

Eixo: GESTÃO AMBIENTAL

CONCEITOS BÁSICOS DE ECOTOXICOLOGIA: BIOENSAIOS E BIOMARCADORES NO CONTROLE DA POLUIÇÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

2024



GOVERNO DO ESTADO
DO ESPÍRITO SANTO

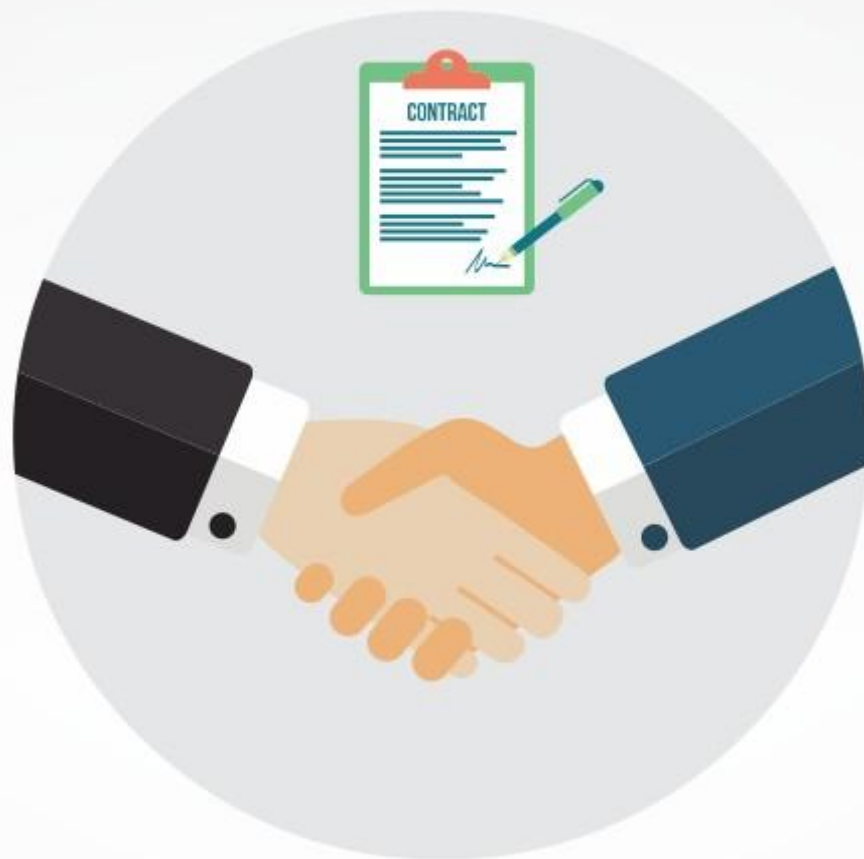
Secretaria de Gestão
e Recursos Humanos
Secretaria do Meio Ambiente
e Recursos Hídricos

CONTRATO DIDÁTICO

Apoio

FUNDACÃO

COORDENADORIA



EXPECTATIVAS E CONTRIBUIÇÕES

Eixo: GESTÃO AMBIENTAL

CURSO

CONCEITOS BÁSICOS DE ECOTOXICOLOGIA:

BIOENSAIOS E BIOMARCADORES

*NO CONTROLE DA **POLUIÇÃO** DE RECURSOS HÍDRICOS*

ECOTOXICOLOGIA

“Ciência que estuda os efeitos das substâncias naturais ou sintéticas sobre a biota, em nível organísmico, populacional e de comunidades, nos ambientes terrestre e aquático.”

ROTEIRO DIDÁTICO

Uso de recursos hídricos: aspectos ecotoxicológicos

Biodisponibilidade x Bioacumulação x Toxicidade

Biodisponibilidade

Concentração do contaminante e das propriedades físico-químicas do meio.

Bioacumulação

Propriedades físico-químicas do meio e biológicas do animal.

Toxicidade

Bioacumulação no sítio de toxicidade.

Mecanismo de ação do contaminante.

ECOTOXICOLOGIA

Contaminantes



Efeitos



Transformação no ambiente
Persistência no ambiente
Concentração ambiental
Concentração/dose exposição
Potencial de bioacumulação
Processos metabólicos

Taxa de mortalidade
Taxa de crescimento
Taxa de reprodução
Número de anomalias
Incidência de tumores
Alterações fisiológicas

ROTEIRO DIDÁTICO

Uso de recursos hídricos: aspectos ecotoxicológicos

Efeitos

- **Agudos**

Os efeitos tóxicos são produzidos por uma única ou por múltiplas exposições a uma substância, por qualquer via, por um curto período. Geralmente as manifestações ocorrem rapidamente.

- **Subcrônicos**

Os efeitos tóxicos são produzidos por exposições diárias repetidas a uma substância, por qualquer via. Aparecem em um período de aproximadamente 10% do tempo de vida de exposição do animal ou alguns meses.

- **Crônicos**

Os efeitos tóxicos ocorrem após repetidas exposições, por um período longo de tempo, geralmente durante toda a vida do animal ou aproximadamente 80% do tempo de vida.

Legislação Ambiental



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Legislação Ambiental

CAPÍTULO I DAS DEFINIÇÕES

Art. 2º Para efeito desta Resolução são adotadas as seguintes definições:

- I - águas doces: águas com salinidade igual ou inferior a 0,5 ‰;
- II - águas salobras: águas com salinidade superior a 0,5 ‰ e inferior a 30 ‰;
- III - águas salinas: águas com salinidade igual ou superior a 30 ‰;

CAPÍTULO II DA CLASSIFICAÇÃO DOS CORPOS DE ÁGUA

Art.3º As águas doces, salobras e salinas do Território Nacional são classificadas, segundo a qualidade requerida para os seus usos preponderantes, em treze classes de qualidade.

Legislação Ambiental

CAPÍTULO III

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Seção I

Das Disposições Gerais

Art. 7º Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Parágrafo único. Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos, ressalvado o disposto no § 3º do art. 34, desta Resolução.

Art. 8º O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público.

Alternativas para o monitoramento da qualidade da água

- *Medidas diretas*
- *Ensaio ecotoxicológicos*
- *Biomarcadores*

Alternativas para o monitoramento da qualidade da água

- *Medidas diretas*
- *Ensaio ecotoxicológicos*
- *Biomarcadores*

METAIS

Biodisponibilidade versus Bioacumulação



Concentração

Complexação

Competição

ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Concentração

Concentração total versus Concentração dissolvida

- **Sedimentos em suspensão (adsorção/desorção)**
- **Matéria orgânica particulada (adsorção/desorção)**
- **Matéria orgânica dissolvida (complexação)**
- **Composição iônica (complexação)**
- **Íon livre**

Complexação (Especiação)

Formas complexadas *versus* Formas livres

- **Matéria orgânica dissolvida (complexos)**
- **Composição iônica – ânions (complexos)**
- **pH e temperatura (formas livres)**

Biodisponibilidade

- Concentração na fase dissolvida***
- Complexação (Especiação)***

Propriedades físico-químicas do meio

Matéria orgânica dissolvida (complexos)

Composição iônica – ânions (complexos)

pH e temperatura (formas livres)

Bioacumulação

- ***Biodisponibilidade (complexos e formas livres)***
- ***Competição (cátions na água x íons metálicos livres)***

Propriedades físico-químicas do meio

Composição iônica (concentração de cátions)

Propriedades biológicas dos animais

Sítios de ligação nas membranas e moléculas

ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

BACIA AMAZÔNICA



1. Rio Amazonas
2. Rio Solimões
3. Rio Negro
4. Rio Xingu
5. Rio Tapajós
6. Rio Jurema
7. Rio Madeira
8. Rio Purus
9. Rio Branco
10. Rio Juruá
11. Rio Trombetas
12. Rio Uatumã
13. Rio Mamoré

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

ENCONTRO DAS ÁGUAS *Rios Negro e Solimões*



ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos



ESTUÁRIO DA LAGOA DOS PATOS (RS)

Toxicidade

- Bioacumulação

Biodisponibilidade (concentração e complexação/especiação)

Competição pelos sítios de ligação

- Mecanismo de toxicidade do metal

Bioacumulação no sítio de toxicidade

Biodisponibilidade x Bioacumulação x Toxicidade

Biodisponibilidade

Concentração dissolvida e as propriedades físico-químicas do meio.

