REVISÃO SOBRE A UTILIZAÇÃO DE BIOMARCADORES E BIOINDICADORES AMBIENTAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO, BRASIL

REVIEW ON THE USE OF BIOMARKERS AND ENVIRONMENTAL BIOINDICATORS IN THE STATE OF SÃO PAULO, BRAZIL

Luiza Oliveira Kuribara, Paulo De Salles Penteado Sampaio

Universidade Santa Cecília, Faculdade de Ciências, Curso de Ciências Biológicas
E-mail para contato: luiza.kuribara@hotmail.com

RESUMO – Para monitorar a poluição nos ambientes aquático, terrestre e atmosférico usam-se bioindicadores e biomarcadores. Esse estudo teve como objetivos realizar uma síntese dos bioindicadores e biomarcadores utilizados na última década (2014-2024) no estado de São Paulo, usando as plataformas digitais SciELO, Pubmed e Periódicos CAPES, indicando os organismos e metodologias e relacionando-os com poluentes ou impactos ambientais. Houveram mais pesquisas nos ambientes aquáticos, identificando uma ampla variedade de táxons utilizados, e as principais ameaças relatadas foram a eutrofização, urbanização, agrotóxicos e microplásticos, e debateu-se a legislação frente a novos estudos. Propõe-se realizar maior escopo de pesquisa e estudos de caso em áreas pouco ou não exploradas.

Palavras-chave: Biomarcadores; Bioindicadores; São Paulo; Poluição, Mudanças climáticas.

ABSTRACT – In order to monitor pollution in the aquatic, terrestrial and atmospheric environments, bioindicators and biomarkers are used. This study aimed to synthesize the bioindicators and biomarkers used in the last decade (2014-2024) in the state of São Paulo, using the digital platforms SciELO, Pubmed and Periódicos CAPES, indicating the organisms and methodologies and relating them to pollutants or environmental impacts. There was more research in aquatic environments, identifying a wide variety of taxa used, and the main threats reported were eutrophication, urbanization, pesticides and microplastics, and legislation was debated in the face of new studies. It is proposed to carry out a greater scope of research and case studies in areas little or not explored.

Keywords: Biomarkers; Bioindicators; São Paulo; Pollution, Climate changes.

Tipo do trabalho: (X) Iniciação científica ( ) Iniciação tecnológica ( ) Extensão

1 INTRODUÇÃO

A degradação ambiental afeta a capacidade de subsistência de diversos organismos, apresentando-se de diferentes formas, proveniente de múltiplas origens [1].

Os bioindicadores são utilizados como instrumento de medição qualitativa, independente do ambiente que estes organismos ocupam. Em conjunto com os medidores físico-químicos, os quais fornecem dados quantitativos, tais como os biomarcadores, formam um panorama geral do estado em que se encontra a degradação por poluentes nesse ecossistema [2, 3]. Como são implantados em simultaneidade, é notável a sua atuação sem que haja a necessidade de equipamentos mais específicos, pelo motivo de possuírem eficiência na sensibilidade de detecção de substâncias atípicas, o que implica em uma redução de investimento durante as pesquisas, além do fato de ser possível medir suas concentrações ao longo de uma linha de tempo [3].

O presente estudo tem como objetivos realizar uma síntese dos bioindicadores e biomarcadores utilizados na última década (2014-2024) no estado de São Paulo (SP), identificando os organismos com os respectivos métodos utilizados e relacionar com os poluentes que os afetam em seus respectivos ambientes. Assim, busca facilitar a elaboração de projetos e futuras pesquisas, cobrindo eventuais lacunas acerca do tema, sugerindo a direção em futuras pesquisas com bioindicadores e biomarcadores [4].

