ISSN:2594-6153

Avaliação e Identificação de Toxicidade (AIT) em Ecossistemas Aquáticos: Aplicações e Desafios

Adrielli Cristini Teixeira de Andrade[1], Ana Lucia Flora Bezerra Menezes[1], Rodrigo Brasil Choueri[2], Paloma Kachel Gusso-Choueri[1]

[1]Universidade Santa Cecília (UNISANTA), Santos-SP, Brasil
[2]Universidade Federal de São Paulo (UNIFESP), Santos-SP, Brasil

E-mail: dricristini@hotmail.com

Resumo: A avaliação e identificação de toxicidade é um método que procura isolar e testar diferentes classes de substâncias de uma amostra. Esta revisão teve como objetivo identificar, com base em dados da literatura, a utilização deste método em amostras de ambientes aquáticos e seus impactos sobre os organismos. Os resultados indicam que a ferramenta tem sido pouco utilizada a constatar pela pequena amostra de artigos representativa neste período. Apesar disso, evidencia-se que a ferramenta de AIT, permite determinar as causas da toxicidade de amostras ambientais complexas, identificar deficiências nos sistemas de tratamento e priorizar o controle de certos poluentes, além de estabelecer estratégias de gestão baseadas em dados científicos.

Palavras-chave: Avaliação e Identificação de Toxicidade; AIT; microfibras.

Toxicity Identification Evaluation (TIE) in Aquatic Ecosystems: Applications and Challenges

Abstract: Toxicity identification evaluation (TIE) is a method that aims to isolate and test different classes of substances within a sample. This paper seeks to identify, based on previous research, the application of this method in aquatic environmental samples and its impacts on organisms. The results indicate that the tool has been underutilized, as evidenced by the small sample of articles representative of the advances in its applicability during this period. Nevertheless, the TIE tool allows for determining the causes of toxicity in complex environmental samples, identifying deficiencies in treatment systems, and prioritizing the control of specific pollutants, in addition to establishing science-based management strategies.

Keywords: Toxicity Identification Evaluation; TIE; microfibers.

Introdução

Os ecossistemas aquáticos desempenham um papel fundamental na manutenção da vida no planeta, pois abrigam diversas espécies, além de contribuírem por grande parte do oxigênio consumido no planeta. Além da relevância ecológica, possui importância econômica fornecendo recursos como alimento, energia e vias de transporte. Estes diversos usos, os tornam muito vulneráveis a contaminação por inúmeros contaminantes, como metais, contaminantes emergentes, fármacos e microplásticos [1].

Essas substâncias podem causar efeitos crônicos e agudos em organismos aquáticos desde o nível mais basal até o mais complexo, e em diferentes fases do desenvolvimento [2]. Muitas dessas substâncias bioacumulam, ou seja, são persistentes e se concentram nos organismos, resultando em efeitos subletais e crônicos. Níveis tróficos superiores ao consumirem estes organismos, podem biomagnificar, igualmente causando efeitos [3].

Ao avaliar uma amostra ambiental, os ensaios químicos determinam as concentrações de cada substância e os ensaios ecotoxicológicos avaliam a toxicidade geral dessa amostra em um organismo modelo. Entretanto, esses métodos isolados não avaliam qual ou quais das substâncias na concentração presente na amostra é responsável pelo efeito observado, o que torna mais difícil a tomada de decisão para remediação de locais contaminados ou para determinação de níveis seguros [4].

Nesse contexto, a Avaliação e Identificação de Toxicidade (AIT) é um método que busca isolar e testar classes de substâncias de uma amostra. Desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) na década de 1990 para aplicação inicialmente em efluentes industriais, essa ferramenta oferece uma compreensão mais ampla da qualidade da matriz avaliada e, com isso, é possível identificar os principais contaminantes tóxicos em amostras ambientais complexas [5]. Portanto, este estudo teve como objetivo identificar, com base em dados da literatura, a utilização deste método em amostras de ambientes aquáticos e seus impactos sobre os organismos. Parte-se da hipótese que este método vem sendo pouco utilizado, mas que se mostra eficaz nos casos em que foi aplicado.

Material e Métodos

Para a execução deste estudo, foi realizada uma revisão bibliográfica. A base de dados “Web of Science” foi utilizada para a pesquisa, com as palavras-chaves combinadas da seguinte forma: Toxicity Identification Evaluation AND effects. A busca foi realizada no mês de março de 2025 e incluiu artigos dos últimos 5 anos. Os critérios de inclusão foram: relevância do tema; revisão por pares; e data de publicação. Artigos que não apresentaram relevância, que não passaram por revisão por pares, revisões e publicações anteriores a 2021 foram descartados.

