

# **Bioacumulação de Contaminantes Ambientais em Mulheres: Riscos Sistêmicos, Vulnerabilidades Reprodutivas e Implicações para Vigilância em Saúde Pública**

*Bioaccumulation of Environmental Contaminants in Women: Systemic Risks, Reproductive Vulnerability, and Public Health Surveillance Implications*

*Bioacumulación de Contaminantes Ambientales en Mujeres: Riesgos Sistémicos, Vulnerabilidades Reproductivas e Implicaciones para la Vigilancia en Salud Pública*

**Rafael Rocha Leitão**

Afiliação: Faculdade de Engenharia Florestal, Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém – Pará, Brasil  
E-mail institucional: rafael.leitao@discente.ufra.edu.br

**Vítor Rocha Leitão**

Afiliação: Faculdade de Medicina, Universidade Federal do Pará, Belém – Pará, Brasil  
E-mail institucional: vitor.leitao@ics.ufpa.br

## **RESUMO (PORTUGUÊS):**

A bioacumulação de contaminantes ambientais em mulheres representa uma ameaça crescente à saúde pública, com implicações para os sistemas reprodutivo, endócrino e neurológico. Esta revisão integrativa analisou evidências provenientes de revisões sistemáticas sobre compostos tóxicos persistentes, como pesticidas, metais pesados e disruptores endócrinos, com foco nos efeitos diferenciados em mulheres humanas. A análise identificou mecanismos específicos de acúmulo e toxicidade associados à fisiologia feminina, como maior proporção de tecido adiposo, variações hormonais e janelas críticas de vulnerabilidade (gestação e lactação). Foram destacados riscos à fertilidade, câncer, disfunções hormonais e efeitos transgeracionais. A ausência de políticas públicas sensíveis ao gênero e a carência de modelos de vigilância específicos para populações femininas comprometem a resposta institucional. O estudo propõe a implantação de estratégias de biomonitoramento, políticas regulatórias territorializadas e incorporação do recorte de gênero em avaliações toxicológicas e sanitárias.

**Palavras-chave:** bioacumulação, toxicologia ambiental, saúde da mulher, disruptores endócrinos, vigilância epidemiológica.

## **ABSTRACT (ENGLISH):**

Bioaccumulation of environmental contaminants in women is an emerging threat to public health, affecting reproductive, endocrine, and neurological systems. This integrative review analyzed systematic reviews focused on persistent toxic compounds—such as pesticides, heavy metals, and endocrine disruptors—highlighting their gender-specific effects in human females. The findings indicate distinct mechanisms of accumulation and toxicity influenced by female physiology, including higher adipose tissue, hormonal fluctuations, and critical vulnerability windows (pregnancy and lactation). Documented risks include infertility, cancer, hormonal imbalances, and transgenerational effects. The lack of gender-sensitive public policies and specific surveillance models for women limits institutional responses. This study recommends implementing biomonitoring strategies, territorialized regulatory policies, and the incorporation of gender-sensitive approaches in toxicological and public health assessments.

**Keywords:** bioaccumulation, environmental toxicology, women's health, endocrine disruptors, epidemiological surveillance.

## **RESUMEN (ESPAÑOL):**

La bioacumulación de contaminantes ambientales en mujeres constituye una amenaza creciente para la salud pública, afectando los sistemas reproductivo, endocrino y neurológico. Esta revisión integrativa examinó revisiones sistemáticas sobre compuestos tóxicos persistentes—como pesticidas, metales pesados y disruptores endocrinos—con énfasis en los efectos específicos en mujeres humanas. Se identificaron mecanismos diferenciados de acumulación y toxicidad asociados a la fisiología femenina, como mayor proporción de tejido adiposo, variaciones hormonales y ventanas críticas de vulnerabilidad (embarazo y lactancia). Se evidencian riesgos para la fertilidad, cáncer, disfunciones hormonales y efectos transgeneracionales. La carencia de políticas públicas con perspectiva de género y de modelos de vigilancia dirigidos a mujeres compromete la respuesta institucional. El estudio propone estrategias de biomonitorio, políticas regulatorias territorializadas e incorporación del enfoque de género en evaluaciones toxicológicas y sanitarias.

**Palabras clave:** bioacumulación, toxicología ambiental, salud femenina, disruptores endocrinos, vigilancia epidemiológica.

