção e comercialização de substâncias (mercúrio metálico) que comporte risco a vida e dá outras providências.
Instrução Normativa Nº 26 (2024)	IBAMA. Estabelecem as exigências e os procedimentos de controle, transferência, reciclagem, recuperação, uso e transporte de mercúrio metálico, bem como a destinação de resíduos de mercúrio em território nacional.

Fonte: Elaborado pelos autores.

As regulamentações, portarias, instruções normativas e leis no Brasil atendem a uma diversidade de situações específicas dadas as diversas vias de exposição de acordo com o meio ao qual o metal está presente, não dando margens para uma padronização generalista que certamente não atenderia as especificidades das vias de exposição em diversos ambientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida por meio de levantamento bibliográfico e documental em bases científicas e fontes oficiais, contemplando publicações e documentos entre 1983 e 2025, com o objetivo de mapear como o mercúrio (Hg) vem sendo determinado no Brasil e no contexto internacional, comparar as técnicas AAS e AES para verificar qual é mais empregada e em quais tipos de amostra, identificar as possíveis aplicações dessas técnicas e confrontar os encontrados com a legislação vigente, evidenciando tanto o histórico de evolução das técnicas analíticas quanto às atualizações legais e ambientais em âmbito nacional e internacional.

Coleta de dados e fontes consultadas

As fontes de dados incluíram as bases SciELO, LILACS, PubMed, PubMed Central (PMC), Google Acadêmico, Periódico CAPES, International Journal of Environmental Research and Public Health (IJERPH), e Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI), além dos Repositórios Institucionais das Universidades Federais de Santa Maria, Santa Catarina, Uberlândia e Brasília.

Foram também analisados documentos oficiais e normativos, como leis, portarias, decretos e resoluções publicadas por órgãos como o CONAMA, IBAMA, OMS, OPAS e Ministério da Saúde, com o objetivo de correlacionar as evidências científicas à legislação vigente sobre limites e controle do mercúrio.

Estratégia de busca e seleção dos estudos

A busca utilizou descritores em português e inglês, combinado por operadores booleanos, conforme o seguinte conjunto: (“mercúrio” OR “Hg”); (“determinação” OR “analysis”); (“meio ambiente” OR “environment”); (“saúde humana” OR “human health”); (“AAS” OR “AES”); (“Brasil” or “Brazil”).

Os critérios de inclusão foram artigos científicos, dissertações, teses ou relatórios técnicos publicados entre 1983 e 2025; estudos que apresentassem dados sobre determinação, concentração ou impacto do mercúrio em amostras ambientais, biológicas ou alimentares; trabalhos que empregassem métodos analíticos AAS

(Atomic Absorption Espectrometry) ou AES (Atomic Emission Espectrometry); publicações em português ou em línguas estrangeiras, com disponibilidade pública do conteúdo essencial (resumo, metodologia e resultados).

Os critérios de exclusão abrangeram publicações duplicadas ou sem relação direta com o tema; estudos que empregassem técnicas sem correlação com as técnicas de AAS e AES; trabalhos sem informações suficientes sobre o método de determinação ou sem dados quantitativos sobre o mercúrio.

A triagem foi baseada na leitura dos títulos, resumos e seções metodológicas, sem leitura integral dos artigos. Após a seleção, 50 artigos foram incluídos na amostra final. O processo foi conduzido por dois revisores independentes, e divergências foram resolvidas por consenso.

Classificação das amostras e organizações dos dados

As amostras analisadas foram agrupadas em cinco categorias principais, conforme sua natureza:

- Biológico (Organismos Aquáticos);
- Biológico (Organismos Humanos);
- Sólido
- Líquido
- Gás

Os dados extraídos de cada estudo incluíram: autor, ano, tipo de amostra, técnica empregada (AAS ou AES) e principais conclusões.

Essas informações foram organizadas em planilhas (Anexo) e posteriormente importadas para o Software PowerBI para análise visual e elaboração dos gráficos.

