



FACULDADE GALILEU
Recredenciada Portaria nº 466 de 07/05/2020 Publicado DOU 11/05/2020
Av. Marginal 200, nº 680 - Vila Real - Botucatu-SP
Telefone: (14) 3354-1315 / (14) 3354-1723- www.faculdadegalileu.com.br

Intoxicação por Chumbo e Seus Efeitos no Organismo Humano

Izabella Vasconcelos Lopes¹; João Leandro Chaguri¹

¹Faculdade Galileu - Botucatu

Endereço eletrônico: izabellavasconcelos03@gmail.com

RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura sobre os efeitos tóxicos do chumbo no organismo humano, com foco em seus mecanismos de toxicidade, manifestações clínicas e implicações para a saúde pública. O chumbo é um metal pesado sem função fisiológica conhecida, amplamente disseminado no ambiente em decorrência de atividades industriais e urbanas. Sua toxicidade decorre da capacidade de substituir íons essenciais, induzir estresse oxidativo e alterar a expressão gênica. A exposição humana pode ocorrer por via respiratória, digestiva ou cutânea, levando a sintomas neurológicos, hematológicos, renais e cardiovasculares. Crianças, gestantes e trabalhadores expostos ocupacionalmente representam as populações mais vulneráveis. A literatura analisada reforça que não há nível seguro de exposição ao chumbo e que os danos são cumulativos e irreversíveis, configurando um problema persistente de saúde pública. Conclui-se que a conscientização, a vigilância ambiental e o biomonitoramento são essenciais para a prevenção e o controle da intoxicação por chumbo.

Palavras-chave: chumbo, intoxicação, metais pesados, saúde pública, toxicidade.

1 INTRODUÇÃO

A história da evolução humana é marcada por pontos chaves que causaram um salto evolutivo para a humanidade. Um desses momentos é denominado pelos historiadores como idade dos metais, que foi a base do desenvolvimento das indústrias metalúrgicas e siderúrgicas. O chumbo é um exemplo de metal amplamente utilizado, estando presente em artefatos e registros desde o Egito, Grécia e Roma antiga. Esses povos utilizavam o chumbo por ele apresentar características úteis como a maleabilidade, baixa temperatura de fusão e resistência à corrosão, porém, não era de conhecimento da época os riscos e consequências tóxicas do referido elemento, apenas compreendidas séculos depois (ROBLES-OSORIO *et al.*, 2014).

Com o decorrer das eras e o aprimoramento das técnicas de extração e manipulação dos metais, o seu uso se tornou essencial para a produção de muitos utensílios. Quando pensamos

na funcionalidade dos metais no organismo, eles são divididos em metais essenciais, vitais para o bom funcionamento do organismo humano, sendo eles o ferro (Fe), zinco (Zn), magnésio (Mg) e cálcio (Ca), mas também podem ser classificados como metais não essenciais por terem alto poder de intoxicação e bioacumulação no organismo, sendo eles o mercúrio (Hg), arsênico (As), cádmio (Cd) e chumbo (Pb) (FLORA; GUPTA; TIWARI, 2015).

Embora os metais pesados estejam presentes e espalhados por toda a crosta terrestre, as atividades antropogênicas têm aumentado sua liberação e espalhamento, o que acarreta a exposição dos seres vivos. Causam impactos prejudiciais à saúde, podendo ocorrer de modo direto, como a ingestão de água contaminada ou a inalação de partículas desses metais pesados, mas também podem ocorrer de modo indireto, pois esses metais são bioacumuladores e essa característica afeta todo um ecossistema e, por consequência, a cadeia alimentar (RODRIGUEZ; WANG; CHEN, 2022). Seus efeitos irão depender da dose, tempo e via de exposição, o que pode gerar efeitos leves ou até desencadear doenças graves (HASSAN; KHALID, 2022).

