



UMA PERSPECTIVA DO USO DE BIOINDICADORES E BIOMARCADORES AMBIENTAIS NOS ÚLTIMOS 15 ANOS: UMA REVISÃO

ÁGATHA PORTO DA SILVA; ISABELA ALVES DOS SANTOS

RESUMO

Os bioindicadores e biomarcadores ambientais são ferramentas valiosas na avaliação da qualidade dos ecossistemas, monitorando impactos ambientais e fornecendo informações cruciais para a gestão ambiental, tendo em vista que a composição em espécies e a distribuição espaço-temporal dos organismos alteram-se pela ação dos impactos, respondendo através de reações comportamentais ou expressas desde os níveis moleculares e bioquímicos que indicam certa mudança no meio. Estes bioindicadores e biomarcadores podem ser usados para desenvolver estratégias de conservação e recuperação de ecossistemas degradados, já que a existência da flexibilidade dessas ferramentas permite sua aplicação em diversas áreas. Portanto, o trabalho visa apresentar uma revisão bibliográfica de pesquisas realizadas nos últimos 15 anos (2009 a 2024) sobre os bioindicadores e biomarcadores, almejando pesquisas atuais e articular a partir da análise sobre suas importâncias, bem como os aspectos cruciais que salientam tendências de suas utilizações atualmente. De acordo com esse contexto, foram analisados 40 trabalhos publicados nos periódicos Pubmed, Scielo, Scopus e Web of Science, tendo a presença de bioindicadores e biomarcadores no período de 2009 a 2024. As pesquisas demonstram a capacidade dos bioindicadores e biomarcadores em fornecer informações valiosas sobre a qualidade do meio ambiente, identificar fontes de poluição e avaliar o impacto das atividades humanas. Mostrado serem eficaz em diversos contextos, proporcionando uma maneira prática de monitorar e gerenciar a qualidade do ar, assim como em ambientes terrestres e aquáticos. Em que a maioria dos trabalhos analisados, apontaram a utilização de organismos como indicadores para avaliar a qualidade do ambiente e a contaminação por poluentes. Sendo que tanto os biomarcadores como os bioindicadores demonstram eficiência na identificação de impactos negativos causados por atividades antrópicas, bem como contribuíram para uma melhor compreensão dos efeitos ambientais. Informações das quais são fundamentais para promover medidas que busquem minimizar e contornar, o avanço dos impactos originários das atividades antrópicas, visando a preservação dos ecossistemas.

Palavras-chave: Ecossistemas; Impactos ambientais; Monitoramento; Organismos; Conservação.

1 INTRODUÇÃO

Os bioindicadores são espécies, grupos de espécies ou comunidades biológicas cuja presença, quantidade e distribuição indicam a gravidade de impactos ambientais em um ecossistema, bem como seu uso possibilita uma avaliação que integra os efeitos ecológicos ocasionados por inúmeras fontes, como a poluição em que sua utilização pode ser mais eficaz se comparado às medidas instantâneas de parâmetros físicos e químicos (GEDOZ *et al.*, 2021). Também são considerados ferramentas importantes no que diz respeito à avaliação da integridade ecológica, já que a composição em espécies e a distribuição espaço-temporal dos organismos alteram-se pela ação dos impactos, respondendo através de reações comportamentais ou expressas desde os níveis moleculares e bioquímicos que indicam certa

mudança no meio, sendo que algo que destaca os bioindicadores é o fato de serem de baixo custo e fáceis de serem usados para a obtenção de resultados (DING *et al.*, 2021).

Pode-se apresentar como bioindicadores, as mudanças na riqueza e abundância de espécies de populações de diferentes comunidades, no tamanho dos espécimes e na integridade reprodutiva, enquanto que como biomarcadores pode-se citar como exemplos as atividades enzimáticas, integridade do DNA, existência de certas enzimas, o conteúdo de lipídios, dentre outros (HOLTH *et al.*, 2024).

Os biomarcadores ou indicadores biológicos compreendem a toda substância ou produto de biotransformação, correspondendo também a componentes que podem ser medidos experimentalmente e apontam a ocorrência de determinada função anormal em um organismo, possuindo uma flexibilidade a respeito de suas utilizações pois podem ser úteis para diversos propósitos dependendo do alvo do estudo e do modelo de exposição (RÍOS *et al.*, 2016).