Bioacumulação

Propriedades físico-químicas do meio e biológicas do animal.

Toxicidade

Bioacumulação no sítio de toxicidade.

Mecanismo de ação do contaminante.

Legislação Ambiental - Limitações

- Concentração de metais na fase dissolvida:

não determina por si só a biodisponibilidade.

não determina por si só a bioacumulação.

não determina por si só a toxicidade.

- Padrões de qualidade focados nas classes e uso das águas:

considera parcialmente as propriedades físico-químicas do meio.

considera parcialmente as propriedades biológicas dos animais.

Alternativas para o monitoramento da qualidade da água

- *Medidas diretas*
- *Ensaio ecotoxicológicos*
- *Biomarcadores*

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Publicada no DOU nº 053, de 18/03/2005, págs. 58-63

- Alterada pela Resolução 410/2009 e pela 430/2011

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

CAPÍTULO III

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Seção I

Das Disposições Gerais

§ 4º As possíveis interações entre as substâncias e a presença de contaminantes não listados nesta Resolução, passíveis de causar danos aos seres vivos, deverão ser investigadas utilizando-se ensaios ecotoxicológicos, toxicológicos, ou outros métodos cientificamente reconhecidos.



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE

RESOLUÇÃO Nº 430, DE 13 DE MAIO DE 2011

Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA.

Seção II

Das Condições e Padrões de Lançamento de Efluentes

Art. 18. O efluente não deverá causar ou possuir potencial para causar efeitos tóxicos aos organismos aquáticos no corpo receptor, de acordo com os critérios de ecotoxicidade estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

§ 1º Os critérios de ecotoxicidade previstos no *caput* deste artigo devem se basear em resultados de ensaios ecotoxicológicos aceitos pelo órgão ambiental, realizados no efluente, utilizando organismos aquáticos de pelo menos dois níveis tróficos diferentes.

§ 2º Cabe ao órgão ambiental competente a especificação das vazões de referência do efluente e do corpo receptor a serem consideradas no cálculo da Concentração do Efluente no Corpo Receptor-CECR, além dos organismos e dos métodos de ensaio a serem utilizados, bem como a frequência de eventual monitoramento.

ENSAIOS ECOTOXICOLÓGICOS

- *TESTE DE TOXICIDADE*



- Tempo
- Contaminante
- Controle
- Organismos
- Condições constantes

Resposta: ?

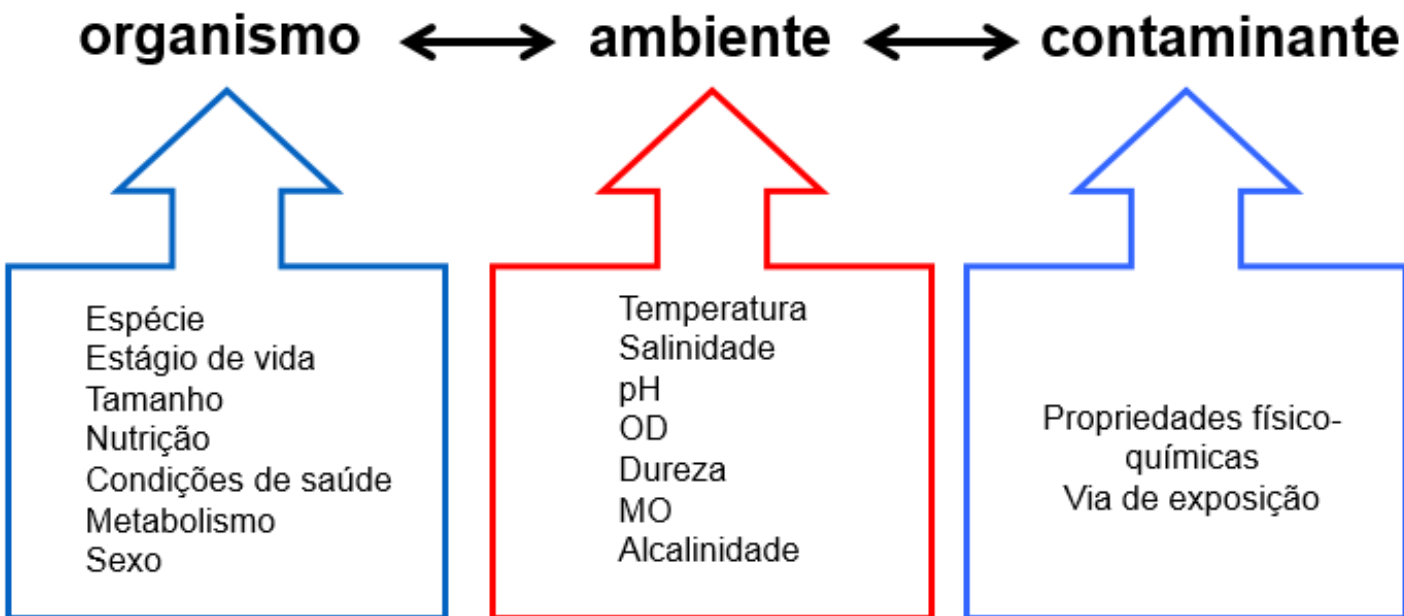
Testes de Toxicidade

Ensaio conduzido para determinar a relação entre os níveis de um determinado poluente e os efeitos que este causa sobre uma população. Ou seja, são testes realizados para avaliar os possíveis efeitos nocivos de uma substância ou amostra ambiental.

Depende da exposição de **organismos-teste** a diferentes **concentrações** da amostra a ser testada, mantida sob **condições ambientais** constantes por determinado **período** de tempo.

Testes de Toxicidade

Fatores a ser considerados num teste de toxicidade:



Tempo de exposição: agudo ou crônico

ROTEIRO DIDÁTICO

Organismos-teste



Daphnia similis: Microcrustáceo de água doce, usado em ensaios de ecotoxicidade aguda com amostras de efluentes industriais e sanitários, produtos químicos, amostras ambientais de água superficial, água subterrânea, água intersticial e elutriados de sedimentos.



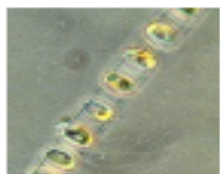
Ceriodaphnia dubia: Microcrustáceo de água doce, usado em ensaios de ecotoxicidade crônica com amostras de efluentes industriais e sanitários, produtos químicos, amostras ambientais de água superficial, água subterrânea, água intersticial e elutriados de sedimentos.



Danio rerio: Peixe de água doce, utilizado em ensaios de ecotoxicidade aguda em amostras de efluentes industriais e sanitários, produtos químicos, amostras ambientais de água superficial, água subterrânea, água intersticial e elutriados de sedimentos.