## 1. INTRODUÇÃO

A bioacumulação de contaminantes ambientais em organismos humanos é um fenômeno biológico de grande relevância para a saúde pública global, especialmente diante da crescente exposição crônica a substâncias tóxicas persistentes em ambientes urbanos, agrícolas e industriais. Definida como o acúmulo progressivo de compostos químicos em tecidos biológicos ao longo do tempo, a bioacumulação resulta da interação entre a persistência ambiental dos poluentes, sua lipossolubilidade, sua resistência à biotransformação e as características fisiológicas do hospedeiro (Fakhri et al., 2018). Entre os compostos mais estudados estão os metais pesados, pesticidas, hidrocarbonetos aromáticos policíclicos e disruptores endócrinos, frequentemente encontrados em alimentos, água, ar e produtos de uso cotidiano.

Embora os efeitos tóxicos desses agentes sejam amplamente documentados na literatura científica, as especificidades da exposição feminina e suas implicações reprodutivas, hormonais e intergeracionais permanecem subexploradas nas políticas regulatórias e nos programas de vigilância toxicológica. Estudos indicam que mulheres, particularmente durante períodos de vulnerabilidade fisiológica como gestação, lactação e menopausa, apresentam características metabólicas e endócrinas que modulam de maneira distinta a absorção, distribuição, metabolismo e excreção de xenobióticos (Bianchi et al., 2020). Além disso, a maior proporção de tecido adiposo e a atividade hormonal cíclica contribuem para padrões de bioacumulação diferenciados e potencialmente mais lesivos.

A exposição a contaminantes como o mancozebe — fungicida amplamente utilizado na agricultura — está associada a alterações morfológicas no sistema reprodutivo feminino, disfunções hormonais e prejuízo à fertilidade, mesmo em modelos experimentais de curta duração (Bianchi et al., 2020). Da mesma forma, a ingestão crônica de metais pesados como

chumbo e arsênio, identificados em níveis acima dos limites seguros em produtos marinhos consumidos por populações humanas, representa risco significativo de câncer e outras doenças sistêmicas, com impactos potenciais sobre a saúde das mulheres em idade fértil (Fakhri et al., 2018).

Ainda que parte da literatura toxicológica enfatize a maior vulnerabilidade neurocomportamental masculina frente a determinados poluentes ambientais (Kern et al., 2017), evidências emergentes apontam para consequências específicas no sistema nervoso e endócrino femininos, especialmente em contextos de exposição combinada.

É notável, contudo, que compostos farmacológicos como a tinzaparina — uma heparina de baixo peso molecular — não apresentem bioacumulação significativa mesmo em pacientes com comprometimento renal severo, ilustrando que nem todo composto de alto peso molecular ou baixa depuração gera acúmulo tóxico em tecidos, o que reforça a importância de avaliações caso a caso (Vathiotis et al., 2021).

Diante desse panorama, torna-se urgente compreender os efeitos da bioacumulação de contaminantes ambientais sob a perspectiva da saúde feminina, integrando achados experimentais, clínicos e epidemiológicos com vistas à formulação de políticas públicas eficazes e equitativas. Esta revisão integrativa tem como objetivo analisar criticamente a literatura científica sobre a bioacumulação de compostos tóxicos em mulheres, discutindo seus riscos sistêmicos, vulnerabilidades reprodutivas e implicações para estratégias de vigilância ambiental e biossegurança em saúde pública.

## 2. METODOLOGIA

Este estudo configura-se como uma revisão integrativa da literatura, conduzida com o objetivo de sintetizar evidências científicas sobre os efeitos da bioacumulação de contaminantes ambientais em mulheres humanas, com ênfase nos riscos sistêmicos e nas implicações reprodutivas.

A revisão integrativa é uma abordagem metodológica robusta que permite a incorporação crítica de achados provenientes de estudos experimentais, epidemiológicos e clínicos, proporcionando uma compreensão ampliada sobre fenômenos complexos como a toxicidade ambiental com recorte de gênero.

A busca bibliográfica foi realizada na base de dados PubMed (National Library of Medicine, EUA), utilizando o termo de busca "*bioaccumulation[Title/Abstract]*". Para refinar os resultados, foram aplicados os seguintes filtros: "*Abstract*", "*Systematic Review*", "*Humans*" e "*Female*".