Resultados

A pesquisa inicialmente resultou em 14 artigos, dos quais dois foram descartados por falta de acesso. Após leitura, apenas um artigo foi descartado, por se tratar de uma revisão. A análise dos artigos revelou que a maioria investiga simultaneamente os efeitos crônicos e agudos (7 artigos) [6-12], em comparação aos estudos com efeitos individuais (2 artigos para cada tipo de efeito) [13-16]. Para estudos com organismos de água doce, onze tipos distintos de

organismos modelos de água doce foram utilizados, como microalgas, crustáceos e peixes. Para o ambiente marinho, foram utilizados nove organismos modelo, como ouriços-do-mar e copépodes. Importante destacar que células humanas e plantas também foram utilizadas em alguns estudos. Níveis biológicos variados foram avaliados, desde o nível sub-individual ao populacional, mas no geral, o mais estudado foi o nível individual. A matriz ambiental mais frequentemente utilizada foi a de efluentes, seguido por avaliações em sedimento e sua água intersticial, água natural ou receptora, e outros tipos de matrizes, como partículas ou lixiviados de produtos. Isso demonstra que a ferramenta é aplicável em diversas situações, matrizes e poluentes, o que permite a utilização de uma ampla gama de organismos modelo.

Evidencia-se que a ferramenta de AIT, apesar de trabalhosa e demorada, permite determinar as causas da toxicidade de amostras ambientais complexas, mesmo em locais com múltiplas fontes de contaminação (e.g., Porto de Santos) [13], mas também é capaz de identificar causas de toxicidade em amostras de produtos (e.g., desgaste de pneu) [15] distinguindo diferentes substâncias toxicas e seus mecanismos de ação. Com a AIT, é possível identificar deficiências nos sistemas de tratamento e priorizar o controle de certos poluentes, além de estabelecer estratégias de gestão baseadas em dados científicos [6]. Essa ferramenta se mostrou adaptável para avaliação de diversas matrizes, utilização de microescalas (mais rápidas e econômicas) ou combinadas com outros métodos, como a avaliação de biodisponibilidade. Esta também corrobora as análises químicas, as quais podem não ser capaz de distinguir todos os contaminantes principais, com isso aumenta-se a confiança dos resultados e da avaliação de risco ecológico e a saúde humana, e é capaz até de demonstrar que o efeito observado resulta da sinergia de contaminantes [6, 9, 13].

Discussão

A presente revisão fornece uma visão do uso da AIT nos últimos cinco anos analisados. Apesar de flexível, a ferramenta tem sido pouco utilizada como evidenciado pelos 14 artigos identificados inicialmente. A exclusão por falta de acesso de dois artigos, o que limita o conhecimento sobre a aplicabilidade da AIT nesse período, e a exclusão de uma revisão, resultou em 11 artigos analisados. Observou-se uma tendência de estudos com análises simultâneas dos efeitos crônicos e agudos (7 de 11 artigos), principalmente pela complexidade das contribuições de poluentes as matrizes ambientais o que pode induzir diferentes respostas biológicas ao longo do tempo [6, 8]. Entretanto, é fundamental destacar a necessidade de mais estudos crônicos, pois no meio natural a exposição é principalmente continua a baixas concentrações [12]. A diversidade de organismos e de diferentes matrizes avaliados é um ponto

positivo, pois valida os resultados ecologicamente e permite inferências mais robustas sobre a aplicabilidade da AIT em diferentes níveis tróficos e ecossistemas.

A utilização de diversas matrizes ambientais destaca a capacidade da AIT de analisar diferentes contextos de contaminação, como descargas pontuais e a liberação de contaminantes de novos materiais e substâncias, como os contaminantes emergentes. Isso garante uma avaliação de risco ambiental mais assertiva [5]. A AIT torna possível identificar e controlar poluentes específicos, algo que a análise química isolada frequentemente não consegue. Além de identificar possíveis efeitos sinérgicos, fato subestimado em avaliações de risco, garantindo uma avaliação de risco ambiental mais assertiva [17]. Ao combinar a AIT com análises químicas e ecológicas em uma abordagem integrada, valida os achados químicos e torna a avaliação mais abrangente. Com essa visão é possível criar estratégias para pontos críticos em sistemas de tratamento e priorizar ações de controle para certos poluentes mais críticos, além de fornecer subsídios para a formulação de políticas públicas e valores orientadores específicos para locais. Evidentemente, há limitações na AIT, como o tempo e o esforço empregados que devem ser considerados. Nesse sentido, o desenvolvimento de padronização de protocolos para aumentar a comparação entre estudos e métodos mais rápidos e eficazes, como a microescala podem tornar a ferramenta mais acessível [13]. Em contextos de poluentes emergentes, como os microplásticos, a aplicação da AIT, embora ainda escassa, e sua possível integração com outros métodos representam perspectiva positiva para o avanço da gestão ambiental destes resíduos e da própria ecotoxicologia.