Echinometra lucunter* e *Lytechinus variegatus: Ouriço do mar utilizado em ensaios de ecotoxicidade crônica em amostras de efluentes industriais e sanitários, produtos químicos, amostras ambientais de água superficial, água intersticial e elutriados de sedimentos.



Skeletonema costatum: Alga unicelular marinha utilizada em ensaios de ecotoxicidade crônica em amostras de efluentes industriais e sanitários, produtos químicos, amostras ambientais de água superficial, água intersticial e elutriados de sedimentos.

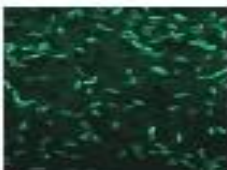
Organismos-teste



Nitocra sp.: Copépode bentônico estuarino, utilizado em ensaios de ecotoxicidade aguda e crônica em amostras ambientais líquidas como água superficial, elutriados de sedimento, sedimento total e também produtos químicos.



Tiburonella viscana: Anfípoda escavador marinho, utilizado em ensaios de toxicidade aguda em amostras de sedimento total.



Vibrio fischeri: Bactéria bioluminescente marinha, utilizada em ensaios de ecotoxicidade aguda em amostras de efluentes industriais e sanitários, produtos químicos, amostras ambientais de água superficial, água subterrânea, água intersticial e elutriados de sedimentos.



Hyalella azteca: Anfípoda de água doce, utilizado em ensaios de ecotoxicidade aguda e crônica em amostras de sedimento total.



Mysidopsis juniae: Crustáceo misidáceo utilizado em ensaios de ecotoxicidade aguda com amostras de efluentes líquidos, produtos químicos, elutriados de sedimento e fração hidrossolúvel de óleo.

Matrizes ambientais

Líquidos:

- *Efluentes*
- *Água superficial ou profunda*

Sedimento:

- *Bruto*
- *Elutriato*

ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



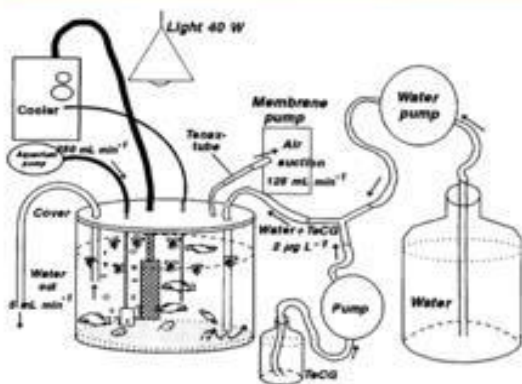
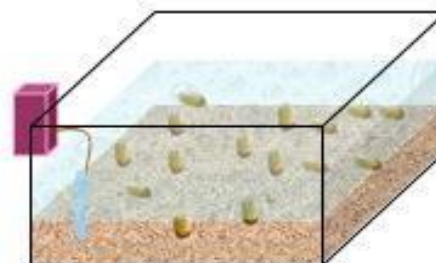
Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Sistemas de Exposição

Estático: sem renovação do meio



Semi-Estático: com renovação do meio



Fluxo Contínuo: o meio flui continuamente

ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Exposição

Exposição aguda: o contato ocorre em um período de tempo curto (horas ou dias).

Exposição crônica: as exposições se repetem durante um longo período de tempo (meses, anos ou toda a vida).

ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Curva dose/concentração-resposta



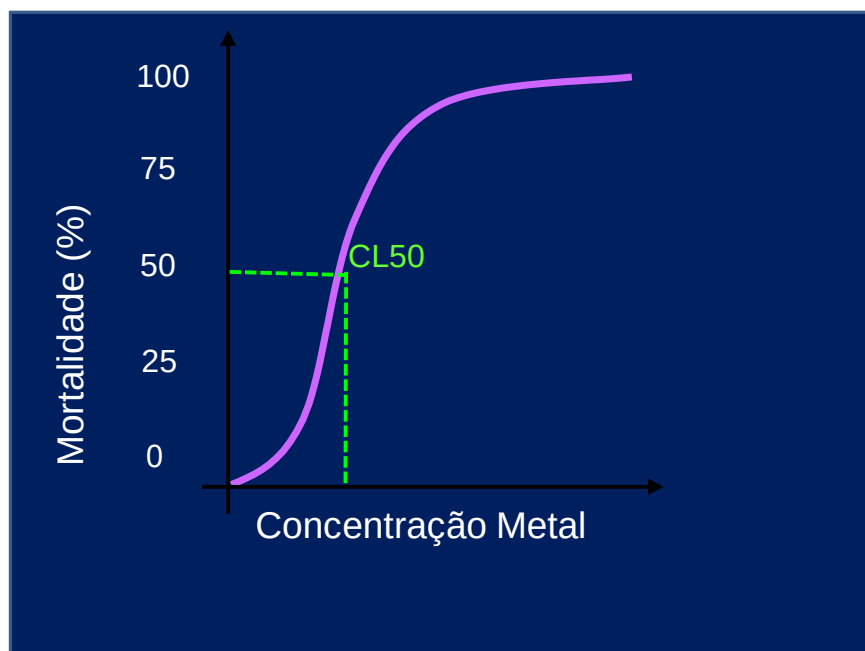
Expressões dos Efeitos Tóxicos

CE₅₀ = concentração efetiva que afeta 50% da população

CL₅₀ = concentração letal para 50% da população

CENO = concentração de efeito não observado

CEO = concentração de efeito observado



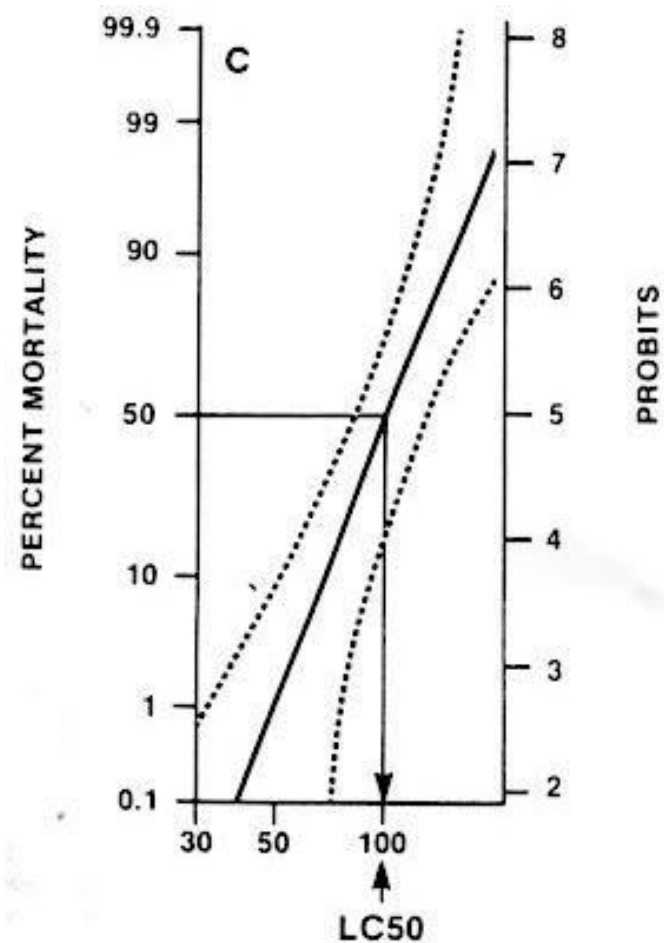
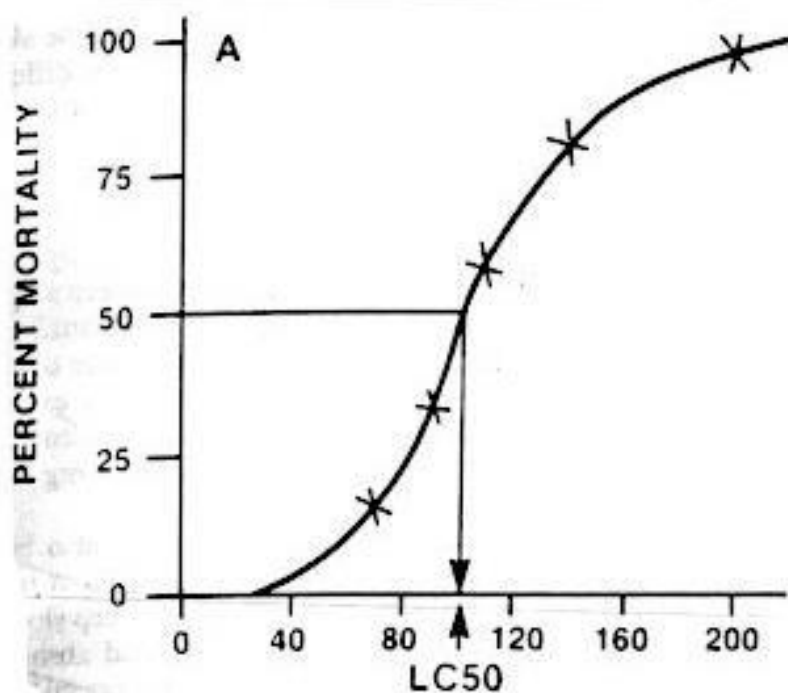
ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Método dos Probitos



ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

❖ *Parâmetros ecotoxicológicos*

- CENO, CEO, MATC
- CI_{25} , CI_{50}
- CE_{25} , CE_{50}
- CL_{50} , DL_{50}
- TL_{50}

❖ *Contaminantes*

- Hidrocarbonetos
- Pesticidas
- Metais
- Efluentes

❖ *Espécies testadas*

- Moluscos
- Crustáceos
- Equinodermos
- Peixes

ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
12648**

Terceira edição
07.11.2011

Válida a partir de
07.12.2011

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica —
Método de ensaio com algas (*Chlorophyceae*)**

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
13373**

Quinta edição
28.03.2017

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica —
Método de ensaio com *Ceriodaphnia* spp
(Crustacea, Cladocera)**

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
15088**

Terceira edição
13.12.2016

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda —
Método de ensaio com peixes (*Cyprinidae*)**

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
15470**

Segunda edição
25.11.2013

Válida a partir de
25.12.2013

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda
e crônica — Método de ensaio com *Hyalella* spp
(Amphipoda) em sedimentos**

ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
12713**

Quarta edição
19.05.2016

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda —
Método de ensaio com *Daphnia* spp (Crustacea,
Cladocera)**

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
15470**

Segunda edição
25.11.2013

Válida a partir de
25.12.2013

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade aguda
e crônica — Método de ensaio com *Hyalella* spp
(Amphipoda) em sedimentos**

NORMA
BRASILEIRA

**ABNT NBR
15350**

Segunda edição
12.01.2012

Válida a partir de
12.02.2012

**Ecotoxicologia aquática — Toxicidade crônica
de curta duração — Método de ensaio com
ouriço-do-mar (*Echinodermata: Echinoidea*)**

OECD/OCDE

236

Adopted:
26 July 2013

OECD GUIDELINES FOR THE TESTING OF CHEMICALS

Fish Embryo Acute Toxicity (FET) Test

Alternativas para o monitoramento da qualidade da água

- *Medidas diretas*
- *Testes toxicológicos*

Modelagem ecotoxicológica - Análise de Risco Ambiental

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

- *Medidas diretas*
- *Ensaio ecotoxicológico*
- *Biomarcadores*

Legislação Ambiental



MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE
CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE-CONAMA

RESOLUÇÃO Nº 357, DE 17 DE MARÇO DE 2005

Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

Legislação Ambiental

CAPÍTULO III

DAS CONDIÇÕES E PADRÕES DE QUALIDADE DAS ÁGUAS

Seção I

Das Disposições Gerais

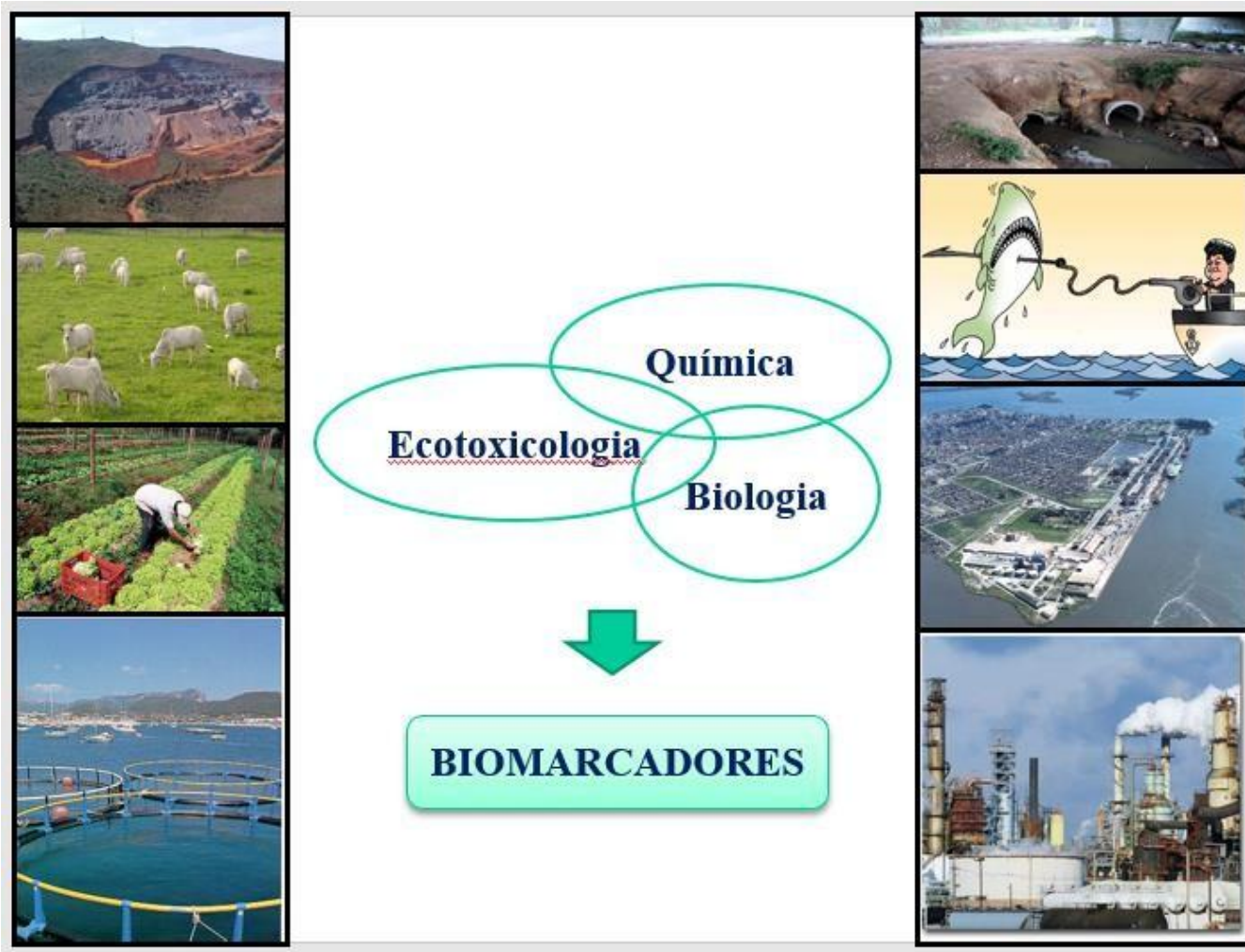
Art. 7º Os padrões de qualidade das águas determinados nesta Resolução estabelecem limites individuais para cada substância em cada classe.