A característica de bioacumulação dos metais pesados apresenta uma variedade de efeitos quando em contato com o organismo humano e com seus tecidos. Esses metais, em sua maioria, agem por vias semelhantes. A toxicidade desses metais é causada por sua capacidade de formar ligações com o grupo sulfidríla (R-SH) e gerar espécies reativas de oxigênio, o que resulta na inatividade de macromoléculas fundamentais, desencadeando estresse oxidativo (ABDEL-RAHMAN *et al.*, 2025). Após o contato com os metais tóxicos, ocorrem diversos processos que afetam o funcionamento de certas vias metabólicas e, por consequência, impactam a homeostase do organismo (WAALKES; LI; DIWAN, 2018).

A intoxicação por metais pesados e a sua exposição em massa se tornou uma questão de alerta mundial, visto que muitos desses compostos estão presentes em produtos do cotidiano, como tintas, cosméticos, pesticidas e herbicidas. Segundo a Organização Mundial da Saúde (OMS), o chumbo é um dos elementos químicos mais perigosos, pois “nenhum nível de chumbo no sangue é seguro” (WHO, 2024). Sua presença silenciosa no organismo é uma ameaça que muitas vezes passa despercebida, mas que pode causar danos profundos à saúde, é nesse cenário que o biomédico se torna essencial, seu papel vai além de apenas analisar amostras, é função dele explicar os resultados, seus impactos de forma clara e acessível.

Em suma, este trabalho tem como objetivo realizar uma revisão de literatura acerca dos efeitos tóxicos do chumbo no organismo humano, com ênfase em seus mecanismos de toxicidade, manifestações clínicas e consequências para a saúde pública.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Fontes de exposição e vias de entrada

A exposição humana a metais pesados está diretamente relacionada a atividades industriais e seus produtos (YANG, 2019), cuja fonte de exposição e vias de entrada no organismo são essenciais para a prevenção e o controle da intoxicação, uma vez que é característica predominante dos metais pesados o aspecto de bioacumulação (BABAFEMI et al., 2025). Essa característica, juntamente à poluição ambiental, potencializa a propagação de partículas e poeira derivadas da emissão das indústrias, mineração, fundição, tintas e aplicação de pesticidas e herbicidas (YANG, 2019) (Figura 1).

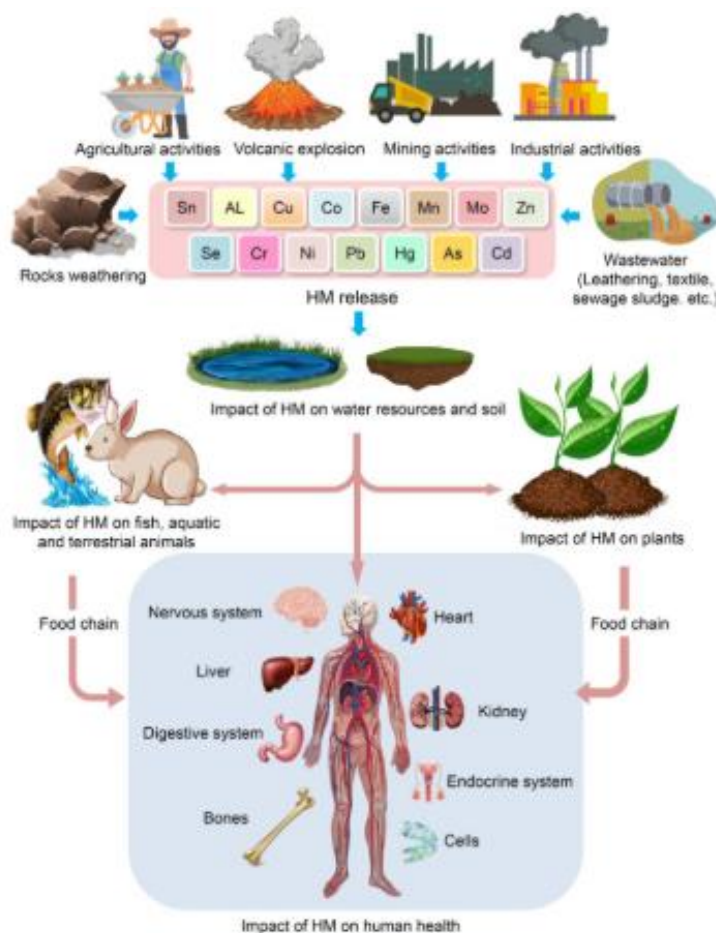


Figura 1. Origens e impactos dos metais pesados na cadeia alimentar. (ABD ELNABI et al., 2023).