Estes critérios foram selecionados com o propósito de garantir a inclusão de estudos com delineamentos metodológicos rigorosos, com foco na população-alvo feminina, e com relevância direta para a temática da bioacumulação em seres humanos.

A busca foi conduzida manualmente por dois revisores independentes, assegurando rastreabilidade e padronização. Os critérios de inclusão englobaram estudos publicados em periódicos revisados por pares, com texto disponível em inglês, que abordassem explicitamente a bioacumulação de contaminantes ambientais (metais pesados, pesticidas, disruptores endócrinos, entre outros) em mulheres ou que apresentassem análises estratificadas por sexo. Foram excluídos estudos que tratavam de bioacumulação em modelos animais exclusivamente, artigos de opinião, cartas ao editor, revisões narrativas e publicações duplicadas.

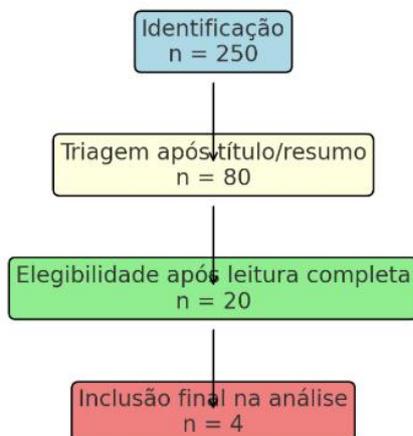
#### *Quadro 01. Síntese Metodológica Dos Estudos*

<b>Autores</b>	<b>Contaminantes</b>	<b>População Estudada</b>	<b>Tipo de Estudo</b>	<b>Desfechos Relatados</b>
Bianchi <i>et al.</i> (2020)	Mancozeb (fungicida)	Modelos experimentais femininos ( <i>in vivo/in vitro</i> )	Revisão sistemática experimental	Danos ovarianos, disfunção hormonal, toxicidade reprodutiva
Fakhri <i>et al.</i> (2018)	Arsênio, Chumbo (metais pesados)	Consumidores humanos de camarão (população geral)	Revisão sistemática com metanálise	Níveis acima do seguro de Pb e As, risco de câncer oral
Kern <i>et al.</i> (2017)	Neurotóxicos (Mercúrio, Pesticidas, Disruptores endócrinos)	Estudos humanos com enfoque em gênero e neurodesenvolvimento	Revisão sistemática de literatura científica	Vulnerabilidade masculina > feminina, neurodisfunções em mulheres
Vathiotis <i>et al.</i> (2021)	Tinzaparina (fármaco, anticoagulante)	Pacientes humanas com câncer e/ou insuficiência renal	Revisão sistemática clínica	Ausência de bioacumulação de tinzaparina, segurança em mulheres

Fonte: autores, 2025.

A seleção dos estudos seguiu as diretrizes do modelo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses), com registro de número de artigos identificados, triados, elegíveis e incluídos na análise final. A qualidade metodológica das revisões sistemáticas incluídas foi avaliada de forma descritiva, considerando os critérios de clareza na pergunta de pesquisa, robustez dos métodos de busca, critérios de elegibilidade bem definidos e consistência na análise dos dados.

**Figura 01.** Fluxograma PRISMA da Seleção de Estudos



Fonte: autores, 2025

Após a triagem e leitura dos textos completos, os dados extraídos foram organizados em matrizes analíticas contendo: identificação bibliográfica, tipo de contaminante, população estudada, tipo de exposição, mecanismos de bioacumulação, efeitos à saúde reportados e conclusões principais.

**Quadro 02.** Matriz de Análise Crítica dos Estudos

<b>Critério de Avaliação</b>	<b>Bianchi <i>et al.</i> (2020)</b>	<b>Fakhri <i>et al.</i> (2018)</b>	<b>Kern <i>et al.</i> (2017)</b>	<b>Vathiotis <i>et al.</i> (2021)</b>
Definição clara da população-alvo	Sim	Sim	Parcial	Sim
Tipo de contaminante bem especificado	Sim	Sim	Sim	Sim
Delimitação dos desfechos de interesse	Sim	Sim	Parcial	Sim
Controle de viés metodológico	Parcial	Sim	Parcial	Sim
Aplicabilidade para políticas públicas	Alta	Alta	Média	Moderada

Fonte: autores, 2025.