Tratamento dos dados e Elaboração dos gráficos

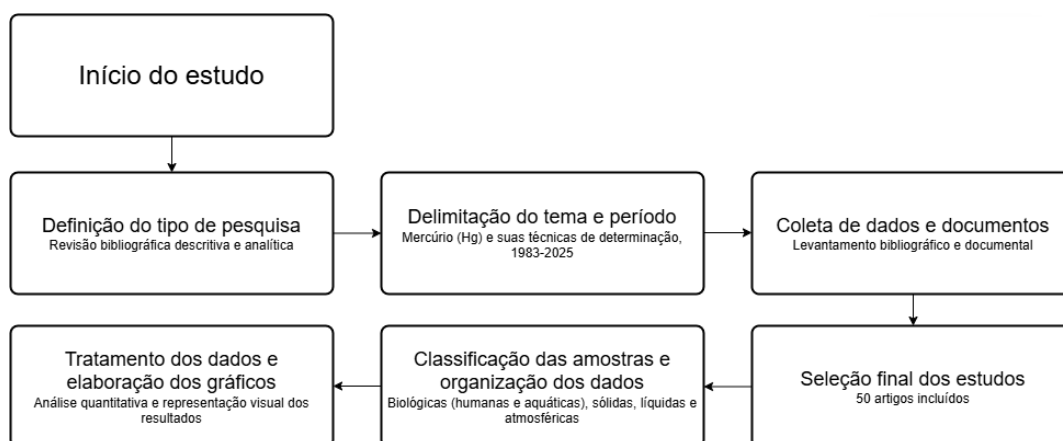
Os dados tabulados foram analisados quantitativamente, buscando identificar:

- A técnica mais utilizada (AAS ou AES);
- A técnica predominante em cada categoria de amostra;
- A proporção de uso por tipo de amostra, representada em gráficos;

- A presença de técnicas acopladas, quando mencionadas pelos autores.

Esquematização da organização da metodologia

Gráfico 1: Fluxograma representativo da metodologia aplicada.



Fonte: Elaboração própria

RESULTADOS

Análise quantitativa dos dados obtidos da pesquisa de artigos que utilizam as técnicas de Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS) e Espectroscopia de Emissão Atômica (AES) na determinação de mercúrio.

As técnicas de Espectroscopia de Absorção Atômica (AAS) e Espectroscopia de Emissão Atômica (AES) atuam no átomo através da Lei de Lambert-Beer, estabelecendo uma relação entre a absorbância de uma solução e a concentração do analito quando atravessada por raios luminosos paralelos (Lima, 2011), e essas técnicas podem inclusive ter o emprego de métodos combinados, mas com um princípio fundamental: Na Absorção, como a técnica já diz, o átomo absorve radiação em determinados comprimentos de ondas característicos dos elementos analisados; e na Emissão, o átomo emite radiação. Ambas as técnicas se valem de um aparelho que capta essa absorção ou emissão e retorna resultados a fim de evidenciar o espectro de ondas e identificar o elemento que compõe o objeto da amostra (Pacheco, 2022).

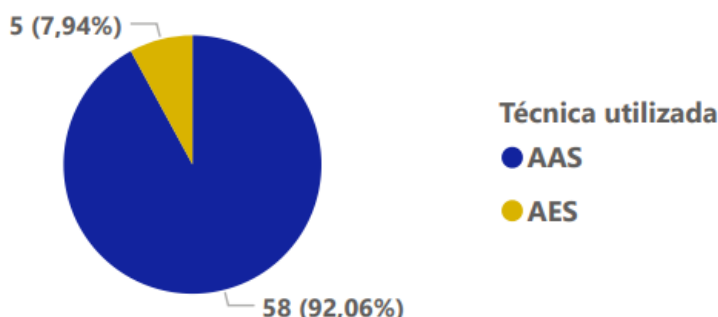
Os cinquenta artigos pesquisados retornaram o emprego de sessenta e três métodos de AAS e AES em combinações diversas como Geração de Vapor Frio (CVG); Forno de Grafite (GF); Plasma Indutivo (ICP); Decomposição Térmica e Amalgamação (TDA), também conhecida como Análise Direta de Mercúrio (DMA); Detecção por Radiação Ultravioleta (UV); Geração de Hidretos (HG); Análise de Gás (GA); Injeção de Fluxo (FI) e Plasma de Micro-ondas (MP). Importante salientar que o estudo teve parâmetros de investigação definidos em metodologia a fim de obter um panorama aceitável que sirva de partida para investigações mais aprofundadas.

