

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/362797916>

TOXICOLOGIA AMBIENTAL: ABORDAGENS SOBRE A QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE

Chapter · August 2022

CITATIONS

0

READS

15

3 authors, including:



Geonildo Rodrigo Disner
Instituto Butantan

37 PUBLICATIONS 340 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)



Rafael Shinji Akiyama Kitamura
Universidade Federal do Paraná

21 PUBLICATIONS 57 CITATIONS

[SEE PROFILE](#)

Some of the authors of this publication are also working on these related projects:



Study of the induction of regulatory microRNAs by TnP dependent on Aryl hydrocarbon Receptor (AhR) activation [View project](#)



Delineating physiological and toxic impact of TnP on Aryl hydrocarbon Receptor (AhR) signaling through morphometric and transcriptomic profiling using the zebrafish embryo model [View project](#)

X SEMANA DA BIOLOGIA UFABC

**Marcela Brasil de Castro Godinho
Andrea Cristhiane Martins Martini
Felipe Nascimento Tavares
Simone Rodrigues Freitas**
Editores



X SEMANA DA BIOLOGIA UFABC

Marcela Brasil de Castro Godinho
Andrea Cristhiane Martins Martini
Felipe Nascimento Tavares
Simone Rodrigues Freitas
Editores

Universidade Federal do ABC, 2022



Ficha Catalográfica

CATALOGAÇÃO NA FONTE
SISTEMA DE BIBLIOTECAS DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO ABC

S471x Semana da Biologia UFABC (10. : 2022)

X Semana da Biologia UFABC [recurso eletrônico] / Edição de Marcela Brasil de Castro Godinho, Andrea Cristhiane Martins Martini, Felipe Nascimento Tavares e Simone Rodrigues Freitas – [Santo André, SP] : Universidade Federal do ABC, 2022. 208 p. : il.

Disponível em: <http://professor.ufabc.edu.br/~simone.freitas/>

Evento online realizado de 12 a 23 de julho de 2021.

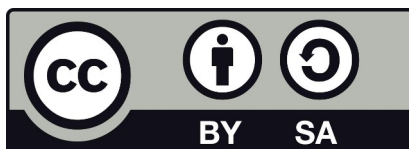
ISBN 978-65-5719-044-9

1. Biologia - Congressos. 2. Ecologia. 3. Botânica. 4. Biologia – Estudo e Ensino. 5. Genética. 6. Neurobiologia. 7. Geoprocessamento. I. Godinho, Marcela Brasil de Castro, ed. II. Título.

CDD 22 ed. – 570

Elaborado por Mariléia Aparecida de Paula – CRB-8/8530

ISBN 9786557190449



Esta obra está licenciada com uma Licença [Creative Commons Atribuição-Compartilhual 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) (CC BY-SA 4.0)

Ecologia



TOXICOLOGIA AMBIENTAL: ABORDAGENS SOBRE A QUALIDADE DO MEIO AMBIENTE⁶

Geonildo Rodrigo Disner, Laís Fernanda Oya Silva e

Rafael Shinji Akiyama Kitamura

1. Histórico e Fundamentos da Toxicologia

A toxicologia é a ciência que estuda os efeitos nocivos causados por substâncias químicas sobre organismos vivos, sendo uma disciplina muito antiga e que acompanha os primórdios da história da humanidade. Em busca de substâncias tóxicas para emprego na caça ou mesmo em confrontos e guerras, o conhecimento empírico sobre plantas tóxicas e animais venenosos foi se expandindo. Existem relatos que, desde 600 a.C., os atenienses já usavam extratos de plantas tóxicas em combates. Um exemplo foi a contaminação da água com as raízes de Heléboro (*Helleborus orientalis*) para que os inimigos consumissem, resultando em intensa diarreia, pois a raiz é um drástico laxante.

Os gregos também chamavam de *Toxikón* o ato de impregnar flechas com veneno, prática muito similar à adotada pelos povos nativos da América do Sul para caça. Os povos originários utilizavam o curare, também chamado de veneno de flecha, durante suas empreitadas. Curare é o nome dado a substância tóxica extraída de plantas do gênero *Strychnos* e *Chondodentron* que é um poderoso relaxante muscular, matando por paralisia dos músculos respiratórios, porém sem efeitos negativos no sistema digestivo de quem se alimenta da presa.