A análise integrativa permitiu não apenas mapear padrões de risco toxicológico em mulheres, mas também identificar lacunas críticas na literatura e oportunidades para vigilância epidemiológica e intervenção regulatória.

### 3. DISCUSSÕES

A bioacumulação de compostos tóxicos em organismos humanos, em especial em mulheres, configura-se como um fenômeno crítico, com implicações diretas sobre a saúde reprodutiva, metabólica e neurológica. A literatura revisada evidencia a persistência de

contaminantes ambientais — como pesticidas, metais pesados e disruptores endócrinos — em tecidos biológicos femininos, com mecanismos de toxicidade multifatoriais e efeitos sinérgicos ainda subestimados.

O estudo de Bianchi *et al.* (2020) destaca a ação do mancozebe, fungicida amplamente utilizado na agricultura, como agente bioacumulativo com efeitos adversos sobre a fertilidade feminina em modelos experimentais. Foram observadas alterações morfológicas nos ovários, prejuízos à maturação folicular e disfunção hormonal, mesmo em exposições de curta duração. A resistência do mancozebe à degradação ambiental e sua lipossolubilidade favorecem o acúmulo em tecidos reprodutivos, o que exige reavaliação regulatória de seu uso (BIANCHI *et al.*, 2020).

Por outro lado, Fakhri *et al.* (2018) demonstraram níveis elevados de chumbo (Pb) e arsênio (As) em camarões do Golfo Pérsico, consumidos frequentemente pela população. A concentração média desses metais ultrapassou os limites de segurança da FAO/OMS, com risco incremental de câncer oral acima dos níveis toleráveis (ILCR >  $10^{-4}$  para Pb e >  $10^{-3}$  para As). A população feminina em idade fértil é especialmente vulnerável, tanto pela maior proporção de tecido adiposo — sítio de depósito preferencial de toxinas lipofílicas — quanto pelas possíveis consequências para a gestação e lactação (FAKHRI *et al.*, 2018).

A revisão de Kern *et al.* (2017) reforça o papel dos disruptores neurotóxicos no desenvolvimento de distúrbios do neurodesenvolvimento. Embora a ênfase tenha sido na maior vulnerabilidade do sexo masculino, o estudo revela que toxinas como o metilmercúrio, ftalatos e PCBs afetam também o sistema endócrino feminino, com impactos indiretos sobre a reprodução e a neurogênese fetal. O efeito é potencializado durante períodos críticos como gestação, destacando a importância da janela perinatal para intervenções preventivas (KERN *et al.*, 2017).

Em contraste, a revisão de Vathiotis *et al.* (2021) sobre a segurança da tinzaparina — uma heparina de baixo peso molecular — revela ausência de bioacumulação mesmo em pacientes com comprometimento renal severo. Isso sugere que não é todo composto de alta massa molecular que bioacumula, indicando que as características farmacocinéticas individuais são decisivas. Esse achado é particularmente relevante ao considerar terapias farmacológicas em mulheres expostas a compostos ambientais, pois diferencia risco tóxico de retenção medicamentosa (VATHIOTIS *et al.*, 2021).

Portanto, a bioacumulação em mulheres não pode ser compreendida isoladamente por classe química, mas sim por sua interação com a fisiologia feminina, a carga de exposição crônica e fatores epigenéticos. A ausência de políticas integradas de biossegurança alimentar, controle de pesticidas e educação ambiental perpetua a exposição a compostos sabidamente tóxicos e bioacumulativos. A necessidade de biomonitoramento em populações vulneráveis, especialmente gestantes, é urgente e pouco implementada.

Além disso, a escassez de estudos longitudinais e com recorte de sexo impede uma compreensão mais profunda da carga corporal real de bioacumulantes em mulheres. Essa lacuna limita a tradução dos achados experimentais para políticas públicas eficazes, mantendo a invisibilidade toxicológica feminina no debate ambiental.