Conclusões

A Avaliação e Identificação de Toxicidade mostrou-se eficaz na identificação das causas da toxicidade dos estudos abordados. A hipótese inicial foi corroborada: embora pouco utilizada recentemente, a AIT demonstrou ser eficaz nas diversas aplicações identificadas, em variadas matrizes e organismos modelos. A ferramenta também corrobora análises químicas. Apesar de consistir em um processo demorado e complexo, é possível otimizá-la com criação de métodos mais rápidos e econômicos, como a microescala, e padronizações de protocolos para torná-la mais acessível. A AIT pode ser uma ferramenta relevante para gestão ambiental priorizando ações de controle para poluentes críticos, garantindo políticas públicas mais assertivas e a proteção dos ecossistemas.

Agradecimentos: A autora Adrielli de Andrade gostaria de agradecer o apoio dado pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Referências

1. BPBES. Relatório Temático Água: Biodiversidade, Serviços Ecossistêmicos e Bem-Estar Humano no Brasil. Coordenado por Aliny P F Pires e Vinicius F Farjalla. São Carlos, SP: Editora Cubo, 2020. 120 p.
2. Marques MBL, Américo-Pinheiro JHP. Efeitos ecotoxicológicos de metais aos organismos aquáticos. Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista, Tupã, v. 14, n. 4, p. 85-95, 2018.
3. Rand GM, Wells PG, McCarty LS. Em Fundamentals of Aquatic Toxicology: Effects, Environmental Fate, and Risk Assessment; Rand, G M, ed.; 2nd ed., Taylor & Francis: Washington, 1995, cap. 1.
4. Costa CR, Olivi P, Botta CMR, Espindola ELG. A toxicidade em ambientes aquáticos: discussão e métodos de avaliação. Química Nova, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1820-1830, 2008.
5. EPA. Methods for Aquatic Toxicity Identification Evaluations: Phase I Toxicity Characterization Procedures. EPA/600/3-88/034. Environmental Research Laboratory, Duluth, MN, 1988.
6. Dailianis S *et al*. Chemical and biological tracking in decentralized sanitation systems: The case of artificial constructed wetlands. Journal of Environmental Management, v. 300, p. 113799, 2021.
7. Di F, Han D, Wan J, Wang G, Wang Y. Evaluation of the detoxification effect and toxicity mechanism of Fenton process for pulping wastewater treatment. Journal of Water Process Engineering, v. 70, p. 107041, 2025.
8. Kumar A *et al*. The ecotoxicological impacts of municipal wastewater: Assessing direct toxicity of influent and receiving water from an urban wet weather overflow. Science of the Total Environment, v. 953, p. 175924, 2024.
9. Mano H, Iwasaki Y, Shinohara N. Effect-based water quality assessment of rivers receiving discharges from legacy mines by using acute and chronic bioassays with two cladoceran species. Water Supply, v. 22, n. 4, p. 3603, 2022.
10. Wang B-R, Dahms H-U, Wu M-C, Jhuo N-J, Hsieh C-Y. After remediation – Using toxicity identification evaluation of sediment contamination in the subtropical Erren river basin. Chemosphere, v. 262, p. 127772, 2021.
11. Wu F *et al*. Toxicity identification evaluation for hydraulic fracturing flowback and produced water during shale gas exploitation in China: Evidence from tissue residues and gene expression. Water Research, v. 241, p. 120170, 2023.
12. Zhou Z *et al*. Toxicity and chemical characterization of shale gas wastewater discharged to the receiving water: Evidence from toxicity identification evaluation. Science of the Total Environment, v. 912, p. 169510, 2024.
13. Alves AV *et al*. Microscale Toxicity Identification Evaluation (TIE) for interstitial water of estuarine sediments affected by multiple sources of pollution. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, n. 4, p. 10122–10137, 2022.
14. Ke X, Feng S, Luan J, Zhang F, Zhou Y. TIE of Sediments from the Xihe River. Environmental Toxicology, 2021.
15. Liu Y, Zhou H, Yan M, Liu Y, Ni X, Song J, Yi X. Toxicity of tire wear particles and the leachates to microorganisms in marine sediments. Environmental Pollution, v. 309, p. 119744, 2022.
16. Yang K, Jing S, Liu Y, Zhou H, Liu Y, Yan M, Yi X, Liu R. Acute toxicity of tire wear particles, leachates and toxicity identification evaluation of leachates to the marine copepod, Tigriopus japonicus. Chemosphere, v. 297, p. 134099, 2022.

17. Ferraz MA *et al*. Sediment toxicity identification evaluation (TIE phases I and II) based on microscale bioassays for diagnosing causes of toxicity in coastal areas affected by domestic sewage. Environmental Toxicology and Chemistry, 2017.