2 MATERIAIS E MÉTODOS

Foram levantados trabalhos acadêmicos das plataformas digitais SciELO, Pubmed e Periódicos CAPES, sendo selecionados os trabalhos em português e inglês pela busca das palavras-chave “bioindicador” e ”biomarcador”, e que foram realizados no estado de SP, restritos ao período entre os anos de 2014 a 2024 e relacionados à qualidade de um ambiente ou poluente nele encontrado. Após o processo de busca, foram filtrados e excetuados aqueles artigos que se encontravam duplicados, inacessíveis, incompletos e que não se adequaram à linha de pesquisa [5] resultando em 34 publicações de um total de 165.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Analisando as 34 publicações selecionadas, 21 estão relacionadas ao ambiente marinho e 13 ao ambiente terrestre. As maiores ameaças à qualidade ambiental do solo e da atmosfera são as atividades industriais, transportes, agrícolas e crescimento populacional; enquanto que o

ambiente aquático sofre, principalmente, com a eutrofização e contaminação por microplásticos (MP), como pode ser encontrado na Tabela 1.

Tabela 1: Análise das publicações selecionadas de bioindicadores e biomarcadores do estado de São Paulo no período entre os anos 2014-2024. Sigla MP10 (material particulado inalável do ar)

Espécie	Métodos Utilizados	Poluentes/Impactos
Tillandsia usneoides	Exposta em 5 locais diferentes nos períodos úmido e seco, após a fixação de fragmentos foliares, houve mais escamas anômalas e de maior densidade total de escamas em plantas expostas aos locais mais afetados pela urbanização.	O3, SO2, NO2, MP10, NOx, CO, SO2
Rhinocricus padbergi	Imunomarcação com HSPs (Proteínas de choque térmico), obtidas a partir do intestino médio.	Vinhaça e biossólido (fertilizante), com a presença de metais
Apis mellifera	Suas asas apresentaram maior assimetria em áreas mais antropizadas, sendo mais sensíveis como biomarcadores do que o tamanho delas.	Urbanização (poluição, desmatamento)
Cathorops spixii	Peixes de duas regiões tiveram a concentração de metais comparada entre eles, a partir do rim, seguido pela gônada, músculo e brânquias; Biomarcadores de exposição e efeito (rim, brânquias e fígado) revelaram diferenças espaciais e sazonais; Alterações histológicas no fígado como necrose, inflamação, hemorragia, vacuolização citoplasmática e picnose nuclear podem ser efeitos da antropização como mudanças naturais do ambiente.	Hg, Zn, As, Mn, Pb, Co, Cd, Ni, Cu, Cr
Genidens genidens		
Perna perna	Contagem da frequência de organismos contaminados a partir do sistema digestório.	MP
Lytechinus variegatus	Embriões desses equinodermos expostos a partículas de pellets virgens (potencial lixiviante) e encalhados na praia (poluentes hidrofóbicos) resultaram em anomalias somente para o primeiro tipo de plástico.	

As plantas, além de demonstrarem sensibilidade para diferentes tipos de poluentes, podem ser objetos de estudo mais vantajosos em razão do custo-benefício e maior disponibilidade. No entanto, é preciso ter a cautela de obter sementes livres de pragas, para que não interfiram nos resultados da pesquisa. Indivíduos de *T. usneoides* apresentaram anomalias ao serem expostos aos poluentes industriais e automotivos, que emitem NOx, CO e SO2, mas não foram sensíveis às demais [6]. Invertebrados também possuem alto potencial bioindicador e biomarcador, e por sua vez, apresentaram pioneirismo de técnicas com as espécies selecionadas, o que demonstra espaço para novas descobertas. Além disso, alterações genéticas nessas espécies geraram preocupações relacionadas à continuidade dessa população que poderia causar um desequilíbrio ecológico [7, 8].

O MP causou anomalias quando exposto a *L. variegatus* [9] e *P. perna*, que evidenciou um comportamento de aclimatação ao longo do tempo após indicar estresse fisiológico. Os autores destacam essa habilidade como positiva, pois é uma espécie comercializada para consumo, e ao menos um indivíduo dos locais testados demonstraram deformidade [10].

Os bagres *C. spixii* e *G. genidens* foram as espécies mais recorrentes em estudos de eutrofização. Ambiente de estuários, em que se tem a água doce influenciada pelas marés, são muito dinâmicos e exibem alterações abióticas frequentes de temperatura, salinidade, pH e oxigênio dissolvido (OD), o que pode refletir nos sintomas anormais encontrados nesses peixes e assim, dificultar a avaliação da qualidade daquele ambiente. Um sintoma a ser ressaltado é a vacuolização citoplasmática, que demonstrou ser mais significativa ao longo do tempo [11].