As principais vias de entrada do chumbo no organismo são a digestiva, que pode ocorrer pela ingestão de água, alimentos ou poeira. Temos também a respiratória, com a inalação de

fumaças e partículas de chumbo presentes em cigarros ou em zonas rurais com uso de pesticidas e herbicidas (CETESB, 2022). Por fim, há a via cutânea, que pode ocorrer por contato com aditivos de combustíveis ou tintas (CRQ-SP, 2023).

O chumbo, quando em contato com a corrente sanguínea, é armazenado principalmente nos ossos e dentes, podendo permanecer no organismo por longos períodos. Em situações como doenças ósseas, lactação e gestação, esse metal pode ser liberado novamente na corrente sanguínea (MOREIRA; MOREIRA, 2004). Segundo a Organização Mundial da Saúde, não há nenhum nível seguro de exposição ao chumbo, pois mesmo em concentrações baixas ele pode causar danos neurológicos, cognitivos e comportamentais (WHO, 2024).

2.2 Mecanismos de toxicidade do chumbo

O chumbo é um metal pesado amplamente reconhecido como um dos principais agentes tóxicos ambientais, sem função fisiológica conhecida no organismo humano. Sua exposição pode ocorrer por via respiratória, dérmica ou digestiva, sendo o chumbo absorvido principalmente nos pulmões e no trato gastrointestinal, com posterior distribuição sistêmica. Após a absorção, o chumbo se liga a eritrócitos e se deposita preferencialmente em tecidos mineralizados, como ossos e dentes, onde pode permanecer por décadas, constituindo uma fonte endógena de exposição crônica (COLLIN, 2022; WHO, 2024).

O principal mecanismo de toxicidade do chumbo baseia-se na mimetização iônica de cátions divalentes essenciais, especialmente cálcio (Ca^{2+}), zinco (Zn^{2+}) e ferro (Fe^{2+}). Essa substituição interfere em processos fisiológicos dependentes desses íons, incluindo a sinalização celular, a transmissão sináptica e a atividade enzimática. No sistema nervoso central, o Pb^{2+} compete com o Ca^{2+} em receptores e canais de membrana, afetando a liberação de neurotransmissores e comprometendo a plasticidade sináptica. Tais alterações estão associadas a déficits cognitivos, distúrbios de comportamento e prejuízos no desenvolvimento neurológico, especialmente em crianças (VIRGOLINI, 2021; BALALI-MOOD *et al.*, 2021).

Outro mecanismo relevante é a indução de estresse oxidativo, resultante do aumento da produção de espécies reativas de oxigênio (EROs) e da inibição de sistemas antioxidantes endógenos, como as enzimas superóxido dismutase (SOD) e catalase (CAT). O excesso de EROs provoca dano mitocondrial, peroxidação lipídica e alterações no DNA, levando à disfunção celular e à apoptose. Esses processos explicam a ampla gama de efeitos sistêmicos observados, incluindo nefrotoxicidade, hepatotoxicidade e disfunções cardiovasculares (SHVACHIY *et al.*, 2023; PAN *et al.*, 2024) (figura 2).

