

4

Monitoramento ambiental

O monitoramento ambiental é uma importante ferramenta para a administração dos recursos naturais. Este oferece conhecimento e informações básicas para avaliar a presença de contaminantes, para compreender os sistemas ambientais e para dar suporte as políticas ambientais.

O monitoramento consiste em observações repetidas de uma substância química químico ou mudança biológica, com um propósito definido de acordo com um planejamento prévio ao longo do tempo e espaço, utilizando métodos comparáveis e padronizados. Segundo van der Oost e colaboradores (2003), os cinco métodos de monitoramento ambiental que devem ser seguidos para avaliar o risco de contaminantes para os organismos e classificar a qualidade ambiental dos ecossistemas são:

- **monitoramento químico** – avalia a exposição medindo os níveis de contaminantes bem conhecidos nos compartimentos ambientais;
- **monitoramento da bioacumulação** – avalia a exposição medindo os níveis de contaminantes na biota ou determinando a dose crítica no local de interesse (bioacumulação);
- **monitoramento do efeito biológico** – avalia a exposição e o efeito determinando as primeiras alterações adversas que são parcial ou totalmente reversíveis (biomarcadores);
- **monitoramento da saúde** – avalia o efeito através do exame da ocorrência de doenças irreversíveis ou danos no tecido dos organismos;
- **monitoramento dos ecossistemas** – avalia a integridade de um ecossistema através de um inventário de composição, densidade e diversidade das espécies, entre outros.

Quando organismos vivos são usados no monitoramento ambiental para avaliar mudanças no meio ambiente ou na qualidade da água o monitoramento é chamado de monitoramento biológico ou biomonitoramento. Para que um biomonitoramento seja bem sucedido é importante a escolha do biomonitor que atenda as seguintes características (Figueira, 2006):

- capacidade de acumulação mensurável da substância química de interesse;
- distribuição generalizada na área de estudo;
- ausência de variações sazonais na quantidade disponível para amostragem;
- capacidade de acumulação diferenciada do poluente, relacionando a intensidade de exposição ao fator ambiental. Esta relação deve poder ser descrita de uma forma quantitativa ou semi-quantitativa;
- ausência de variações sazonais na capacidade de acumulação;
- acumulação da substância química apenas pela via que se quer avaliar;
- identificação taxonômica fácil;
- que tenha sua fisiologia, ecologia e morfologia suficientemente estudada.

Assim, durante o biomonitoramento são utilizados biomarcadores (celulares, tecido, fluidos corporais, mudanças bioquímicas, entre outros) para indicar a presença de poluentes ou como sistema de aviso de efeitos iminentes.

4.1. Biomarcadores

O biomarcador é uma característica que pode ser: bioquímica, fisiológica, morfológica ou histológica, utilizada para indicar a exposição ou o(s) efeito(s) de uma substância sobre o organismo de um ser vivo. A qualidade de um biomarcador está relacionada a capacidade de uma mudança ser medida antes que alguma consequência adversa significativa ocorra no organismo de interesse. Um biomarcador ideal deve ser específico para um composto ou classe de compostos, podendo ser utilizado em diferentes espécies (IPCS, 1993).

Convém salientar que é necessário que o sistema envolvido seja bem conhecido para que se possa interpretar a influência que o meio ambiente exerce sobre ele.

A ordem seqüencial de resposta ao estresse causado por um poluente em um sistema biológico é visualizado na Figura 9. O efeito em nível hierárquico superior é sempre precedido por mudanças no processo biológico. Desta forma, o biomarcador é utilizado como um sinal prévio refletindo a resposta biológica causada por uma toxina.

