

**Exposição a contaminantes ambientais inorgânicos e danos à saúde humana****Exposure to inorganic environmental contaminants and damage to human health**

DOI:10.34119/bjhrv3n4-256

Recebimento dos originais: 15/07/2019

Aceitação para publicação: 17/08/2020

**Dhessyca Caroline Luna Teixeira**

Acadêmica de Medicina, 4º Período  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga - Ponte Nova, MG  
Rua Geraldo Marcolino Luna, 94, Cardosos  
Urucânia, MG - CEP: 3538-000  
E-mail: dhessycateixeira@yahoo.com.br

**Igor Felipe Vieira Moreira**

Acadêmico de Medicina, 4º Período  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga - Ponte Nova, MG.  
Praça Santa Cruz, 11 - Centro  
Ouro Branco- MG - CEP: 36420-000  
E-mail: Igorfvmoreira@hotmail.com

**Mirella Aquino Coelho**

Acadêmica de Medicina, 4º Período  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga - Ponte Nova, MG  
Rua João Groppo 240, Inês Groppo  
Ubá – MG - CEP:36503-002  
E-mail: aquinomirella1@gmail.com

**Yago Felipe Quintão Amaral**

Acadêmico de Medicina, 4º Período  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga - Ponte Nova, MG  
Rua Walter Linhares Frota Machado, 85, Ibituruna  
Montes Claros – MG - CEP: 39401-285  
E-mail: yagoquintao@gmail.com

**Marli do Carmo Cupertino**

Doutora em Biologia Celular e Estrutural – Universidade Federal de Viçosa  
Faculdade Dinâmica do Vale do Piranga - Ponte Nova, MG  
Rua G, 205 - Bairro Paraíso - Ponte Nova - MG - Cep: 35430-302  
E-mail: marli.cupertino@ufv.br

**RESUMO**

Os mecanismos de toxicidade dos compostos inorgânicos, no organismo humano, são complexos e ainda não estão totalmente elucidados. Por isso objetivou-se avaliar quais são os

possíveis danos que os contaminantes ambientais inorgânicos podem desencadear no organismo humano. Para isso foi seguido as diretrizes PRISMA buscando artigos originais sobre o tema nas bases de dados e nos bancos de dados PubMed, Lilacs e SciELO. Foram encontrados 72 artigos, dos quais 18 foram selecionados para integrar a presente revisão. Os contaminantes ambientais inorgânicos mais prevalentes, encontrados, foram os metais pesados como o Chumbo, Cádmiio, Manganês, Cobre, Zinco e Mercúrio. Tais metais foram pesquisados como poluentes do solo e água, contaminando alimentos e entrando no organismo humano principalmente pela via oral. Em consequência da bioacumulação desses metais em órgãos, tecidos e estruturas celulares humanas, há aparecimento de patologias relacionadas, principalmente ao sistema nervoso, rins, fígado e sistema endócrino, estando o órgão afetado diretamente relacionado com o poluente estudado, via de penetração, dose e tempo de exposição. Amostras humanas foram coletadas principalmente de maneira pouco invasiva como amostras de urina e outros fluidos biológicos. Adicionalmente, é importante ressaltar estudos como formas de tratamento e profilaxia como a suplementação com antioxidantes, além da competição com outros minerais como o selênio. Conclui-se que a intoxicação humana é um problema de saúde pública e mais pesquisas são necessárias para entender as doses e tempo de exposição necessários para desencadear danos específicos no organismo humano.

**Palavras-chave:** Metais pesados, toxicologia, Saúde Pública.

#### **ABSTRACT**

The mechanisms of toxicity of inorganic compounds in the human organism are complex and are not yet fully understood. Therefore, the objective was to evaluate what are the possible damages that the inorganic environmental contaminants can trigger in the human organism. For this, the PRISMA guidelines were followed, searching for original articles on the topic in the databases and in the PubMed, Lilacs and SciELO databases. A total of 72 articles were found, of which 18 were selected to be part of the present review. The most prevalent inorganic environmental contaminants found were heavy metals such as Lead, Cadmium, Manganese, Copper, Zinc and Mercury. Such metals have been researched as pollutants of soil and water, contaminating food and entering the human body mainly through the oral route. As a consequence of the bioaccumulation of these metals in human organs, tissues and cellular structures, there are pathologies related, mainly to the nervous system, kidneys, liver and endocrine system, the affected organ being directly related to the studied pollutant, via penetration, dose and exposure time. Human samples were collected mainly in a non-invasive manner, such as urine samples and other biological fluids. Additionally, it is important to highlight studies such as forms of treatment and prophylaxis such as supplementation with antioxidants, in addition to competition with other minerals such as selenium. It is concluded that human intoxication is a public health problem and more research is needed to understand the doses and exposure times necessary to trigger damage to the human body.

**Keywords:** Heavy metals, toxicology, Public health.

## **1 INTRODUÇÃO**

É conhecido que a contaminação ambiental por compostos inorgânicos é constante. O sudeste brasileiro é historicamente uma região geográfica de intensa atividade mineradora, inclusive marcada por dois acidentes graves nos últimos anos (2015 e 2019) anos, que

contaminaram bacias hidrográficas de grandes rios da região. Visto que essa região abriga o bioma Mata atlântica que possuem uma grande diversidade de faunística, além de ser uma região marcada pela agricultura de subsistência com criação de animais domésticos de forma familiar, muito tem se discutido se a exposição a contaminantes ambientais inorgânicos, por diversas vias, podem causar efeitos adversos na saúde humana (LAMBERTZ, et al., 2015; Massante, 2015; COSTA et al.,2020)