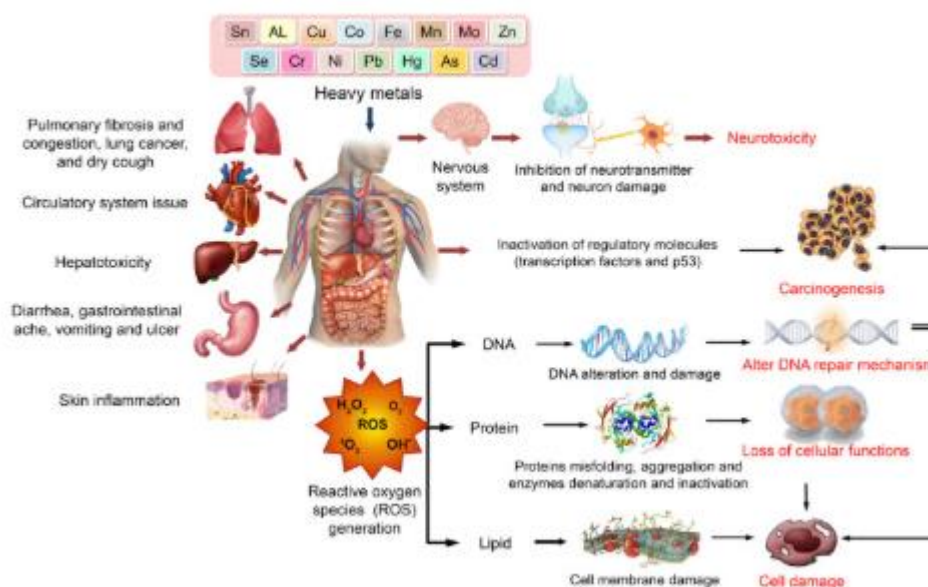


Figura 2. Efeitos tóxicos após exposição à metais pesados. (ABD ELNABI et al., 2023)

No sistema hematopoiético, o chumbo inibe enzimas-chave da síntese do heme, como a ácido δ -aminolevulínico desidratase (ALAD) e a ferroquelatase, levando à anemia microcítica hipocrômica e ao acúmulo de precursores tóxicos, como o ácido δ -aminolevulínico (ALA). Esse efeito é frequentemente utilizado como marcador biológico de exposição (ARA *et al.*, 2015; BALALI-MOOD *et al.*, 2021).

Evidências recentes também indicam que o chumbo exerce efeitos epigenéticos, promovendo alterações na metilação do DNA e na expressão gênica, além de modular vias inflamatórias crônicas que contribuem para doenças metabólicas e cardiovasculares. Tais achados reforçam a natureza multifatorial da toxicidade do chumbo e seu potencial para causar efeitos de longa duração mesmo após a cessação da exposição (SHVACHIY *et al.*, 2023; PAN *et al.*, 2024).

A toxicidade do chumbo, portanto, resulta da combinação de interferência iônica, estresse oxidativo, inibição enzimática e desregulação epigenética, mecanismos que afetam múltiplos sistemas orgânicos. Diante disso, o chumbo continua a representar um importante problema de saúde pública, sendo essencial a implementação de políticas de controle ambiental e biomonitoramento populacional para prevenir seus efeitos adversos.

2.3 Sinais e sintomas

A exposição ao chumbo é um importante problema de saúde pública global, especialmente em países em desenvolvimento, onde a contaminação ambiental e ocupacional

ainda é frequente. O chumbo é um metal pesado não essencial ao organismo, que pode afetar o bom funcionamento dos sistemas do corpo. A gravidade dos sinais e sintomas depende da dose, duração da exposição, via de absorção e estado fisiológico do indivíduo, sendo crianças, gestantes e trabalhadores de indústrias metálicas os grupos mais vulneráveis (WHO, 2024; BALALI-MOOD *et al.*, 2021).

Após sua absorção, o chumbo se distribui pelo sangue, tecidos moles e ossos. A intoxicação aguda é rara, ocorrendo geralmente após ingestão ou inalação de altas concentrações do metal, enquanto a exposição crônica, mais comum, leva ao acúmulo progressivo de chumbo em órgãos-alvo, resultando em manifestações multissistêmicas (COLLIN, 2022).

No sistema nervoso, o chumbo interfere na neurotransmissão e no metabolismo do cálcio, o que explica os sintomas neurológicos predominantes. Em crianças, os efeitos incluem déficits cognitivos, redução do QI, dificuldades de aprendizagem, irritabilidade, alterações comportamentais e atraso no desenvolvimento neuropsicomotor. Em adultos, podem ocorrer cefaleia, insônia, irritabilidade, neuropatias periféricas e, em casos mais graves, encefalopatia saturnina, caracterizada por confusão mental, convulsões e coma (VIRGOLINI, 2021; SHVACHIY *et al.*, 2023).