Dessa forma, buscou-se apresentar uma perspectiva do uso dos bioindicadores e biomarcadores ambientais nos últimos 15 anos, por meio de uma revisão bibliográfica, e articular a partir da análise suas importâncias e aspectos cruciais que salientam tendências de suas utilizações atualmente.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Para efetuar a revisão bibliográfica foram utilizados artigos publicados nos periódicos, Pubmed, Scielo, Scopus e Web of Science sobre pesquisas que usufruíram de bioindicadores e biomarcadores nos últimos 15 anos, no período de 2009 a 2024. Foi optado por essas plataformas, pois disponibilizam diversas coleções de literatura que abrangem diferentes áreas de estudos e possuem muitas funções que facilitam a busca de artigos.

No total foram encontrados 40 trabalhos, nos quais foram verificados a presença de bioindicadores e biomarcadores. A busca nos periódicos foi feita a partir de uma seleção com as palavras-chaves em inglês: biomarkers e bioencoders, porquê desse modo foi possível alcançar diversas pesquisas elaboradas globalmente, além da posterior seleção baseada dentro da faixa etária dos anos desejados, almejando pesquisas atuais. Para discutir sobre os artigos, foi feita uma leitura qualitativa e análise de conteúdo, para posteriormente mostrar as tendências do uso de bioindicadores e biomarcadores na literatura, bem como identificar futuras áreas de pesquisa.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Dos 40 trabalhos analisados, 27 correspondem a bioindicadores e 13 a biomarcadores, indicando que a maioria das pesquisas são destinadas aos bioindicadores. A partir da análise bibliográfica foi possível obter um panorama sobre o uso de bioindicadores e biomarcadores ambientais na avaliação dos ecossistemas, no qual ambos demonstraram ter grande importância, por meio do monitoramento da saúde dos ecossistemas e a identificação de potenciais impactos negativos causados por poluentes, mudanças climáticas e degradação do solo.

Dentre os artigos abordando os bioindicadores, a maioria dos trabalhos centralizaram-se na avaliação da qualidade da água com um total de 16 artigos, especialmente em ecossistemas aquáticos utilizando organismos como peixes, invertebrados aquáticos, siris, mexilhões, esponjas marinhas e algas. Podendo promover melhor compreensão e gestão dos estados destes ambientes, os quais vem sendo poluídos e contaminados com as atividades antropogênicas.

Inclusive, o teste mais comum realizado no total dos artigos, foi o uso de organismos como bioindicadores para avaliar a qualidade ambiental, sendo os invertebrados aquáticos e peixes frequentemente usados para exibir as condições do ambiente, indicando que ambientes altamente antropizados como áreas de pastagem, estuários industriais e zonas urbanas, tendem a exibir impactos negativos na qualidade do meio refletindo-se na saúde dos organismos estudados.

Ao analisar os trabalhos foi possível considerar que ambientes antropizados exibiram níveis muito elevados de contaminação e impactos negativos diretamente à biodiversidade, um exemplo pertinente é a presença de poluentes como hidrocarbonetos aromáticos policíclicos em peixes bioindicadores, nas áreas costeiras da Argentina próximo a áreas industriais, salientando a necessidade de regulamentação das águas residuais.

Também observou-se que um número significativo de estudos dos bioindicadores foram destinados aos ambientes terrestres, totalizando 8 artigos, com um foco particular na qualidade do solo, sugerindo a crescente preocupação com a degradação do solo em várias regiões, o que é compreensível segundo o impacto significativo da agricultura e do desenvolvimento urbano. Os testes de bioindicadores no solo foram amplamente realizados, destacando a relevância da macrofauna do solo e dos microrganismos como fungos e bactérias na avaliação da qualidade ambiental. A menor utilização de bioindicadores em pesquisas foi em relação a qualidade do ar, sendo observado 3 artigos, em que foram usadas plantas e líquens já que estes se mostram sensíveis a poluição atmosférica.