Embora os mecanismos de toxicidade dos metais sejam complexos e ainda não tenham sido totalmente elucidados, as pesquisas ao longo dos anos forneceram informações úteis para entender os efeitos prejudiciais induzidos por metais nos níveis celular e molecular. De forma geral os metais pesados podem causar danos ao alterar a microambiente tecidual (CUPERTINO et al., 2017b). As principais vias descritas são:(I) alteração da dinâmica mineral - onde elementos inorgânicos contaminantes ambientais competem e diminuem a concentração tecidual de bioelementos, essenciais para a ocorrência e manutenção de funções orgânicas basilares (CUPERTINO et al., 2017a; WU et al., 2017); (II) desequilíbrio nas defesas antioxidantes e aumento da geração de espécies reativas de oxigênio (EROs), o que leva ao estresse oxidativo tecidual (TURNER et al., 2008, ZHANG et al., 2020); e (3) inflamação do tecido por alteração nos componentes essenciais das vias pró e anti-inflamatórias (ANDERSON et al., 2018)

No Brasil há grande área de exploração mineral e produção agrícola, com uso de fertilizantes inorgânicos, com liberação de grandes quantidades de poluentes inorgânicos no ambiente. Os efeitos ambientais vão além da poluição de água doce, solos e sistemas costeiros. A contaminação ambiental, a longo prazo, pode erradicar espécies endêmicas raras e interromper interações ecológicas, funções do ecossistema e processos evolutivos. A quantificação de poluentes ambientais inorgânicos no organismo humano é, portanto, necessária para avaliação dos danos teciduais causados por esses elementos e o impacto na patogênese de vários desequilíbrios orgânicos (LAMBERTZ et al.,2015; MASSANTE, 2015).

Grande parte dos metais pesados apresentam meia vida muito longa. Alguns compostos inorgânicos apresentam a capacidade de acumular devido a incapacidade de metabolização pelos seres vivos, que as ingerem, ou podem ser metabolizadas/ decompostas em substâncias mais tóxicas do que a própria molécula original. Esses compostos tóxicos se concentram gradativamente nos tecidos dos seres vivos, fenômeno esse chamado de bioacumulação. Além de poderem acumular exponencialmente a medida em que vão sendo transmitidas de um animal para outro através da alimentação, escalando a cadeia alimentar

através dos diversos níveis tróficos, processo denominado de biomagnificação. Animais carnívoros, como homem, que ocupam posições mais elevadas na cadeia alimentar, são os que possivelmente possuem maior concentrações teciduais de metais (MOURO et al., 2019).

Todos os anos, milhares de toneladas de poluentes são descartados no meio ambiente, desencadeando a contaminação de alimentos e água potável (SINGH, 2005; SULE et al., 2020). Um exemplo de poluentes extremamente tóxicos são os resíduos de equipamentos eletroeletrônicos. Tais equipamentos são compostos de diversas substâncias e elementos químicos extremamente nocivos à saúde como o cádmio, chumbo, mercúrio e cobre entre outros (SOARES, 2019). Ao entrar no organismo, os metais pesados podem se acumular em muitos órgãos e afetar a fisiologia destes. Sabe-se que cada elemento possui uma especificidade por tipo celular e tecidual, mas de forma geral, a preocupação é maior em tecidos relacionados aos processos de desintoxicação celular, como hepático e renal, e órgãos essenciais para a reposição natural das espécies, ou seja sistema reprodutor (CUPERTINO et al., 2017; SULE et al., 2020).

Alterações em parâmetros fisiológicos humanos advinda a exposição a tóxicos ambientais tem sido descrita mundialmente para diversos órgãos e sistemas (NELSON, BUNGE, 1974, MOURO et al., 2019). Por exemplo, a concentração espermática humana decresceu cerca de 50- 60% entre os anos de 1973 e 2011 em países industrializados como os Estados Unidos, da Europa e a Nova Zelândia (LEVINE et al., 2017). Entre 1965 e 2015 foi relatado redução de 73 % em países africanos (SENGUPTA et al., 2017) e 32,5% em países europeus (SENGUPTA et al., 2018). A exposição a diversas substâncias está relacionada a redução da fertilidade masculina, dentre estes podemos citar pesticidas, fungicidas, fármacos, fatores nutricionais, bem como metais pesados (WONG et al. 2000; CEDERROTH et al., 2012; MOURO et al., 2019).

Existem diversas lacunas nos entendimentos atuais da toxicidade de metais pesados, em termos de exposição humana como alvos celulares potenciais e, principalmente, interações de metais pesados com bioelementos e com moléculas orgânicas celulares, principalmente lipídios, proteínas e ácidos nucléicos, que levam a danos teciduais. Desta maneira objetivamos analisar, através de dados de literatura, evidências científicas que apontam a associação de exposição a poluentes ambientais inorgânicos, principalmente metais pesados, na etiopatogênese de doenças humanas.

## 2 METODOLOGIA

### Estratégia de pesquisa e seleção dos artigos

Foi realizada uma busca por artigos originais, de maneira sistemática seguindo as diretrizes PRISMA, nos bancos de dados PubMed (US National Library of Medicine National Institutes of Health), Lilacs (Literatura Latino-Americana e do Caribe em Ciências da Saúde) e SciELO (Scientific Electronic Library Online). Os filtros de pesquisa foram desenvolvidos de acordo com o dicionário de sinônimos da plataforma - MeSH terms (Medical Subject Headings). Os descritores e operador booleano foram utilizados “Metals, Heavy” AND “Toxicology”. Foram utilizados os filtros “Clinical Trial” para tipo de artigo, “humans” para espécie e “10 years” para data de publicação. Não houve restrição de linguagem. Os textos na íntegra foram obtidos por meio eletrônico e a seleção inicial foi feita a partir do título e resumo de todos os artigos encontrados. Os estudos duplicados foram removidos comparando os autores, título, ano e o jornal de publicação.

### Crítérios de inclusão e exclusão

Os artigos foram selecionados de acordo com os seguintes critérios de inclusão: a) estudos que analisaram a exposição a contaminantes ambientais inorgânicos na etiopatogênese de doenças humanas; b) doenças humanas, cuja etiopatogênese havia envolvimento de metais pesados; c) ser artigo original e ter texto completo disponível; e d) ter sido publicado no período entre 2010 a 2020. Estudos que não atendiam aos critérios de inclusão foram excluídos da presente revisão.