Um dos pesquisadores que trouxe uma visão médico-científica mais profunda para a toxicologia foi Paracelsus (1493-1541). Através de experimentação para avaliação das propriedades terapêuticas comparadas a ação tóxica, examinou que essas diferenças são, frequentemente, distinguíveis apenas pela dose. Ele escreveu a famosa frase: “Todas as

⁶ Vídeos disponíveis: Dia 12/07 em <https://youtu.be/m3fNZTahDJQ>, Dia 14/07 em <https://youtu.be/Ty7raLOsydg> e Dia 16/07 em <https://youtu.be/q9hPknlwXEM>

substâncias são venenos, somente a dose correta diferencia o veneno do remédio”. Já o químico e médico espanhol Mateo José Buenaventura Orfila Rotger (1787-1853) é considerado o “pai da toxicologia” por ter escrito o *Traité de Toxicologie* (1843), consolidando esta como disciplina científica.

As revoluções industriais e as grandes guerras mundiais tiveram profundas implicações na saúde da população, seja pelas intoxicações ou enfermidades ocupacionais que se davam pelo intenso uso de produtos e armas químicas. Alguns exemplos clássicos são o uso do gás mostarda ($C_4H_8Cl_2S$) na 1ª guerra mundial, o pesticida à base de ácido cianídrico e nitrogênio (Zyklon-B) nos campos de concentração durante a 2ª guerra mundial e o agente laranja na guerra do Vietnã. A toxicologia teve grande desenvolvimento no pós-guerra, devido ao maior conhecimento sobre mecanismos de ação, toxicologia comportamental, ecotoxicologia, e outras áreas.

As bases da toxicologia são multidisciplinares e apoiam-se, por exemplo, na química, biologia, farmacologia, patologia, bioquímica, imunologia e saúde pública para investigar as alterações das funções fisiológicas em seres vivos. Uma das principais maneiras de conhecer os efeitos adversos de um composto químico é através do estudo das fases de intoxicação e elucidação da toxicocinética e toxicodinâmica. A primeira fase da intoxicação é a exposição onde ocorre a disponibilidade química do toxicante. Em seguida, durante a toxicocinética é analisada a movimentação do composto dentro do meio biológico evidenciando sua absorção, distribuição, biotransformação e excreção. Por outro lado, a toxicodinâmica explora os mecanismos de ação da substância tóxica no organismo por meio das interações com constituintes biológicos e celulares, o que leva a última fase da intoxicação, que é a manifestação clínica.

A toxicidade de cada composto é definida pela capacidade inerente e potencial do agente de provocar efeitos nocivos. Já o risco, diferente da toxicidade, é a probabilidade existente de que uma substância produza um efeito adverso previsível, em determinadas condições específicas de uso, ou seja, o risco pode ser maior ou menor dependendo do contexto (enquanto a toxicidade é invariável). Alguns dos efeitos tóxicos dos compostos químicos podem ser a mutagênese, que é a capacidade de produzir mutações e alterações bruscas do genótipo; carcinogênese, relacionada com a formação de tumores e proliferação

anormal de células indiferenciadas; e teratogênese, que é a capacidade de produzir dano ao embrião ou feto durante a gravidez.

Além disso, diferentes substâncias químicas podem interagir entre si e resultar em distintos efeitos nos organismos. Nesse contexto, outros conceitos importantes são o efeito aditivo, onde o efeito final é igual à soma dos efeitos de cada um dos agentes; efeito sinérgico, efeito final é maior que a soma dos efeitos de cada agente em separado; potencialização, o efeito de um agente é aumentado se combinado com outro agente; e antagonismo, isso é, o efeito de um agente é diminuído, inativado ou eliminado se combinado com outro agente.