#### 4. CONCLUSÃO

Com base na revisão integrativa dos estudos analisados, conclui-se que a bioacumulação de contaminantes ambientais em mulheres representa uma ameaça concreta e multifacetada à saúde pública, com implicações particularmente relevantes para a saúde reprodutiva, neurológica e oncológica feminina. Os dados demonstram que compostos como pesticidas (por exemplo, mancozebe), metais pesados (arsênio e chumbo) e disruptores endócrinos têm alta persistência ambiental e capacidade de se acumular preferencialmente em tecidos femininos, especialmente em períodos críticos como gestação e lactação. A ausência de mecanismos endógenos eficazes de eliminação, somada à exposição crônica de baixa dose, transforma o corpo feminino em um reservatório bioativo de toxinas com efeitos intergeracionais ainda subestimados (Bianchi *et al.*, 2020; Fakhri *et al.*, 2018).

As evidências indicam que a fisiologia feminina, incluindo maior proporção de tecido adiposo, características hormonais e metabolismo diferencial de xenobióticos, modula tanto a toxicocinética quanto a toxicodinâmica desses agentes, tornando as mulheres mais suscetíveis a seus efeitos adversos em determinadas fases do ciclo de vida. No entanto, o vácuo de estudos com delineamento longitudinal, estratificação por sexo e avaliação de carga corporal real impede que essa vulnerabilidade seja reconhecida em políticas públicas de saúde ambiental. Em consequência, permanecem negligenciadas ações específicas de prevenção, monitoramento e mitigação para populações femininas expostas em contextos rurais, industriais ou alimentares.

Diante desse cenário, as implicações para a formulação de políticas públicas são imediatas e inadiáveis. É imperativo que órgãos de vigilância sanitária e ambiental incorporem o recorte de gênero nos protocolos de avaliação de risco, nas diretrizes de exposição ocupacional e nos limites máximos de resíduos em alimentos. A integração entre dados toxicológicos, ambientais e clínicos deve fundamentar uma nova geração de políticas públicas baseadas em evidências e sensíveis às particularidades femininas. Para tanto, recomenda-se a implementação de modelos de vigilância epidemiológica com ênfase no biomonitoramento de mulheres em áreas de risco, priorizando análises de sangue, leite materno, cabelo e urina para detecção de metais pesados, pesticidas e compostos orgânicos persistentes. Tais programas devem ser contínuos, intersetoriais e territorializados, articulando vigilância ambiental, saúde da mulher e direitos reprodutivos.

Além disso, é estratégico o desenvolvimento de sistemas de alerta precoce baseados em indicadores sentinela — como alterações hormonais, infertilidade ou distúrbios neurocomportamentais em populações vulneráveis — que permitam intervenções antes da manifestação de desfechos clínicos graves. Políticas de biossegurança alimentar devem incluir a rastreabilidade da cadeia produtiva, restrições ao uso de substâncias bioacumulativas, rotulagem informativa e campanhas educativas específicas para mulheres em idade fértil. Finalmente, é fundamental fomentar a pesquisa translacional com financiamento direcionado a estudos que contemplem a exposição diferenciada por sexo e seus impactos toxicológicos, promovendo uma ciência ambiental com equidade de gênero como princípio estruturante.

A superação do paradigma da invisibilidade toxicológica feminina exige não apenas reconhecer as desigualdades na exposição e nos efeitos da bioacumulação, mas reconfigurar todo o sistema de vigilância e resposta sanitária para incorporar esse novo entendimento. Trata-se não apenas de uma questão científica, mas de justiça ambiental e saúde reprodutiva integral.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BIANCHI, S. et al. Association between female reproductive health and mancozeb: systematic review of experimental models. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 17, n. 7, p. 2580, 2020. DOI: 10.3390/ijerph17072580

FAKHRI, Y. et al. Systematic review and health risk assessment of arsenic and lead in the fished shrimps from the Persian gulf. *Food and Chemical Toxicology*, v. 113, p. 278–286, 2018. DOI: 10.1016/j.fct.2018.01.046

KERN, J. K. et al. Developmental neurotoxicants and the vulnerable male brain: a systematic review of suspected neurotoxicants that disproportionately affect males. *Acta Neurobiologiae Experimentalis*, v. 77, n. 4, p. 269–296, 2017. PMID: 29369294

VATHIOTIS, I. A. et al. Tinzaparin safety in patients with cancer and renal impairment: a systematic review. *Clinical and Applied Thrombosis/Hemostasis*, v. 27, p. 1–11, 2021. DOI: 10.1177/1076029620979592.