### Extração dos dados

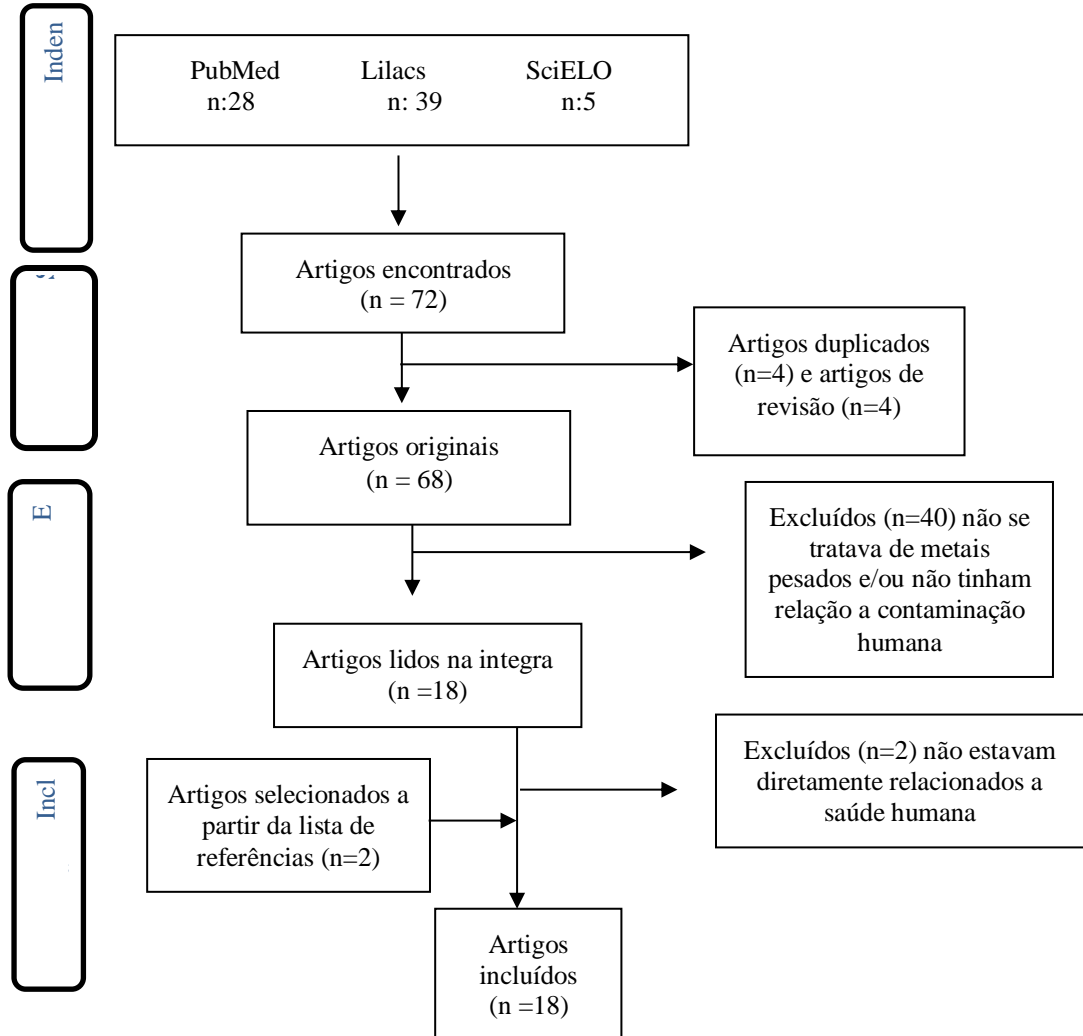
Após a leitura e a seleção dos artigos, os dados qualitativos foram extraídos de todos os artigos incluídos. A extração de dados foi classificada seguinte forma: 1) características da publicação: fonte, poluente, tipo de estudo, modelo, região geográfica, doses, metodologia e conclusões; 2) informações específicas sobre danos à saúde humana: órgão estudado, dado descrito, possibilidade de terapia, tamanho da amostra, características da amostra e tipo de dano celular; 3) descrição dos principais resultados encontrados.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram encontrados 72 artigos, dos quais 18 foram selecionados para integrar a presente revisão. Após verificação, de modo independente pelos pesquisadores, obteve-se concordância

sobre os artigos selecionados. A Figura 1 apresenta o diagrama de fluxo dos resultados da pesquisa da revisão sistemática:

**Figura 1.** Diagrama de fluxo dos resultados da pesquisa de revisão sistemática, com base em itens de relatórios preferenciais para Reviews Sistemáticos e Meta-Análises: The PRISMA Statement.



Os artigos recuperados e incluídos no estudo são de língua inglesa e portuguesa, o período de tempo de publicação deles foi de 2010 a 2019. O poluente o design experimental o modelo experimental usado e a região geográfica de estudo e encontram-se discriminados na tabela 1. Os aspectos mais importantes para o estudo foram o tipo de poluente, sendo que os que mais encontrados foram: 7/18 (Yang et al., 2018/ Garcia-Guinea et al., 2010/ Calao et al., 2013/ Ramírez et al, 2014/ Dobrakowski, 2015/ Bayhan T et al, 2017/ Dee et al, 2019) Chumbo (Pb); 6/18 (Yang et al., 2018/ Calao et al., 2013/ Costa et al.,2016/ Bayhan T et al, 2017/ Dee et al, 2019/ Huang et al, 2018); Cádmio (Cd); 6/18(Rahbar et al., 2014/ Garcia-Guinea et al., 2010/ Costa et al.,2016/ Ghazala et al.,2018/ Wiechu at al, 2012/ Dee et al, 2019) Manganês

