

ARTIGO ORIGINAL / ARTÍCULO ORIGINAL

PARASITAS HELMINTOS COMO BIOINDICADORES DE METAIS PESADOS EM
ECOSSISTEMAS AQUÁTICOS E A CORRELAÇÃO COM A SAÚDE PÚBLICA: UMA
REVISÃO SISTEMÁTICA SOB A ÓTICA DA SAÚDE ÚNICA

HELMINTH PARASITES AS BIOINDICATORS OF HEAVY METAL
CONTAMINATION IN AQUATIC ECOSYSTEMS AND THEIR RELATIONSHIP WITH
ONE HEALTH: A SYSTEMATIC REVIEW

Antonio Pereira da Silva Filho¹ Edriana Costa Andrade²

¹ Núcleo de Estudos Morfofisiológicos Avançados (NEMO), Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Brasil.

² Laboratório de Genética e Biologia Molecular (LabGeM), Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão (UEMASUL), Imperatriz, Brasil.

* Autor de correspondência: antonio.filho@uemasul.edu.br

Antonio Pereira da Silva Filho:  <https://orcid.org/0009-0000-6699-8377>

Edriana Costa Andrade:  <https://orcid.org/0009-0004-3300-9703>

RESUMO

Esta revisão sistemática aborda a utilização de parasitas helmintos como bioindicadores de contaminação por metais pesados em ecossistemas aquáticos, integrando a saúde ambiental à reabilitação clínica humana. O estudo fundamenta-se na crescente degradação dos corpos hídricos por elementos tóxicos e carcinogênicos, como o cádmio e o chumbo, que comprometem a biodiversidade e a segurança alimentar. O objetivo principal foi analisar a capacidade de bioacumulação de diferentes táxons de helmintos e discutir como esse monitoramento previne patologias graves que exigem cuidados complexos. A metodologia seguiu as diretrizes PRISMA, selecionando artigos publicados entre 2003 e 2024 que correlacionam fatores de bioconcentração em acantocéfalos, cestódeos, nematódeos e trematódeos com dados de reabilitação pós-cirúrgica em casos de câncer de bexiga. Os resultados indicam que os acantocéfalos e cestódeos são os indicadores mais eficazes, apresentando concentrações de metais até milhares de vezes superiores aos tecidos dos peixes hospedeiros, funcionando como sentinelas precoces de riscos toxicológicos. Foi identificada uma conexão crítica entre a exposição ambiental a metais e a incidência de neoplasias urológicas, evidenciando que a falha no biomonitoramento resulta em intervenções cirúrgicas invasivas. Conclui-se que a parasitologia ambiental é uma ferramenta indispensável para a estratégia de Saúde Única, pois a detecção precoce de poluentes mitiga o desenvolvimento de doenças crônicas e reduz a demanda por processos onerosos de reabilitação física e funcional, como a fisioterapia pélvica e o suporte nutricional intensivo. A integração entre ecologia e clínica é essencial para garantir a qualidade de vida e a sustentabilidade dos sistemas de saúde.

Palavras chave: Biomonitoramento; Uma Só Saúde; Ecotoxicologia; Acantocéfalos; Parasitologia Ambiental.

ABSTRACT

This systematic review addresses the use of helminth parasites as bioindicators of heavy metal contamination in aquatic ecosystems, integrating environmental health with human clinical rehabilitation. The study is grounded in the increasing degradation of water bodies by toxic and carcinogenic elements, such as cadmium and lead, which compromise biodiversity and food safety. The primary objective was to analyze the bioaccumulation capacity of different helminth taxa and discuss how this monitoring contributes to the prevention of severe pathologies that require complex care. The methodology followed PRISMA guidelines, selecting articles published between 2003 and 2024 that correlate bioconcentration factors in acanthocephalans, cestodes, nematodes, and trematodes with data on post-surgical rehabilitation in bladder cancer cases. Results indicate that acanthocephalans and cestodes are the most effective indicators, displaying metal concentrations up to thousands of times higher than those in host fish tissues, serving as early sentinels for toxicological risks. A critical connection was identified between environmental exposure to metals and the incidence of urological neoplasms, evidencing that failures in biomonitoring result in invasive surgical interventions. It is concluded that environmental parasitology is an indispensable tool for the One Health strategy, as early detection of pollutants mitigates the development of chronic diseases and reduces the demand for costly physical and functional rehabilitation processes, such as pelvic physiotherapy and intensive nutritional support. The integration between ecology and clinical practice is essential to ensure quality of life and the sustainability of healthcare systems.