No sistema hematológico, o chumbo inibe enzimas da via de síntese do heme, resultando em anemia microcítica e hipocrômica. Clinicamente, observam-se fadiga, palidez, fraqueza e, em exames laboratoriais, aumento dos níveis de ácido δ -aminolevulínico (ALA) e zinco-protoporfirina (ZPP), além da presença de pontilhado basofílico em hemácias, achado característico da intoxicação crônica (ARA *et al.*, 2015; BALALI-MOOD *et al.*, 2021).

Os rins constituem outro importante alvo da toxicidade do chumbo. A exposição prolongada pode causar nefropatia intersticial crônica, manifestada por proteinúria, glicosúria, hiperuricemia e, em casos avançados, insuficiência renal crônica. Além disso, a deposição óssea de chumbo funciona como uma reserva que pode ser mobilizada em situações de desmineralização, como gravidez e osteoporose, aumentando o risco de reexposição endógena (COLLIN, 2022).

No sistema gastrointestinal, são comuns cólicas abdominais intensas, náuseas, vômitos, constipação e, ocasionalmente, gosto metálico na boca. Um sinal clássico, embora menos comum atualmente, é a linha azulada na gengiva, conhecida como linha de Burton, resultante da precipitação de sulfeto de chumbo na margem gengival (PAN *et al.*, 2024).

Alterações no sistema cardiovascular e endócrino também têm sido relatadas. Estudos recentes associam a exposição crônica ao chumbo ao aumento da pressão arterial, disfunção

endotelial, estresse oxidativo vascular e risco elevado de doenças cardiovasculares. Há ainda evidências de que o chumbo pode interferir no metabolismo da glicose e nos hormônios tireoidianos, contribuindo para síndrome metabólica e disfunções hormonais (PAN *et al.*, 2024; SHVACHIY *et al.*, 2023).

Os sinais e sintomas da intoxicação por chumbo refletem sua capacidade de afetar múltiplos sistemas biológicos por meio de mecanismos como interferência iônica, inibição enzimática e estresse oxidativo. A detecção precoce e o monitoramento de biomarcadores sanguíneos são fundamentais para prevenir danos irreversíveis, especialmente em populações de risco.

2.4 População de risco e saúde Pública

A exposição ao chumbo continua a ser um desafio significativo para a saúde pública global. Apesar da redução do uso desse metal em combustíveis, tintas e tubulações em vários países, ele ainda é amplamente empregado em indústrias metalúrgicas, baterias, pigmentos, soldas e produtos reciclados, o que mantém o risco de contaminação ocupacional e ambiental (WHO, 2024; BALALI-MOOD *et al.*, 2021).

2.4.1 Populações de risco

As populações mais vulneráveis à toxicidade do chumbo são aquelas que vivem próximas a fontes de emissão ou trabalham diretamente com o metal. Entre os principais grupos de risco destacam-se:

1. Trabalhadores expostos ocupacionalmente, como funcionários de fábricas de baterias, fundições, indústrias de solda, pigmentos e reciclagem de metais. A inalação de poeiras e vapores de chumbo é a via predominante nesses ambientes, podendo causar intoxicações crônicas (COLLIN, 2022);
2. Crianças, devido à maior taxa de absorção gastrointestinal, até 50 por cento do chumbo ingerido, e à imaturidade das barreiras hematoencefálicas, o que facilita a deposição do metal no sistema nervoso central. Além disso, comportamentos típicos da infância, como levar objetos à boca, aumentam a exposição ambiental (VIRGOLINI, 2021; WHO, 2024);
3. Gestantes e fetos, já que o chumbo atravessa a placenta, interferindo no desenvolvimento neurológico fetal e podendo causar baixo peso ao nascer, parto prematuro e déficits cognitivos. Durante a gravidez e lactação, o chumbo acumulado nos ossos pode ser mobilizado, expondo tanto a mãe quanto o bebê (PAN *et al.*, 2024);

4. Populações de baixa renda, que residem em áreas contaminadas, consomem água proveniente de encanamentos antigos ou alimentos cultivados em solos poluídos. Essa vulnerabilidade é agravada pela falta de saneamento básico e de políticas de monitoramento ambiental, perpetuando ciclos de exposição intergeracional (SHVACHIY *et al.*, 2023).