(Mn); 5/18(Yang et al., 2018/ Garcia-Guinea et al., 2010/ Costa et al.,2016/ Bayhan T et al, 2017/ Dee et al, 2019) ;Cobre (Cu); 5/18(Garcia-Guinea et al., 2010/ Ghazala et al.,2018/ Bayhan T et al, 2017/ Wiechu at al, 2012/ Dee et al, 2019) Zinco (Zn); 3/18(Calao et al., 2013/ Tahmasebi et al., 2017/ Baquerizo et al., 2018/ Li YF et al, 2012) Mercúrio (Hg), e os menos encontrados foram: 3/18(Garcia-Guinea et al., 2010/ Bayhan T et al, 2017/ Wiechu at al, 2012) Cromo (Cr); 2/18(Yang et al., 2018/ Monroy et al., 2016) Arsênio (As); 2/18(Ghazala et al.,2018/ Bayhan T et al, 2017) Cobalto (Co); 1/18(Garcia-Guinea et al., 2010) Ferro (Fe); 1/18(Garcia-Guinea et al., 2010) Silício (Si); 1/18(Duydu et al., 2018) o Boro (B); 1/18(Bayhan T et al, 2017) Alumínio (Al); 1/18(Li YF et al, 2012) Selênio (Se); 1/18(Mcmahon et al, 2015) Césio (Cs). Vale ressaltar, que vários estudos foram feitos com mais de um elemento químico. A maioria dos artigos apresentaram resultados de análise com delineamento experimental e descritivo. Dessa maneira, apenas dois (Tahmasebi et al., 2017 /Ramírez et al, 2014) tiveram somente um planejamento experimental. As pesquisas foram realizadas em humanos sendo 5/18(Yang et al., 2018/ Tahmasebi et al., 2017/ Ghazala et al.,2018/ Li YF et al, 2012/ McMahan et al, 2015),que fizeram análises em humanos, também, analisaram o solo (vegetação); 2/18(Dee et al, 2019/ Li YF et al, 2012) utilizou ainda animais; 1/18(Huang et al, 2018) empregou o alimento como base (Tabela 2).

Os estudos foram feitos com uma maior frequência nos países como : 4/18(Yang /et al., 2018/ Duydu et al., 2018/ Li YF et al, 2012/ Huang et al, 2018) China; 2/18(Monroy et al., 2016/ Ramírez et al, 2014) no México; 2/18(Dobrakowski ,2015/ Wiechu at al, 2012) na Polônia .Já nos países como :1/18(Rahbar et al., 2014 ) Jamaica; 1/18(Garcia-Guinea et al., 2010) na Espanha; 1/18(Calao et al., 2013) na Colômbia; 1/18(Costa et al.,2016) no Brasil; 1\18(Tahmasebi et al., 2017 no Irã; 1/18(Baquerizo et al., 2018) no Equador; 1/18(Ghazala et al.,2018) no Paquistão; 1/18(Bayhan T et al, 2017) na Turquia; 1/18(Dee et al, 2019) na Malásia; 1/18(Mcmahon et al, 2015 )<sup>1</sup> na Ucrânia a pesquisa ocorreu em um menor número de acordo com a tabela 1.

Yang et al, (2018), realizaram mensuração de quantidade de ingestão diária de metais pesados associada ao consumo de vegetais dos habitantes. As concentrações de metais pesados em amostras de solo e vegetais foram detectadas por espectrometria de massa com plasma acoplado indutivamente. Observou -se que contaminação do solo com Cádmio foi o mais sério, com uma concentração média de 4,6 vezes maior do que o máximo permitido pelo Ministério da Proteção Ambiental da China. Análise da exposição ao Cd mostrou que o risco para a saúde humana advinda da exposição ao Cd em certos subgrupos é de grande preocupação. Indivíduos



que subsistem em alimentos caseiros e agricultura familiar possuem menor risco comparados ao que residentes não ocupacionais, apesar do risco não pode ser excluído (Huang et al, 2018). Investigação em indivíduos expostos a áreas de solo contaminado por Césio 137, mostrou associação da exposição ao aumento da prevalência de anemia e doenças respiratórias agudas (McMahon et al, 2015).

Monorov et al, (2016) analisaram o consumo de alimentos em crianças associado ao arsênico e a condições sociodemográficas. Os resultados demonstraram que as práticas alimentares são indicadoras de risco a população expostas, e que o consumo de nutrientes promove a desintoxicação de metais, porém em condições de precariedade social o consumo de alimentos é deficiente, não sendo eficiente os processos de desintoxicação. Já Rahbar et al., (2014), em pesquisa feita, na Jamaica, com amostras de sangue de crianças para avaliação dos níveis de manganês, concluíram que não há associação significativa entre exposições a manganês e casos de Transtorno do Espectro Autista. Efeitos genotóxicos foram relacionados com concentração de metais pesados com limites acima do permitido pela Organização Mundial de Saúde (Calao et al., 2013).

De acordo com Garcia-Guinea et al., (2010), em análise de amostras de solo coletadas ao redor da fábrica de ferro e aço concluíram, que vários metais coletados passam do limite poluente para a população. Outro estudo avaliou a limnologia de bacias na América do Sul, focando as concentrações de metais pesados (Cd, Cu e Mn), para determinar o potencial toxicológico. Os resultados demonstram baixa qualidade de água recomendada pela CONAMA e oferecendo risco a população (Costa et al., 2016).

Tahmasebi et al., (2017) determinaram a correlação entre os níveis séricos de zinco e os escores de transtorno de humor, ou seja, o aumento dos níveis séricos de zinco em algumas poderia melhorar a sintomatologia relacionada aos transtornos de humor. De acordo com Baquerizo et al., (2018), foram administrados 100 mg de N1, N3-Bis-(2-Mercaptoethyl) Isophthalamide (NBMI), 300 mg de NBMI ou placebo por 14 dias em 36 mineiros com níveis de urina de mercúrio superiores a 15 µg. Além disso, Níveis de mercúrio na urina [µg / leµg / g creatinina] e plasma foram analisados. O efeito terapêutico foi avaliado usando o escore médico de intoxicação (MIS) e seus resultados únicos de saúde. E revelado que NBMI mostrou efeito na fadiga física e houve indicações de efeitos positivos em outras sintomas também.