Parágrafo único. Eventuais interações entre substâncias, especificadas ou não nesta Resolução, não poderão conferir às águas características capazes de causar efeitos letais ou alteração de comportamento, reprodução ou fisiologia da vida, bem como de restringir os usos preponderantes previstos, ressalvado o disposto no § 3º do art. 34, desta Resolução.

Art. 8º O conjunto de parâmetros de qualidade de água selecionado para subsidiar a proposta de enquadramento deverá ser monitorado periodicamente pelo Poder Público.

ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos



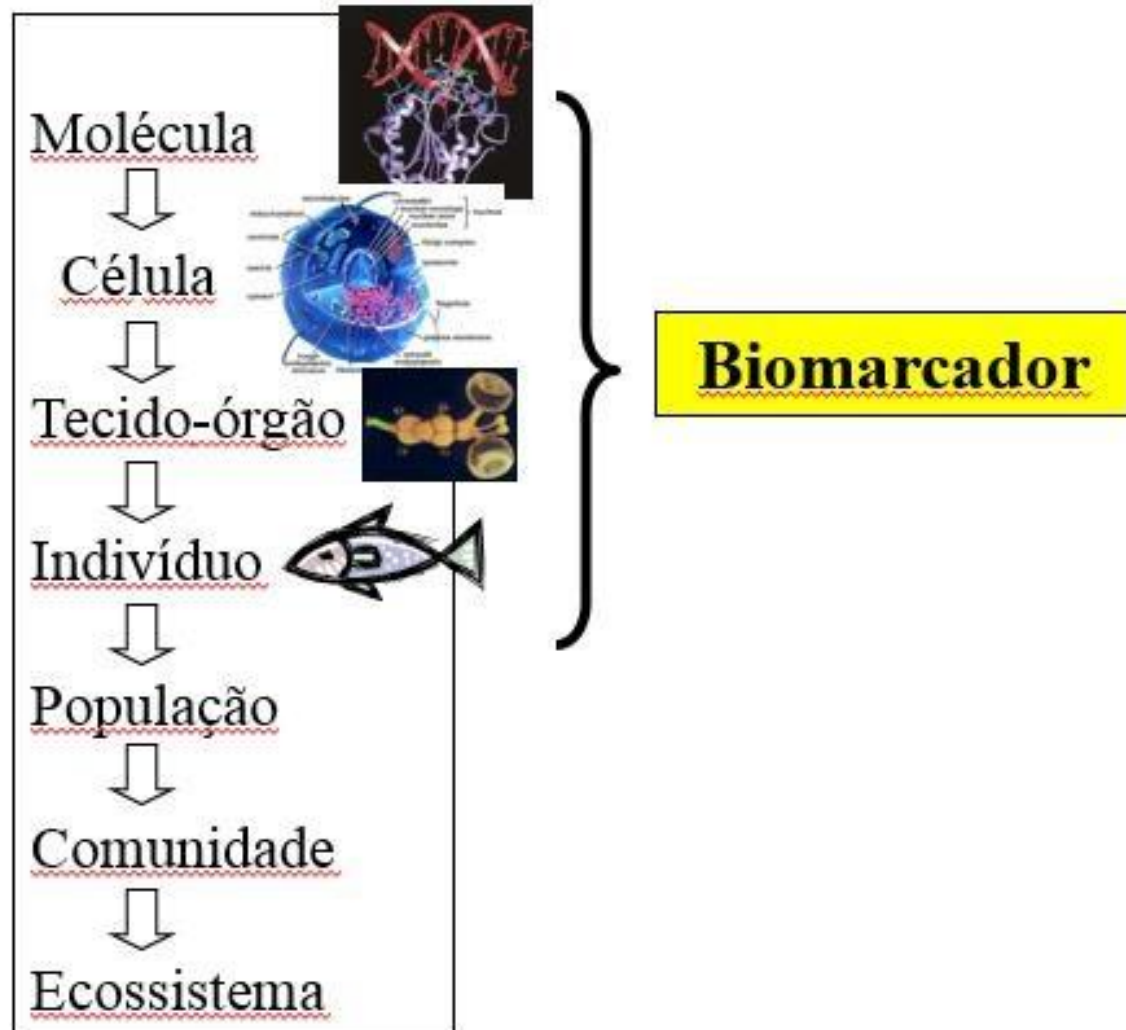
BIOMARCADORES

Biomarcadores são alterações biológicas nos fluídos corporais, células ou tecidos indicativas da exposição a concentrações sub-letais de poluentes ambientais, detectadas em nível molecular, celular e fisiológico (Livingstone 1993; Walker et al., 1996).

ROTEIRO DIDÁTICO

Uso de recursos hídricos: aspectos ecotoxicológicos

Efeitos
Nível de organização biológica



Qual biomarcador utilizar?



Mecanismo de toxicidade do contaminante



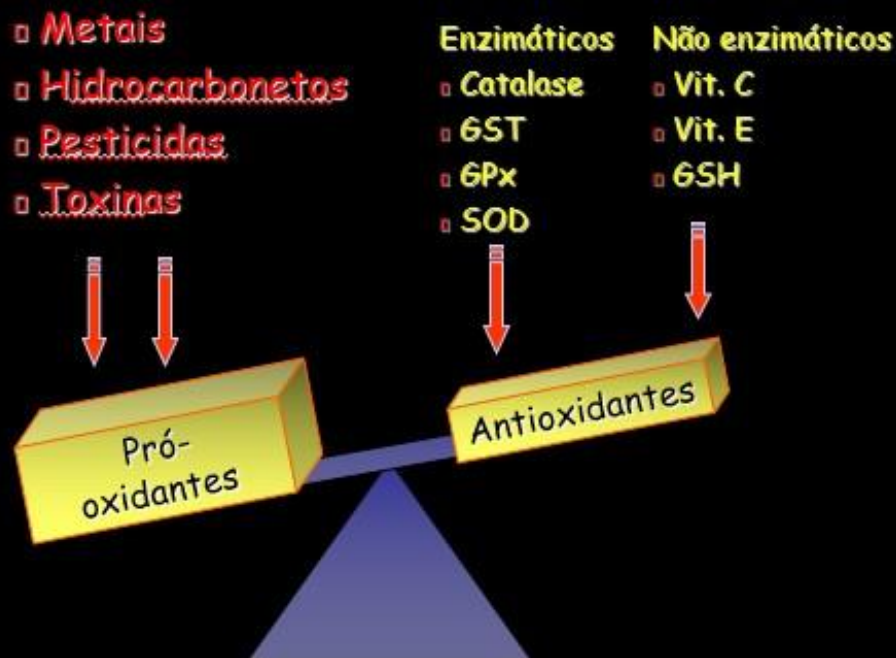
Seleção do biomarcador

ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Uso de respostas antioxidantes e estresse oxidativo como biomarcadores de poluição aquática

A relação entre as concentrações dos pró-oxidantes e dos antioxidantes determina a probabilidade de geração de estresse oxidativo na célula