2.4.2 Impactos na saúde pública

Do ponto de vista da saúde pública, o chumbo representa uma ameaça silenciosa e persistente, cujos efeitos são cumulativos, frequentemente subclínicos e de difícil diagnóstico precoce. A Organização Mundial da Saúde aponta que nenhum nível de exposição ao chumbo é considerado seguro, especialmente para crianças, estimando-se que mais de 900 mil mortes anuais em todo o mundo estejam associadas à intoxicação por esse metal. (WHO, 2024)

As consequências dessa exposição abrangem múltiplos níveis inter-relacionados. No âmbito individual, o chumbo está associado a comprometimentos neurológicos, hematológicos, renais e cardiovasculares, resultando em redução da qualidade de vida, aumento da morbimortalidade e risco de incapacidades permanentes. Em dimensão social, observa-se a queda de produtividade, o prejuízo ao aprendizado em populações infantis e impactos socioeconômicos significativos decorrentes das limitações cognitivas de longo prazo (VIRGOLINI, 2021; PAN *et al.*, 2024). Do ponto de vista econômico, os custos relacionados ao tratamento, à reabilitação e às medidas de descontaminação ambiental são elevados, e estudos recentes indicam que a exposição infantil ao chumbo pode acarretar perdas econômicas anuais equivalentes a até 1 por cento do PIB em países de baixa renda (WHO, 2024).

Sob a perspectiva epidemiológica, a exposição ao chumbo tende a afetar de forma desproporcional comunidades vulneráveis, configurando um grave problema de justiça ambiental e reforçando a necessidade de políticas públicas integradas para controle, prevenção e mitigação dos efeitos desse metal tóxico.

3 METODOLOGIA

O presente estudo consiste em uma revisão de literatura integrativa, de natureza descritiva e exploratória, que visa analisar e sintetizar o conhecimento científico produzido

sobre a intoxicação por chumbo. A revisão foi conduzida seguindo etapas rigorosas para garantir a confiabilidade e a relevância dos dados coletados.

3.1 Estratégia de Busca e Fontes de Dados

A busca bibliográfica foi realizada em bases de dados reconhecidas e de alto impacto na área da saúde e toxicologia, a saber: PubMed/MEDLINE, *Scientific Electronic Library Online* (SciELO) e Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde (LILACS). A escolha dessas bases visa garantir uma abrangência tanto da literatura internacional quanto da produção científica latino-americana. Para a busca, foram utilizados os seguintes Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e *Medical Subject Headings* (MeSH), combinados com o operador booleano AND/OR. A combinação dos descritores foi realizada de forma a maximizar a recuperação de artigos pertinentes ao tema.

3.2 Critérios de Inclusão e Exclusão

Foram definidos critérios rigorosos de inclusão e exclusão para a seleção dos artigos que compuseram a amostra final desta revisão. Os critérios de inclusão abrangeram publicações completas disponíveis na íntegra, produzidas no período de 2015 a 2025, de modo a garantir a atualidade das evidências científicas. Incluíram-se ainda estudos que abordassem diretamente o tema central da pesquisa, a intoxicação por chumbo, em seus diversos aspectos, como epidemiologia, fisiopatologia, diagnóstico, tratamento e prevenção, sendo aceitos textos redigidos nos idiomas português, inglês e espanhol.

Por outro lado, os critérios de exclusão compreenderam artigos de revisão, com exceção das revisões sistemáticas de alta qualidade, a fim de evitar o viés decorrente da inclusão de revisões secundárias. Também foram excluídos trabalhos duplicados provenientes de diferentes bases de dados, bem como produções acadêmicas classificadas como literatura cinzenta, tais como trabalhos de conclusão de curso, teses e dissertações, salvo nos casos em que apresentassem relevância essencial para o contexto da discussão.