Ramírez et al, (2014), analisaram o efeito da suplementação com antioxidantes em trabalhadores expostos ao chumbo (Pb) e compararam com um grupo controle não suplementado, porém também exposto ao chumbo. Como resultado observou-se que os



trabalhadores suplementados apresentavam menor grau de intoxicados por chumbo em relação ao grupo controle. Já Dobrakowski et al, (2015), compararam homens expostos à Pb por períodos que variam de 4 a 38 anos, tratados com N-acetilcisteína (NAC) em três doses durante 12 semanas (200, 400 e 800 mg/dia), com homens expostos ao Pb sem tratamento adicional. Observou-se o tratamento com NAC normalizou o nível de homocisteína e diminuiu o estresse oxidativo, causado pelo Pb. Li et al (2012) analisaram os efeitos da suplementação de selênio em indivíduos intoxicados por mercúrio. A análise foi feita na concentração de mercúrio urinário e biomarcadores relacionados ao estresse oxidativo. Os resultados mostraram, que a suplementação com selênio pode aumentar a excreção de mercúrio e diminuir o malondialdeído, que é um biomarcador de peroxidação lipídica.

Pesquisa recente investigou os possíveis efeitos nocivos associados ao boro na reprodução masculina em trabalhadores. Tal pesquisa foi realizada em fluidos biológicos., porém como resultado não foi observada relação da exposição ao Boro e danos reprodutivos relevantes ao sexo masculino (Duydu et al., 2018). De acordo com Dee et al, (2019), em pesquisa feita com amostras do molusco *Corbicula flumínea*, utilizados para consumo humano, conclui-se que à taxa de 75 g/dia/pessoa, com frequência de três vezes por semana, não apresenta risco de contaminação humana por metais pesados. Porém, Ghazala et al., (2018) analisaram através de amostragem aleatória de diversas marcas de chá e observaram que os metais zinco e cobalto apresentaram-se acima dos limites de concentração permitidos para consumo humano, podendo acarretar risco a saúde do ser humano.

Em pesquisa que mensurou os níveis séricos de metais pesados em pacientes com talassemia maior (MT), talassemia intermediária, anemia congênita diseritropoiética e controles saudáveis de acordo com a idade e o sexo, observou-se que indivíduos diagnosticados com MT apresentam níveis de Cádmio elevados no plasma (Bayhan et al, 2017). Já em análise de concentração de metais pesados como: Cromo, Zinco e Magnésio em pelos pubianos de indivíduos com risco maior em pessoas obesas, conclui-se que obesidade causa numerosos distúrbios do metabolismo e podem ser analisadas avaliando concentrações de metais no cabelo (Wiechu at al, 2012).

As intoxicações por metais pesados que ocorrem mais frequentemente no mundo, são causadas principalmente pelo mercúrio, alumínio, arsênio, cádmio, chumbo e níquel (Virga et al, 2007). Corroborando com esses dados, a atual revisão o cádmio (Cd) e o chumbo (Pb) como metais estudados na maior parte das pesquisas. Esses componentes possuem capacidade de

alterar estruturas celulares desencadeando anomalias e distúrbios no organismo humano (Virga et al, 2007).

Neste estudo, a intoxicação ocorreu através do solo, pelo fato de que com isso contaminou os alimentos agrícolas. De outra maneira, foi pela água em virtude de que ela poluiu alimentos e também o solo. Os principais danos promovidos pelos metais encontrados afetaram o sistema nervoso, visto que, gerou nos indivíduos doenças neurológicas que sensibilizou os órgãos (Yang et al, 2018). Ademais, também prejudicou o sistema endócrino dado que os participantes do estudo obtiveram salivacão excessiva, hiperatividade em crianças, oleosidade e descoloração da pele, afinamento das unhas e queda de cabelo (Yaqub et al, 2018).

Existem organizações mundiais e nacionais que estabelecem limites de concentrações de metais na água, dois delas são a Organização Mundial de Saúde (OMS) e o Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). De acordo com tais órgãos, o limite de concentração em  $\text{mg}^{-1}$  dos metais mais prevalentes no estudo foram de 0,001 (CONAMA) e 0,005 (OMS) para o Cd; 0,01 (CONAMA) e 0,05(OMS) para o Pb e 0,1 (CONAMA e OMS) para o Mn. Esses valores mostram que as organizações possuem valores de limites variantes em relação a alguns metais, como os citados acima. Entretanto, ambos reconhecem a problemática da contaminação humana pelos metais não só pela água, mas também pelos alimentos e traçam ações para amenizar tal situação, visto que a FAO e a OMS ressaltam que alimentos seguros e nutritivos são fundamentais para promover a saúde e acabar com a fome (OPAS, 2020).

Hodiernamente, os metais em concentrações irregulares no organismo podem provocar diversos distúrbios metabólicos e alterações malignas em diversos órgãos dado que, o Chumbo por exemplo, de acordo com a OMS o limite de ingestão diário: crianças 9 a 278  $\mu\text{g Pb.dia}^{-1}$ , adultos 20 a 282  $\mu\text{g Pb.dia}^{-1}$  (FAO/FAEA/WHO, 1998), porém quando tal limite não é respeitado e é consumido durante um certo tempo pode desencadear vários quadros clínicos como anorexia, náuseas, vômitos, dores abdominais diversas, paralisia, disfunção cerebral, distúrbios visuais, anemia, convulsões e palidez (ICZ, 2020). Além disso, os outros dois metais mais encontrados Cd e Mn também podem estar diretamente ligadas á doenças como a talassemia maior, talassemia intermediária, anemia congênita diseritropoiética (Bayhan et al, 2017) e Transtorno do Espectro Autista (Rahbar et al, 2014) respectivamente.

**Tabela 1.** Descrição da fonte de estudo, poluente, design experimental, modelo experimental usado e a região geográfica de estudos incluídos na revisão.