Uma questão apontada por diferentes estudos é a escassez de novas pesquisas e legislações sobre contaminantes aquáticos, como o Co, que não apresenta limite máximo na água para a ingestão segura dela [12].

4 CONCLUSÃO

Observou-se que o ambiente terrestre apresentou menores quantidades de estudos e evidenciou lacunas que podem atrapalhar uma melhor compreensão desse habitat e seu monitoramento. O maior número de publicações do ambiente aquático pode se dar pelo interesse em estudos de corpos d'água decorrente das intensas atividades portuárias, pesca, etc. A qualidade do ar também é preocupante, ao passo que ações como desmatamento retardam a tentativa de remediação da atmosfera. *C. spixii* e *G. genidens* foram as espécies mais recorrentes em estudos de eutrofização de rios. Eutrofização, urbanização, agrotóxicos e MPs são algumas das ameaças mais relatadas, e os autores reforçam a necessidade de atualizar a legislação brasileira frente aos novos estudos realizados. Propõe-se comparar os dados obtidos com um maior escopo de pesquisa, tanto a nível nacional, como internacional (o qual possui diferentes padrões, seja de legislação como de habitats). Para pesquisas práticas, estudos genéticos mostraram-se portadores de maior novidade acadêmica e indicam outras direções que possam ser tomadas. Outra sugestão, é que estudos de caso sejam realizados em áreas que ainda não foram exploradas ou que tenham pouco registro a respeito.

5 REFERÊNCIAS

1. Gaur N, Sharma S, Yadav N. Environmental pollution. Green chemistry approaches to environmental sustainability. Elsevier. 2024; 23-41.
2. Lam PKS, Gray JS. The use of biomarkers in environmental monitoring programmes. Marine Pollution Bulletin. 2003; 46(2):182-86.
3. Markert B *et al*. The Use of Bioindicators for Monitoring the Heavy Metal Status of the Environment. Journal of Radioanalytical and Nuclear Chemistry. 1999; 240: 425-29.
4. Nassi-Calo L. O papel dos artigos de revisão vai além de sintetizar o conhecimento atual sobre um tema de pesquisa. Scielo em perspectiva. 2021.
5. Treinta FT, Filho JRF, Sant'Anna AP, Rabelo LM. Metodologia de pesquisa bibliográfica com a utilização de método multicritério de apoio à decisão. Production. 2014; 23(3).
6. Giampaoli P *et al*. Anomalous scales of Tillandsia usneoides (L.) L. (Bromeliaceae) exposed in the Metropolitan Region of Campinas, SP, Brazil as air pollution markers. Hoehnea. 2015; 42(4):749-57.
7. Andrade Nunes L, Divino de Araújo E, Marchini LC. Fluctuating asymmetry in Apis mellifera (Hymenoptera: Apidae) as bioindicator of anthropogenic environments. Revista de Biología Tropical. 2015; 63(3):673-82
8. Coelho MPM *et al*. Toxicity evaluation of vinasse and biosolid samples in diplopod midgut: heat shock protein in situ localization. Environmental science and pollution research international. 2017; 24(27):22007–17
9. Nobre CR *et al*. Assessment of microplastic toxicity to embryonic development of the sea urchin Lytechinus variegatus (Echinodermata: Echinoidea). Marine Pollution Bulletin. 2015; 92(1-2):99-104.
10. Santana MFM, Moreira FT, Pereira CDS, Abessa DMS, Turra A. Continuous Exposure to Microplastics Does Not Cause Physiological Effects in the Cultivated Mussel Perna perna. Arch Environ Contam Toxicol. 2018; 74:594–604.
11. Goes VC, Braga ES, Azevedo JS. Histopathological Changes in Estuarine Catfish: A Temporal Approach in a Marine Protected Area. Brazilian Archives of Biology and Technology. 2024; 67.
12. Braga ES, Azevedo JS, Kuniyoshi L, Fávaro DIT. Zn, Co, Cr, As, and genotoxic effects in the ichthyofauna species from polluted and non-polluted/protected estuaries of the São Paulo coast, Brazil. Anais da Academia Brasileira de Ciências. 2019; 91(4).