3.3 Análise e Síntese dos Dados

A seleção dos artigos ocorreu em duas etapas sequenciais e complementares. Na primeira fase, procedeu-se à leitura dos títulos e resumos dos estudos identificados na busca inicial, com o objetivo de avaliar sua pertinência em relação ao tema proposto. Na segunda fase, os artigos pré-selecionados foram analisados integralmente, a fim de confirmar o atendimento aos critérios de inclusão previamente estabelecidos e possibilitar a extração dos

dados relevantes. Para cada artigo incluído, foram extraídas informações referentes aos autores, ano de publicação, tipo de estudo, objetivo principal, resultados e conclusões. A síntese dos achados foi conduzida de forma descritiva, com a organização dos estudos segundo a similaridade temática, o que permitiu uma discussão aprofundada sobre os principais aspectos relacionados à intoxicação por chumbo.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente estudo, conduzido sob a modalidade de revisão de literatura, buscou analisar e sintetizar o conhecimento científico produzido sobre a intoxicação por chumbo, com foco em publicações dos últimos dez anos, de 2015 a 2025, visando uma busca criteriosa em bases de dados de alto impacto, permitindo a consolidação de informações atualizadas sobre a epidemiologia, os mecanismos de toxicidade e as abordagens de manejo clínico e preventivo da exposição ao metal.

Os resultados desta revisão demonstram que, apesar dos esforços globais de controle, a intoxicação por chumbo persiste como um grave desafio de saúde pública. As evidências científicas mais recentes destacam a vulnerabilidade do sistema nervoso central em crianças expostas a baixas concentrações do metal e a manutenção da exposição ocupacional como uma fonte primária de risco em adultos. A consolidação desses dados contribui para atualizar o referencial teórico da área, servindo como subsídio importante para a prática clínica e para a elaboração de políticas de vigilância em saúde.

Nesse contexto, o biomédico desempenha um papel essencial na identificação laboratorial e na prevenção das intoxicações por metais pesados, atuando diretamente na detecção precoce de níveis tóxicos de substâncias como chumbo, mercúrio, cádmio e arsênio no organismo humano. Por meio da realização e interpretação de análises clínicas específicas, como dosagens séricas, urinárias e exames toxicológicos, o profissional é capaz de reconhecer alterações bioquímicas e hematológicas indicativas de exposição a esses metais, contribuindo para o diagnóstico e o acompanhamento de pacientes expostos. Além disso, o biomédico participa ativamente de ações de vigilância em saúde, educação ambiental e programas de prevenção, orientando sobre riscos ocupacionais e ambientais, boas práticas laboratoriais e medidas de redução da exposição. Dessa forma, sua atuação é fundamental não apenas para o monitoramento da saúde individual e coletiva, mas também para o desenvolvimento de políticas públicas voltadas à proteção contra os efeitos tóxicos e cumulativos dos metais pesados.

Para o futuro, sugere-se a realização de estudos primários com foco na avaliação de biomarcadores de exposição mais sensíveis e precoces, capazes de identificar a contaminação antes do surgimento de sintomas clínicos. Além disso, a investigação da eficácia de intervenções educativas e de remediação ambiental em comunidades de alto risco é fundamental para o avanço no combate à intoxicação por chumbo.

REFERÊNCIAS

ABD ELNABI, M. K. *et al.* Toxicity of Heavy Metals and Recent Advances in Their Removal: A Review. **Toxics, Basel**, v. 11, n. 7, p. 580, 3 jul. 2023.

ABDEL-RAHMAN, G. N. *et al.* The mechanisms of lead toxicity in living organisms: an updated review. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, v. 120, p. 107223, 2025.

ARA, Anjum *et al.* Lead toxicity: a review. **Interdisciplinary toxicology**, v. 8, n. 2, p. 55, 2015.