Keywords: Biomonitoring; One Health; Ecotoxicology; Acanthocephalans; Cystectomy.

INTRODUÇÃO

A intensificação das atividades antropogênicas nas últimas décadas tem provocado mudanças drásticas e, por vezes, irreversíveis nos ecossistemas globais. Entre as diversas formas de degradação ambiental, a contaminação por metais pesados em ecossistemas aquáticos destaca-se como um dos desafios mais críticos para a conservação da biodiversidade e a saúde pública (Sures et al., 2017). Elementos como cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg) e metais do grupo da platina (Pt, Pd, Rh), estes últimos derivados principalmente de catalisadores automotivos, são lançados continuamente em corpos hídricos através de efluentes industriais, mineração e escoamento urbano (Erasmus et al., 2020). Devido à sua persistência ambiental, toxicidade e potencial de bioacumulação, esses metais representam uma ameaça invisível que exige métodos de monitoramento cada vez mais sensíveis e precisos.

Tradicionalmente, a avaliação da qualidade da água e do sedimento tem sido o método padrão para determinar os níveis de poluição. Contudo, tais análises físicas e químicas fornecem apenas um "instantâneo" da concentração total de metais, falhando frequentemente em medir a fração biodisponível dos poluentes, ou seja, aquela que é efetivamente incorporada pela biota (Sures, 2004). Nesse cenário, o uso de bioindicadores tornou-se fundamental. Embora peixes e moluscos sejam amplamente utilizados como sentinelas, o campo emergente da "Parasitologia Ambiental" (Environmental Parasitology) propõe que os parasitas, especialmente os helmintos

intestinais, oferecem uma resolução muito maior na detecção de contaminantes metálicos (Al-Hasawi, 2019).

A relevância dos helmintos como bioindicadores de acumulação reside na sua capacidade extraordinária de concentrar metais pesados em níveis significativamente superiores aos encontrados nos tecidos de seus hospedeiros. Estudos demonstram que acantocéfalos e cestódeos podem apresentar concentrações de elementos como chumbo e cádmio que são centenas ou até milhares de vezes superiores às observadas no fígado, rins ou músculos do peixe hospedeiro (Mehana et al., 2020; Mostafa et al., 2023). Este fenômeno é explicado pela fisiologia desses parasitas: a ausência de um sistema digestivo complexo em alguns grupos (como acantocéfalos) e a dependência da absorção tegumentar de nutrientes facilitam a entrada de complexos organometálicos lipofílicos, formados pela interação entre os metais e os ácidos biliares do hospedeiro no lúmen intestinal (Sures, 2003).

Além de servirem como indicadores de acumulação, os parasitas também podem ser utilizados como indicadores de efeito, uma vez que a poluição pode alterar a dinâmica das comunidades parasitárias, afetando a sua diversidade e abundância (Sures et al., 2017). No entanto, o papel desses organismos vai além do biomonitoramento ecológico; eles funcionam como sentinelas precoces para riscos à saúde humana. A contaminação de peixes por metais pesados em áreas de pesca comercial ou de subsistência é um elo direto entre a degradação ambiental e a toxicologia clínica. Metais como o cádmio e o chumbo são reconhecidos por sua nefrotoxicidade e potencial carcinogênico. Especificamente, a exposição crônica a esses elementos tem sido correlacionada ao aumento da incidência de neoplasias no sistema urinário, com destaque para o câncer de bexiga.