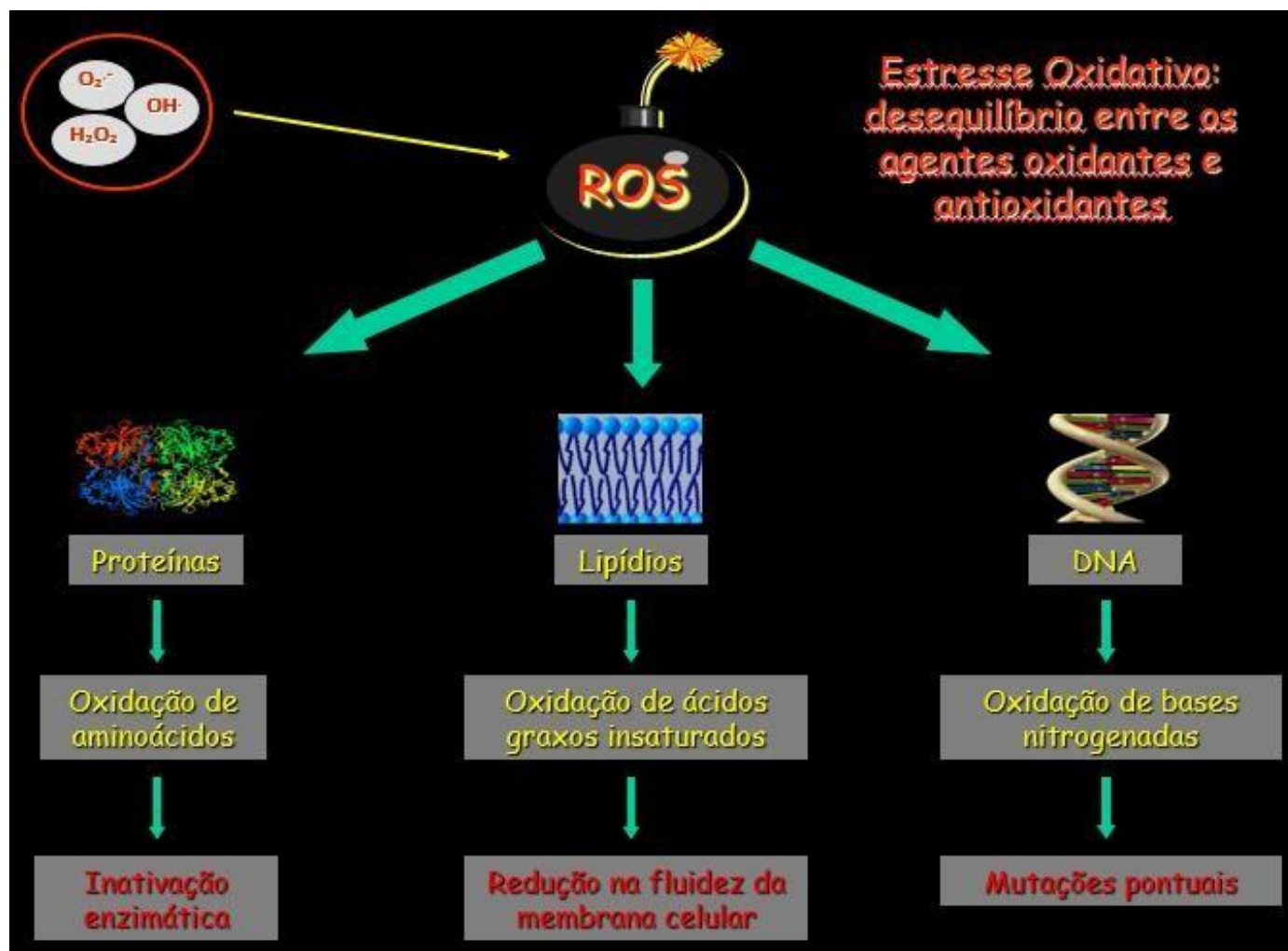


ROTEIRO DIDÁTICO

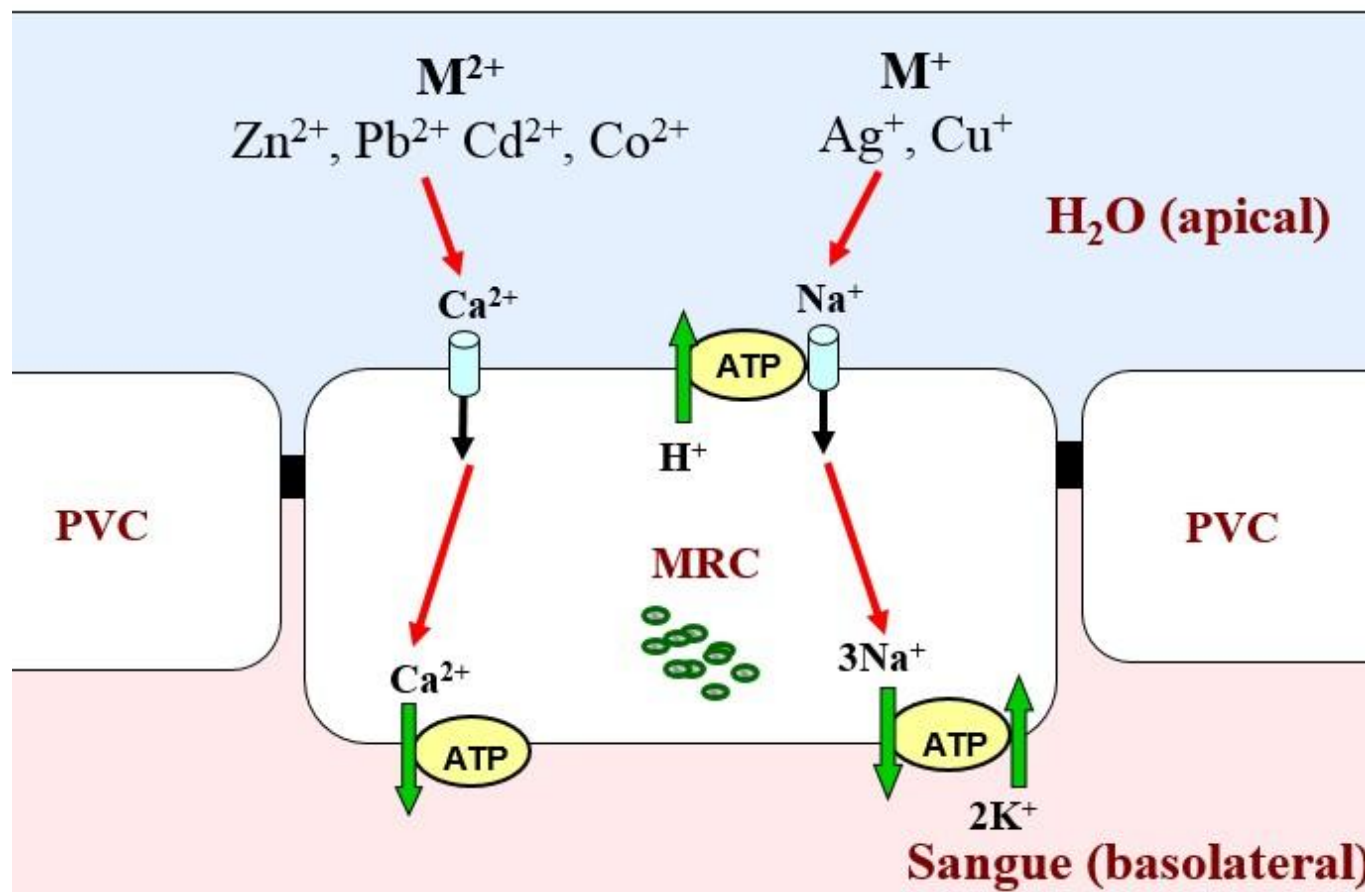
Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos



Efeitos dos Metais no Transporte Iônico



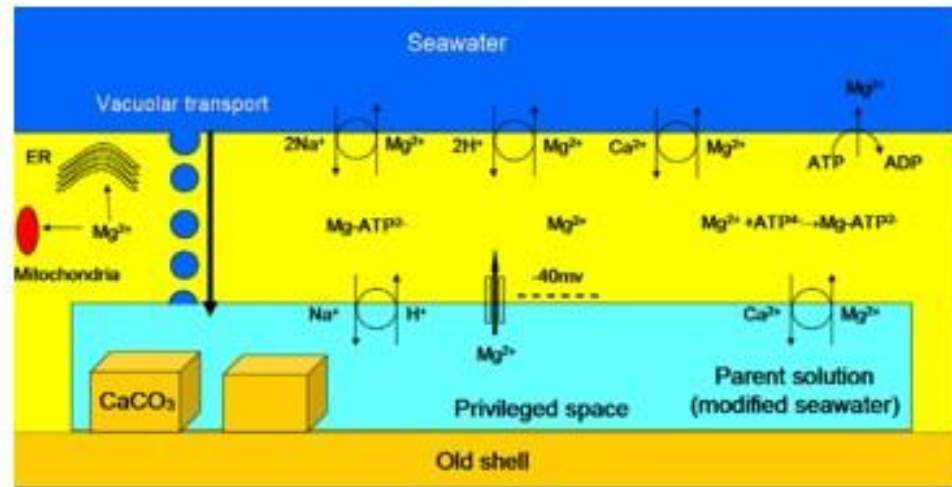
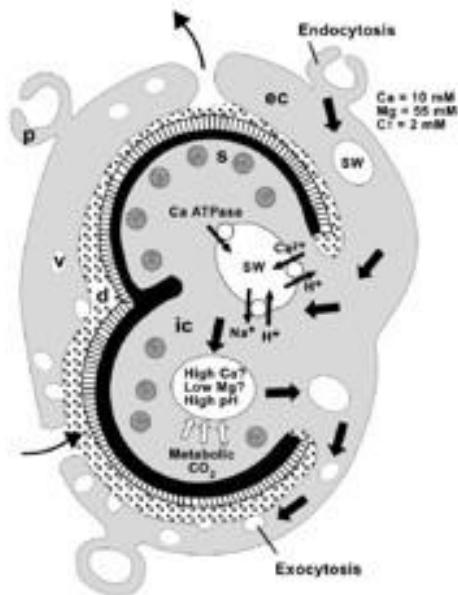
ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

- *Enzimas envolvidas no transporte iônico*
 - Processo de calcificação
 - Ca^{2+} -ATPase e Mg^{2+} -ATPase