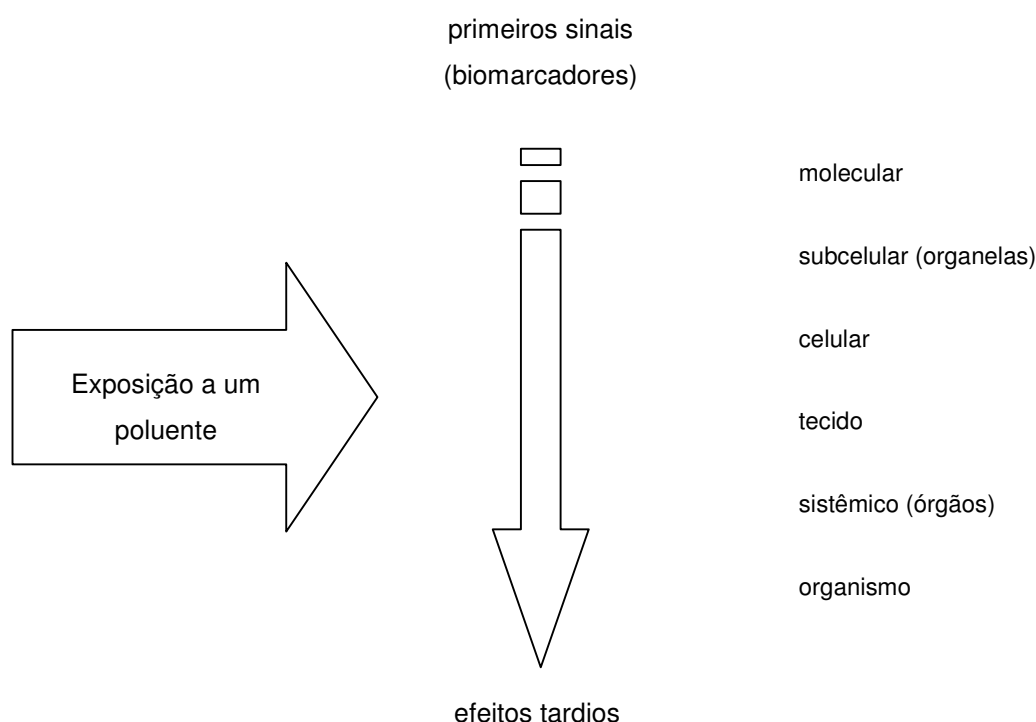


Figura 9. Representação esquemática da ordem sequencial de respostas ao estresse causado por poluentes em um sistema biológico (adaptado de van der Oost *et al.*, 2003).

Biomarcadores podem ser divididos em três classes (National Research Council, 2003; IPCS, 1993):

- **biomarcadores de exposição:** são aqueles que detectam e mensuram a quantidade de uma substância exógena, seus metabólitos ou o produto da interação entre o xenobiótico e a molécula ou célula alvo em um compartimento do organismo;
- **biomarcadores de efeito:** são aqueles que incluem alterações bioquímicas, fisiológicas ou outra alteração nos tecidos ou fluidos

corporais de um organismo que podem ser reconhecidos e associados com uma doença ou possível prejuízo a saúde;

- **biomarcadores de suscetibilidade:** são aqueles que indicam a habilidade adquirida ou inerente de um organismo a responder a exposição a um xenobiótico específico, incluindo fatores genéticos e mudanças nos receptores que alteram a suscetibilidade de um organismo a uma dada exposição.

Os biomarcadores de exposição podem ser usados para confirmar ou estimar a exposição de indivíduos ou de uma população a uma determinada substância ou grupo de substâncias fornecendo uma relação entre a exposição externa e a dose interna. De acordo com a definição, a bioacumulação de certos contaminantes persistentes em tecido de animais pode ser considerada com um biomarcador de exposição.

Os biomarcadores de efeito podem ser usados para documentar alterações pré-clínicas ou efeitos adversos a saúde devido a exposição externa e absorção de determinada substância.

Os biomarcadores de suscetibilidade ajudam a elucidar a variação no grau de resposta da exposição a substâncias tóxicas observadas em diferentes indivíduos.

O uso de biomarcadores de peixes no estudo da resposta biológica e bioquímica a contaminantes tem atraído grande interesse já que podem ser encontrados praticamente em todos os ambientes aquáticos e desempenham importante papel na cadeia alimentar, já que têm a função de transportar energia de níveis tróficos inferiores para níveis superiores (Beyer *et al.*, 1996).

No entanto, as variações na fisiologia de diferentes espécies de peixes podem repercutir de forma diferenciada nas respostas de um biomarcador. Apesar disso e de sua alta mobilidade, peixes são considerados bons organismos para o monitoramento da poluição em ambientes aquáticos.

Baseados nos critérios formulados por Stegeman e colaboradores (1992), van der Oost e colaboradores (2003) propõem seis critérios que devem ser observados para avaliar um biomarcador em peixes:

- (1) Confiabilidade na quantificação do biomarcador (com controle de qualidade) resultante de ensaios simples e de baixo custo;

- (2) Sensibilidade da resposta do biomarcador a exposição ou a efeitos de poluentes utilizados como parâmetros de aviso;
- (3) Definição clara dos dados de base de modo a permitir a distinção entre a variabilidade natural (ruído) e o estresse induzido pelo contaminante (sinal);
- (4) Conhecimento dos fatores que possam dificultar a interpretação da resposta do biomarcador à exposição ao poluente;
- (5) Estabelecimento do mecanismo de relação entre a resposta do biomarcador e a exposição ao poluente (dosagem e tempo);
- (6) Estabelecimento do valor toxicológico do biomarcador, tal como a relação entre sua resposta e o impacto ao organismo.