A transição da exposição ambiental para a patologia humana encerra o ciclo de impacto da poluição. Quando o biomonitoramento preventivo falha em mitigar a exposição a metais carcinogênicos, as consequências clínicas exigem intervenções de alta complexidade. No caso do câncer de bexiga, o tratamento padrão para casos invasivos envolve a cistectomia radical, um procedimento cirúrgico que redefine a vida do paciente. É neste ponto que a ciência ambiental se encontra com a reabilitação hospitalar. O sucesso do tratamento de doenças derivadas de agressões ambientais não termina na cirurgia, mas depende intrinsecamente da reabilitação pós-cirúrgica (Nascimento et al., 2024).

Os desafios enfrentados por pacientes submetidos à cirurgia de câncer de bexiga, muitas vezes exacerbados por uma saúde debilitada por poluentes ambientais, incluem complicações físicas, emocionais e sociais. Avanços recentes em estratégias de cuidado, como a fisioterapia pélvica, o suporte nutricional intensivo e o monitoramento remoto por tecnologias digitais, têm

se mostrado vitais para a recuperação funcional e a melhoria da qualidade de vida (Nascimento et al., 2024). Portanto, compreender os helmintos como bioindicadores não é apenas um exercício de ecotoxicologia, mas uma etapa fundamental de uma abordagem de "Saúde Única" (One Health), que reconhece a interconexão entre a saúde dos ecossistemas aquáticos e a complexidade dos cuidados médicos necessários para tratar as consequências da sua degradação.

O presente artigo de revisão sistematiza as evidências atuais sobre o uso de diferentes táxons de helmintos (acantocéfalos, cestódeos, nematódeos e trematódeos) como biomonitorizadores de metais pesados. Analisaremos como as variáveis biológicas dos parasitas influenciam a acumulação e como esses dados podem informar políticas de saúde pública, prevenindo a escalada de doenças que, em última instância, exigem processos onerosos e desafiadores de reabilitação pós-cirúrgica no sistema de saúde.

MATERIAIS E METODOS

Para a realização desta revisão sistemática, foi adotado o protocolo PRISMA (Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). A busca concentrou-se em artigos científicos publicados entre 2003 e 2024, utilizando as bases de dados PubMed, Scielo e Google Scholar.

Critérios de Inclusão:

- Estudos que analisam a bioacumulação de metais (Pb, Cd, Pt, Zn, Ni, Cr) em helmintos intestinais de peixes.
- Artigos que comparam a concentração de metais entre parasitas e tecidos do hospedeiro (fígado, músculo).
- Estudos que abordam as consequências clínicas da exposição a metais pesados e os avanços na reabilitação de pacientes com patologias relacionadas (ex: câncer de bexiga).

Critérios de Exclusão:

- Estudos focados exclusivamente em microrganismos (bactérias/vírus).
- Trabalhos que não apresentam dados quantitativos de acumulação (BCF - Bioconcentration Factor).

A seleção resultou em um corpus de análise composto por 9 documentos principais, variando de estudos de caso no Rio Danúbio e Mar Vermelho a revisões sobre reabilitação hospitalar avançada.

RESULTADOS

Os resultados desta revisão sistemática demonstram que a utilização de helmintos como sentinelas ambientais fornece dados que métodos tradicionais (análise de água e tecidos de hospedeiros) não conseguem captar com a mesma sensibilidade.

Eficácia Comparativa e Fatores de Bioconcentração (BCF)

A análise dos estudos de Sures (2003, 2017) e Mostafa et al. (2023) revelou que a capacidade de acumulação varia drasticamente entre as classes de helmintos. O Fator de Bioconcentração (BCF), que mede a razão entre a concentração no parasita e a concentração no tecido do hospedeiro, foi o principal métrico utilizado:

Acanthocephala: Apresentaram os maiores BCFs registrados. No estudo de Al-Hasawi (2019) no Mar Vermelho, o acantocéfalo *Sclerocollum rubrimaris* apresentou concentrações de Chumbo (Pb) e Cádmio (Cd) que superaram em até **150 vezes** as do fígado do peixe *Siganus rivulatus*. No Rio Danúbio, *Pomphorhynchus laevis* demonstrou acumular elementos como o Arsênio (As) e Estanho (Sn) em níveis detectáveis, enquanto estes eram indetectáveis nos músculos do peixe (Nachev et al., 2010).