Das sessenta e três técnicas empregadas em diversas combinações, tivemos um percentual de cinquenta e oito trabalhos (92,06%) utilizando AAS e apenas cinco (7,94%) utilizando AES (Gráfico 2). A análise quantitativa para este estudo evidencia uma predileção pela técnica de AAS para determinação de mercúrio.

Gráfico 2 – Pesquisa de artigos

ARTIGOS PESQUISADOS

50 Artigos e 63 Técnicas

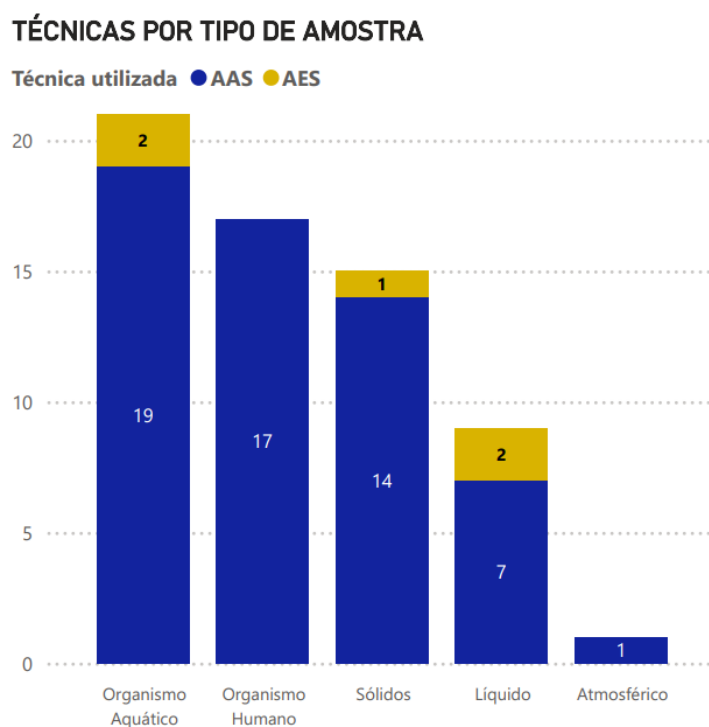


Fonte: Elaboração própria

Os dados também mostraram uma análise quantitativa de emprego das técnicas em diferentes tipos de amostras (Organismo aquático e humano, sólido, líquido e gasoso) (Gráfico 3). A análise quantitativa de dados para este estudo evidencia que a técnica de AAS é mais empregada em amostras de organismos aquáticos, o que infere que as pesquisas podem focar-se mais na principal fonte de contaminação da população através do consumo de organismos aquáticos contaminados, principal fonte bioacumuladora maximizado pela magnificação trófica. Em seguida a técnica é empregada nos seres humanos como forma de investigação sobre contaminação da população humana. Em seguida as técnicas são

empregadas em amostras de solo, o que pode estar associado a investigações sobre infertilidade do solo, contaminações de veios subterrâneos, uso de agrotóxicos e contaminações de agricultura. Na sequência e um pouco abaixo, estão às investigações em meio aquático, evidenciando que as técnicas podem não ser muito eficientes para este tipo de amostra. E por último apenas 1 (um) método (AAS-CVG) foi apontada neste estudo para investigação de contaminação atmosférica evidenciando que as técnicas não são o meio mais eficaz de investigar este tipo de amostra.

Gráfico 3: Técnicas por tipo de amostras.



Fonte: Elaboração própria

Síntese do quadro legislativo sobre Mercúrio.