2. Ecotoxicologia e Poluentes Ambientais

A termo ecotoxicologia, eventualmente referida como toxicologia ambiental, foi cunhado por René Truhaut em 1969, que o definiu como sendo “o ramo da toxicologia preocupado com o estudo de efeitos tóxicos causados por poluentes naturais ou sintéticos, sobre quaisquer constituintes dos ecossistemas: animais, vegetais ou microrganismos, em um contexto integral”. Os objetivos específicos principais dessa área da toxicologia são determinar os níveis de contaminantes no ambiente e seus destinos, estimar o grau de periculosidade dos contaminantes e seus metabólitos para os organismos vivos, indicar níveis máximos permitidos de contaminantes como parâmetro legal de regulamentação, diagnosticar e prognosticar o efeito dos contaminantes no ambiente e o efeito das medidas tomadas e conhecer os efeitos que produtos químicos lançados no meio ambiente podem ter sobre indivíduos, populações e comunidades.

Tendo em vista que, invariavelmente, a maioria dos poluentes ambientais acabam tendo como destino os recursos hídricos, por meio da lixiviação, escoamento superficial ou mesmo transporte aéreo, a ecotoxicologia aquática é uma das subáreas mais cruciais. Os poluentes, quando presentes na água, podem se bioconcentrar nos organismos, isso é, os animais através do constante consumo de água têm concentrações aumentadas de substâncias químicas no organismo (que não são eliminadas na mesma proporção). Ainda, os contaminantes podem passar por biomagnificação, que é o processo de aumento das concentrações de compostos químicos conforme aumenta os níveis tróficos, uma vez que animais no topo de cadeia ao se alimentarem de outros acabam sendo expostos aos poluentes

que estes carregam consigo. Além disso, a água está onipresente por diversos compartimentos e é imprescindível para a manutenção da vida. Assim, conservar a sua qualidade e integridade é um desafio de primeira importância.

3. Tipos de Ensaios toxicológicos e Modelos de Estudo

Com exceção dos testes *in silico*, que utilizam ferramentas computacionais e informatizadas na análise de dados, as análises toxicológicas requerem o uso consciente de modelos experimentais vivos, e por isso são definidos como bioensaios. Estes são experimentos científicos com variáveis controladas que investigam os efeitos de compostos em organismos, tecidos ou células-alvo.

Após a seleção do organismo teste, diferentes vias de exposição podem ser aplicadas; sendo as principais: hídrica (através da água, especialmente quando se utiliza peixes), trófica (por meio da alimentação ou gavagem), injeção (subcutânea, intramuscular, endovenosa e intraperitoneal), dérmica ou inalação.

O tempo de exposição ao composto químico testado é outro parâmetro importante. A exposição pode ser aguda (geralmente entre 24 e 96 h), subcrônica (um período intermediário, acima de 96 h) ou crônica (exposição de longa duração, que considera pelo menos 1/10 da vida do organismo). Paralelamente a substância teste, é imprescindível estabelecer grupos-controle que facilitem a análise dos dados. O controle negativo corresponde ao grupo amostral que reflete a condição saudável e sem efeitos adversos manifestados. Eventualmente é necessário um controle do solvente, quando a substância teste não é diluída em água (como no caso de compostos hidrofóbicos que são diluídos em solventes orgânicos, como o metanol).

Além disso, diferente dos bioensaios que tem as condições experimentais altamente controladas, existe o biomonitoramento que objetiva avaliar a qualidade ambiental por meio dos organismos presentes no local de estudo, isso é, *in situ*. Nessa abordagem, o controle dos tipos de compostos aos quais os animais estão em contato, concentrações, vias e períodos de exposição não é factível. Por isso, faz-se o monitoramento e avaliação da condição que aquele ambiente se encontra e, por meio da análise das respostas fornecidas pelos organismos, chega-se a inferências sobre a qualidade do local. Nesse caso, muitas vezes são necessárias análises

químicas adicionais e um maior número amostral devido à maior variabilidade dos ambientes naturais.

Frente a crescente demanda pela substituição ou redução do uso de animais em experimentação, também conhecido pelo princípio dos três Rs (redução, refinamento e substituição; do inglês *Replacement, Reduction and Refinement*), houve um aumento considerável no uso de modelos alternativos em testes toxicológicos. O uso de tecidos e, principalmente, células cultivadas *in vitro* tem oferecido a possibilidade de trabalhar com respostas e vias biológicas complexas sem requerer um extensivo uso de animais. Existem diversas linhagens celulares que podem ser adquiridas comercialmente e cultivadas em meios de culturas que são uma alternativa aos testes tradicionais. Apesar de não substituírem totalmente o uso de animais, especialmente em fases finais de estudos clínicos, avaliações toxicológicas com modelos alternativos são uma maneira eficiente de fazer ensaios iniciais ou obter resultados preliminares sobre a toxicidade e segurança de compostos desconhecidos.