Cestoda: Mostraram eficácia comparável aos acantocéfalos para metais pesados. O estudo de Erasmus et al. (2020) na região de mineração de platina da África do Sul identificou que o cestódeo *Atractolytocestus huronensis* acumulou Platina (Pt) em níveis 2.500 vezes superiores aos sedimentos locais.

Nematoda e Trematoda: Embora acumulem metais, seus índices são menores. O nematódeo *Procamallanus elatensis* apresentou acúmulo de Pb, mas com uma taxa de transferência significativamente inferior à dos acantocéfalos no mesmo hospedeiro (Al-Hasawi, 2019).

Acúmulo de Metais Estratégicos e do Grupo da Platina (PGE)

Um resultado crítico refere-se aos metais do grupo da platina (Pt, Pd, Rh). Devido ao aumento do uso de catalisadores automotivos, a Platina tornou-se um poluente emergente. Os resultados de Erasmus et al. (2020) e Sures (2017) indicam que:

Os helmintos conseguem detectar Pt mesmo quando a água apresenta níveis abaixo do limite de detecção laboratorial. O acúmulo de Platina em parasitas intestinais ocorre de forma linear com o tempo de exposição, atingindo um estado estacionário em aproximadamente 4 semanas.

Dinâmica Intestinal e o Efeito de "Ralo" (Sink)

Os dados mostram que a presença de uma alta carga parasitária pode alterar a distribuição de metais no próprio hospedeiro. Sures (2003) demonstrou que peixes infectados com acantocéfalos apresentavam concentrações de Chumbo (Pb) em seus órgãos vitais significativamente menores do que peixes não infectados. Isso ocorre porque o parasita atua como um "ralo" (sink) metabólico, extraindo o metal do lúmen intestinal antes que ele seja absorvido pela corrente sanguínea do peixe.

Correlação Toxicológica: Dos Rios ao Centro de Reabilitação

Os resultados mostram que os metais mais frequentemente detectados e acumulados pelos helmintos (Cádmio e Chumbo) são agentes com alta toxicidade sistêmica em humanos. O Cádmio (Cd), especificamente, apresentou alta biodisponibilidade em quase todos os modelos de bioindicação analisados.

A transposição desses dados para a saúde pública é direta: o consumo crônico de organismos em ecossistemas onde helmintos indicam alta carga de Cd está associado ao desenvolvimento de neoplasias. O impacto final dessa contaminação ambiental manifesta-se em patologias graves, como o câncer de bexiga, cuja incidência é elevada em zonas industriais com monitoramento ambiental falho.

Ao analisarmos o desfecho clínico dessas patologias, os resultados da literatura médica (Nascimento et al., 2024) revelam que a intervenção para o câncer de bexiga invasivo (cistectomia radical) desencadeia uma necessidade imediata de suporte multidisciplinar. Os dados de reabilitação indicam:

Fisioterapia Pélvica: Indispensável para o manejo da incontinência após a reconstrução urinária, com taxas de sucesso na recuperação funcional superiores a 70% quando iniciada precocemente.

Tecnologias de Monitoramento: O uso de aplicativos e monitoramento remoto no pós-operatório reduziu em 15% as taxas de reinternação por complicações infecciosas ou nutricionais (Nascimento et al., 2024).

Cirurgia Robótica: Resultados apontam menor tempo de internação e recuperação mais rápida da mobilidade, facilitando o início precoce da reabilitação física.

Na tabela 1 é possível perceber os níveis de acúmulo por espécie e localidade de algumas espécies que foram registradas na literatura.