Fonte	Poluente	Design	Modelo	Região
Yang et al., 2018 [1]	Cu, Pb, Cd, As	Experimental e descritiva	Humano; Vegetal; Solo	Daye/ China
Monroy et al., 2016 [2]	As	Experimental e descritiva	Humanos	Guanajuato/ México
Rahbar et al., 2014 [3]	Mn	Descritivo e experimental	Humano	Jamaica, Caribe
Garcia-Guinea et al., 2010 [4]	Fe, Si, Cr, Mn, Zn, Pb, Cu.	Descritivo e experimental	Humano	Sul de Madrid (Espanha) na cidade de Getafe.
Calao et al., 2013[5]	Pb, Cd, Hg	Experimental e descritiva	Humano	Colombia-Guaranda, Sucre, Majagual e San Marcos e montería
Costa et al., 2016 [6]	Cd, Cu, Mn	Descritivo e experimental. Relato de caso	Humano	Rio Grande so Sul/ Brasil
Tahmasebi et al., 2017 [7]	Zn	Experimental	Humanos	Izeh/Khuzestan, sudoeste do Irã.
Baquerizo et al., 2018 [8]	Hg	Experimental	Humanos	Zaruma/Portovelo/ Equador.
Ramírez et al., 2014 [9]	Pb	Experimental	Humano	Durango / Mexico
Dobrakowski, 2015 [10]	Pb	Descritivo e experimental.	Humano	Região sul da Polônia.
Duydu et al., 2018 [11]	B	descritivo e experimental	Humano	Turquia e China.
Ghazala et al., 2018 [12]	Co, Zn e Mn	Descritivo e experimental	Humano e solo vegetal	Mansehra, Paquistão
Bayhan T et al., 2017 [13]	Pb, Al, Cd, Cr, Co, Cu e Zn	Experimental e descritiva	Humano	Ancara, Turquia
Wiechu at al., 2012 [14]	Cr, Zn e Mg	Experimental e descritivo	Humano	Voivodia da Packie (sul da Polônia)
Dee et al., 2019 [15]	Cd, Cu, Mn, Pb e Zn	Experimental e descritiva	Humano e animal.	Kelantan, Malásia.
Li YF et al., 2012[16]	Hg (como contaminante) e Se (como tratamento)	Experimental e descritiva	Humano e vegetal e animais	Wanshan, China

Huang et al, 2018 [17]	Cd	Experimental e descritiva	Humanos e com alimentos.	Sudoeste da China.
Mcmahon et al, 2015 [18]	Cs	Experimental e descritiva.	Humanos e solo.	Ucrânia

Legenda da tabela: Al (alumínio), As (arsênio), B (boro), Cd (cádmio), Cr (cromo), Cs (césio), Co (cobalto), Cu (cobre), Fe (ferro), Hg (mercúrio), Mg (magnésio), Mn (manganês), Pb (chumbo), Se (selênio), Si (silício), Zn (Zinco).

**Tabela 2.** Informações específicas sobre o órgão e possível dano do poluente ambiental, além de n amostral com características da amostra pesquisada nos artigos incluídos na presente revisão.

Fonte	Órgão/dano/tratamento	Amostra
Yang et al., 2018 [1]	Desenvolvimento de várias doenças, entre elas, cardiovasculares, renais, relacionadas ao sistema nervoso, ósseo e alterações nas células sanguíneas.	400 crianças e adultos, que moram em região contaminada.
Monroy et al., 2016 [2]	Lesões na pele, danos nos rins e fígado, além de câncer de fígado, bexiga e desregulação endócrina.  Efeitos tóxicos de As podem ser mitigados pela ingestão (vitaminas e minerais) com capacidade antioxidante. A cisteína, metionina, vitamina C e com diminuição no processo de estresse oxidativo na concentração de As no sangue, fígado e rins.	30 homens chefe de família com crianças com níveis de As no cabelo e na água potável (média de arsênico no cabelo de 1,3 mg / kg, com intervalo de não detectável de 5,9 mg / kg).
Rahbar et al., 2014 [3]	Efeitos adversos na função neuromuscular e possível associação com Transtorno do Espectro do Autismo	218 crianças jamaicanas com idade entre 2 e 8 anos
Garcia-Guinea et al., 2010 [4]	Distúrbios neurológicos, hepáticos ou renais e câncer	Quinze amostras representativas de solo, dentre quase 200 coletadas em região contaminada
Calao et al., 2013 [5]	Vários tipos de câncer	112 indivíduos Homens e mulheres
Costa et al., 2016 [6]	Doenças degenerativas, intoxicações, úlceras gastrointestinais, efeitos neuro tóxicos e hematológicos. Dano ao DNA, inibição do reparo celular, supressão de mecanismos apoptóticos e redução da atividade antioxidante.	Amostra de sangue de um adulto residente da região contaminada. Homem, acima de 18 anos, saudável que não fazia uso de medicamentos
Tahmasebi et al., 2017 [7]	Doses de Zinco como tratamento para transtornos metais como depressão, ansiedade e transtorno de humor.	100 estudantes do sexo feminino