4. Biorremediação de ambientes contaminados

Por mais que o foco da toxicologia ambiental seja diagnosticar e predizer os perigos que poluentes e substâncias químicas infligem aos ambientes naturais, o outro lado dessa problemática é a necessidade de se conhecer o quão afetados estão os habitats e os riscos que o meio ambiente sofre devido às atividades antrópicas para que o impacto dessas agressões possa ser mitigado.

Uma vez identificados os problemas, existem diversas medidas de remediação que buscam minimizar os danos e recuperar os ambientes degradados. A biorremediação é um fenômeno que acontece naturalmente pela ação de microrganismos, fungos e plantas resistentes a contaminação, onde o próprio metabolismo desses organismos é capaz de utilizar estes poluentes como fonte de carbono e energia, realizando a remoção ou degradação em compostos menos tóxicos que são incorporados à biomassa.

As técnicas de biorremediação não são aplicadas isoladamente, mas sim complementam processos convencionais de tratamento de água e esgoto que por si só não são totalmente eficazes na remoção de poluentes. Assim, de forma paralela, agentes biológicos são usados para eliminar ou transformar os compostos de modo a facilitar sua degradação.

Algumas aplicações da biorremediação são na degradação de petróleo, lixiviado de aterro sanitário, esgoto doméstico, efluentes, dentre outras. Quando especificamente são utilizadas plantas como remediadores, esse processo denomina-se fitorremediação.

5. Considerações finais

Notadamente nos países emergentes e industrializados, o processo de intensa urbanização e industrialização, inclusive no setor agrícola, tem provocado um aumento no número e quantidade de substâncias químicas a que os seres vivos são expostos continuamente. O incremento nos índices de doenças inflamatórias crônicas, alergias e intoxicações em humanos além da contaminação dos recursos hídricos, deterioração dos ambientes naturais e comunidades de organismos relacionados é um dos principais problemas enfrentados neste milênio. Desse modo, mais do que nunca, investigações na área de toxicologia ambiental e suas vertentes são imprescindíveis para melhorar a saúde ambiental, bem como a saúde única, e prover um ambiente limpo e de qualidade para a manutenção plena da vida.

Indicação de leitura complementar:

- DISNER, G. R.; FALCÃO, M. A. P.; BARROS, A. I. A.; SANTOS, N. V. L.; SOARES, A. B. S.; SOUZA, M. M.; GOMES, K. S.; LIMA, C.; LOPES-FERREIRA, M. The Toxic Effects of Glyphosate, Chlorpyrifos, Abamectin, and 2,4D on Animal Models: A Systematic Review of Brazilian Studies. **Integrated Environmental Assessment and Management**, v. 17, n. 3, p. 507-520, 2021. <https://doi.org/10.1002/ieam.4353>
- LOPES-FERREIRA, M.; FALCÃO, M. A. P.; DISNER, G. R.; LIMA, C. O Modelo Zebrafish e sua Contribuição ao Meio Ambiente. *In* **Recurso água: tecnologias e pesquisas para o uso e a conservação de ecossistemas aquáticos**. RÊGO DA SILVA, D. C. V. et al. (org.). 1. ed. São Carlos: Editora Cubo, 2021. E-book. Disponível em: <https://doi.org/10.4322/978-65-86819-07-6>. Acesso em: 20 abr. 2022.
- ONU - Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2022. Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 20 abr. 2022.

Referências Bibliográficas:

- OGA, S.; CAMARGO; M. M. A.; BATISTUZZO, J. A. O. **Fundamentos de toxicologia**. São Paulo: Atheneu, 2008. 677 p.
- RICKLEFS, R.; RELYEA, R. **A economia da natureza**. 7. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2016. 606 p.
- SISINNO, C. L. S.; OLIVEIRA-FILHO, E. C. **Princípios de toxicologia ambiental**. 1. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2013. 216 p.
- ZAGATTO, P. A.; BERTOLETTI, E. (org.). **Ecotoxicologia Aquática: Princípios e Aplicações**. 2. ed. APGIQ, 2008. 472 p.