

OS PEIXES COMO BIOINDICADORES AMBIENTAIS E FONTE DE BIOMARCADORES DE EXPOSIÇÃO E EFEITO DA POLUIÇÃO FLUVIAL

João Soares Carrola^{1*} António Fontainhas-Fernandes¹ & Eduardo Rocha^{3,4}

¹ Centre for the Research and Technology of Agro-Environmental and Biological Sciences (CITAB/Inov4Agro), University of Trás-os-Montes and Alto Douro (UTAD), Vila Real, Portugal.

² Laboratory of Histology and Embryology, Department of Microscopy, ICBAS – School of Medicine and Biomedical Sciences, University of Porto, Porto, Portugal

³ Team of Animal Morphology and Toxicology, CIIMAR/CIMAR - Interdisciplinary Centre for Marine and Environmental Research, University of Porto, Matosinhos, Portugal

*Email de contacto: joao@utad.pt

RESUMO

Os rios são um recurso de água-doce fundamental para diversos usos, como consumo humano, irrigação na agricultura, produção animal, fins recreativos e fins industriais. É cada vez mais importante avaliar e conservar a qualidade química e ecológica das suas águas (e sedimentos) e gerir de forma sustentável esse recurso escasso e cada vez mais valioso.

A população mundial continua a crescer (cerca de 0,88% em 2023) e as atividades antropogénicas também (indústrias, zonas urbanas/domésticas, megacidades, mineração, produção de energia, agricultura), o que contribui para uma maior poluição do ambiente, incluindo as bacias hidrográficas, onde chegam inúmeros poluentes, direta ou indiretamente, que representam uma ameaça potencial para os organismos, mesmo em níveis muito baixos (ng/L) como é o caso dos compostos desreguladores endócrinos e substâncias psicoactivas o que pode condicionar e limitar alguns usos da água.

Os estudos da qualidade da água dos rios baseiam-se principalmente nas análises bacteriológicas e físico-químicas clássicas quer de água quer de sedimentos. No entanto, este tipo de abordagem não fornece informações sobre riscos toxicológicos, nem permite uma avaliação completa do estado de saúde dos organismos. Assim, para avaliar os efeitos adversos nos peixes decorrentes da exposição a misturas de contaminantes torna-se fundamental fazer monitorização biológica. Estes estudos permitem investigar a presença/exposição e o efeito da poluição, a vários níveis de organização biológica, desde a célula até a população ou comunidade. Os peixes são um elemento chave neste tipo de estudo e têm sido considerados como bioindicadores essenciais e uma fonte de vários tipos de biomarcadores ambientais.

Os peixes são ótimos indicadores da qualidade ecológica e para o estudo da contaminação da água e permitem a avaliar o estado ecológico dos rios. Para melhorar os estudos de biomonitorização, tem sido implementado o uso de diversos tipos (baterias) de biomarcadores, quer de efeito, exposição e/ou sensibilidade, o que possibilita uma avaliação qualitativa e quantitativa mais precisa das consequências causadas pela exposição à poluição aguda a crónica, e o resultado das interações entre os diversos tóxicos. Os biomarcadores histopatológicos são importantes para poder entender de forma mais precisa o efeito que os compostos tóxicos podem provocar em diversos órgãos, como brânquia, fígado, gónada, rim, intestino, etc. e até estimar os potenciais efeitos (cancerígenos, teratogénicos, genotóxicos, etc.) em humanos. Os marcadores químicos são utilizados para avaliar a acumulação de tóxicos nos tecidos.

Estes biomarcadores podem ser celulares, moleculares, bioquímicos, genéticos, fisiológicos, histológicos, morfológicos e comportamentais, todos funcionando complementarmente. Os biomarcadores histopatológicos detetam e caracterizam os efeitos biológicos dos tóxicos. As lesões nas brânquias, fígado, gónadas, intestino e rim têm sido utilizadas como biomarcadores em toxicologia aquática, revelando



exposições agudas e crônicas. Estes biomarcadores são indicadores sensíveis da saúde de um organismo e podem diferenciar as cargas de poluição entre ecossistemas.

Além dos estudos realizados *in situ* (ribeiras e rios) algumas espécies de peixes são mantidas e reproduzidas em biotério para depois serem utilizados em ensaios realizados sob condições controladas e/ou cumprindo com normas internacionais OCDE. Este tipo de experiências ajuda a compreender melhor a toxicidade de poluentes específicos ou de misturas selecionadas.

Portanto, os diversos biomarcadores não se restringem às espécies selvagens, mas servem também para certas espécies de peixes usadas como modelos experimentais; o que pode até ajudar na validação de biomarcadores para depois complementar estudos de campo. Adicionalmente, alguns estudos utilizam microcosmos ou mesocosmos como cenários mais próximos do que acontece no ambiente.

Conclui-se que os peixes são indicadores biológicos únicos para se avaliar a severidade e diversidade de efeitos tóxicos e a acumulação de tóxicos nos tecidos. São muito importantes quer a nível individual quer a nível populacional. Devido às suas exigências de habitat complexas, a ictiofauna é um indicador crucial da integridade ecológica dos sistemas aquáticos a diferentes escalas, desde o micro-habitat até à bacia hidrográfica.

A utilização conjunta dos diversos tipos de biomarcadores permite fazer um diagnóstico mais completo dos diferentes efeitos da poluição a vários níveis de organização biológica e fornecem informações valiosas sobre a carga e o impacto biológico dos contaminantes aquáticos. Recomenda-se, portanto, a utilização, mistura dos vários tipos de biomarcadores com abordagens, como parte analítica (análises físico-químicas), bem como complementar estes trabalhos com estudos de laboratórios. O DNA ambiental tem sido uma ferramenta importante. É também vantajoso considerar investigação numa ótica de microcosmos e/ou de mesocosmos. Esta estratégia oferece uma monitorização precisa da saúde dos peixes e da qualidade ambiental, nomeadamente em água doce.

Palavras-chave: contaminação, ictiofauna, poluição, indicadores biológicos, marcadores biológicos

Acknowledgements: The present study was co-financed by the National Funds by FCT–Portuguese Foundation for Science and Technology, through the FCT/MCTES (PIDDAC), under the project UIDB/04033/2020 (CITAB).