Baquerizo et al., 2018 [8]	Órgãos do sistema nervoso e endócrino - Salivação excessiva, problemas para dormir, nervosismo/abstinência, irritabilidade, perda de memória, gosto metálico, fadiga mental e física.  Uso de N, N'bis- (2-mercaptoetil) isoftalamida no tratamento de intoxicações por mercúrio.	36 homens que trabalham em minas de ouro com idade média foi de 39 anos com níveis de mercúrio na urina superiores a 15 µ, e sintomas neurológicos e físicos.
Ramírez et al, 2014 [9]	Inibição da síntese da bainha e acúmulo de pró-oxidante e auto-oxidabilidadesubstratos como ácido- aminolevulínico.  Tratamento: suplementação com antioxidantes (vitamina C e E)	34 homens. Os não expostos ao chumbo tinham em média 34,5 anos, enquanto o grupo exposto tinha em média 32,9 anos e ambos estavam na empresa cerca de 5 a 10 anos
Dobrakowski, 2015 [10]	Aterosclerose, doença cardiovascular, risco de acidente vascular cerebral e doença vascular periférica. Dano as proteínas celulares e toxicidade celular.  A N-acetilcisteína foi usada como tratamento contra toxicidade por chumbo	A população examinada de 171 funcionários que trabalhavam com Pb. A média de idade foi de 42,5 anos, homens com exposição ocupacional ao Pb (Pb> 20 mg / dl e sem histórico de doença crônica.
Duydu et al., 2018 [11]	Órgãos do sistema reprodutor masculino	212 trabalhadores com diferentes concentrações de boro no sangue
Ghazala et al.,2018 [12]	Hiperatividade em crianças autistas, oleosidade e descoloração da pele, afinamento das unhas e queda de cabelo, especialmente em mulheres. Em todas as amostras de chá apresentaram pesticidas e metais pesados. Tais metais pesados podem alterar o sistema osmótico do corpo	20 amostras de chá foram coletas aleatoriamente
Bayhan T et al, 2017 [13]	Toxicidade celular em células humanas	133 pessoas - 68 pacientes (51 pacientes com MT- talassemia maior, 8 com TI eritropoiese ineficaz, 99 com CDA eritropoiese ineficaz) e um grupo controle que incluiu 65 voluntários.
Wiechu at al, 2012 [14]	Desregulação da massa corporal, metabolismo e consequentemente ao quadro de obesidade	85 mulheres entre 16 e 80 anos
Dee et al, 2019 [15]	Todos os órgãos – risco de câncer	Cerca de 1 kg do molusco  <i>C. flumínea</i> contaminados por metais pesados. A amostra estava preservada e foi coletado de 6 vendedores da região pesquisada
Li YF et al, 2012 [16]	Células humanas - estresse oxidativo e dano celular. Terapêutica: suplementadas com um comprimido (100 µg Se / levedura enriquecida com Se	Entre os 177 residentes, 103 deles (52 homens e 51mulheres). Idade entre 18 e 65 anos que nasceram e/ou viveram em uma comunidade local perto do Wanshan por mais de 15 anos sem doenças graves

Huang et al, 2018 [17]	Prejudicial á saúde, através de análise de biomarcadores de exposição para metais pesados.	Indivíduos (393 homens e 517 mulheres. Além de 300 amostras de arroz, 119 vegetais de caule, 88 vegetais folhosos e 93 vegetais de raiz. Os alimentos foram coletados diretamente dos domicílios dos participantes da pesquisa
Mcmahon et al, 2015 [18]	Sistema hematológico. Diminuição das células sanguíneas e alteração do sistema imunológico  Terapêutica: Suplementação dietética com radionuclídeo	No total, 947 crianças com idade entre 7 e 16 anos e moravam na região contaminada pelo metal

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os contaminantes ambientais inorgânicos mais prevalentes, nos estudos recuperados, foram os metais pesados como o Chumbo, Cádmio, Manganês, Cobre e Mercúrio. Os estudos foram feitos com maior frequência em regiões geográficas da China, México e Polônia.

Tais metais foram pesquisados como poluentes do solo e água, contaminando alimentos e entrando no organismo humano principalmente pela via oral. Em consequência da bioacumulação desses metais em órgãos, tecidos e estruturas celulares humanas, há aparecimento de patologias relacionadas, principalmente ao sistema nervoso, rins, fígado e sistema endócrino, estando o órgão afetado diretamente relacionado com o poluente estudado, via de penetração, dose e tempo de exposição.

Amostras humanas foram coletadas principalmente de maneira pouco invasiva como amostras de urina e outros fluidos biológicos. Adicionalmente, é importante ressaltar estudos como formas de tratamento e profilaxia como a suplementação com antioxidantes, além da competição com outros minerais como zinco e selênio.

#### REFERÊNCIAS

ANDERSON F, L et al. Inflammasomes: An Emerging Mechanism Translating Environmental Toxicant Exposure into Neuroinflammation in Parkinson's. **Disease Toxicol**, v.166, n.1, p.3-15.2018.

BAYHAN T. et al. Heavy metal levels in patients with ineffective erythropoiesis. **Transfusion and Apheresis Science**,v. 56, n.4, p. 539-543, 2017.

CALAO, C. R. et al. Efectos genotóxicos asociados a metales pesados en una población humana de la región de La Mojana. **Biomédica**, v. 35, n. Sup2, p. 139-51, 2015.

COSTA, F, D, C et al. Toxicidade aguda em área urbana da microbacia do córrego Água Boa (MS). **Engenharia. Sanitária. Ambiental**, v.25, n1, 2020.

COSTA, G. R. et al. Cd, Cu, and Mn from Uruguay River Basin in Uruguaiana, RS, Brazil, and their toxicological potential for human leukocyte. **Acta Scientiarum Biological Sciences**, v. 38, n. 4, p. 439-446,2016.

CUPERTINO M, C et al. Cadmium- induced testicular damage is associated with mineral imbalance, increased antioxidant enzymes activity and protein oxidation in rats. **Life Sciences**. Apr 15; v. 175:23-30, 2017.

CUPERTINO M, C et al. Differential susceptibility of germ and Leydig cells to cadmium-mediated toxicity: impact on testis structure, adiponectin levels and steroidogenesis. **Oxidative Medicine and Cellular Longevity**, n.1, p.1-11,2017.

DEE K, H. et al. Health Risk Assessment of Heavy Metals from Smoked Corbicula fluminea Collected on Roadside Vendors at Kelantan. **Biomedical Reserch International**, v. 2019, 2019.

DUYDU, Y. et al. Evaluation of FSH, LH, testosterone levels and semen parameters in male boron workers under extreme exposure conditions. **Archives of Toxicology**, Alemanha, v. 92, n. 10, p. 3051-3059, 2018.