Os limites estabelecidos dentre os organismos internacionais não são uniformizados, sendo o da Organização Mundial da Saúde (OMS) o mais adotado internacionalmente, há uma preocupação quanto ao monitoramento contínuo destes limites como forma de controle de emissão e contaminação.

No Brasil, os parâmetros de limites para o corpo humano que podem ser verificáveis em amostras de cabelo, sangue e urina ainda segue a de organismos internacionais (OPAS/OMS). O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA),

determina parâmetros de qualidade nas águas subterrâneas (CONAMA 396/08), águas superficiais (CONAMA 357/05), lançamentos de efluentes (CONAMA 430/11), qualidade do solo (CONAMA 420/09), a Portaria do Ministério da Saúde (MS Nº 518/04) trata da potabilidade da água para consumo humano, as Normas Regulamentadoras do Ministério do Trabalho, definem limites de exposição verificáveis em exames de rotina em urinas (NR 7/78) e mercúrio não orgânico (NR 15/78). Tais limites observados nestas legislações nunca chegam ao zero de tolerância para este metal com características bioacumulativa. Na impossibilidade de se estabelecer tal limite, é preciso que se intensifique o monitoramento constante sobre a população para que sejam mapeados locais com maiores incidências e se faça controle sobre a dieta alimentar (Maior via de exposição) e investidas de fiscalizações sobre possíveis fontes de emissão do contaminante.

CONCLUSÕES

Esse estudo foi feito de forma que se permitiu entender de uma maneira melhor como a ciência e a legislação se conectam quando o assunto é mercúrio, um metal tóxico de grande impacto ambiental e para a saúde humana e de meios de detecção ainda que exigem cuidado e atenção.

Ao analisar as cinquenta publicações, foi notável a preferência pelo uso da Espectrometria de Absorção Atômica (AAS), que está presente em 92,06% dos estudos, enquanto a Espectrometria de Emissão Atômica (AES) apareceu em proporção bem menor de 7,94%. Essa diferença não é apenas técnica, mas também prática e econômica.

O método de detecção de mercúrio AAS se mostra mais acessível para a maioria dos laboratórios, pois combina baixo custo, boa sensibilidade e resultados confiáveis e exige menos manutenção e insumos, o que é um facilitador para seu uso tanto em pesquisas acadêmicas quanto em análises ambientais rotineiras. Já o AES, mesmo sendo mais moderna e precisa, ainda é menos utilizada devido ao seu custo operacional maior e à necessidade de infraestrutura um pouco mais complexa. Isso faz com que, na prática, o AAS continue sendo o método mais viável e presente nas análises de água, solo, sedimentos e amostras biológicas.

A partir dos resultados, foi possível observar que, apesar do avanço das técnicas de análise e suas diferentes formas, a legislação brasileira ainda tem lacunas quando se trata da aplicação prática destas normas. As resoluções do CONAMA e as portarias do Ministério da Saúde estabelecem limites para a presença de mercúrio em diferentes contextos, mas a falta de estrutura e fiscalização adequada faz com que esses parâmetros nem sempre sejam cumpridos de forma eficaz, propiciando o fenômeno de subnotificações. Assim, a tecnologia e a legislação ainda caminham em ritmos diferentes: A ciência avança mais rápido do que a aplicação das leis.

Outro ponto importante é que o uso de métodos analíticos confiáveis, como o AAS e o AES, não se limita ao campo científico – ele tem reflexo direto na vida das pessoas. É por meio dessas análises que se identificam áreas contaminadas, se protege o consumo de alimentos e se previnem doenças relacionadas à exposição ao mercúrio. Isso reforça a importância de investir não só em equipamentos e pesquisas, mas também em formação técnica e políticas públicas efetivas, que garantam o monitoramento contínuo e transparente das regiões de risco.