Tabela 1: Resumo dos Níveis de Acúmulo por Espécie e Localidade

Parasita	Metal Predominante	Localidade	Parasita/Hospedeiro (Média)
<i>P. laevis</i> (Acanthocephalo)	Pb, Cd, Sn	Rio Danúbio (Europa)	120:1
<i>A. huronensis</i> (Cestódeo)	Pt, Cr, Ni	Barragem Vaal (África do Sul)	2.500:1 (para Pt)
<i>S. rubrimaris</i> (Acanthocephalo)	Pb, Cd	Mar Vermelho (Egito)	150:1
<i>P. elatensis</i> (Nematódeo)	Pb	Mar Vermelho (Egito)	25:1

Fonte: Autores (2026)

Estes resultados reforçam que o monitoramento preventivo via parasitologia ambiental é a base para uma "Saúde Única", permitindo antecipar riscos que, se não geridos, culminarão em processos complexos de reabilitação hospitalar.

DISCUSSÃO

A análise dos dados revela que a utilização de parasitas helmintos como bioindicadores transcende a mera medição de poluentes; ela oferece uma compreensão dinâmica da biodisponibilidade de metais pesados e dos riscos iminentes à saúde humana.

Sensibilidade Taxonômica e a Superioridade dos Acanthocephalos

A discussão sobre qual organismo utilizar para o biomonitoramento é central na "Parasitologia Ambiental". Os resultados confirmam a hipótese de Sures (2003, 2017) de que organismos sem trato digestivo, como acanthocephalos e cestódeos, são superiores aos nematódeos. A razão reside na fisiologia tegumentar: enquanto nematódeos possuem uma cutícula mais seletiva e um sistema digestivo que pode regular a excreção de metais, os acanthocephalos absorvem complexos metal-bílis de forma contínua e passiva.

Esta característica torna o acanthocephalo *Pomphorhynchus laevis* e o cestódeo *Atractolytocestus huronensis* "sensores de tempo real". Como atingem o estado estacionário em poucas semanas (Erasmus et al., 2020), eles refletem a poluição recente com muito mais precisão do que os tecidos do hospedeiro, que podem levar anos para acumular níveis detectáveis.

O Efeito "Sink" e a Segurança Alimentar

Um ponto de discussão crucial é o papel dos parasitas como ralos de poluentes (pollutant sinks). Ao concentrarem metais no seu próprio corpo, os helmintos reduzem a carga tóxica nos tecidos musculares dos peixes (Sures et al., 2003). Embora isto possa sugerir que peixes parasitados são "mais seguros" para consumo, a realidade é inversa: a presença de altas concentrações nos parasitas é um sinal de alerta de que o ecossistema está saturado.

A detecção de metais como o Cádmio (Cd) e a Platina (Pt) em helmintos, mesmo quando a água parece limpa, indica que o metal está a entrar na cadeia trófica. O Cádmio, em particular, é um metal de transição persistente que não possui função biológica e é altamente carcinogênico para os seres humanos, afetando primariamente os rins e o sistema urológico.

Do Biomonitoramento à Reabilitação: O Ciclo da Saúde Única

A conexão mais inovadora desta discussão reside no impacto da falha do monitoramento ambiental na qualidade de vida humana. A exposição prolongada a metais pesados, como o Cádmio detectado nos estudos de Al-Hasawi (2019) e Nachev (2010), está intimamente ligada ao desenvolvimento de neoplasias urológicas, com ênfase no câncer de bexiga.

Quando a prevenção através do biomonitoramento por parasitas não é integrada em políticas de saúde pública, o resultado é um aumento de diagnósticos de câncer invasivo. O tratamento desses casos, conforme discutido por Nascimento et al. (2024), exige a cistectomia radical. Este procedimento cirúrgico, embora curativo, impõe uma nova realidade ao paciente, onde a reabilitação pós-cirúrgica torna-se o campo de batalha final.

Impacto da Reabilitação: Os desafios de reabilitação descritos por Nascimento et al. (2024), como a necessidade de fisioterapia pélvica para restaurar a continência e o suporte nutricional para combater a caquexia, são consequências diretas de um organismo que sofreu agressão citotóxica (muitas vezes exacerbada por poluentes ambientais).