FAO/FAEA/WHO 1998. **Elementos traço na nutrição e saúde humana**. Editora Rocca. 316 p.

ICZ. BRASIL. Instituto dos metais não ferrosos. **Chumbo e a Saúde**.2020. Disponível em: <http://www.icz.org.br/chumbo-saude.php>. Acesso em: 12 jul. 2020.

KASPERCZYK1, S. et al. Effect of N-acetylcysteine administration on the expression and activities of antioxidant enzymes and the malondialdehyde level in the blood of lead-exposed workers. **Sage: Toxicology and Industrial Health**, v.65, n.9, p. 1-12, 2015.

LAMBERTZ, M et al. Mining disaster: Huge species impact. **Nature**, v.538, n.39, 2015.

LEVINE, H. N.A. et al. Temporal trends in sperm count: A systematic review and meta-regression analysis. **Human Reproduction Update**, v.23, n.6, p.646–659, 2017.

LI Y, F. et al. Organic selenium supplementation increases mercury excretion and decreases oxidative damage in long-term mercury-exposed residents from Wanshan. **Environmental Science & Technology**, v.46, p.11313-11318, 2012.

MARTINEZ, C.S. et al. 60-Day Chronic Exposure to Low Concentrations of HgCl<sub>2</sub> Impairs Sperm Quality: Hormonal Imbalance and Oxidative Stress as Potential Routes for Reproductive Dysfunction in Rats. **Plos One**, v. 9, p. 9-11, 2014.

MCCMAHON, D. M. et al. Dietary supplementation with radionuclide free food improves children's health following community exposure to <sup>137</sup>Cesium: a prospective study. **Environmental Health**, v.4, p. 1-11, 2015.



MOURO, V, G, S et al. Subacute Testicular Toxicity to Cadmium Exposure Intraperitoneally and Orally. **Oxidative medicine and cellular longevity**, v. 2019, 2019.

NELSON, C.M. et al. Semen analysis: evidence for changing parameters of male fertility potential. **Fertil Steril**, v.25, n.6, p.503-507, 1974.

OPAS BRASIL. **Segurança dos alimentos é responsabilidade de todos**. Disponível em: [https://www.paho.org/bra/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5960:seguranca-dos-alimentos-e-responsabilidade-de-todos&Itemid=875](https://www.paho.org/bra/index.php?option=com_content&view=article&id=5960:seguranca-dos-alimentos-e-responsabilidade-de-todos&Itemid=875). Acesso em: 12 jul. 2020.

RAHBAR, M H. et al. Blood manganese concentrations in Jamaican children with and without autism spectrum disorders. **Environmental Health**, v. 13, p 13-69, 2014.

RENDÓN, R. et al. Effect of vitamin E and C supplementation on oxidative damage and total antioxidant capacity in lead-exposed workers. **Environmental toxicology and pharmacology**, vol. 37, p. 45-54, 2014.

SCHUTZMEIER, P. et al. Efficacy of N,N'-bis-(2-mercaptoethyl) isophthalamide on mercury intoxication: a randomized controlled trial. **Environmental Health**, Alemanha, v. 17, n. 1, p. 1-15, fev. /2018.

SENGUPTA, P. et al. Decline in sperm count in European men during the past 50 years. **Human & Experimental Toxicology**, v.37, n.3, p. 247-255, 2018.

SENGUPTA, P. et al. The Disappearing Sperms: Analysis of Reports Published Between 1980 and 2015. **American Journal of Men's Health**, v.11, n.4, p.1279-1304, 2017.

SINGH, V.P et al. Metal toxicity and tolerance in plants and animals. **Sarup & Sons**, v.4, n.4, p. 328.

SOARES, C. A. Análise da influência da proporção HCl:HNO<sub>3</sub>, da temperatura e do volume de ácidos na lixiviação de Cu e Pb presentes em placas de circuito impresso. **Brazilian Journal of health Review**, v.2, n.3, p. 2239-2245, 2019.

SULE, K et al. Mechanisms of Co, Ni, and Mn toxicity: From exposure and homeostasis to their interactions with and impact on lipids and biomembranes. **Biochimica et Biophysica Acta (BBA) - Biomembranes**, v.1862, n8, p. 183250, 2020.

TAHMASEBI K. et al. Association of Mood Disorders with Serum Zinc Concentrations in Adolescent Female Students. **Biological Trace Element Research**, v. 178 n. 2, p, 180-188, 2017.

TORRES, M. et al. Assessment practices of food and nutrition in a population exposed to arsenic: a proposal to integrate nutritional risk indicators. **Nutrición Clínica: Dietética Hospitalaria**, v. 36, n. 2, p. 140-149, 2016.

TURNER T, T et al. Oxidative stress: a common factor in testicular dysfunction. **Journal of Andrology**, v.29, n5, p.488-498, 2008.

VIRGA, R. H. E. et al. Assessment of heavy metal contamination in blue crab specimens. **Ciência. Tecnologia. Alimentos**, v.27, n. 4, p. 779-785, 2007.

WIECHUŁA, D. et al. Chromium, Zinc and Magnesium Concentrations in the Pubic Hair of Obese and Overweight Women. **Biological Trace Element Research**, v. 148, p.18-24, 2012.

WONG, W.Y. et al. Male factor subfertility: possible causes and the impact of nutritional factors. **Fertility and Sterility**, v.75, n.3, p.435-442, 2000.

YANG, J. et al. Heavy metal contamination in soils and vegetables and health risk assessment of inhabitants in Daye, China. **Journal of International Medical Research**, v. 46, n. 8, p. 3374-3387, 2018.

YAQUB, G. et al. Monitoring and risk assessment due to presence of heavy metals and pesticides in tea samples. **Journal of Food Science and Technology**, Campinas, v. 38, n. 4, p. 625-628, 2018.

ZHANG, G et al. Associations of ambient air pollutant exposure with seminal plasma MDA, sperm mtDNA copy number, and mtDNA integrity. **Environment International**, v.136, p.105483, 2020.