Portanto, este trabalho mostra que a escolha do método analítico certo vai muito além do laboratório: ela influencia a credibilidade das políticas ambientais, a proteção da saúde e o cumprimento das leis que regem o uso e o controle do mercúrio no Brasil. Unir o conhecimento científico à prática legal é o caminho para transformar dados em ações concretas, capazes de promover um ambiente mais seguro, equilibrado e sustentável para todos.

REFERÊNCIAS:

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 316, de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre procedimentos e critérios para funcionamento de sistemas de tratamento técnico de resíduos.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamentos de efluentes e dá outras providências.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas e dá outras providências.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias em decorrência de atividades antrópicas.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 430, de 13 de Maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrão de lançamentos de efluentes complementa e altera a Resolução Nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA.

BRASIL. Decreto nº 97.507, de 13 de fevereiro de 1989. Dispõe sobre licenciamento de atividade mineral, o uso do mercúrio metálico e do cianeto em áreas de extração de ouro, e dá outras providências. Brasília, 1989.

BRASIL. Decreto nº 97.634, de 10 de abril de 1989. Dispõe sobre o controle da produção e da comercialização de substâncias que comporta risco para a vida, a qualidade de vida e o meio ambiente, e dá outras providências. Brasília, 1989.

BRASIL. Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais – IBAMA. Instrução Normativa nº 26, de 10 de dezembro de 2024. Estabelece as exigências e os procedimentos de controle ambiental da importação, exportação, comércio, transferência, reciclagem, recuperação, uso e transporte de mercúrio metálico, bem como a destinação de resíduos de mercúrio em território nacional.

BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, n. 142, 25 de julho de 1991.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518/2004, Série E. Legislação de Saúde. Brasília - DF. 2005.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 07. Programa de Controle Médico de Saúde Ocupacional – PCMSO. Brasília. Ministério do Trabalho e Emprego. 1978.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Norma Regulamentadora nº 15. Atividades e Operações Insalubres. Brasília. Ministério do Trabalho e Emprego. 1978.

FARIA M. A. M. Mercurialismo metálico crônico ocupacional. **Rev. Saúde Pública.** São Paulo. v. 37, n. 1, p. 116-127. 2003.

GT Lâmpadas Mercuriais – Câmara Técnica de Saúde, Saneamento Ambiental e Gestão de Resíduos do Conselho Nacional do Meio Ambiente. 27 de Janeiro de 2010, Brasília, DF. 4º Reunião.

IDE, C. W. Mercury hazards arising from the repair of sphygmomanometers. **British Medical Journal**, v. 293, p. 1409-1410, Nov. 1986.

JESUS L. D. F. et al. Avaliação dos níveis de chumbo e mercúrio em população exposta ambientalmente na Região Centro-Oeste do Brasil. **Cad. Saúde Pública.** v. 34, n. 2, p. 13. 2018.

LIMA, L. S. Lei de Lambert-Beer. **Revista de Ciência Elementar.** Porto. v. 1, n. 1, p. 47. 2011.

PACHECO, K. A. Espectroscopia Atômica: Uma breve revisão. 2022. 53 f. Monografia (Curso de Bacharel em Química Industrial) – Instituto Federal do Espírito Santo. Vila Velha, 2022.

POLÍTICA DE PREVENÇÃO À EXPOSIÇÃO AO MERCÚRIO É APROVADA NA CMA. Senado Notícias. Brasília, 28/02/2024. Disponível em: <https://www12.senado.leg.br/noticias/materias/2024/02/28/politica-de-prevencao-a-exposicao-ao-mercuro-e-aprovada-na-cma#:~:text=Tal%20como%20a%20OMS%2C%20o,da%20subst%C3%A2ncia%20no%20corpo%20humano>. Acesso em: 30/05/2025.

PROJETO DE LEI Nº 1011, DE 2023. Senado Federal. Brasília, 30/05/2025. Disponível em: <https://www25.senado.leg.br/web/atividade/materias/-/materia/156091>. Acesso em: 30/05/2025.