BABAFEMI, L.; OLAGBEMIDE, P.; OGUNNUSI, T.; AKPOR, O. Heavy metal contamination: sources, health impacts, and sustainable mitigation strategies with insights from Nigerian case studies. **F1000Research**, v. 14, n. 134, 2025.

BALALI-MOOD, Mahdi *et al.* Mecanismos tóxicos de cinco metais pesados: mercúrio, chumbo, cromo, cádmio e arsênio. **Frontiers in pharmacology**, v. 12, p. 643972, 2021.

CETESB – COMPANHIA AMBIENTAL DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Chumbo**. São Paulo: CETESB, fev. 2022.

CHENG, Yu-feng *et al.* Toxicidade de metais pesados: mecanismo, efeitos na saúde e intervenções terapêuticas. **MedComm**, v. 6, n. 9, p. e70241, 2025.

COLLIN, M. Samuel *et al.* Bioacumulação de chumbo (Pb) e seus efeitos em humanos: uma revisão. **Journal of Hazardous Materials Advances**, v. 7, p. 100094, 2022.

CRQ-SP – CONSELHO REGIONAL DE QUÍMICA IV REGIÃO. **Chumbo: metal pesado e venenoso, mas útil em muitas aplicações**. São Paulo, 2023.

FLORA, G.; GUPTA, D.; TIWARI, A. Lead toxicity: a review. **Interdisciplinary Toxicology**, v. 5, n. 2, p. 47–58, 2015.

HASSAN, R. A.; KHALID, F. A. Human health effects from exposure to lead: A review of the current literature. **American Journal of Biomedical and Life Sciences**, v. 10, n. 5, p. 97–104, 2022.

JOMOVA, Klaudia et al. Metais pesados: toxicidade e efeitos na saúde humana. **Archives of toxicology** , v. 99, n. 1, p. 153-209, 2025.

LAOYE, Babafemi et al. Contaminação por metais pesados: fontes, impactos na saúde e estratégias de mitigação sustentáveis com insights de estudos de caso nigerianos. **F1000Research** , v. 14, p. 134, 2025.

MOREIRA, Fátima Ramos; MOREIRA, Josino Costa. A cinética do chumbo no organismo humano e sua importância para a saúde = Lead kinetics in human body and its significance to health. **Ciência & Saúde Coletiva**, v. 9, n. 1, p. 1-12, 2004.

OMS – ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE. **Envenenamento por chumbo mata cerca de um milhão de pessoas por ano**. Nações Unidas Brasil, 2024.

PAN, Z. *et al.* Heavy Metal Exposure and Cardiovascular Disease: Mechanisms and Clinical Perspectives. **Circulation Research**, v. 135, p. 1234–1248, 2024.

RAMÍREZ ORTEGA, Daniela et al. Comprometimento cognitivo induzido pela exposição ao chumbo ao longo da vida: mecanismos de neurotoxicidade do chumbo. **Toxics** , v. 9, n. 2, p. 23, 2021.

RODRIGUEZ, M.; WANG, S.; CHEN, L. Potential health risks of lead exposure from early life through later life: **Implications for public health education**. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 19, n. 23, p. 16006, 2022.

SHVACHIY, L. *et al.* Molecular links between lead toxicity, oxidative stress, and inflammation. **Antioxidants & Redox Signaling**, v. 38, n. 4, p. 556–573, 2023.

WAALKES, M. P.; LI, W.; DIWAN, B. A. Clinical and molecular aspects of lead toxicity: An update. **Critical Reviews in Toxicology**, v. 48, n. 5, p. 397–420, 2018.

WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). **Lead poisoning: key facts**. Geneva: WHO, 2024.

WRÓBLEWSKI, Marcin et al. O impacto da exposição a arsênio, cádmio, chumbo, mercúrio e tálio no sistema cardiovascular e nos mecanismos oxidativos em crianças. **Current Issues in Molecular Biology** , v. 47, n. 7, p. 483, 2025.

YANG, Y. **Química ambiental e ecotoxicologia de metais pesados perigosos: persistência ambiental, toxicidade e bioacumulação**. São Paulo: Editora XYZ, 2019.