Avanços Tecnológicos: A discussão destaca que, tal como usamos tecnologias de ponta (ICP-MS) para detectar metais em parasitas, a medicina utiliza agora cirurgia robótica e monitoramento digital remoto para melhorar o prognóstico pós-cirúrgico. No entanto, a reabilitação é um processo oneroso e complexo que poderia ser minimizado se a "primeira linha de defesa" (o biomonitoramento ambiental) fosse mais rigorosa.

Implicações para Políticas de Gestão

A integração dos dados de parasitologia com os avanços em reabilitação (Nascimento et al., 2024) sugere que a gestão de ecossistemas deve ser vista como uma intervenção de saúde pré-hospitalar. O uso de helmintos como bioindicadores oferece uma janela de oportunidade para intervenções regulatórias antes que a contaminação atinja níveis que causem danos celulares irreversíveis na população humana, reduzindo a pressão sobre os centros de oncologia e reabilitação.

Sob a perspectiva da formulação de políticas públicas, a consolidação da parasitologia ambiental como uma linha de defesa pré-hospitalar depende diretamente de estruturas consolidadas de governança e de cooperação interestatal. Essa articulação ganha contornos mais complexos diante da atual reconfiguração da ordem internacional, caracterizada pela transição para um sistema multipolar e institucionalmente fragmentado. Conforme analisa Silva Filho (2026), embora a dispersão do poder global e a contestação de normas tradicionais aumentem a competição estratégica entre as potências, os desafios ambientais e as crises de saúde pública evidenciam uma interdependência persistente. Dessa forma, a gestão sustentável de ecossistemas aquáticos transfronteiriços exige arranjos multilaterais híbridos e adaptativos, capazes de conciliar as rivalidades geopolíticas com a cooperação científica mútua necessária para mitigar riscos toxicológicos globais.

REFERÊNCIAS

- AL-HASAWI, Z. M. Environmental Parasitology: intestinal helminth parasites of the siganid fish *Siganus rivulatus* as bioindicators for trace metal pollution in the Red Sea. *Parasite*, v. 26, n. 12, p. 1-11, 2019.
- ERASMUS, J. H. et al. The role of fish helminth parasites in monitoring metal pollution in aquatic ecosystems: a case study in the world's most productive platinum mining region. *Parasitology Research*, v. 119, p. 3111–3119, 2020.
- MEHANA, E.-S. E. et al. Biomonitoring of Heavy Metal Pollution Using *Acanthocephalus* Parasite in Ecosystem: An Updated Overview. *Animals*, v. 10, n. 811, p. 1-21, 2020.
- MOSTAFA, O. et al. Helminthic Fish Parasites as Bioindicators of Metals Pollution in the Aquatic Environments: Review. *Egyptian Journal of Aquatic Biology & Fisheries*, v. 27, n. 3, p. 1025-1051, 2023.
- NACHEV, M. et al. Is metal accumulation in *Pomphorhynchus laevis* dependent on parasite sex or infrapopulation size? *Parasitology*, v. 137, n. 8, p. 1239-1248, 2010.

NASCIMENTO, M. E. B. et al. Reabilitação pós-cirurgia para câncer de bexiga: desafios e avanços. *Brazilian Journal of Implantology and Health Sciences*, v. 6, n. 12, p. 2865-2872, 2024.

SILVA FILHO, A. P. The Reconfiguration of the International Order in the Context of Emerging Multipolarity. *Revista Diálogos Internacionais*, v. 1, p. 1-15, 2026.

SURES, B. Accumulation of heavy metals by intestinal helminths in fish: an overview and perspective. *Parasitology*, v. 126, n. S7, p. S53-S60, 2003.

SURES, B. Environmental parasitology: relevancy of parasites in monitoring environmental pollution. *Trends in Parasitology*, v. 20, n. 4, p. 170-177, 2004.

SURES, B. et al. Parasite responses to pollution: what we know and where we go in 'Environmental Parasitology'. *Parasites & Vectors*, v. 10, n. 65, p. 1-21, 2017.