OLIVEIRA, Maria Janaína de. **Desenvolvimento de metodologias analíticas para determinação de mercúrio total em cosméticos e imunobiológicos (Vacinas).** 2022. 147 f. Tese (Doutorado em Ciências, com área de concentração em Química Analítica e Ambiental) – Instituto de Química e Biotecnologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2022.

VIANNA A. S. et al. Human Exposure to Mercury and its hematological effects: A systematic review. **Cad. de Saúde Pública.** v. 35, n. 2, p. 22. 2019.

ANEXO

TRABALHOS ANALISADOS	TÉCNICAS EMPREGADAS	TIPOS DE AMOSTRAS
Abordagem metaloproteômica do mercúrio em amostras de leite materno nas comunidades ribeirinhas da região amazônica - Brasil	GF-AAS	Biológica (Humano)
Analysis of mercury in skin-lightening creams by Microwave Plasma Atomic Emission Spectroscopy (MP-AES)	MP-AES	Líquido
Arsenic and Mercury Mobility in Brazilian Sediments from the São Francisco River Basin	HG-AAS, DMA-AAS e TDA-AAS	Sólido
Atomic absorption spectrophotometric determination of mercury in mercury-containing drugs	AAS	Sólido
Avaliação de mercúrio total e metil-mercúrio em pescados de Cananéia (SP)	CV-AAS	Biológica (Aquático)
Avaliação dos teores de mercúrio em cabelos de crianças e residentes em área de garimpo no município de Chapada de Natividade - Tocantins	AAS e CV-AAS	Biológica (Humano e Aquático)
Chumbo, Cádmio, Mercúrio e Arsênio em embalagens poliméricas para alimentos por ICP OES	ICP-OES	Sólido
Comparação entre CV-AAS e CV-AFS para determinação de mercúrio total em tecido de peixe	CV-AAS e CV-AFS	Biológica (Aquático)
Comportamento do mercúrio em perfis de solos do sítio Brasil	CV AAS	Sólido
Desenvolvimento de método aplicado à determinação de mercúrio (solo) por CV AAS	AAS	Sólido
Desenvolvimento de métodos para a determinação de mercúrio e tálio em amostras ambientais usando GF AAS e ETV-ICP-MS	GF-AAS	Sólido
Desenvolvimento de métodos simples e rápidos para determinação de mercúrio total e inorgânico em amostras biológicas por espectrometria de absorção atômica com vapor frio	CV-AAS	Biológica (Humano)
Desenvolvimento de um método aplicado à determinação de mercúrio em amostras de álcool combustível e solos por geração de vapor frio e espectrometria de absorção atômica	CV-AAS	Sólido
Determinação de mercúrio e metilmercúrio em amostras de cabelo e peixes	CV-AAS	Biológica (Humano e Aquático)
Determinação de mercúrio em águas sanitárias comercializadas em região do sudeste do Brasil	CV-AAS	Líquido
Determinação de mercúrio em cérebro e músculo de peixes amazônicos	CV-AAS	Biológica (Aquático)
Determinação de mercúrio orgânico e inorgânico em pescado	CVG-CV-AAS	Biológica (Aquático)
Determinação de mercúrio total em águas por espectrometria de absorção atômica sem chama baseada em fluxo	FI-CV-AAS	Líquido