Os dados demonstraram que os testes com bioindicadores se concentraram na identificação e quantificação de compostos orgânicos, metais em níveis tóxicos, microplásticos e outras substâncias poluentes no ambiente. Enquanto que entre os 13 artigos sobre os biomarcadores, os mais utilizados foram os n-alcenos, ácidos graxos, esteróis e ácidos nucleicos, usados para rastrear fontes de poluentes. Além disso, o ácido chiquímico mostrou-se um biomarcador sensível para a exposição ao glifosato, o que é crucial para a avaliação da exposição a herbicidas em culturas de plantas atualmente.

Os biomarcadores ambientais mostram sua pertinência ao avaliar o estado de saúde de organismos expostos a agentes químicos dispersos no ambiente, da mesma forma que podem ser usados para avaliar o risco ambiental. São considerados respostas biológicas que podem indicar a exposição ou os efeitos tóxicos, podendo confirmar a presença de determinada substância, o que permite estabelecer relações entre a exposição e a quantificação da substância, sendo uma ferramenta para investigar a poluição no meio ambiente.

As pesquisas expressam a capacidade dos bioindicadores e biomarcadores em fornecer informações valiosas sobre a qualidade do meio ambiente, identificar fontes de poluição e avaliar o impacto das atividades humanas. Mostrando serem eficazes em diversos contextos, proporcionando uma maneira prática de gerenciar e monitorar a qualidade ambiental em ambientes terrestres e aquáticos, assim como a qualidade do ar.

A revisão destaca a importância de ambos na avaliação da qualidade ambiental, desde a contaminação por poluentes até o impacto da urbanização. Consequentemente os resultados indicam a importância crescente do uso dos bioindicadores e biomarcadores na avaliação da qualidade do meio ambiente, relacionando suas funcionalidades para formulação de políticas de proteção ambiental em todo o mundo, contribuindo para limitar os impactos das atividades humanas nos ecossistemas naturais

4 CONCLUSÃO

Com base nos resultados obtidos, pode-se concluir que a presente revisão bibliográfica demonstra a importância dos bioindicadores e biomarcadores na avaliação da qualidade ambiental do ar, como também em ambientes aquáticos e terrestres, desde a contaminação por poluição até o impacto da urbanização. Os estudos indicaram uma crescente relevância nessas ferramentas, na gestão ambiental e na compreensão dos impactos das atividades humanas, dos quais vem alterando e degradando os ecossistemas naturais em todo o mundo.

Desse modo, através dos bioindicadores e biomarcadores podem ser obtidas informações cruciais para promover medidas que busquem minimizar, contornar e impedir que esses impactos originários das atividades antrópicas se perpetuem e prossigam em ampla magnitude. Podendo ser por meio do desenvolvimento de estratégias de conservação,

recuperação dos ecossistemas degradados, implantação de políticas que visam a defesa e monitoramento do meio ambiente, assim como a conscientização desses impactos sobre os habitats e a biodiversidade. Consequentemente, é evidente que tanto os bioindicadores quanto os biomarcadores são meios fundamentais para pesquisas nas áreas de ecologia, toxicologia e gestão ambiental.

REFERÊNCIAS

DING, J.; SUN, C.; HE, C.; LI, J.; JU, P.; LI, F. Microplastics in four bivalve species and basis for using bivalves as bioindicators of microplastic pollution. **Science of the Total Environment**, v. 782, p. 146830, 2021.

GEDOZ, M.; FREITAS, E. M.; SILVA, V. L. D.; JOHANN, L. Edaphic invertebrates as indicators of soil integrity quality. **Floresta e Ambiente**, v. 28, 2021.

HOLTH, T. F.; EIDSVOLL, D. P.; FARMEN, E.; SANDERS, M. B.; MARTÍNEZ-GÓMEZ, C.; BUDZINSKI, H.; Hylland, K. Effects of water accommodated fractions of crude oils and diesel on a suite of biomarkers in Atlantic cod (*Gadus morhua*). **Aquatic Toxicology**, v. 154, p. 240-252, 2014.

RÍOS, A.; ECHAVARRI-ERASUN, B.; LACORTE, S.; SÁNCHEZ-ÁVILA, J.; JONGE, M.; BLUST, R.; CAJARAVILLE, M. P. Relationships between lines of evidence of pollution in estuarine areas: Linking contaminant levels with biomarker responses in mussels and with structure of macroinvertebrate benthic communities. **Marine environmental research**, v. 121, p. 49-63, 2016.