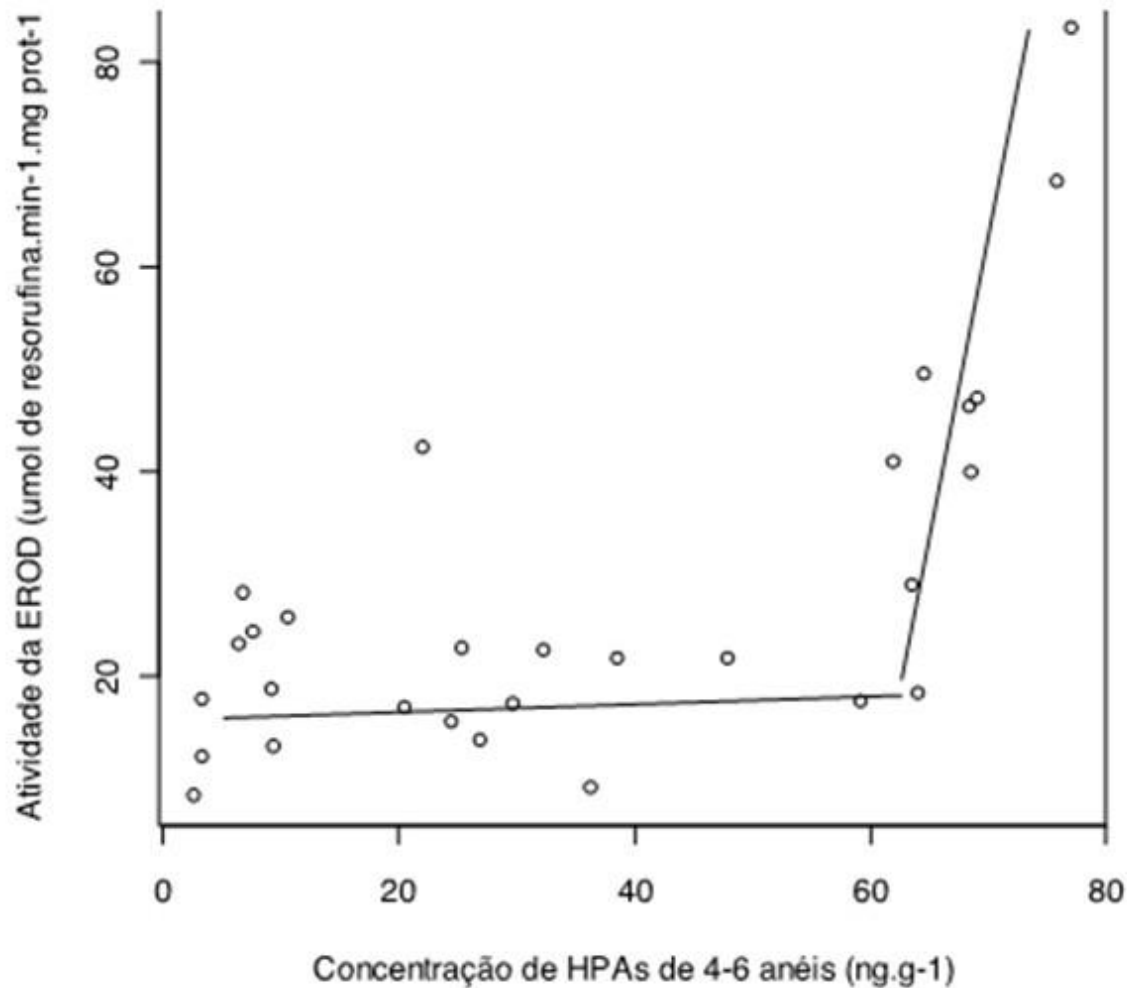


ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

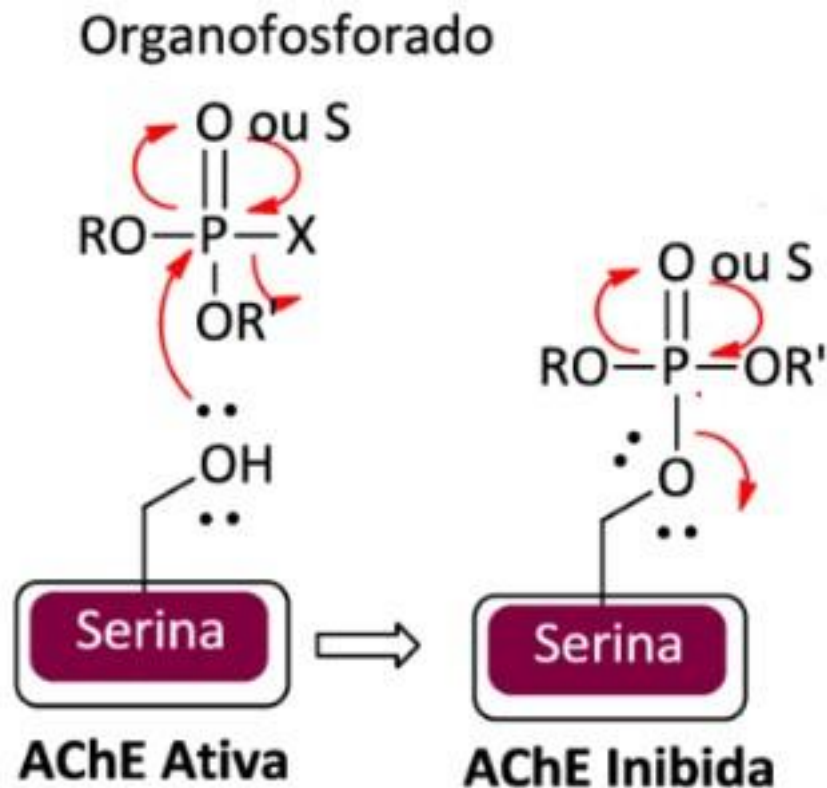
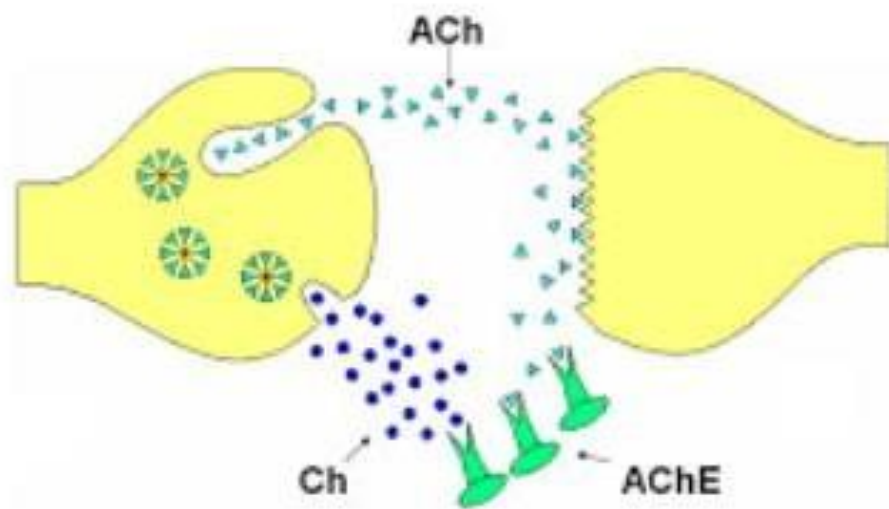


ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos



ROTEIRO DIDÁTICO

Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos

Qual biomarcador utilizar?

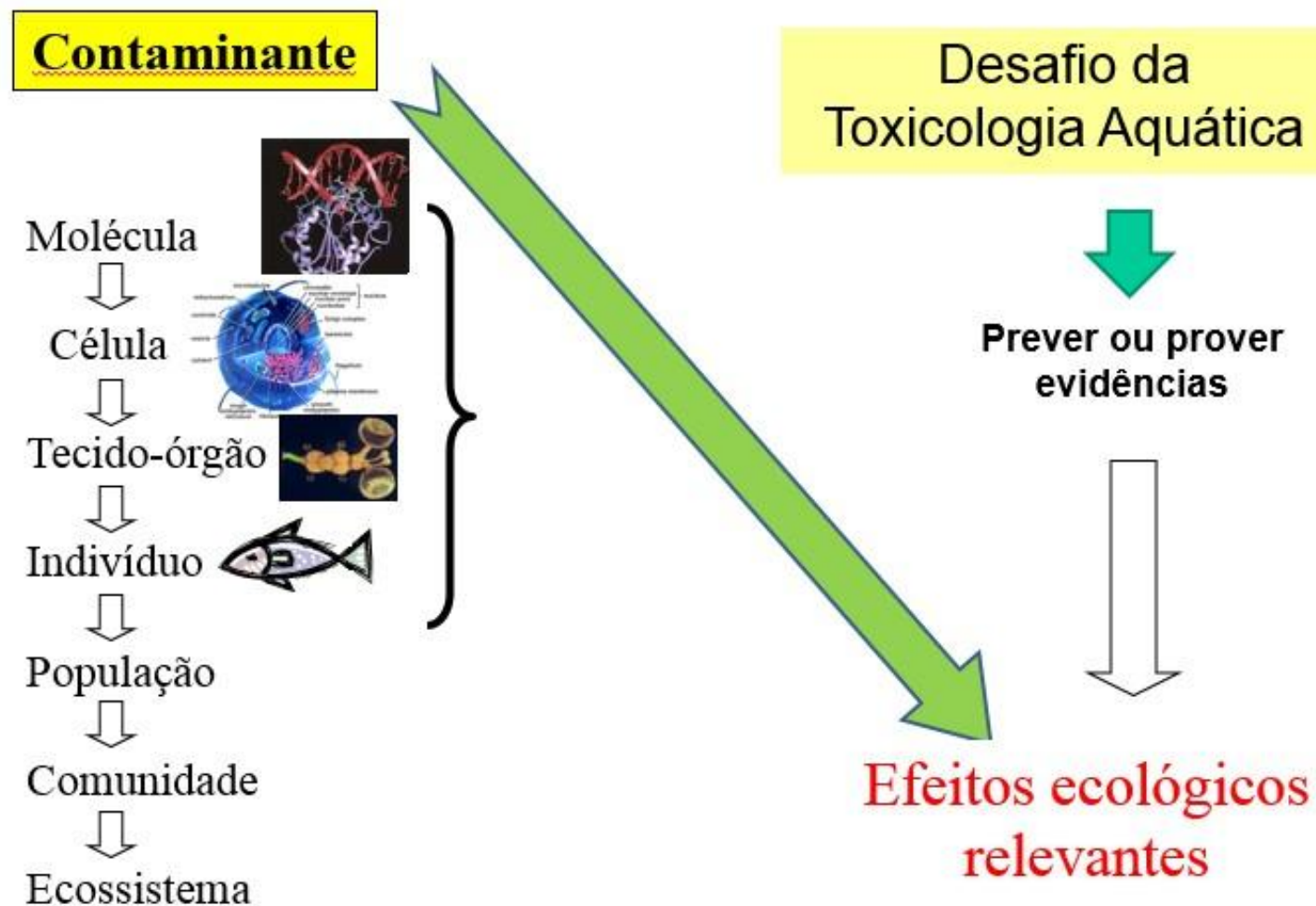
- **Citopatologia e Histopatologia (comprometimento estrutural de órgãos e sistemas)**
- **Estresse Oxidativo (danos de macromoléculas: lipídios, proteínas e DNA)**
- **Osmoregulação e nefrotoxicidade (perda parcial ou total de adaptação a variações de salinidade)**
- **Neurotoxicidade (alteração no funcionamento do sistema nervoso periférico e central)**
- **Imunossupressão (resposta imunológica específica e inespecífica)**
- **Respostas moleculares (expressão gênica)**
- **Genotoxicidade (danos à estrutura do material genético)**

ROTEIRO DIDÁTICO

Apoio



Alternativas para o monitoramento da qualidade de recursos hídricos



SOLUÇÕES EDUCACIONAIS



Presenciais



A Distância



Customizadas



Lato e Stricto
Sensu

 **FaceEsesp**
esesp.es.gov.br