Determinação de mercúrio total em amostras de água, sedimento e sólidos em suspensão de corpos aquáticos por espectrofotometria de absorção atômica com gerador de vapor a frio	HG-CV-AAS	Líquido e Sólido
Determination of Hg in water by CVAAS using 2-aminothiazole modified silica	CV-AAS	Líquido
Development and validation of a non-chromatographic method for mercury and methylmercury in finfish using TDA-AAS and SALLE	TDA-AAS	Biológica (Aquático)
Development and validation of a non-chromatographic method for mercury and methylmercury in finfish using TDA-AAS and SALLE	TDA-AAS	Biológica (Aquático)
Direct mercury analysis (DMA-80) based on thermal decomposition amalgamation AAS	TDA-AAS	Biológica (Humano e Aquático)
Distribution and availability of mercury and methylmercury in different waters from the Rio Madeira Basin, Amazon.	CV-AAS	Líquido
Estudo de caso: Validação de metodologia analítica para determinação de mercúrio total em urina por CV AAS	CV AAS	Biológica (Humano)
Evaluation of the Catalyzed Photo-Cold Vapour Generation for Determination of Mercury by AAS	UV-CVG-AAS	Líquido
Exposição humana ao metilmercúrio em comunidades ribeirinhas da região do Tapajós, Pará, Brasil	CV-GA-AAS	Biológica (Humano)
Flow injection hydride generation CV-AAS for Hg in urine	FI-HG-CV-AAS	Biológica (Humano)
Manifestações emocionais e motoras de ribeirinhos expostos ao mercúrio na Amazônia	TDA-AAS	Biológica (Humano)
Mercury and selenium in crabs analyzed by AAS	AAS	Biológica (Aquático)
Mercury exposure from artisanal gold mining in Mexico measured by CV-AAS	CV-AAS	Biológica (Humano), Sólido e Gasoso
Mercury exposure in Munduruku Indigenous Communities from Brazilian Amazon: methodological background and an overview of the principal results	CV-AAS	Biológica (Humano e Aquático)
Mercury Exposure in Women of Reproductive Age in Rondônia State, Amazon Region, Brazil	AAS e CV-AAS	Biológica (Humano)
Mercury in Fish and Human Hair and Estimated Dietary Intake in a Riverside Community of the Madeira River Basin in the Brazilian Amazon	CV-AAS	Biológica (Humano e Aquático)
Mercury quantification in soils using thermal desorption and atomic absorption spectrometry proposal for an alternative method of analysis	TDA-AAS e DMA-AAS	Sólido
Método modificado para determinação de mercúrio por espectrofotometria de absorção atômica sem chama	HG-AAS	Biológica (Aquático)
Métodos de microextração em fase líquida para a determinação espectrométrica de mercúrio em amostras de frutos do mar e óleo de peixe	CV-AAS	Biológica (Aquático)
Níveis de mercúrio total em peixes de água doce de pisciculturas paulistas	ICP-AES	Biológica (Aquático)

Novo método espectrofotométrico para determinação de Hg (II) em amostras de peixe	AAS	Biológica (Aquático)
Performance on neurological development tests by riverine children with moderate mercury exposure in Amazonas, Brazil	CV-AAS	Biológica (Humano)
Redução seletiva aplicada à especiação de mercúrio em peixes: Uma adaptação do método de Magos	CV-AAS	Biológica (Aquático)
Solid phase extracton and spectrophotometric determination of mercury in tobacco and tobacco additives with 5-(p-aminobenzylidene)-thiothiorhodanine	CV-AAS	Sólido
Speciazione ed analisi di arsenico e mercurio in campioni di capesante antartiche, Adamussium colbeky, raccolte dal 1996 al 2009	CV-AAS e ICP-AES	Biológica (Aquático)
Teores de mercúrio em cabelo e consumo de pescado de comunidades ribeirinhas na Amazônia brasileira, região do Tapajós	AAS	Biológica (Humano)
Total mercury measured by DMA-AAS in a clinical trial of pregnant women	DMA-AAS	Biológica (Humano)
Ultrasensitive mercury determination by atmospheric pressure glow discharge AES with cold vapor generation	AES	Líquido
Um estudo descritivo do mercúrio em peixes da Bacia do Rio Madeira, Amazônia, Brasil	CV-AAS	Biológica (Aquático)
Validação de metodologia analítica para determinação de mercúrio total em amostras de urina por espectrometria de absorção atômica com geração de vapor frio (CV-AAS), estudo de caso	CV-AAS	Biológica (Humano)
Validação de um método analítico para determinação de metil-mercúrio (MeHg) em peixe por FIA-CV-AAS	FI-CV-AAS	Biológica (Aquático)
Validation of Total Mercury in Marine Sediment and Biota using cold vapour atomic absorption spectrometry (CV-AAS)	CV-AAS	Sólido